

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Būvniecības fakultāte
Transportbūvju institūts

Andris Paeglītis
doktora studiju programmas „Būvniecība” doktorants

**Satiksmes slodzes modeļi Latvijas autoceļu
tiltiem ar laidumu garumiem līdz 30
metriem**

Promocijas darbs

Zinātniskais vadītājs
Dr.sc. ing., profesors
Ainārs Paeglītis

Rīga 2012

ANOTĀCIJA



Tilti ir transportbūves, kas paredzēti ilgam kalpošanas laikam. Tie uzņem transporta slodzes gadsimtu garumā. Pa šo laiku transporta slodžu lielums un intensitāte nepārtraukti pieaug. Tas prasa veikt regulāras tiltu inspekcijas un noteikt to nestspējas atbilstību pieaugošajām projektēšanas slodzēm. Tomēr faktiskās satiksmes slodzes ievērojami atšķiras no projektēšanā lietotajām raksturīgajām satiksmes slodzēm. Analizējot un izvērtējot Latvijā vēsturiski lietotos tiltu satiksmes slodžu modeļus un to raksturojumus un izvērtējot to ietekmi, var konstatēt, ka pēdējo 20 gadu laikā tiltu raksturīgās satiksmes slodzes ir pieaugušas aptuveni 2 reizes. Precīzs faktiskās satiksmes slodzes novērtējums un faktisko slodžu modeļu pielietošana ekspluatācijā esošu tiltu nestspējas novērtēšanai var ievērojami ietaupīt tiltu uzturēšanai piešķirtos līdzekļus.

Pēdējos gados ir attīstījušās jaunas metodes, kas ļauj pietiekoši precīzi noteikt faktisko satiksmes slodžu lielumu, sastāvu un intensitāti, kādu uzņem ekspluatācijā esošie tilti. Pie šādām metodēm pieder „automašīnas parametru mērīšana kustībā”, visbiežāk tiek izmantots angļu valodas apzīmējums „weight in motion” (WIM), kas šajā pētījumā tiks izmantots arī turpmāk. Šī metode paredz tādas mērinstrumentu sistēmas lietošanu, kas atļauj mērīt transportlīdzekļu masu, katras ass slodzi, asu skaitu un ātrumu, to neapstādinot.

Pētījumā izstrādāta uz varbūtību balstīta metode satiksmes slodžu datu apstrādei un slodžu modeļa izstrādāšanai, izmantojot WIM tehnoloģijas datus.

Veikta Latvijā ar WIM iegūto datu analīze. Iegūtas slodžu sadalījuma histogrammas, noteikti smagāko asu novietojumi, veikta transportlīdzekļu ātruma un intensitātes analīze un to svāra korelācijas.

Izstrādāti satiksmes slodzes modeļi tiltiem ar laidumu garumiem līdz 30 metriem, ņemot vērā Latvijai raksturīgu autoceļu satiksmes slodzes raksturojumu, kas iegūts ar WIM metodi.

Noteikta Eirokodeksā LVS EN 1991-2 dotā slodzes modeļa LM1 regulējošā koeficienta α rekomendējamā vērtība Latvijā ekspluatācijā esošiem tiltiem ar laidumu garumiem līdz 30 metriem.

Atslēgvārdi: tilts, satiksmes slodzes, slodzes modelis, „weight-in-motion” (WIM), statistiskās analīzes metodes, varbūtību analīzes metodes, Eirokodekss.

ANNOTATION



Bridges are structures that are designed for a service life up to hundred years. During the service life of a bridge the level of the traffic load and intensity rises hence it demands regular bridge inspections to determine the actual load carrying capacity of the structure. However the actual traffic load models significantly differ from the characteristic load models used in the design codes. Analysing the design codes used in Latvia for past twenty years it was found that the design loads on the bridges have doubled since the codes were approved. Therefore the use of the actual traffic load models to assess the load carrying capacity of the in-service bridges can significantly save the maintenance cost.

In the past traffic actions had an attribute of a great uncertainty, however with the introduction of Weight-In-Motion systems it is possible to collect vehicle information without interfering the traffic. This includes data such as - number of axles, wheelbase, speed and axle loads which altogether shapes the picture of actual loading range on the roads and bridges.

The new traffic load models are derived from results of the Weight-In-Motion systems analysed with a new on probabilistic approach based method.

The collected Weight-In-Motion data analysis was performed to obtain load distribution diagrams, determine heaviest axle disposition, traffic speed and intensity values and vehicle weight correlations.

This research allowed to develop traffic load models and determine values of the Eurocode load model LM1 calibration factor alpha for bridges with a span length up to 30 meters, considering the characteristic loads on Latvian roads and bridges.

Keywords: bridge, traffic loads, load models, WIM (Weight-In-Motion), Eurocode, statistical analysis, methods of probabilistic analysis

SATURS

ANOTĀCIJA.....	2
SATURS.....	4
1. IEVADS	7
1.1. Tēmas aktualitāte	7
1.2. Darba mērķis	9
1.3. Pētījuma uzdevumi	9
1.4. Aizstāvēšanai izvirzītie pētījumu rezultāti	10
1.5. Darba zinātniskā novitāte	10
1.6. Darba praktiskā vērtība.....	11
1.7. Disertācijas uzbūve.....	11
1.8. Atbalsts darbam	12
1.9. Darba aprobācija un publikācijas	12
2. VEIKTO PĒTTĪJUMU APSKATS UN APRĒĶINA SATIKSMES SLODŽU MODEĻU RAKSTUROJUMS	14
2.1. Satiksmes slodžu modelēšana.....	14
2.2. „Weight-in-motion” WIM datu pielietojums satiksmes slodžu modelēšanai .	15
2.3. Eksploatācijā esošu tiltu nestspējas novērtēšana.....	16
2.4. Aprēķina satiksmes slodžu attīstības vēsturisks apskats	16
2.4.1. Aprēķina satiksmes slodzes laika posmā no 1900. līdz 1945. gadam	16
2.4.2. Aprēķina satiksmes slodzes laika posmā no 1945.gada līdz 2000.gadam.	18
2.4.3. Aprēķina satiksmes slodzes laika posmā no 2000.gada	19
2.4.4. Aprēķina satiksmes slodžu salīdzinājums	20
2.5. Satiksmes slodžu raksturojums.....	21
3. SATIKSMES SLODZES DATU ANALĪZES METODE	23
3.1. Satiksmes slodžu analīzes metodes vispārīgs apraksts.....	23
3.2. Iegūtie satiksmes izejas dati	23
3.3. Datu atlases princips	24
3.4. Datu šablonu failu izveide	25
3.5. Datu apstrādei pielietoto matemātisko metožu apraksts	26

3.5.1.	Gadījuma lielumi un to parametri	26
3.5.2.	Gadījuma lieluma sadalījuma funkcija	27
3.6.	Histogrammas un to konstruēšana	28
3.7.	Teorētiskie gadījuma lielumu sadalījumi	30
3.8.	Sakarību ciešuma pētīšana	32
3.8.1.	Korelācijas analīze	32
3.8.2.	Regresijas analīze	33
3.8.3.	Determinācijas koeficients	34
4.	SATIKSMEŠ SLODZES DATU IEGŪŠANA AR „WEIGHT IN MOTION” (WIM) SISTĒMU	35
4.1.	Īss WIM sistēmas attīstības raksturojums	35
4.2.	Satiksmes dati	37
4.3.	Datu kvalitāte un daudzums	38
5.	SATIKSMEŠ SLODŽU DATI	45
5.1.	Transportlīdzekļu dati	45
5.1.1.	Transportlīdzekļu pilnā masa	45
5.1.2.	Transportlīdzekļu smagākās ass novietojums	48
5.1.3.	Transportlīdzekļu ātrums	50
5.1.4.	Transportlīdzekļu garuma un tā riteņu asu attāluma sadalījums	52
5.1.5.	Transportlīdzekļu kopīgās un ass slodžu sadalījums	64
5.2.	Sakarības starp iegūtajiem datiem	77
5.2.1.	Sakarības starp satiksmes intensitāti un transportlīdzekļa svaru	77
5.2.2.	Sakarības starp transportlīdzekļu raksturīgajiem lielumiem	83
5.3.	Kopsavilkums par transportlīdzekļu ģeometrisko parametru un svara analīzi ..	86
6.	LATVIJAS AUTOCEĻIEM RAKSTURĪGS TRANSPORTA SLODZES MODELIS ..	88
6.1.	Transportlīdzekļu slodžu modeļi	89
6.2.	Latvijā sastopamie tiltu veidi un raksturīgie laiduma konstrukcijas garumi	97
6.3.	Slodzes aprēķina modeļi	98
6.4.	Raksturīgās laiduma konstrukcijas	100
7.	EIROKODEKSA LVS EN 1991-2 SLODZES MODEĻA LM1 REGULĒJOŠĀ KOEFICIENTA A REKOMENDĒJAMĀS VĒRTĪBAS	104

7.1. Eirokodeksa LVS EN 1991-2 slodzes modeļa LM1 raksturojums.....	104
7.2. Regulējošais koeficients α	105
8. SECINĀJUMI	108
9. IZMANTOTIE INFORMĀCIJAS AVOTI.....	110

1. IEVADS

1.1. Tēmas aktualitāte

Eiropas Savienības (ES) transporta politikas mērķis ir "nodrošināt visā ES augstu mobilitātes līmeni gan cilvēkiem, gan uzņēmumiem. Pieejamus un augstas kvalitātes transporta risinājumus par saprātīgiem tarifiem, brīvu personu, preču un pakalpojumu aprites funkcionēšanu, kas nodrošina uzlabotu sociālo un ekonomisko vienotību, kā arī nodrošina Eiropas rūpniecības konkurētspēju" (EK komisijas paziņojums & EK, 2006). Transporta plūsmā Eiropā dominē autotransports. Tas katru dienu kalpo visiem eiropiešiem. Ar autotransportu ES tiek nodrošināti 83% no pasažieru pārvadājumiem un 46% no visu kravu pārvadājumiem.

Lai realizētu ES transporta politikas mērķus ir nepieciešamas jaunas zināšanas un inovatīvi risinājumi. Tādēļ par vienu no ES pētniecības prioritātēm ir kļuvuši pētījumi par autoceļu infrastruktūras tīkla uzlabošanas metodēm (EK, 2008), jo salīdzinot ar iepriekšējiem gadiem jauni ceļi un tilti tiek būvēti mazāk, bet ir nepieciešamas lielākas investīcijas esošās infrastruktūras funkcionēšanas saglabāšanai, nodrošinot tām atbilstošu drošuma standartu izpildi. Transportlīdzekļu skaits uz Eiropas autoceļiem pieaug. Laika posmā no 2000.gada līdz 2008.gadam vieglo automašīnu skaits ES ir pieaudzis par 17%, bet Latvijā par 75%, smago automašīnu skaits ES ir pieaudzis par 25%, bet Latvijā par 34% (European Commission, 2010). Tas norāda uz nepārtrauktu transporta slodžu pieaugumu un tā sastāva izmaiņām, kas jāņem vērā, gan projektējot jaunus tiltus, gan novērtējot ekspluatācijā esošos.

Uz Latvijas valsts autoceļiem šobrīd tiek ekspluatēti 936 tilti, no kuriem: 880 ir dzelzsbetona tilti, 16 akmens un ķieģeļu tilti, 33 tērauda tilti un 7 koka tilti. Lielākā daļa no tiltiem ir būvēta pēc Otrā pasaules kara. Veicot regulāras tiltu inspekcijas ir konstatēts, ka apmēram 60% no ekspluatācijā esošajiem tiltiem var redzēt dažādas pakāpes bojājumus, kas ietekmē tilta nestspēju. Tiltu bojājumu attīstību ietekmē tādi faktori kā konstrukcijas novecošanās, nekvalitatīvi materiāli un būvniecība, nepietiekoša uzturēšana, pieaugošās satiksmes slodzes un vides piesārņojums. Nepieciešamie rekonstrukcijas vai remontdarbi prasīs ievērojamu līdzekļu daudzumu, ko pie esošās finansiālās situācijas būs grūti nodrošināt, tādēļ ir svarīgi precizēt faktisko slodžu iedarbju lielumus, lai objektīvi novērtētu konstrukciju nestspēju un noteiktu robežas, kurās esošās tiltu konstrukcijas ir drošas ekspluatācijai.

Tiltu projektēšanā Latvijā tiek lietotas Eirokodeksā LVS EN 1991 2.daļā „Satiksmes slodzes tiltiem” paredzētais transporta slodzes modelis LM1, kas iegūts astoņdesmito gadu beigās kalibrējot smagās satiksmes datus. Šie dati iegūti Francijā, divu nedēļu transportlīdzekļu skaitīšanas laikā uz autoceļa A6 Parīze – Liona.

Jaunu konstrukciju drošums pieaug, jo tiek pielietoti augstākas kvalitātes materiāli ar lielāku veiktspēju, uzlabojas darbu izpildes kvalitāte, un tiek pilnveidotas analītiskās un skaitliskās konstrukciju analīzes metodes. Eksploatācijā esošu tiltu drošuma novērtēšanai tiek lietota Eirokodeksā dotā vispārējā pieeja. Tomēr šādas pieejas piemērošana eksploatācijā esošām tiltu konstrukcijām dod nepamatoti zemu tās nestspējas novērtējumu, jo ņem vērā jaunām konstrukcijām paredzēto normatīvo transporta slodzi un normatīvos dotos materiāla raksturojumus. Tai pašā laikā faktiskā transporta slodze un faktiskie tilta konstrukciju materiālu raksturojumi var ievērojami atšķirties.

Satiksmes slodzes noteikšana līdz šim bija ilgstošs un darbietilpīgs process, kura laikā uz ceļa, speciāli ierīkotās vietās, skaitīja un svēra smagās automašīnas. Iegūtos datus izmantoja satiksmes slodzes pieauguma prognozēšanai. Iegūtie dati bija aptuveni un neprecīzi un tomēr, balstoties uz tiem, tika izstrādātas normatīvās slodzes modeļi tiltu aprēķiniem un projektēšanai.

Pēdējos gados ir attīstījušās jaunas metodes, kas pietiekoši precīzi var noteikt faktisko satiksmes slodžu lielumu, sastāvu un intensitāti, kādu uzņem eksploatācijā esošie tilti. Pie šādām metodēm pieder „automašīnas parametru mērīšana kustībā”, visbiežāk tiek lietots angļu valodas apzīmējums „weight in motion” (WIM), kas šajā pētījumā tiks lietots arī turpmāk. Šī metode paredz tādas mērinstrumentu sistēmas pielietošanu, kas atļauj mērīt transportlīdzekļu masu, katras riteņu ass slodzi, asu skaitu un ātrumu, to neapstādinot.

Tilti un ceļa pārvadi uz Latvijas autoceļiem un pilsētās ir būvēti dažādos laika posmos, izmantojot atšķirīgas normatīvās satiksmes slodzes, atšķirīgas prasības būvmateriāliem un būvdarbu tehnoloģijām, tomēr tiem ir jānodrošina vienādi droši eksploatācijas apstākļi. Tilti ir ilglaicīgas konstrukcijas, un to kalpošanas laiks bieži vien pārsniedz 100 gadus (Paeglītis, An., Paeglītis, Ai., 2012). Normatīvās aprēķinu slodzes tiltu projektēšanā Latvijā sāka lietot ap 1900.gadu. Gadsimta laikā tās ir mainījušās vairāk kā sešas reizes, ar katru reizi pieaugot transporta līdzekļa masai, kas tiek ņemta vērā projektējot jaunus tiltus. Pieaugot zināšanām par konstrukciju darbību, mainās konstrukciju aprēķinu metodes, tām kļūstot arvien precīzākām. Līdz ar to, pārvērtējot iepriekšējos gados uzbūvēto tiltu nestspēju, var noteikt to atbilstību mūsdienu transporta slodzēm. Ņemot vērā Eirokodeksos norādītās normatīvās

kustīgās slodzes, bieži vien, „vecu” tiltu nestspēja tiek novērtēta, kā nepietiekoša. Kaut gan to nestspēja ir pietiekoša faktisko slodžu uzņemšanai.

Tādēļ ir svarīgi noteikt un analizēt faktiskās transporta slodzes, to sastāvu un sadalījumu, analizējot ar WIM iegūtos datus un izstrādāt Latvijas autoceļiem raksturīgu transporta slodzes modeli ekspluatācijā esošu tiltu nestspējas noteikšanai.

1.2. Darba mērķis

Izstrādāt Latvijas autoceļiem raksturīgus satiksmes slodzes modeļus tiltiem ar laidumu garumiem līdz 30 metriem, izmantojot datus, kas ar „weight in motion” metodi iegūti uz autoceļa A4 (Baltezers – Saulkalne), un analizēti, izmantojot uz varbūtību balstītas analīzes metodes.

Noteikt raksturīgos transportlīdzekļu veidus, kas visbiežāk ir sastopami uz Latvijas autoceļiem, kā arī noteikt Eirokodeksā LVS EN 1991-2 dotā slodzes modeļa LM1 regulējošā koeficienta α rekomendējamās vērtību ekspluatācijā esošo tiltu nestspējas novērtēšanai, ņemot vērā iegūtos satiksmes slodžu modeļus.

1.3. Pētījuma uzdevumi

1. Izvērtēt iepriekš veiktos pētījumus par satiksmes slodžu modelēšanas metodēm, kur pamatā izmantoti ar WIM sistēmu iegūtie slodžu modeļi tiltu nestspējas novērtēšanai. Analizēt un izvērtēt Latvijā vēsturiski lietoto tiltu satiksmes slodžu modeļu raksturojumus.
2. Izstrādāt satiksmes slodzes modelēšanas metodi, kas balstīta uz statistiskās analīzes un varbūtību teorijas aprēķina, raksturīgo satiksmes ass slodžu un ģeometrisku parametru atlasei, biežuma un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvo raksturlielumu sadalījuma konstruēšanai, korelāciju noteikšanai starp dotajiem svāra, asu skaita un ģeometriskajiem parametriem.
3. Noteikt Latvijai raksturīgās autoceļu satiksmes slodzes raksturojumus, izmantojot WIM datus, kas iegūti uz autoceļa A4 (Baltezers – Saulkalne).
4. Izstrādāt satiksmes slodzes modeļus tiltiem ar laidumu garumiem līdz 30 metriem, ņemot vērā Latvijai raksturīgās autoceļu satiksmes slodzes raksturojumus.

5. Noteikt Eirokodeksā LVS EN 1991-2 dotā slodzes modeļa LM1 regulējošā koeficienta α rekomendējamo vērtību, ņemot vērā Latvijai raksturīgās autoceļu satiksmes slodzes raksturojumus.

1.4. Aizstāvēšanai izvirzītie pētījumu rezultāti

- Latvijai raksturīgās autoceļu satiksmes slodzes raksturojumi, kas iegūti, izmantojot WIM datus.
- Izstrādātie satiksmes slodzes modeļi tiltiem ar laidumu garumiem līdz 30 metriem, ņemot vērā Latvijai raksturīgās autoceļu satiksmes slodzes raksturojumus.
- Izstrādāta modelēšanas metode satiksmes slodžu datu apstrādei, kas izmanto statistisku un varbūtību teorijas pieeju datu analīzē ļaujot noteikt faktisko slodžu veidu, slodžu sadalījumu pa transportlīdzekļu asīm, kumulatīvo transportlīdzekļu masas un ass slodzes sadalījumu.
- Eirokodeksā LVS EN 1991-2 dotā slodzes modeļa LM1 regulējošā koeficienta α rekomendējamās vērtības tiltiem ar laidumu garumiem līdz 30 metriem, ņemot vērā Latvijai raksturīgās autoceļu satiksmes slodzes raksturojumus.

1.5. Darba zinātniskā novitāte

- Izstrādāti satiksmes slodzes modeļi tiltiem ar laidumu garumiem līdz 30 metriem, ņemot vērā Latvijai raksturīgu autoceļu satiksmes slodzes raksturojumu.
- Izstrādāta satiksmes slodzes modelēšanas metode, kas balstīta uz statistiskās analīzes un varbūtību teorijas aprēķina, satiksmes ass slodžu un ģeometrisko parametru atlasei, biežuma un kumulatīvo raksturlielumu sadalījumu konstruēšanai, korelāciju noteikšanai starp dotajiem svāra, skaita un ģeometriskajiem parametriem, kā arī slodžu modeļu izstrādei.
- Noskaidroti Latvijai raksturīgie autoceļu satiksmes slodzes raksturojumi.
- Noteikta, Eirokodeksā LVS EN 1991-2 dotā, slodzes modeļa LM1 regulējošā koeficienta α rekomendējamā vērtība Latvijas apstākļos.

1.6. Darba praktiskā vērtība

Izstrādāta WIM datu statistiskās analīzes metode un uz varbūtībām balstīta aprēķinu metode Latvijai raksturīgās autoceļu satiksmes slodzes raksturojumu iegūšanai.

Izstrādāti satiksmes slodzes modeļi tiltiem ar laidumu garumiem līdz 30 metriem, Latvijas apstākļos. Iegūtie rezultāti ļaus optimizēt tiltu rekonstrukcijas darbu plānošanu un palielināt drošību uz Latvijas autoceļiem. Izstrādātā satiksmes slodzes modeļa pielietošana ļaus tādiem tiltu apsaimniekotājiem kā VAS „Latvijas Valsts ceļi” vai pašvaldībām, pieņemt motivētus lēmumus tiltu konstrukciju izvērtēšanā un saglabāšanā, tā ietaupot valsts līdzekļus jaunu tiltu būvniecībai un rekonstrukcijai.

Noteikto, Eirokodeksa LVS EN 1991-2 dotā, slodzes modeļa LM1 regulējošā koeficienta α rekomendējamo vērtību Latvijas apstākļos, rekomendējams ietvert LVS EN 1991-2 Nacionālā pielikumā, ekspluatācijā esošo tiltu nestspējas novērtēšanai.

1.7. Disertācijas uzbūve

Disertācija sastāv no astoņām nodaļām.

Pirmajā nodaļā ir skaidrota tēmas aktualitāte, noteikts darba mērķis un risināmie uzdevumi, kā arī formulēti aizstāvēšanai izvirzītie pētījuma rezultāti, darba zinātniskā novitāte un praktiskā vērtība.

Otrajā nodaļā ir veikts īss iepriekš veikto pētījumu izvērtējums. Tiek aplūkoti pētījumi trīs virzienos: satiksmes slodžu modelēšana, WIM datu pielietošana satiksmes slodžu modelēšanai, ekspluatācijā esošu tiltu nestspējas novērtēšanas metodes, izmantojot izstrādātos satiksmes modeļus. Iegūti secinājumi, ka satiksmes un tās sastāva novērtējums katrā valstī atšķiras un tos nav iespējams tiešā veidā izmantot Latvijai apstākļiem, tādēļ ir nepieciešams veidot savus, Latvijai atbilstošus slodžu modeļus, kuru izveidošanai izmantot ilgtermiņa WIM datus. Turpat ir analizētas Latvijā lietotās vēsturisko un mūsdienu tiltu projektēšanai izmantotās satiksmes slodzes, parādīta satiksmes slodžu modeļu attīstība un slodžu vērtību pieaugums.

Trešajā nodaļā ir izstrādāta uz statistiku un varbūtībām balstīta metode satiksmes slodzes datu analīzei, izmantojot WIM datus. Nodaļā paskaidrotas galvenās statistiskās analīzes metodes un uz varbūtībām balstītās aprēķinu un modelēšanas metodes satiksmes ass slodžu un ģeometrisku parametru atlasei, biežuma un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvo

raksturlielumu sadalījuma konstruēšanai, korelāciju noteikšanai starp dotajiem svāra, skaita un ģeometriskajiem parametriem, kā arī slodžu modeļu izstrādei.

Ceturtajā nodaļā ir aprakstīta WIM tehnoloģija datu iegūšanai. Analizētas sistēmas pozitīvās un negatīvās īpašības, kā arī iztirzāta iegūto datu kvalitāte.

Piektajā nodaļā veikta WIM iegūto datu analīze. Noskaidroti Latvijai raksturīgās autoceļu satiksmes slodzes raksturojumi. Iegūtas slodžu sadalījuma histogrammas, noteikti smagāko asu novietojums, veikta transportlīdzekļu ātruma un intensitātes analīze un to svāra korelācijas.

Sestajā nodaļā ir izstrādāti un analizēti Latvijas tiltiem raksturīgie satiksmes slodžu modeļi. Noteikti raksturīgākie konstrukciju veidi Latvijas tiltiem. Pētīta to ietekme uz dažāda laiduma garumu vienkāršas, divbalstu sijas un nepārtauktas trīsleidumu sistēmas tiltiem un noteikti trīs svarīgākie Latvijai raksturīgo satiksmes slodžu modeļu veidi.

Septītajā nodaļā ir noteikta Eirokodeksā LVS EN 1991-2 dotā slodzes modeļa LM1 regulējošā koeficienta α rekomendējamā vērtība Latvijas apstākļos.

Astotajā nodaļā ir doti galvenie secinājumi.

1.8. Atbalsts darbam

- Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā „Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai”.
- Darbs veikts Valsts pētījumu programmas Nr.2010. 10-4/VPP-5 Vietējo resursu (zemes dzīļu, meža, pārtikas un transporta) ilgtspējīga izmantošana - jauni produkti un tehnoloģijas (NatRes) (2010 – 2014), projekta Nr.4 „Drošas un ilgtspējīgas autoceļu transporta infrastruktūras attīstība (DIATIA)” ietvaros.

1.9. Darba aprobācija un publikācijas

Promocijas darba rezultāti ir publicēti zinātniskos žurnālos un apspriesti starptautiskās zinātniskās konferencēs:

Publikācija zinātniskā žurnālā, kas citēts SCOPUS datu bāzē:

1. Paeglītis An., Paeglītis Ai., Vītiņa I., Igaune S. (2012.) Study and renovation of historical masonry arch bridge, *The Baltic Journal of Roads and Bridge Engineering*, (pieņemts publicēšanai).

Publikācija grāmatā, kas citēta SCOPUS datu bāzē:

2. Paeglītis An., Paeglītis Ai. (2012.) Investigation and upgrading of a historical multispan arch masonry Bridge. In: Biondini, F., Frangopol, D., M. (Eds). *Bridge Maintenance, Safety, Management, Resilience and Sustainability*. Taylor&Francis Group, London, 1086-1093.

Publikācijas zinātniskā žurnālā, kas citēts EBSCO datu bāzē:

3. Paeglītis An., Paeglītis Ai. (2010). Simple classification method for the Bridge capacity rating, *RTU zinātniskie raksti. Būvzinātne (Construction science)*, Sērija 2. Sējums 11.: 44-50.
4. Paeglītis An., Paeglītis Ai., Lācis R. (2012.) Weight-in motion data analysis of vehicle loads of A4 motorway in Latvia, *RTU zinātniskie raksti. Būvzinātne (Construction science)*, Sērija 2. Sējums 13.

Tēzes un ziņojums starptautiskās zinātniskās konferencēs:

5. Paeglītis An., Paeglītis Ai. (2009.) Restoration of masonry arch bridge over Venta River in Kuldīga, Tēžu krājums, 27. *Starptautiskā Baltijas Ceļu konference, Rīga, 2009.gada 24. – 26.augusts*, 6 lpp.
6. Paeglītis An., Paeglītis Ai. (2010.) Simple classification method for the Bridge capacity rating, *RTU 51. Starptautiskā zinātniskā konference, Rīgā, 2010.gada 13.oktobrī.*
7. Paeglītis An., Gode K., Straupe V., Paeglītis Ai. (2011.) Satiksmes slodžu sastāva un intensitātes analīze uz Latvijas tiltiem, *Apvienotais Pasaules Latviešu Zinātnieku III. kongress "Zinātne, sabiedrība un nacionālā identitāte," sekcijas "Tehniskās zinātnes" tēžu krājums, 2011.g. 24.-27.okt., Rīgā*, 1.lpp.
8. Paeglītis An., Paeglītis Ai. (2012.) Investigation and upgrading of a historical multispan arch masonry Bridge, *Proc. of 6th International conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS 2012), Stresa, Italy, July 8-12, 2012*, P 8.

2. VEIKTO PĒTTĪJUMU APSKATS UN APRĒĶINA SATIKSMES SLODŽU MODEĻU RAKSTUROJUMS

Tiltu nestspēja ir lielā mērā atkarīga gan no faktiskās satiksmes slodzes, gan konstrukcijas tehniskā stāvokļa. Daudzi pētnieki ir pievērsušies šo jautājumu izpētei. Šajā nodaļā ir aplūkoti svarīgāko pētījumu rezultāti, kas veikti satiksmes slodzes, tiltu nestspējas un slodzes modeļu prognozēšanas metožu jomā, kā arī dots dažāda laika aprēķina satiksmes slodžu raksturojums.

2.1. Satiksmes slodžu modelēšana

Satiksmes slodze ir viens no grūtāk nosakāmiem mainīgajiem lielumiem, kuras nenoteiktība ievērojami ietekmē tiltu elementu aprēķina rezultātus. Dažādu valstu būvnormatīvos dotie kustīgo slodžu modeļi ir ļoti konservatīvi un paredzēti, galvenokārt, jaunu konstrukciju projektēšanai. Dažādi slodžu modeļu apraksti doti šādās publikācijās (Nowak, 1989), (Nowak, 1991), (Nowak, 1993), (Znidaric, 1995), (Vrouwenvelder, 1992), (Waarts, 1992), (Van_De_Lindt, 2004), (Laman, 1997), (Ricketts, 1997). Lielākā daļa no šiem modeļiem ir izstrādāti izmantojot īslaicīgus smagā transporta plūsmas novērojumus, pēc kuriem tiek prognozētas slodzes ilgtermiņa iedarbes. Iegūtie satiksmes slodžu modeļi ir paredzēti tiltu projektēšanai un balstās uz lieces momenta piepūlēm laiduma vidū, tomēr šie modeļi nav pietiekoši precīzi citu piepūļu ievērtēšanai (piemēram, bīdes).

Satiksmes slodzes radītie efekti ir atkarīgi no tādiem nejaušiem mainīgajiem, kā satiksmes līdzekļu svara, ass slodzes, attālums starp asīm, kustības ātrums utt.. Satiksmes slodžu modeļu izstrādāšanai, kas ņemtu vērā dažādu nejaušo mainīgo ietekmi, tiek pielietotas varbūtību metodes. Detalizētu faktisko satiksmes slodzes modeļi vidēja un liela laiduma tiltiem savās publikācijās ir attīstījis (Bailey, 1996), (Bailey, 1999), (Bez, 1987). Satiksmes modelis ir veidots balstoties uz Šveices satiksmes skaitīšanas datiem un analizēts ar varbūtību metodēm. Šveices Satiksmes ministrija (ASTRA, 2006) 2006.gadā veica esošo tiltu nestspējas pārvērtēšanu izmantojot faktiskās satiksmes slodzes modeļus. Pētījuma rezultātā tika precizēts būvnormatīvā SIA 261 (SIA_261, 2003) dotā slodzes modeļa regulējošais koeficients α (slodzes modelis līdzīgs kā Eirokodeksā EN 1991-2 (LVS_EN_1991-2, 2003) un iegūti dati par ekspluatācijā esošo tiltu nestspējas atbilstību faktiskajām satiksmes slodzēm.

Uz varbūtību balstītus satiksmes slodžu modeļu savos darbos ir aprakstījuši (Caprani, 2005), (OBrien, 2005), (Caprani, 2005), (OConnor, 2001), (Getachew, 2007), (Kozikowski, 2009) un citi autori. Šie modeļi ir balstīti uz vietējās transporta plūsmas analīzi un paredzēti pielietošanai atbilstošā valstī. Satiksmes slodžu ekstrēmās vērtības un to ietekme uz kopējo slodzes modeli ir pētītas (Caprani, 2009), (OConnor, 2005), (Siegert, 2008). Slodzes modeļu veidošanas principi lieliem tiltiem, kuru laidumi pārsniedz 200 m, ar mikrosimulāciju metodi ir aprakstīti (Lutomirska, 2009), (Hayrapetova, A.,A., OConnor, A.,J., OBrien, E.,J., 2012) pētījumos. Konstatēts, ka satiksmes slodzes lielā mērā ir atkarīgas no transportlīdzekļu ātruma, attāluma starp tiem, kustības joslas maiņas un citiem faktoriem, kas tik viegli nepadodas modelēšanai. Tādēļ precīzi modeļi liela laiduma tiltu slodzes modelēšanai vēl nav izstrādāti. Liela laiduma tiltiem, kas būvēti pagājušajā gadsimtā attīstās dažādi bojājumi, kas samazina to nestspēju, tai pašā laikā transporta slodzes ar katru gadu pieaug. Lai samazinātu slodzes radītos efektus daži autori (OBrien, E.,J., OConnor, A.,J., Arrigan, J.,E., 2012), (Renehan, N.,S., Caprani, C.,C., 2012), (Caprani, C.,C., Enright, B., Carey, C., 2012) norāda uz nepieciešamību kontrolēt satiksmes plūsmu un kustības joslu maiņu ar WIM mērījumiem un barjeru sistēmu, tā samazinot slodzes ietekmi uz tilta konstrukcijām par 2 – 10%.

Satiksmes slodžu dinamiskās iedarbes, izmantojot WIM datus ir analizētas (Nassif, 2005), (OBrien, 2009) pētījumos.

Pilnās un nepilnās varbūtību metodes ir pielietotas dažādu valstu slodžu modeļu izstrādāšanai. Tās tiek izmantotas gan Kanādas autoceļu tiltu projektēšanas būvnormatīvā (CAN/CSA-S6-00 Canadian Highway Bridge Design Code, 2000), gan ASV autoceļu tiltu projektēšanas būvnormatīvā (ASHTO_LRFD, 2007), gan Eirokodeksā (LVS_EN_1991-2, 2003).

2.2. „Weight-in-motion” WIM datu pielietojums satiksmes slodžu modelēšanai

„Automašīnas parametru mērīšana kustībā” vai „weight in motion” (WIM) tehnoloģija atļauj iegūt objektīvu informāciju par satiksmes plūsmas sastāvu, kas ļauj modelēt satiksmes slodzi uz tiltiem. WIM tehnoloģiju apraksts un iegūto datu analīzes metodes ir parādītas šādās publikācijās: (Schnellen_Bach-Helden, 2007), (OConnor, A., 2008), (Rowley, 2008), (Pratt, 1998), (Peters & Koniditsiotis, 2000). Vairāki autori (Treacy, M., Bruhwiler, E., 2012) parāda, ka WIM datu izmantošana atļauj veikt konstrukciju noguruma prognozēšanu, ņemot vērā faktisko satiksmes sastāvu. Pētījumos iegūtie rezultāti parāda WIM datu efektivitāti, salīdzinot ar citām datu iegūšanas metodēm, piemēram, transportlīdzekļu svēršanu ceļa malā.

WIM tehnoloģija ir ekonomiski izdevīga, jo automātiskā datu iegūšana palēcina datu iegūšanas procedūru.

Šobrīd WIM tehnoloģijas faktisko satiksmes slodžu noteikšanai sāk izmantot vairākās valstīs. Dažādās konferencēs ir pieejami dati par WIM izmantošanu satiksmes slodžu modelēšanai Venecuēlā (Fargier, 2010), Ķīnā (Ruan, 2010), Francijā un Zviedrijā (Dolcemascolo, 2008), Brazīlijā (Goldsmān, 2008), Spānijā (Leal, 2008). Pētījumu rezultāti rāda, ka pielietojot WIM tehnoloģijas ir iespējams iegūt objektīvu satiksmes raksturojuma statistiku un tas nodrošina daudz precīzāku satiksmes slodžu modeļu izstrādāšanu. Tomēr iegūtie satiksmes slodžu modeļi ir raksturīgi tikai konkrētai valstij ar sev raksturīgu transporta plūsmas sastāvu un tos tieši pielietot citās valstīs tiltu nestspējas novērtēšanai nav rekomendējams.

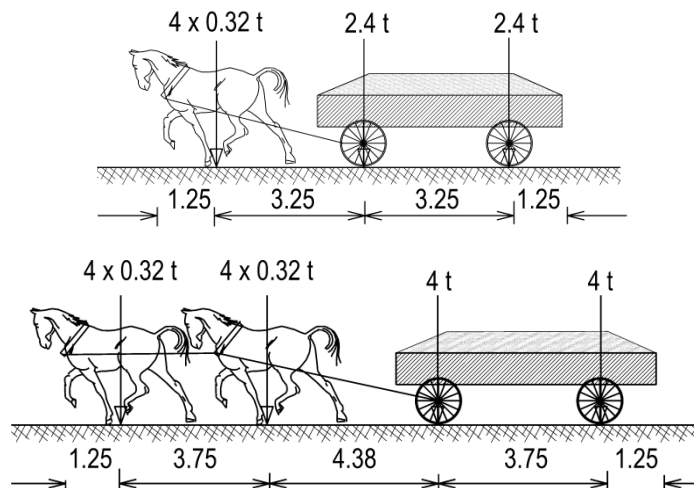
2.3. Eksploatācijā esošu tiltu nestspējas novērtēšana

Eksploatācijā esošu tiltu nestspējas novērtēšanas metodes balstās uz konstrukcijas tehniskā stāvokļa novērtējumu un faktiskās satiksmes slodzes analīzi. Faktiskās satiksmes slodzes izmantošana nestspējas aprēķinos ir aprakstīta šādos rakstos: (Kudzys, 2009), (ASTRA, 2009), (ASHTO, 2003), (OBrien, 2008), (OConnor, 2007). Metodes tiltu minimālā drošuma līmeņa noteikšanai ir dotas šādos rakstos: (Bruhwiler, 2002), (Bruhwiler, 2010), (Zhao, 2011). Iegūtie rezultāti rāda, ka faktiskās satiksmes slodzes ir līdz 50% mazākas kā tās, kas paredzētas būvnormatīvos. Līdz ar to, izmantojot būvnormatīvos dotās raksturīgās satiksmes slodzes, iegūstam tiltu konstrukcijas ar lielu nestspējas rezervi, kas ne vienmēr ir ekonomiski attaisnojams. Pētot slodžu regulējošā koeficienta α vērtības, ir konstatēts, ka tās, lielā mērā, ir atkarīgas gan no tilta laiduma garuma, gan brauktuves platuma, gan ceļa kategorijas.

2.4. Aprēķina satiksmes slodžu attīstības vēsturisks apskats

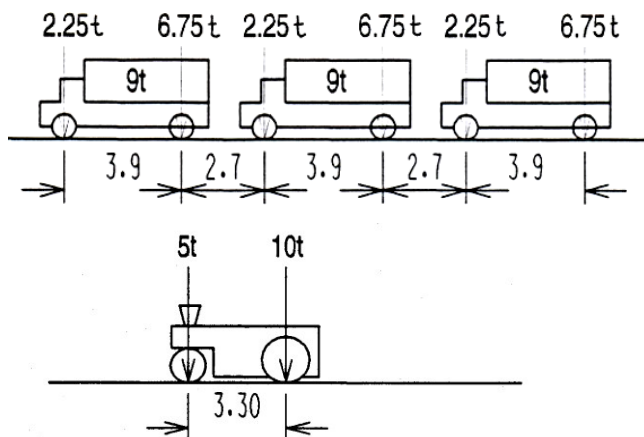
2.4.1. Aprēķina satiksmes slodzes laika posmā no 1900. līdz 1945. gadam

Gadsimta sākumā būvētiem tiltiem, apmēram no 1900.gada līdz 1915. - 1920. gadam, kā aprēķinu slodzi izmantoja zirgu pajūgu un pūļa slodzi (Gailis, 2002) (Ciguļskij, 1911). Uz tiltiem, kas atradās pilsētu tuvumā, paredzēja vezuma pajūgu rindu ar viena vezuma masu 500 pudi un 8 zirgiem 2.1.att. ar kopējo vienas vienības masu 660 pudi vai 10.56 t. Cilvēku pūļa masu pieņēma 400 kg/m^2 . Tā varēja atrasties vai nu tikai uz ietvēm vai uz visas brauktuves.



2.1. att. Aprēķina satiksmes slodžu shēma tiltiem, kas būvēti no 1990. līdz 1920.gadam

Laika periodā no 1915. līdz 1930. gadam izmainījās satiksmes sastāvs, vairāk tika lietotas automašīnas, līdz ar to izmainījās aprēķina slodžu veids un pieauga to raksturīgās vērtības. Kā aprēķina slodzes tika pielietots ceļa būves veltnis 2.2. att. ar masu 11.5 -15 t, kā arī kravas automašīnu rinda ar vienas automašīnas masu 9 t un gājēju slodzi uz ietvēm - 550 Kg/m².



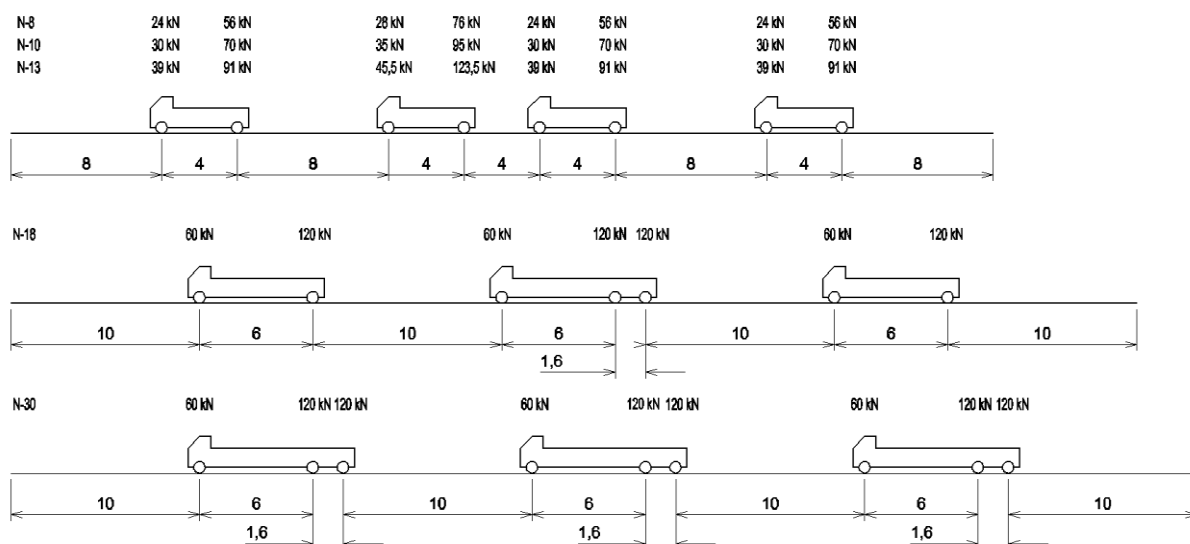
2.2.att. Aprēķina satiksmes slodžu shēmas laika periodā no 1915. līdz 1930. gadam

Laikā posmā no 1930. līdz 1945. gadam pieauga slodžu raksturīgās vērtības un tika ievērtēti jauni tālaika slodžu veidi - kāpurķēžu tanki ar masu 36 t un 50 t. Ceļu būves veltna masa palielinājās līdz 17.5 un 24 t.

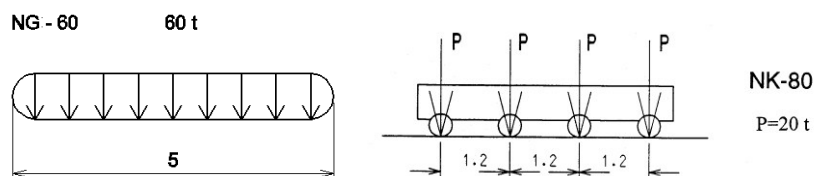
2.4.2. Aprēķina satiksmes slodzes laika posmā no 1945.gada līdz 2000.gadam

Laika posmā no 1945. līdz 2000.gadam tiltu projektēšanai tika izmantoti PSRS būvnormatīvi.

No 1945.gada līdz 1953.gadam spēkā bija būvnormatīvs, kas paredzēja izmantot aprēķina satiksmes slodžu modeļus N-8, N-10, vai N-13 (Vinogradski, D.J., Rudenko, J.D., Škuratovski, A.A., 1983). Šī slodze sastāvēja no automašīnu rindas, kuras smagākā transporta līdzekļa masa bija 8t, 10t vai 13t 2.3.att. Papildus automašīnu rindu slodzei, tilta laidumu pārbaudīja arī ar atsevišķu smagsvara slodzi, kuru uz laiduma konstrukcijas novietoja vienu pašu. Kā atsevišķu smagsvara slodzi izmantoja 60t smagu kāpurķēžu tanku 2.4.att. Aprēķina slodzes veidu noteica pasūtītājs, atkarībā no ceļa kategorijas, uz kuras atradās tilts.



2.3.att. Aprēķina satiksmes slodžu shēmas, kas lietotas no 1945. līdz 1953.gadam



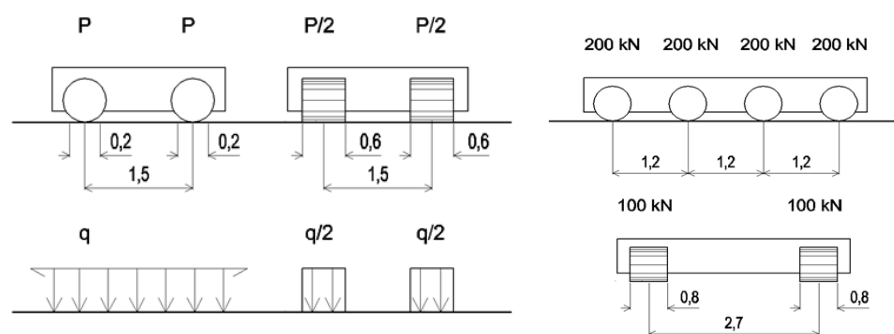
2.4.att. Kāpurķēžu NG-60 un četrasu transportlīdzekļa NK-80 slodžu shēmas

No 1953.gada līdz 1962.gadam spēkā bija būvnormatīvs, kas noteica, ka projektējot tiltus uz I. un II. kategorijas autoceļiem ir jāizmanto aprēķina satiksmes slodzes pēc shēmas N-18 (autokolonna ar smagākās mašīnas svaru 18 t) 2.3.att., kā arī NK-80 2.4.att, kas sastāvēja no 80 t smaga četrasu transportlīdzekļa, kuru uz laiduma konstrukcijas novietoja vienu pašu. Tiltiem, kas atradās uz III. kategorijas autoceļiem, izmantoja slodzes N-13 un

NG-60 2.4.att., bet IV. kategorijas ceļiem – normatīvo slodzi NG-30, kas sastāvēja no 30t smaga kāpurķēžu traktora, kuru uz laiduma konstrukcijas novietoja vienu pašu.

No 1962.gada līdz 1986.gadam spēkā bija būvnormatīvs SN 200-62 (SN_200-62, 1962), kas noteica, ka tērauda un dzelzsbetona tiltu projektēšanai jāizmanto aprēķina satiksmes slodzes pēc shēmas N-30 (autokolonna ar mašīnas svaru 30 t), kā arī smagsvara slodzi NK-80. Koka tiltu projektēšanai tika pielietota raksturīgā satiksmes slodze N-10 un NG-60.

No 1986.gada līdz 2010.gadam spēkā bija būvnormatīvs SNIP 2.05.03-84 (SNIP_2.05.03-84, 1985), kas noteica, ka tiltiem ir jāizmanto aprēķina satiksmes slodzes pēc shēmām AK 2.5.att. un NK-80. Slodži AK veidoja vienmērīgi izkliedēta joslu slodze ar intensitāti $0.98K$ [kN/m] ($K = 11$ vai 8) un divas tandēms ar ass slodzi $P = 9.81K$ [kN].



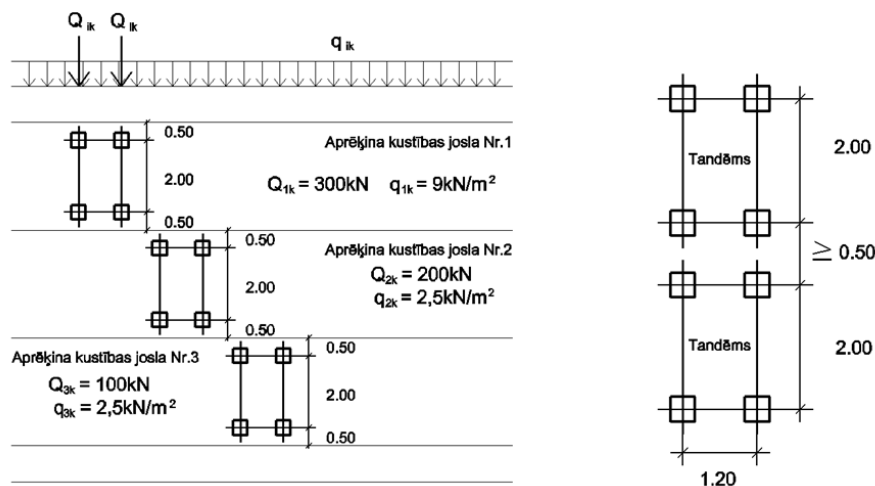
2.5. att. Divas tandēma un izkliedētās slodzes shēma AK un četras vilcēja slodzes shēma NK-80

2.4.3. Aprēķina satiksmes slodzes laika posmā no 2000.gada

Sākot ar 2000.gadu projektēšanai tiek izmantotas aprēķina satiksmes slodzes, kas paredzētas 1.Eirokeksā (LVS_EN_1991-2, 2003). No 2010.gada 1. Eirokekss ir obligāts visās Eiropas Savienības valstīs. Eirokekss paredzēts tiltu laiduma konstrukcijām ar garumu no 5 līdz 200 m un brauktuves platumu līdz 42 m.

Eirokekss paredz izmantot četrus aprēķina slodzes modeļus, no kuriem galvenais ir slodzes modelis LM1. Tas ir paredzēts galvenajām nestspējas un noturības pārbaudēm un sastāv no divām daļām:

- divu asu koncentrētas slodzes - tandēma, kur katras ass svars ir $\alpha_q Q_k$, ($Q_k = 100, 200$ un 300 kN), slodzē ietverts dinamiskais koeficients;
- vienmērīgi izkliedētās slodzes ar svara sadalījumu uz 1 m^2 - $\alpha_q q_k$, ($q_k = 2.5$ un 9 kN/m^2), slodzē ietverts dinamiskais koeficients. Kur α_q – regulējošs koeficients 2.6.att.



2.6.att. 1.Eirokodeksā paredzētais aprēķina slodzes modelis LM1

Gājēju slodze tiek raksturota ar aprēķina slodzes modeli LM4, kas sastāv no vienmērīgi izkliedētas slodzes (kurā ietverts dinamiskais koeficients), vienādas ar 5 kN/m^2 .

2.4.4. Aprēķina satiksmes slodžu salīdzinājums

Lai salīdzinātu, kādas faktiskās automašīnu slodzes var uzņemt tilta laiduma konstrukcija, kas projektēta, ņemot vērā dažāda laika aprēķina slodzes, ir veikts nestspējas aprēķins 27 m garam divbalstu siju tiltam ar divām kustības joslām. Tiek pieņemts, ka laiduma konstrukcijai nav bojājumu, kas samazinātu to nestspēju. Rezultāti apkopoti 2.1.tabulā.

2.1. tabula.

Satiksmes slodžu salīdzinājums

Slodzes modelis	Satiksmes slodze uz vienu kustības joslu	Satiksmes slodze uz visu laiduma konstrukciju
N-13, NG-60	automašīnu kolonna, kur viena automašīnas masa nepārsniedz 18 t, uz katru kustības joslu.	viens transportlīdzeklis uz tilta brauktuves ar masu no 18 – 60 t.
N-18, N-30, NK-80	automašīnu kolonna, kur vienas automašīnas masa nepārsniedz 30 t, uz katru kustības joslu.	viens transportlīdzeklis uz tilta brauktuves ar masu no 30 – 80 t.
A11, NK-80	automašīnu kolonna, kur vienas automašīnas masa nepārsniedz 40 t, uz katru kustības joslu.	viens transportlīdzeklis uz tilta brauktuves ar masu no 40 – 80 t.
1.Eirokodekss, SM1	automašīnu kolonna, kur vienas automašīnas masa nepārsniedz 70 t, uz katru kustības joslu.	viens transportlīdzeklis uz tilta brauktuves ar masu no 70 – 120 t.

Kā redzams no tabulas, dažāda laikposmā pielietotās aprēķina slodzes pieļauj uz tilta kustības joslām atšķirīga svara transporta līdzekļus. Transporta līdzekļu svara sadalījums pa asīm var būt atšķirīgs. Mūsdienu transporta līdzekļi ir garāki, ar lielāku asu skaitu un lielāku attālumu starp asīm, tādēļ to ietekme uz tiltu nestspēju daudzos gadījumos būs mazāka, jo attālums starp asīm ir tāds, ka tās nevar uzbraukt uz maza vai vidēja tilta laiduma vienlaicīgi. Tādēļ ir svarīgi noskaidrot Latvijas autoceļiem raksturīgos satiksmes slodžu modeļus un tie jāņem vērā pie maza un vidēja laidumu tiltu nestspējas pārbaudes.

2.5. Satiksmes slodžu raksturojums

Katru dienu pa Latvijas autoceļiem pārvietojas liels skaits dažāda veida satiksmes līdzekļu, kas atšķiras ar savu masu, garumu, platumu un augstumu, kā arī pārvietošanās ātrumu. Satiksmes slodzes, atkarībā no transportlīdzekļu masas un ģeometriskajiem parametriem, iedala: ikdienas, smagsvara un īpaši smagās slodzēs (Paeglītis, An., Paeglītis, Ai., 2010). Ikdienas slodzes, kuru lielumu nosaka Ministru Kabineta 2004. gada 29. jūnija noteikumu Nr.571 „Ceļu satiksmes noteikumi” 3.pielikums, var pārvietoties pa Latvijas autoceļiem bez jebkādiem ierobežojumiem, pārējo slodžu transportēšanai ir nepieciešamas speciālas atļaujas.

Ikdienas satiksmes slodzes ir transporta līdzekļi ar kopējo masu līdz 40 t, kuru vienas riteņu ass svars nepārsniedz 10 t, izņemot velkošo asi, kuras svars drīkst būt līdz 11.5 t. Izņēmums ir ISO 44 sešu asu treileris ar kopējo masu līdz 44 t un lielāko slodzi uz asi – 10 t, bet šis transporta līdzeklis ir 12.2 m garš. Ap 80% transporta līdzekļu, kas pārvietojas pa Latvijas autoceļiem, atbilst šiem noteikumiem. Pēc Starptautiskā transporta foruma organizācijas datiem (OECD/International_Transport_Forum, 2011), līdzīgi satiksmes slodzes ierobežojumi ir arī citās Eiropas valstīs 2.2.tabula.

2.2. tabula.

Svara ierobežojumi 5 un 6 asu transportlīdzekļiem atsevišķās Eiropas valstīs

Valsts	Masas ierobežojums	Valsts	Masas ierobežojums	Valsts	Masas ierobežojums
Austrija	40 t	Igaunija	40 t	Lietuva	40/44 t
Beļģija	44 t	Somija	42/48 t	Latvija	40/44 t
Bulgārija	40 t	Francija	40 t	Norvēģija	44 t
Čehija	42/48 t	Vācija	40 t	Zviedrija	48/60 t
Dānija	42/48 t	Ungārija	40/44 t	Lielbritānija	40/44 t

Smagsvara satiksmes slodzes ir transporta līdzekļi ar lielu masu, piemēram, dažādi smagie celtņi 2.7.att. un citas būvmašīnas, vai arī transporta līdzekļi, kas pārvadā smagu, nedalāmu kravu, un kuru masa pārsniedz „Ceļu satiksmes noteikumos” atļauto ikdienas satiksmes slodzes lielumu, tomēr nepārsniedz atļautā transportlīdzekļa divkāršu masu. Tie ir transporta līdzekļi, kuru pilnā masa ir no 45 līdz 80 t un līdz 6 riteņu asīm. Šāda transporta līdzekļa smagākās riteņu ass slodze nedrīkst pārsniegt 10 t, izņemot dzenošo asi, kuras slodze nedrīkst pārsniegt 11.5 t. Slodze uz vienu dubulto riteni nedrīkst pārsniegt 5 t, bet, ja uz vienas ass atrodas vairāk par diviem dubultajiem riteņiem, tad lielākā slodze uz vienu dubulto riteni - nepārsniedz 3 t. Tiek pieņemts, ka šādas kravas tiek transportētas tikai dažas reizes nedēļā. Šāda transporta līdzekļa kustības laikā uz tilta nedrīkst atrasties citi transporta līdzekļi un to kustībai ir nepieciešama ceļa īpašnieka atļauja.

Īpaši smaga transporta slodze rodas no smagā transporta satiksmes līdzekļiem, kuri pārvadā nedalāmu kravu un kuru masa pārsniedz 80 t 2.8.att. Šādu transporta līdzekļu kustībai tiek izstrādātas speciālas trases pār tiltiem, kas spēj uzņemt paredzēto slodzi. Īpaši smagu



2.7.att. Smagsvara satiksmes slodzes piemērs: KATO celtnis ar masu 61 t



2.8.att. Īpaši smagas satiksmes slodzes piemērs, 140 t smaga konstrukcija

transportlīdzekļu kustības laikā uz tilta nedrīkst atrasties citi transporta līdzekļi un tās transportēšanai ir nepieciešama speciāla atļauja un policijas eskorts. Tiek pieņemts, ka šādas kravas tiks transportētas tikai dažas reizes gadā.

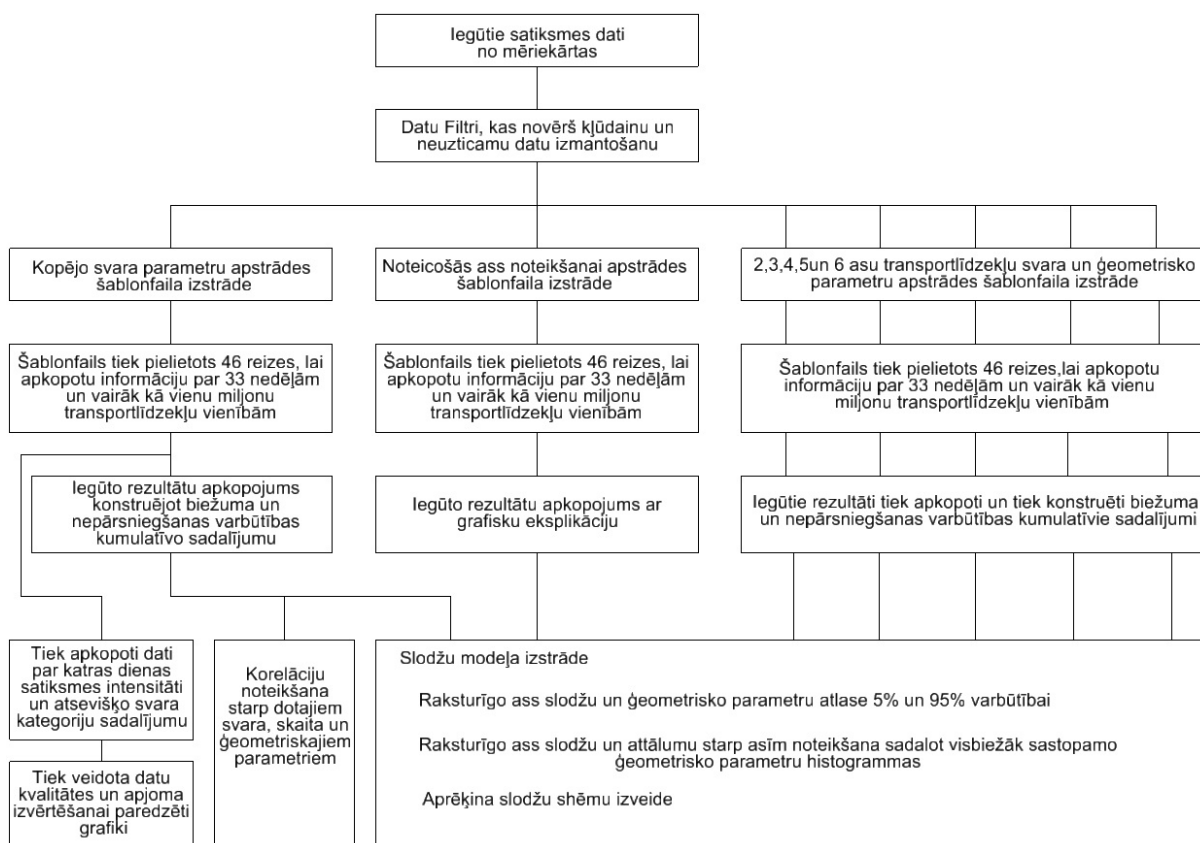
Smago un īpaši smago transporta līdzekļu skaits sastāda ap 20% no kopējā transportlīdzekļu skaita. Tādēļ ir svarīgi noskaidrot Latvijas autoceļiem raksturīgos smago un īpaši smago transportlīdzekļu slodzes modeļus, lai varētu tos izmantot esošo tiltu nestspējas novērtēšanai.

3. SATIKSMES SLODZES DATU ANALĪZES METODE

3.1. Satiksmes slodžu analīzes metodes vispārīgs apraksts

Satiksmes slodžu analīze balstās un matemātiskās statistikas un varbūtību teorijas pamatprincipiem. Statistika tiek izmantota vajadzīgo datu savākšanai, apstrādei un rezultātu interpretācijai. Varbūtību teorija tiek izmantota kvantitatīvai riska un nenoteiktību raksturošanai. Pētījumā ir izmantotas un analizētas teorētiskās sakarības, kas dotas (Krastiņš, 1978), (Gailis, 2002), (Bailey, 1996) un (Kronbergs, 1988).

Satiksmes slodžu dati pētījumā ir analizēti, izmantojot 3.1. attēlā doto blokshēmu. Pielietotās metodes datu apstrādē izklāstītas tālākās nodaļās.



3.1. att. Satiksmes slodzes datu analīzes metodes blokshēma

3.2. Iegūtie satiksmes izejas dati

Pētījumā tiek analizēti dati, kas iegūti no VAS „Latvijas Valsts ceļi” WIM datu reģistrācijas iekārtām, un apkopoti Microsoft Excel failu formātā. Datu reģistrācijas iekārtas un metodes ir aprakstītas 4. nodaļā. Vienā failā esošo datu apjoms atbilda vienas līdz septiņu

dienu mērījumiem un ietvēra informāciju par 48 000 transporta vienībām. Par vienu transporta līdzekli tika iegūti šādi dati: mērījuma Nr., datums, laiks, josla, virziens, attālums līdz nākamajam transporta līdzeklim, ātrums, transporta līdzekļa kopējais garums, klase, asu skaits, attālums starp asīm, katras ass slodze. Izejas datu faila piemērs parādīts 3.2.attēlā.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Survey_Data_ID	Data_GMT	Data_Date	Data_Time	Channel	Direction	Gap	Headway	Speed	Length	Class
2	1	2004.01.04	2004.01.05	123	2	1	1229	1230	99	506	1
3	2	2004.01.04	2004.01.05	449	2	1	3264	3265	108	576	2

	L	M	N	O	P	Q
1	Number_Of_Axles	Axle_Separation_1	Axle_Separation_2	Axle_Separation_3	Axle_Separation_4	Axle_Separation_5
2	2	251	0	0	0	0
3	2	299	0	0	0	0

	R	S	T	U	V	W
	Axle_Separation_6	Axle_Separation_7	Axle_Separation_8	Axle_Separation_9	Axle_Separation_10	Axle_Separation_11
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0

	X	Y	Z	AA	AB	AC
1	Axle_Weight_1	Axle_Weight_2	Axle_Weight_3	Axle_Weight_4	Axle_Weight_5	Axle_Weight_6
2	134	126	0	0	0	0
3	286	250	0	0	0	0

	AD	AE	AF	AG	AH	AI
	Axle_Weight_7	Axle_Weight_8	Axle_Weight_9	Axle_Weight_10	Axle_Weight_11	Axle_Weight_12
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0

3.2. att. Izejas datu faila piemērs

Mērvienības laikam, un attālumam starp transporta līdzekļiem ir sekundēs, ātrums - km/h, garums mērvienībās, kas jādala ar 100, lai iegūtu metrus, un slodzes mērvienības, kas jādala ar 100, lai iegūtu spēka tonnas, ar 10, lai iegūtu kN. Pētījumā ir analizēti satiksmes slodzes dati, kas savākti astoņu gadu laikā, no 2002.gada līdz 2008.gadam. Datu apjoms un kvalitāte atsevišķi pa gadiem atšķirās: pirmajos divos gados – 2002. un 2003.gadā to skaits ir niecīgs, jo tie tika vākti tikai dažas dienas nedēļā. Sākot no 2004. gada, dati kļūst apjomīgāki, jo tie tiek vākti jau 33 nedēļas. No 2005. līdz 2008. gadam dati tiek vākti visu gadu, bet tajos ir samērā daudz mērījumu kļūdu. Tādēļ daļu datu nācās izslēgt no tālākās analīzes.

3.3. Datu atlasē princips

Kā jau iepriekš minēts, daļu datu vajadzēja izslēgt to zemās ticamības dēļ. Datu izslēgšanai tika izmantoti (Pratt, 1998) pētījumā dotie kritēriji. Pirmais kritērijs nosaka maksimāli pieļaujamo ass slodzi, kas pieņemta vienāda ar 40 tonnām. Otrais kritērijs nosaka maksimāli pieļaujamo kopējo transportlīdzekļa svaru, kas tiek pieņemts vienāds ar 300t. Trešais kritērijs nosaka minimālo kopējo transportlīdzekļa svaru 3,5t. Tādā veidā tiek ņemti

vērā tikai smagie transporta līdzekļi. Ceturtais kritērijs nosaka transportlīdzekļa ātrumu. Tā maksimālā robeža ir noteikta 150 km/h. Tas gan pārsniedz atļauto braukšanas ātrumu. Tomēr, gadījumā, ja tiktu noteikts atļautais braukšanas ātrums, tad, autovadītāju pārgalvīgas braukšanas rezultātā, liela daļa smagā transporta datu netiktu ieskaitīti aplūkotajā izlases kopā.

Datu filtrēšanai pēc iepriekš minētajiem kritērijiem, tika izmantota MS Excel funkcija „IF”. Komandas rindas piemērs pirmās ass slodzes noteikšanai dots 3.3.attēlā.

AM2		fx									
		=(IF(X2>4000;"0";"1")*IF(Y2>4000;"0";"1")*IF(Z2>4000;"0";"1")*IF(AA2>4000;"0";"1")*IF(AB2>4000;"0";"1")*IF(AC2>4000;"0";"1")*IF(AD2>4000;"0";"1")*IF(AE2>4000;"0";"1")*IF(AF2>4000;"0";"1")*IF(AG2>4000;"0";"1")*IF(AH2>4000;"0";"1")*IF(AI2>4000;"0";"1")*IF(AJ2>30000;"0";"1")*IF(AJ2<350;"0";"1")*IF(I2>150;"0";"1"))*X2*0,01									
	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	
1	Axle_Weight_8	Axle_Weight_9	Axle_Weight_10	Axle_Weight_11	Axle_Weight_12	Total			Ass 1	Ass 2	
2	0	0	0	0	0	260			0	0	

3.3. att. Pirmās ass slodzes noteikšana

Tika izstrādāti datu šablona faili, kas datu apstrādei izmantoja minētos filtrus. Ja kāds no filtru kritērijiem tiek pārsniegts, transportlīdzekļa parametru vērtības no tālākas apstrādes tiek izslēgtas.

3.4. Datu šablonu failu izveide

Datu apstrādes nākamais posms ir šablona failu izveide, katras parametru kopas izvērtēšanai. Pamatojoties uz ierobežojumiem datu daudzumā ko spēj apstrādāt MS Excel vide, tika izveidoti septiņi atsevišķi šablona faili, katrs ar 50 000 rindām.

Pirmais šablona fails ietvēra informāciju par visu asu slodžu sadalījumu, maksimālo asu slodžu sadalījumu, kopējo transportlīdzekļa svara sadalījumu, no kopējās transportlīdzekļa masas un garuma nosakāmo izkliedētās slodzes sadalījumu un 2,3,4,5,6 un >6 asu transportlīdzekļu kopīgo svara sadalījumu. Šablona fails sastāv no trīs galvenajām daļām. Pirmajā daļā ir dotas datu vērtības, kas atlasītas pēc izvirzītajiem kritērijiem. Otrajā daļā ir doti dati par transportlīdzekļu kopējo un atsevišķo svaru intensitāti, kā arī apkopoti dati par asu skaitu. Trešā daļa sastāv no tabulām, kas nepieciešamas histogrammu izveidei. Paralēli, atsevišķā failā, tika apkopota informācija par transportlīdzekļu skaitu, iedalot tos slodžu grupās.

Otrais šablona fails tiek veidots noteicošās ass un transportlīdzekļu skaita sadalījuma noteikšanai dalot tos pēc asu skaita. Līdzīgi kā pirmais arī šis šablona fails iedalās trīs daļās. Pirmā daļa ietver pēc kritērijiem atlasītās datu vērtības. Otrā daļa ietver datus par

transportlīdzekļiem ar dažādu asu skaitu un datus par smagāko asi. Trešajā daļā doti rezultāti, kas apkopoti tabulās un dota to grafiskā interpretācija.

Trešais, ceturtais, piektais, sestais un septītais šablona fails tiek veidots līdzīgs, kā iepriekš aprakstītais, vienīgā atšķirība ir aplūkoto asu skaitam, kas, atbilstoši, tiek pieņemtas 2, 3, 4, 5 vai 6. Šo failu uzdevums ir noteikt ātruma, kopīgā garuma, asu attāluma un asu slodzes biežuma un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvos sadalījuma grafikus. Faili sastāv no divām daļām, pirmajā tiek atlasītas ass slodzes, un asu attālumi, noteikts transportlīdzekļa asu skaits un atmesti nederīgie dati. Otrajā daļā ir tabulas ar datiem ass slodžu, ātruma un attālumu starp asīm histogrammu konstruēšanai. Visi doto lielumu sadalījumi ir attēloti, pielietojot biežuma un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvo gadījumu lieluma sadalījumu histogrammas.

Datu apstrādei bija pieejami 46 faili, kas ietvēra informāciju, aptuveni, par 1 miljonu transportlīdzekļu vienībām. Katrā datu failā dotā informācija tika ievietota šablona failā, tādējādi izveidojot 322 apstrādes failus.

3.5. Datu apstrādei pielietoto matemātisko metožu apraksts

3.5.1. Gadījuma lielumi un to parametri

Ar gadījuma lielumu šajā pētījumā saprotam skaitlisku mainīgo, kura vērtību nevar paredzēt ar absolūtu ticamību. Izmantojot doto formulējumu (Krastiņš, 1978) - par gadījuma lielumu sauc lielumu, kur izmēģinājuma, novērojuma vai mērījuma rezultātā var iegūt dažādas skaitliskās vērtības atkarībā no nejaušiem faktoriem. Gadījuma lielumi tiek apzīmēti ar lielajiem burtiem, piemēram, X , bet jau notikuša gadījuma lieluma vērtību apzīmēšanai lieto mazo burtu, piemēram, x .

Gadījuma lielumi pēc to veida iedalās divās grupās diskrētajos un nepārtrauktajos. Par diskrētiem gadījuma lielumiem sauc gadījuma lielumus, kuru visas vērtības veido galīgu vai bezgalīgu skaitļu virkni. Šos gadījuma lielumus veido dati, kurus iegūst mērījumu rezultātā un tie parasti ir veseli skaitļi (Krastiņš, 1978). Kā piemēru var minēt transportlīdzekļa virzienu un asu skaitu, kas tika iegūti šī pētījuma ietvaros. Savukārt nepārtraukts gadījuma lielums ir tāds, kurš var pieņemt jebkuru vērtību no kāda ierobežota vai neierobežota skaitļu intervāla (Krastiņš, 1978). Arī šis gadījuma lielums tiek iegūts no mērījumiem. Nepārtrauktiem gadījuma lielumiem varbūtības piemēro nevis atsevišķām vērtībām, bet gan vērtību

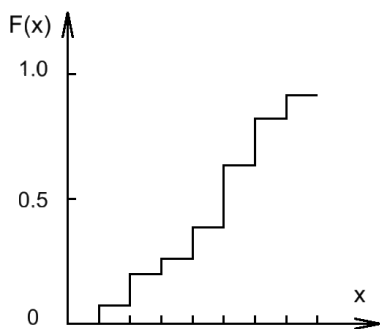
intervāliem (Krastiņš, 1978). Šī pētījuma ietvaros kā nepārtraukti gadījuma lielumi tika aplūkoti transportlīdzekļu asu slodzes, attālumi starp tām un ātrums.

3.5.2. Gadījuma lieluma sadalījuma funkcija

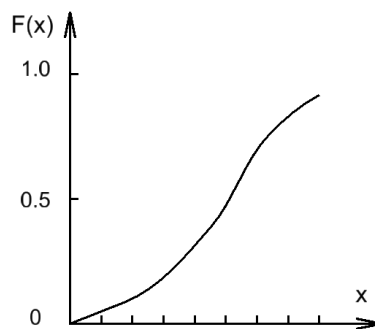
Aplūkojot gadījuma lielumus, ja X ir nepārtraukts, tad parādīt visas iespējamās vērtības nav iespējams. Tādēļ tiek veidoti šo vērtību intervāli, kas ir saistīti ar noteiktām varbūtībām. Visbiežāk aplūko intervālu $X < x$, kad X - nepārtraukts gadījuma lielums, bet x ir kāda tā robežvērtība (Krastiņš, 1978). Varbūtība, ka $X < x$, ir atkarīga no x vērtības un tādēļ ir tās funkcija (Krastiņš, 1978). Šo varbūtību apzīmē ar $F(x)$.

$$F(x) = P(X < x) \quad (3.1.)$$

Funkciju (3.1.) var saukt par gadījuma lieluma sadalījuma funkciju jeb par integrālo sadalījuma funkciju (Krastiņš, 1978). Gadījuma lieluma sadalījuma funkcija ir vispārpieņemts šī lieluma raksturotājs, kuru var noteikt gan diskrētam, gan nepārtrauktam gadījuma lielumam. Ja aplūkojam nepārtrauktu lieluma sadalījuma funkciju, tad varam secināt, ka nav iespējams to izteikt elementāras tabulas veidā, kā tas iespējams pētot diskrētu gadījuma lielumu (Krastiņš, 1978). Lai atrastu diskrēta gadījumu lieluma funkciju $F(x)$ nepieciešams summēt visas tās vērtības, kas mazākas par x , varbūtību (Krastiņš, 1978). Pieskaitot katru nākošo varbūtību sadalījuma funkcija $F(x)$ izmainās lēcienveidīgi. Šīs funkcijas grafiskais attēls atgādina kumulātu, kas dots 3.4. attēlā (Krastiņš, 1978), bet tādu autoru kā prof. Dr. Michael H. Faber lekciju materiālos un citos literatūras avotos (Wikipedia, 2012) to var atrast zem nosaukuma nepārsniegšanas varbūtības grafiks. Situācijā, kad gadījuma lielums ir nepārtraukts, varbūtību summēšana ir apgrūtināta, tāpēc to iespējams aizstāt ar integrēšanu. Šādas funkcijas grafiskais attēls ir vienmērīgi augoša līkne (Krastiņš, 1978), kas dota 3.5. attēlā un pētījumā netika pielietota.



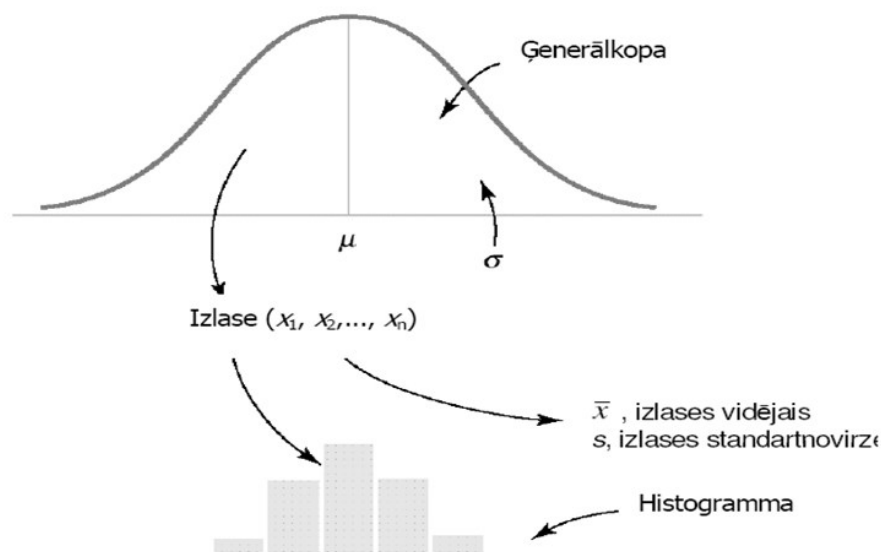
3.4. att. Diskrētu lielumu kumulatīvā funkcija



3.5.att. Nepārtrauktu gadījumu lielumu funkcija

3.6. Histogrammas un to konstruēšana

Histogrammas ir ļoti populārs datu grafiskās attēlošanas veids, kas izmanto klašu biežuma principu. Pēc histogrammas ārējā izskata iespējams nojaust kādam sadalījumam seko apskatāmais gadījuma lielums. Jo vairāk datu ievākts, jo tuvāk histogramma līdzināsies visas ģenerālkopas funkcijas grafikam skatīt 3.6. att. (Krastiņš, 1978).



3.6.att. Ģenerālkopas un histogrammas sasaiste

Pētījumā izmantotās histogrammas konstruētas pēc sekojoša algoritma. Tika noteikts gadījuma lieluma skaits n , kas, aplūkojot visus transportlīdzekļus, sasniedza vienu miljonu, un amplitūda r , kas saistīta ar konkrētā mērījuma maksimālajām un minimālajām vērtībām. Klašu skaits n_c tradicionāli tiek pieņemts pēc sakarības (3.2.) vai aprēķināts pēc Stredžesa formulas (3.3.), bet izmērs Δx noteikts pēc sakarības (3.4.) (Krastiņš, 1978).

$$n_c = \sqrt{n} \quad (3.2.)$$

$$n_c = 1 + 3,3 \log_{10} n \quad (3.3.)$$

$$\Delta x = \frac{r}{n_c} \quad (3.4.)$$

Gan klašu skaits, gan izmērs šajā pētījumā tika piemeklēts atbilstoši nepieciešamajai tālāko aprēķinu precizitātei.

Pētot kopējo asu slodžu un maksimālo asu slodžu sadalījumus, klases izmērs koncentrētai slodzei tika pieņemts - 0.2 t, un izkliedētai slodzei - 0.2 t/m, bet pētot

transportlīdzekļu kopīgā svara sadalījumu, klašu izmērs tika pieņemts vienāds ar 1t. Līdzīgi, pētot atsevišķu asu transportlīdzekļu svara un asu izvietojuma parametrus, tika pieņemti šādi klašu izmēri: ātruma sadalījumam - 5km/h, kopīgajam transportlīdzekļa garumam - 0.5m, katras ass slodzes sadalījumam - 1t, un asu attālumu sadalījumam - 0.5m. Atlasot transportlīdzekļu slodžu modeļus P1 – P20 nodaļā 6.1. attālumam starp asīm klases izmērs tika samazināts līdz 0.25m.

Tālāk tiek aprēķināts absolūtais klases biežums n_j , t.i., saskaita cik izlases elementu ietilpst katrā klases intervālā. Lai atlasītu un saskaitītu katras klases robežās ietilpstošos lielumus, tika pielietota MS Excel funkcija „COUNTIF”. Piemērs komandas rindai pirmās ass slodzes noteikšanai dots 3.7.attēlā.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data table:

Kopīgais garums 3 asu Tr.I.				Ass nr. 1 sadalījums				Ass nr. 2 sadalījums			
Klase Nr.	Klases intervāls [m]	Absolūtais klases biežums	Relatīvais klases biežums f_j	Klase Nr.	Klases intervāls [t]	Absolūtais klases biežums	Relatīvais klases biežums f_j	Klase Nr.	Klases intervāls [t]	Absolūtais klases biežums	Relatīvais klases biežums
1	0-0.5	0	0.0000	1	0-1	1	0.0008	1	0-1	4	0.0032

3.7.att. Piemērs absolūtā klases biežuma noteikšanai

Šī funkcija ļauj pārbaudīt vienu kritēriju, kuram izpildoties, konkrētais mērījums tiek izmantots tālākajā analizē un iekļauts datu kopā. Lai saskaitītu kādā konkrētā intervālā, piemēram [0;1t], esošu mērījumu skaitu, tiek aplūkota visa datu kopa [0;40t] un atņemta datu kopa [1;40t], tādējādi raksturojot meklēto datu intervālu [0;1t]. Analogiski aprēķināti pārējie klašu biežumi.

Kā nākošo nosaka relatīvo klases biežumu f_j , izdalot absolūto klases biežumu n_j ar kopējo izlases elementu skaitu n , skatīt sakarību (3.5.) (Krastiņš, 1978). Summējot f_j jāiegūst 1, kas atbilst 100%. (3.6.).

$$f_j = \frac{n_j}{n} \quad (3.5.)$$

$$\sum_1^{n_c} f_j = 1 \quad (3.6.)$$

Lai aprēķinātu absolūto kumulatīvo klases biežumu N_j , katrā klasei j , tiek saskaitīts visu elementu skaits, kas iekrīt no klases $N_i=1$ līdz $N_i=j$ ieskaitot (Krastiņš, 1978). Pēdējai kumulatīvajai klases vērtībai ir jāsakrīt ar kopējo elementu skaitu.

Relatīvo kumulatīvo klases biežumu F_j iegūstu izdalot absolūto kumulatīvo klases biežumu N_j ar kopējo izlases elementu skaitu N skatīt (3.15.) formulu (Krastiņš, 1978).

$$F_j = \frac{N_j}{N} \quad (3.7.)$$

Iegūtās skaitliskās vērtības tika apkopotas tabulās un balstoties uz tabulu datiem, tika konstruētas pētījumā lietotās biežuma un kumulatīvās histogrammas.

Gadījumos, kad praktiski nav iespējams aprēķināt varbūtību pēc klasiskās definīcijas, tās vietā izmanto relatīvo biežumu, kas aprēķināts lielam mēģinājumu skaitam. (Kronbergs, 1988). Šo teoriju praktiski pārbaudīja angļu matemātiķis K.Pīrsons, kas metot monētu 12 000 reižu, ieguva relatīvā biežuma vērtību 0.5005, kas tikai par 0.5 tūkstošdaļām atšķīrās no klasiskās varbūtības 0.5 (Kronbergs, 1988). Tas nozīmē jo lielāks ievākto datu skaits, jo precīzāk tas raksturo varbūtību vērtības.

Pamatojoties uz pētījumā aplūkoto plašo datu apjomu varam pieņemt, ka relatīvā biežuma kumulatīvā grafika vērtības atbilst meklētajai varbūtībai.

3.7. Teorētiskie gadījuma lielumu sadalījumi

Bieži vien ir nezināms kādam precīzi sadalījuma likumam seko pētāmais gadījuma lielums, taču veicot izlases izpēti un analizējot paša gadījuma lieluma fizisko raksturu var pieņemt, ka sadalījuma funkcija ir vienas vai otras formas jeb, ka gadījuma lieluma izcelsme ir no vienas vai otras sadalījumu „ģimenes”. Statistikā un varbūtību teorijā ir konstatēti un formulēti daudz un dažādi sadalījumi. Gadījuma lielumi var būt diskrēti vai nepārtraukti. Tāds pats princips ir attiecināms uz šo gadījuma lielumu sadalījumiem.

Populārākie diskrēta gadījuma lielumu sadalījuma likumi ir Binomiālais sadalījums un Puasona sadalījums. Nepārtrauktu gadījuma lielumu sadalījumu loks ir pārstāvēts daudz plašāk un kā visvairāk lietotos var minēt vienmērīgo sadalījumu, eksponenciālo sadalījumu, normālo sadalījumu, lognormālo sadalījumu, veibla sadalījumu un gambela sadalījumu (Krastiņš, 1978).

Binomiālais sadalījums aplūko lielu skaitu savā starpā neatkarīgu izmēģinājumu datus, kuru rezultāts raksturojas tikai divās formās vai nu tas notiek vai nenotiek (Kronbergs, 1988).

Puasona sadalījums ir binomiālā sadalījuma robežgadījums, ja izmēģinājumu skaits n ir liels, un notikuma varbūtība ir maza, tādēļ to arī sauc par reto notikumu sadalījumu. Ar šo

sadalījumu bieži modelē notikumu skaitu un attiecīgās varbūtības noteiktā laika intervālā (Kronbergs, 1988).

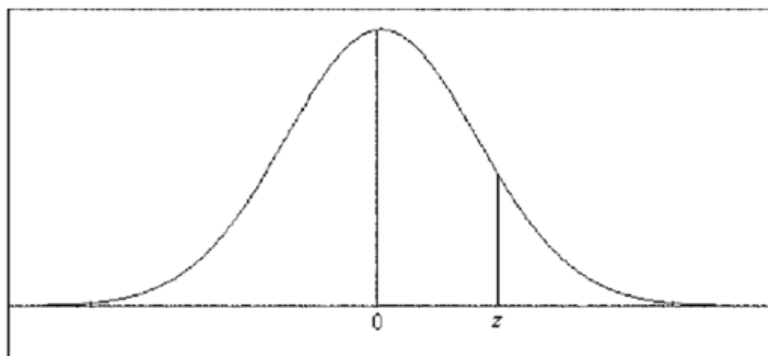
Vienmērīgu sadalījumu raksturo ar to, ka gadījumlīkuma vērtības ir abpusēji ierobežotas un šī ierobežotā apgabala robežās tās ir vienādi iespējamas. No šī izriet, ka intervāla ietvaros varbūtību blīvums ir konstants (Kronbergs, 1988).

Ja Puasona sadalījums tiek pielietots notikumu skaita modelēšanai noteiktā laika intervālā, tad ar eksponenciālo sadalījumu parasti modelē laiku līdz kādam noteiktam notikumam. Šis notikums varētu būt ceļa segas sabrukšana vai, piemēram, laiks līdz tiltam ir nepieciešami nopietnāki atjaunošanas darbi (Kronbergs, 1988).

Normālais jeb Gausa sadalījums ir viens no svarīgākajiem sadalījumiem gan statistikā un varbūtību teorijā, gan jebkurā zinātnes nozarē, kur pielieto varbūtību teorijas elementus. Normālā sadalījuma blīvuma funkcija vispārīgā gadījumā tiek izteikta ar (3.8.) formulu (Krastiņš, 1978) un grafika forma redzama attēlā 3.8.

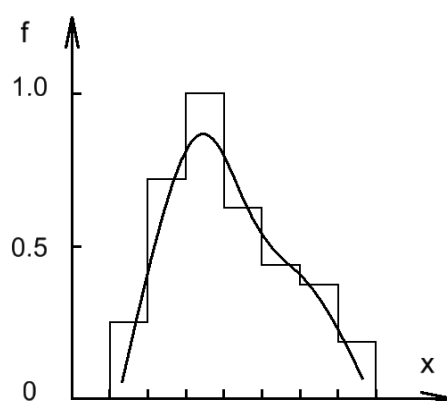
$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2} \quad (3.8.)$$

Šī funkcija nav tieši integrējama, tāpēc funkcijas vērtības iegūst ar tiešās skaitļošanas metodēm. Normālais sadalījums ir simetrisks.



3.8.att. Normālais sadalījums

Bieži ir sastopami gadījuma lielumi ar pozitīvu asimetriju. Piemērot normālo sadalījumu šādam gadījuma lielumam nedos pareizus rezultātus. Lai novērstu šo trūkumu, izmanto logaritmiski normālo sadalījumu (Kronbergs, 1988). Tiek pielietots princips, ja dati veido logaritmiski normālu sadalījumu, tad šo datu logaritmi veido normālo sadalījumu (Krastiņš, 1978) skatīt attēlu 3.9.



3.9.att. Logaritmiski normālais sadalījums

Logaritmiski normālo jeb lognormālo sadalījumu visbiežāk ieņem dati, kas saistīti ar transporta plūsumu, intensitāti, ātrumu un slodzi. Pētījuma ietvaros varbūtību sadalījuma funkcijas netika iegūtas, tomēr blīvuma histogrammu forma ļāva izdarīt secinājumus, par to piederību sadalījuma „ģimenei”.

3.8. Sakarību ciešuma pētīšana

Lai pārliecinātos, ka starp ievākto datu gadījuma lielumiem pastāv kāda sakarība, tas ir, vai tie ir atkarīgi viens no otra un ja ir, tad cik lielā mērā, vienkāršākais veids ir veidot gadījuma lieluma pāru izkliedes grafiku vai arī attiecīgo divdimensiju histogrammu (Kronbergs, 1988). Šāda veida diagrammas dod labu sākotnējo iespaidu par gadījuma lielumu atkarību vienam no otra. Kvantitatīvi gadījuma lielumu savstarpējo atkarību novērtē, izmantojot tā saucamo korelācijas un regresijas analīzi.

3.8.1. Korelācijas analīze

Balstoties uz atziņām, kas aprakstītas (Kronbergs, 1988), korelācijas var iedalīt lineārajās un līklīnijas veida. Sakarības ciešumu starp diviem gadījuma lielumiem var raksturot ar bezdimensijas korelācijas koeficientu r , kas iekļaujas robežās no -1 līdz 1. Korelācijas koeficientu vērtības un tām atbilstošos sakarību ciešuma raksturojums skatīt 3.1.tabulā.

Ja korelācijas koeficients $r = 1$, tad abi pētāmie lielumi ir absolūti korelēti, kas nozīmē ka viens gadījuma lielums ir pilnīgi aprakstāms ar otru gadījuma lielumu. Kad $r = -1$ tad izkliedes taisne ir ar negatīvu slīpumu un starp mainīgajiem lielumiem novērojama negatīva korelācija.

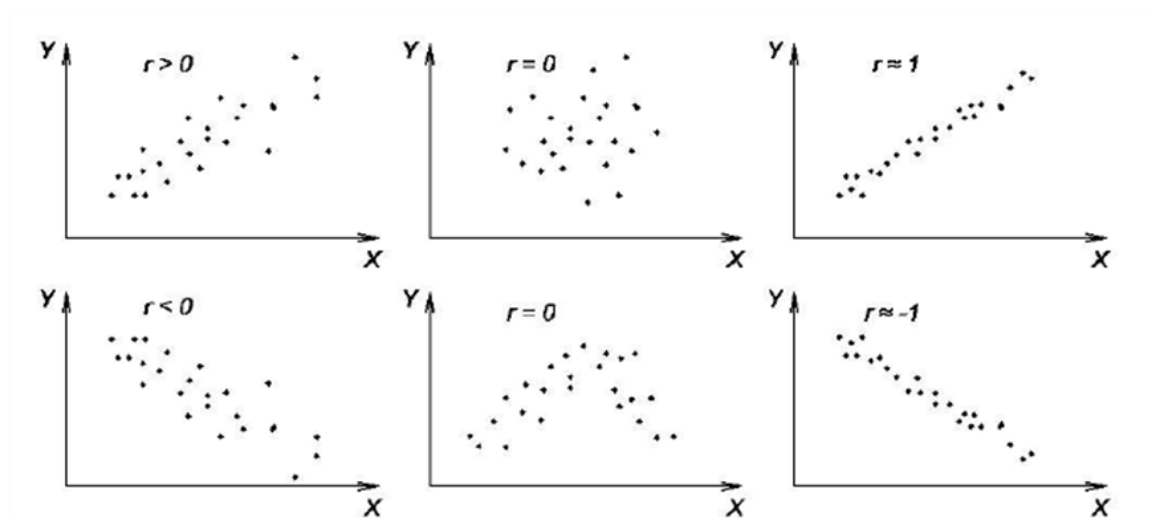
Ja $r \approx 0$, tad starp pētāmiem gadījuma lielumiem nav lineāras sakarības, jeb šos lielumus var uzskatīt par neatkarīgiem.

3.1. tabula.

Korelācijas koeficienta un lineārās sakarības raksturojums

Korelācijas koeficienta r vērtības	Lineārās sakarības raksturojums
-1	Negatīva
0	Neeksistē
1	Pozitīva
$ r < 0.5$	Vāja
$0.5 \leq r \leq 0.8$	Vidēji cieša
$ r > 0.8$	Cieša

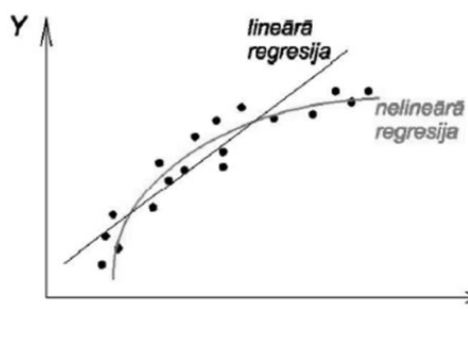
Šī pētījuma ietvaros gadījuma lielumi visbiežāk sanāca daļēji korelēti, jo tos iespaido dažādi gadījumu lielumu faktori (Kronbergs, 1988). Daži raksturīgie korelācijas gadījumi doti attēlā 3.10.



3.10.att. Daži iespējamie korelācijas gadījumi

3.8.2. Regresijas analīze

Apskatot iepriekšējo nodaļu redzam, ka korelācijas analīze kvantitatīvi nosaka, cik lineāri cieša ir sakarība starp pētāmiem gadījuma lielumiem (Kronbergs, 1988).



3.11.att. Lineāro regresiju un nelineāro regresiju grafiki

Regresijas analīzes galvenais mērķis ir piemērot matemātisku modeli, kas atspoguļo likumsakarību starp pētāmiem gadījuma lielumiem. Izšķir lineāro regresiju un nelineāro regresiju (Kronbergs, 1988), kas redzama attēlā 3.11. Lineārā regresija tiek izteikta ar taisnes vienādojumu nelineārā ar līknes vienādojumu jeb augstākas kārtas izteiksmi.

3.8.3. Determinācijas koeficients

Determinācijas koeficientu R^2 tiek izmanto, lai salīdzinātu piemērotos regresijas vienādojumus. Koeficients ieņem vērtības intervālā no 0 līdz 1 un, jo lielāks tas ir, jo labāk regresijas modelis izsaka sakarību starp gadījuma lielumiem. Ja sakarība starp gadījuma lielumiem ir lineāra, tad determinācijas koeficients R^2 sakrīt ar korelācijas koeficienta kvadrātu r^2 (Krastiņš, 1978).

4. SATIKSMES SLODZES DATU IEGŪŠANA AR „WEIGHT IN MOTION” (WIM) SISTĒMU

Pētījumā izmantotie satiksmes slodzes dati ir iegūti, izmantojot „automašīnas parametru mērīšana kustībā”, vai „weight in motion” (WIM) metodi, kas ļauj noteikt faktisko satiksmes slodžu lielumu, sastāvu un intensitāti, neapstādinot transporta līdzekļu kustību.

4.1. Īss WIM sistēmas attīstības raksturojums

WIM pamatā esošās tehnoloģijas sāka pētīt ap 1950. gadu, tomēr funkcionējošs instruments netika izveidots datu apstrādes, glabāšanas un patstāvīgi funkcionējoša sensora nepilnību dēļ. (Peters & Koniditsiotis, 2000)

Viens no pirmajiem mēģinājumiem izveidot WIM sistēmu bija ASV Publisko ceļu birojā 1952. gadā (Hopkins & Norman, 1952). Sistēma paredzēja izbūvēt dzelzsbetona platformu ceļa segas līmenī. Platforma tika balstīta uz četrām kolonām, starp kolonām, un platformu tika ievietoti sprieguma mērīšanas sensori. Rezultātā, katram transportlīdzeklim, tika iegūta 10 sekundes gara vibrogramma. Kuru manuāli apstrādājot, tika noteikta katra transportlīdzekļa ass slodze, attālums starp asīm un ātrums.

Turpmākie mēģinājumi šajā jomā tika veikti Misisipi štata koledžā 1955. gadā, kur transportlīdzekļi tika svērti, izmantojot sendviča sistēmas svarus, kas sastāvēja no metāla un gumijas loksnēm (Peters & Koniditsiotis, 2000). Šīs mēriekārtas galvenie trūkumi bija: jūtīgums uz vides temperatūru un satiksmes izraisīti bojājumi mēriekārtā.

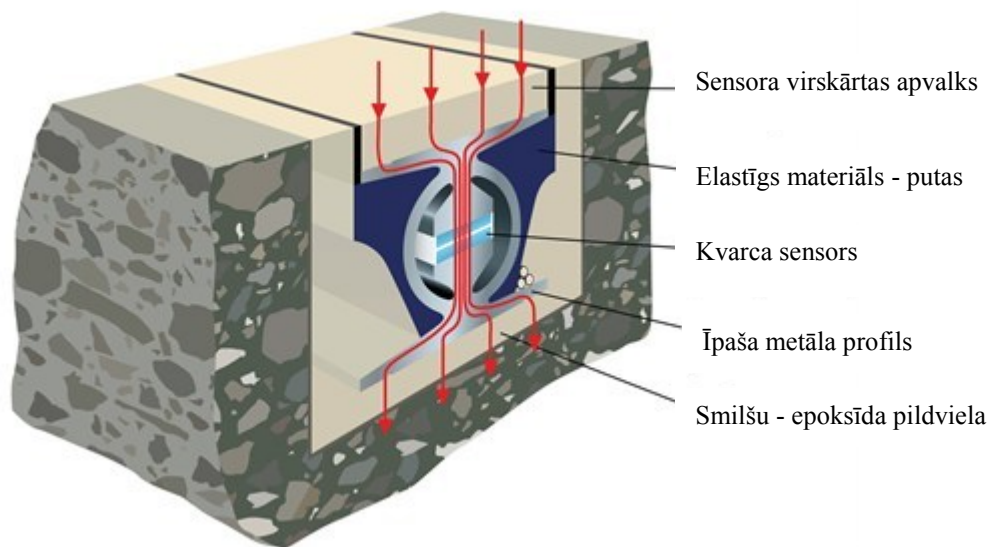
Pēc 1960. gada tika izveidoti un testēti dažādi jauni svaru sensori un 1965. gadā neliela firma „Kistler Instrumente AG” izstrādā pasaulē pirmo kvarca sprieguma sensoru, kas veiksmīgi tika attīstīts tālāk. Pirmā WIM sistēma, kurā tiek izmantots kvarca kristāla pjezoelektriskais sensors, tiek izstrādāta 1994. gadā. (www.kistler.com, 2012)

Lai arī mūsdienās visbiežāk izmanto tieši pjezoelektrisko sensoru tipu, tie nav vienīgie sensoru veidi, kas tiek pielietoti. WIM sistēmā satiksmes slodzes svaru var noteikt arī izmantojot citus sensoru veidus:

- „Bending plate” – ir sensora veids, kas sastāv no metāla un gumijas kompozīta plātnes ar sprieguma sensoru, kas novietots plātnes vidū uz stieptās virsmas. Šie sensori parasti ir iebūvēti tilta brauktuves plātnē un darbojas kā vienota sistēma. Deformācijas un no tā

izrietošie spriegumi tiek pārraidīti kā elektriski signāli, kas tiek pastiprināti, un atkarībā no to lieluma, tie tiek kalibrēti noteiktam svāra lielumam.

- "Capacitive pad" – kapacitīvais bloka sensors, kas sastāv no trīs metāla plāksnēm, kas savienotas ar mīkstu dialektisku gumijas materiālu. Slodze, kas rodas transportlīdzeklim pārvietojoties, rada elektriskās pretestības palielinājumu, pēc kura var noteikt transportlīdzekļa masu.
- „Load cell” – slodzes šūnas veida sensori, kas sastāv no speciāli ražotiem vienkārši balstītiem metāla vai cita materiāla profiliem, kas aprīkoti ar sprieguma mērinstrumentiem (Peters & Koniditsiotis, 2000).
- „Kistler Lineas quartz crystal” jeb pjezoelektriskie ir kvarca kristāla sensori, kas sastāv no piecām galvenajām sastāvdaļām: slodzi uzņemošā pārvalka, elastīga putu materiāla, kvarca moduļa, profila no īpaša metāla sakausējuma un smilšu epoksīda, kas pielietots mēriekārtas nostiprināšanā (4.1.att.). Mēriekārta balstās uz fizikālas īpašības, ka kvarca kristāls zem spiediena rada elektrības lādiņu un atkarībā no slodzes, šis lādiņš ir lielāks vai mazāks. Atkarībā no lādiņa lieluma tiek noteikts pieliktās slodzes lielums. Šo sensoru rādītājus neietekmē vides temperatūras.



4.1.att. Kvarca kristāla WIM sensors (www.worldhighways.com, 2012)

Katrai no apskatītajām WIM sensoru grupām ir savas priekšrocības un trūkumi, tomēr pjezoelektrisko kristālu mēriekārta nodrošina relatīvi visdrošākos un precīzākos datus neatkarīgi no vides un satiksmes apstākļiem, tādēļ tā arī tiek visbiežāk pielietota.

4.2. Satiksmes dati

Dati par transportlīdzekļu intensitāti un ātrumu uz Latvijas autoceļiem tiek vākti regulāri. Magnētiskās cilpas ir izvietotas uz visiem valsts nozīmes autoceļiem, tādējādi dodot plašu un precīzu ieskatu par transporta intensitāti. Tomēr šie dati nav derīgi satiksmes radītās slodzes ietekmes noteikšanai, bet tos var izmantot satiksmes slodzes prognozēšanai, ja noteikti korelācijas koeficienti starp satiksmes intensitāti un smago un vieglo transportlīdzekļu attiecību.

Pētījumā izmantotie dati ir iegūti no WIM mēriekārtas, kas darbojās no 2002.gada līdz 2008.gadam uz autoceļa A4 (Baltezers – Saulkalne) posmā starp P5 un A6 (Rīga - Daugavpils - Krāslava- Baltkrievijas robeža (Pāternieki)). Tās atrašanās 500 metri pirms krustojuma nodrošināja brīvus satiksmes apstākļus un labas datu iegūšanas iespējas. 2011.gadā iekārta tika demontēta, jo bija izsmēlusi savu darba resursu.

Sešu gadu laikā tika savākti dati par vairāk kā 17 568 000 transportlīdzekļiem, tas ir aptuveni 244 000 transportlīdzekļi mēnesī. Datu sākotnējās apstrādes rezultāti liecināja, ka WIM sensoru kļūda pirmajā gadā sastāda ap 5%, otrajā gadā – 15%, trešajā gadā 25% (Rob Bushman, Andrew J. Pratt, 1998). 2002.gada un 2003.gada dati netika izmantoti, jo tie bija ļoti fragmentāri, bet 2005.gada – 2008.gada dati bija nekvalitatīvi, tādēļ tika izslēgti no tālākās apstrādes. Tādēļ šī pētījuma ietvaros veiktajai datu apstrādei tika izmantoti tikai 2004.gada dati, kas iegūti 33 nedēļu laikā. Kopā tika analizēti dati par 1 172 842 transporta līdzekļiem. No tiem 449 218 transporta līdzekļiem svars bija mazāks par 3.5 t, bet 663 101 transporta līdzekļu svars bija lielāks par 3.5 t. Dati par 60 523 transporta līdzekļiem bija nepilnīgi un tos tālākā analizē nevarēja izmantot. Transportlīdzekļu sadalījums pēc riteņu asu skaita ir dots 4.1.tabulā.

4.1.tabula.

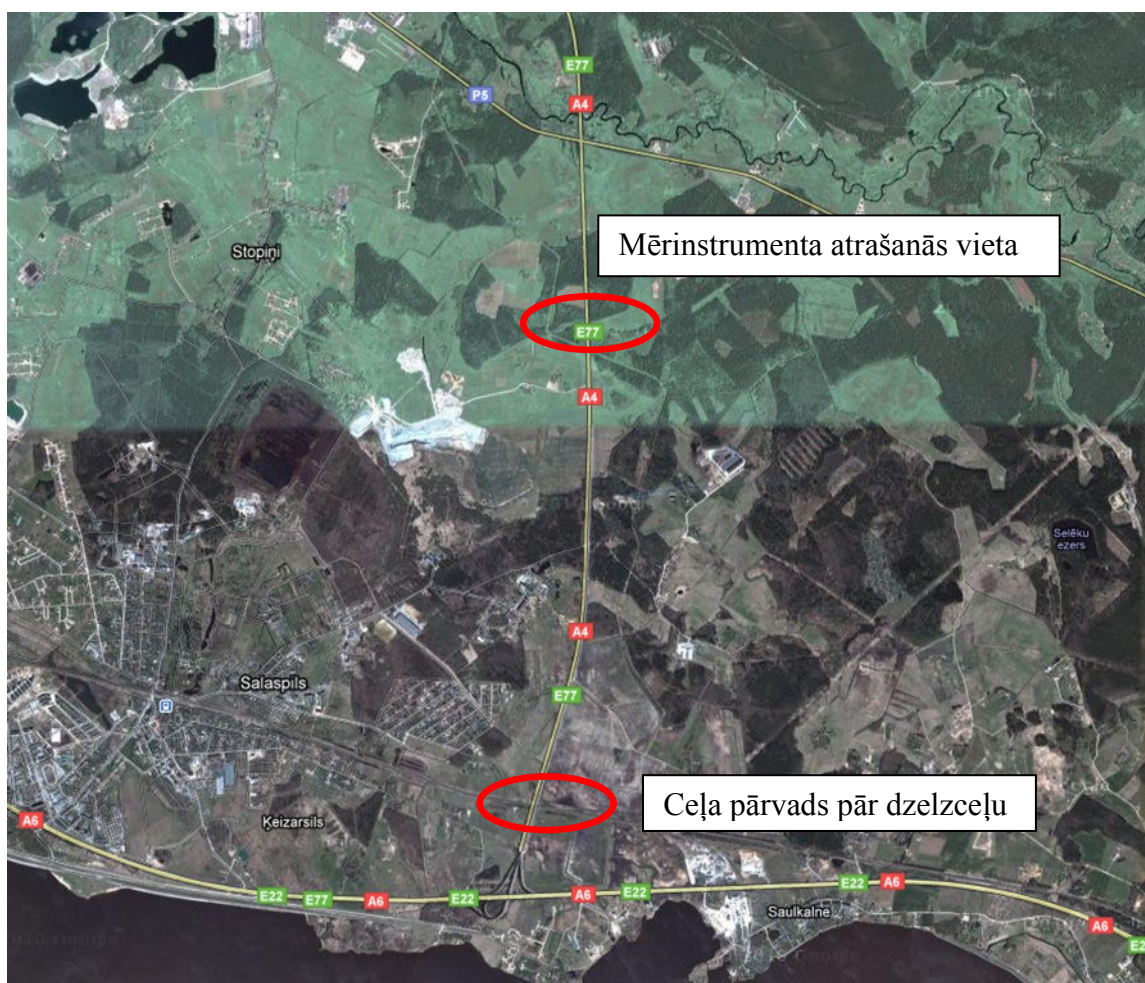
Transportlīdzekļu sadalījums pēc asu skaita

Asu skaits	Transportlīdzekļu skaits	Daļa procentos
2	861165	79.82%
3	23064	2.14%
4	33962	3.15%
5	134656	12.48%
6	10320	0.96%
>6	15733	1.46%
Kopā:	1078900	100.00%

Datu statistiskā analīze parādīja, ka 861 165, jeb 79.82% ir divasu transporta līdzekļi. Otru lielāko transportlīdzekļu grupu sastāda piecu asu transportlīdzekļi - 12.48%, bet trīs, četrus un sešu asu transporta līdzekļi sastāda tikai 6.25% no kopējā skaita.

Iegūtie dati dod iespēju analizēt raksturīgās satiksmes slodzes uz ceļiem un tiltiem, kas atrodas netālu no mēriekārtas.

Balstoties uz to ka šī ceļa posma daļā nav pievadceļu, kas varētu novirzīt satiksmi varam pieņemt, ka visas mērītās slodzes pārvietojās arī pa blakus esošo ceļa pārvadu pār dzelzceļu 4.2.att.



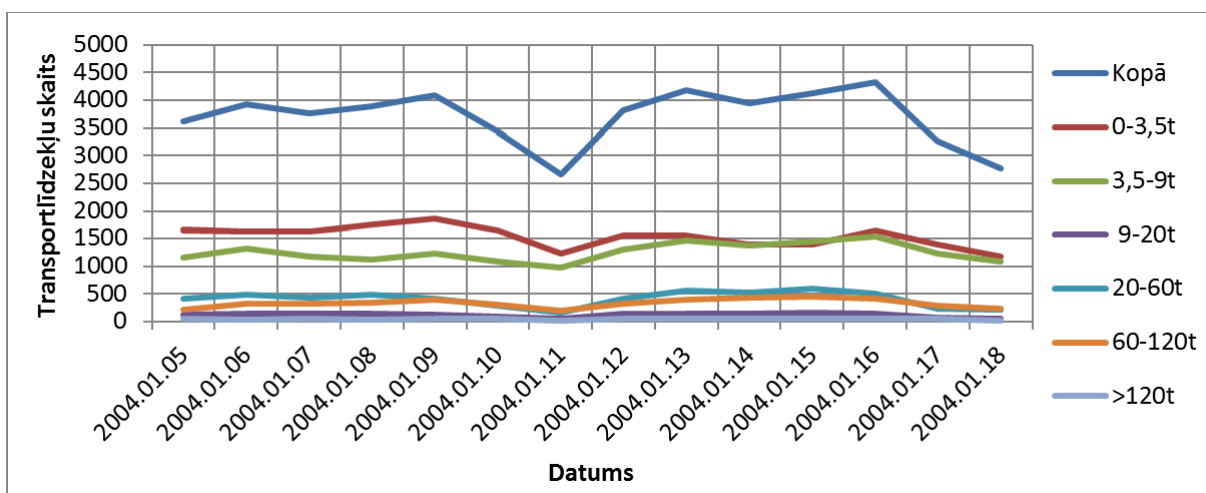
4.2.att. WIM mērinstrumenta atrašanās vietas plāns

4.3. Datu kvalitāte un daudzums

Viens no svarīgākajiem uzdevumiem šajā pētījumā ir datu apstrāde. Lai arī 2004.gadā 33 nedēļās tika savākti diezgan apjomīgi un precīzi dati, tomēr tie nebija pilnīgi, jo iztrūka

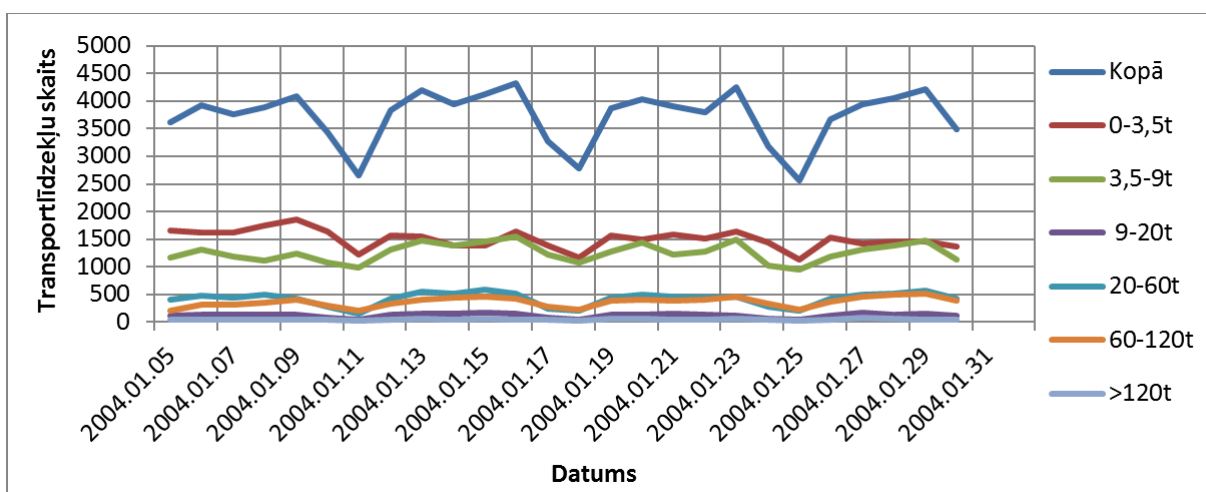
datu par trīs mēnešiem: septembri, oktobri un novembri. Neskatoties uz šo datu iztrūkumu, kopējais datu daudzums bija pietiekošs, lai būtu iespējama to pilnvērtīga analīze.

Lai novērtētu iegūto datu apjomu un kvalitāti, tika pētīta transporta slodze un intensitāte atkarība no nedēļas dienas. Iegūtie rezultāti apkopoti grafikos, kas attēlo satiksmes intensitāti un slodžu kopīgā svara sadalījumu: divu nedēļu 4.3.att., viena mēneša 4.4.att., trīs mēnešu 4.5.att, sešu mēnešu 4.6.att. un gada 4.7.att. intervālā.



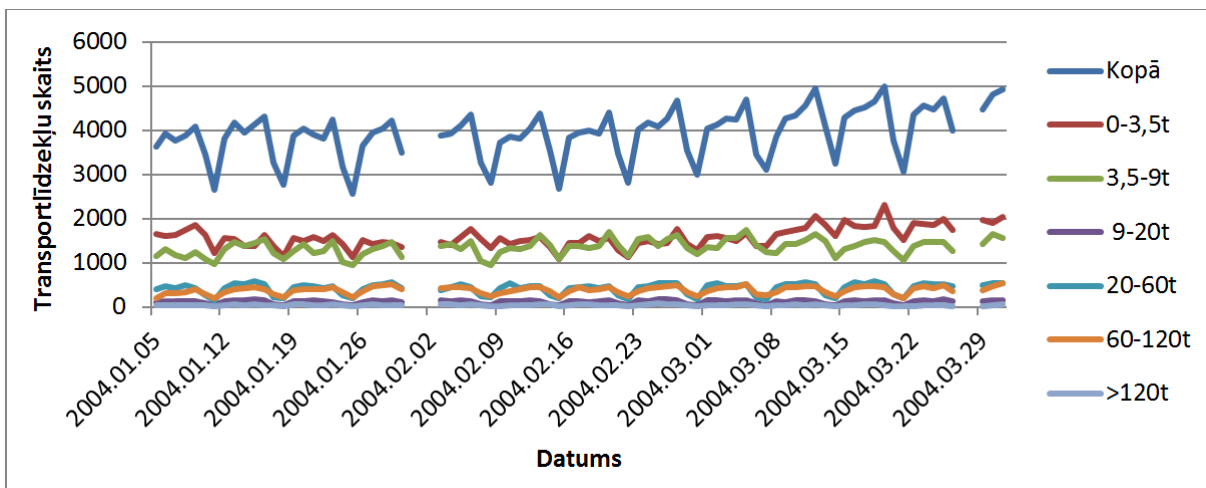
4.3.att. Divu nedēļu intervāla satiksmes intensitāte

Iegūtie rezultāti rāda, ka satiksmes intensitātes maksimums tiek sasniegts piektdienā, otrs maksimums ir otrdienā, bet minimālā intensitāte iezīmējas sestdienā un svētdienā.

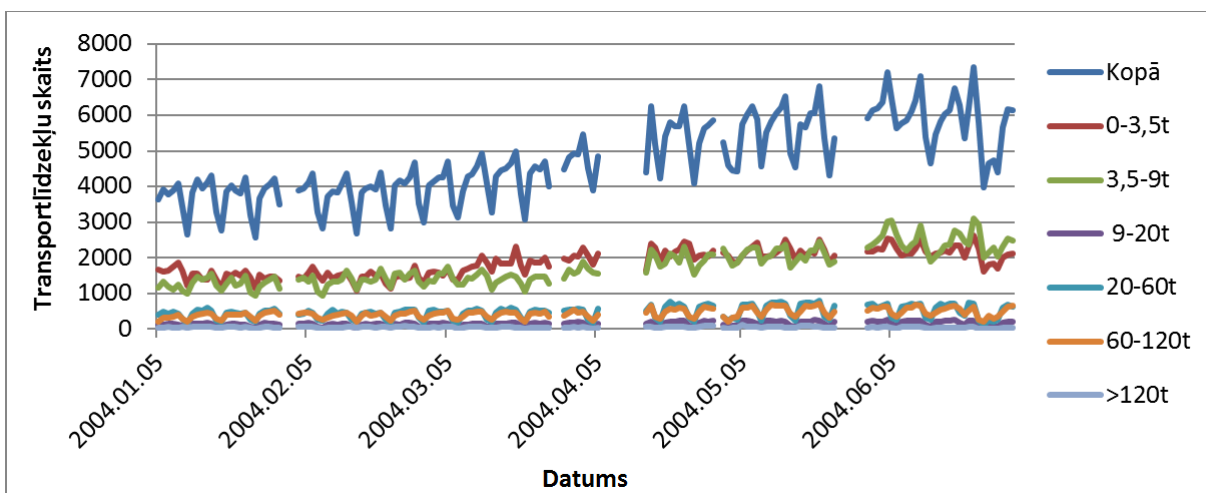


4.4.att. Četrus nedēļu intervāla satiksmes intensitāte

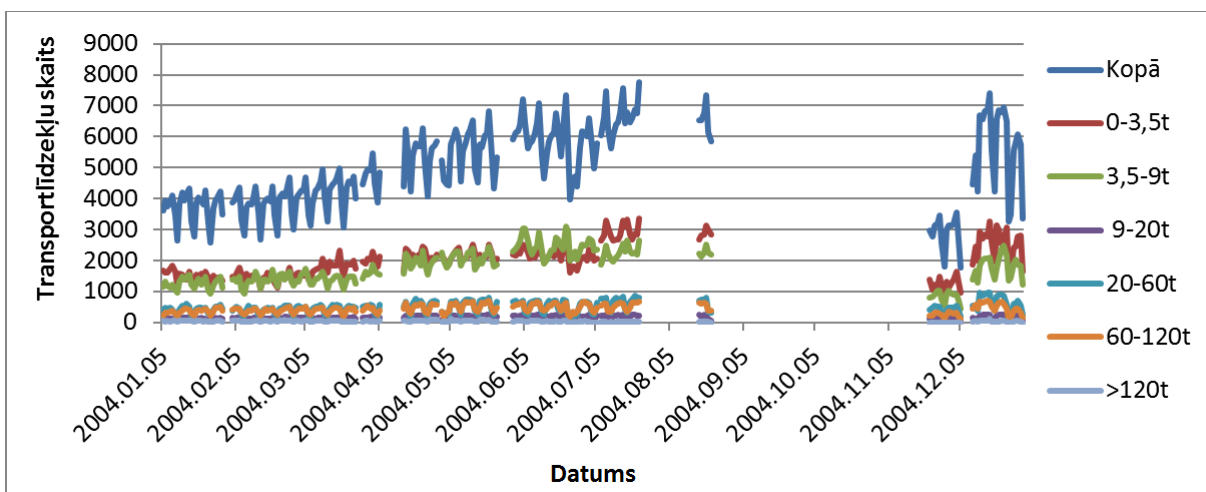
Līdzīga tendence redzama gan četrus nedēļu, gan trīs mēnešu, gan sešu mēnešu, kā arī gada griezumā. Atkārtotais periods satiksmes intensitātes maksimumam un minimumam ir septiņas dienas, kas sakrīt ar nedēļas robežām.



4.5.att. Trīs mēnešu intervāla satiksmes intensitāte



4.6.att. Sešu mēnešu intervāla satiksmes intensitāte



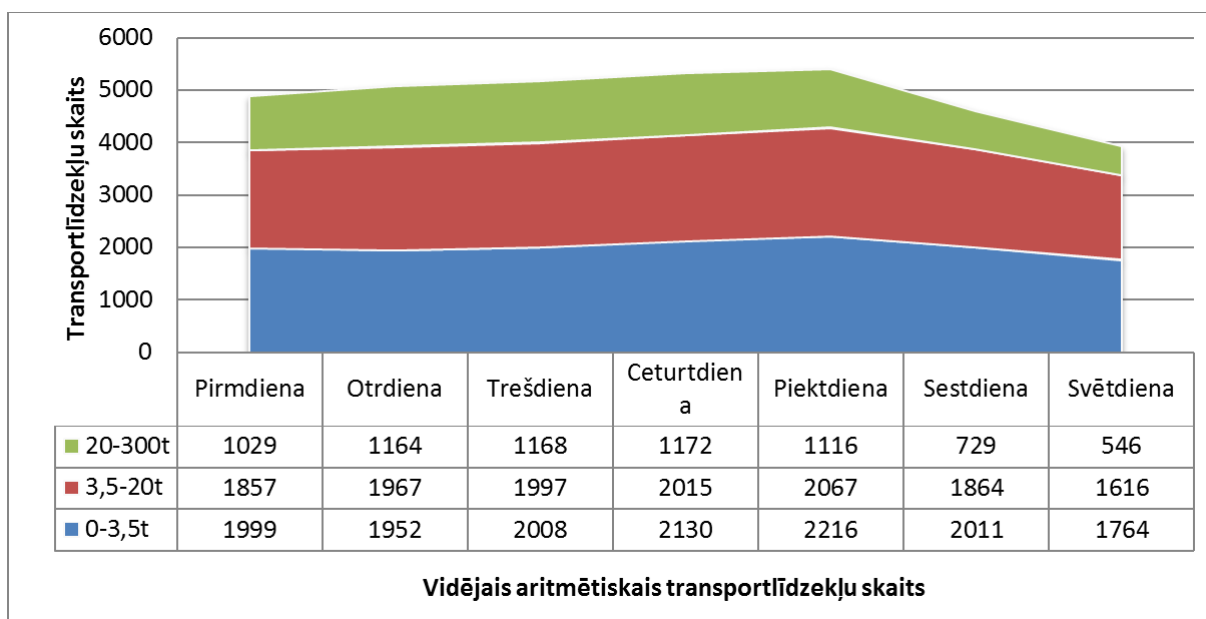
4.7.att. 2004. gada satiksmes intensitāte

Salīdzinot 2004. gada janvāri un decembri, var novērot lielāku intensitātes starpību. Iegūtie rezultāti rāda, ka satiksmes intensitāte uz Latvijas autoceļiem ir atkarīga no nedēļas dienas, maksimumi ir otrdienās un piektdienās. Šī atkarība ir redzama gan četru nedēļu, gan trīs mēnešu, gan sešu mēnešu, gan arī gada griezumā. Līdzīgi rezultāti iegūti arī citos pētījumos (Xin, 2010).

Lai novērtētu smagā transporta īpatsvaru satiksmes plūsmā, tā tika sadalīta trīs grupās:

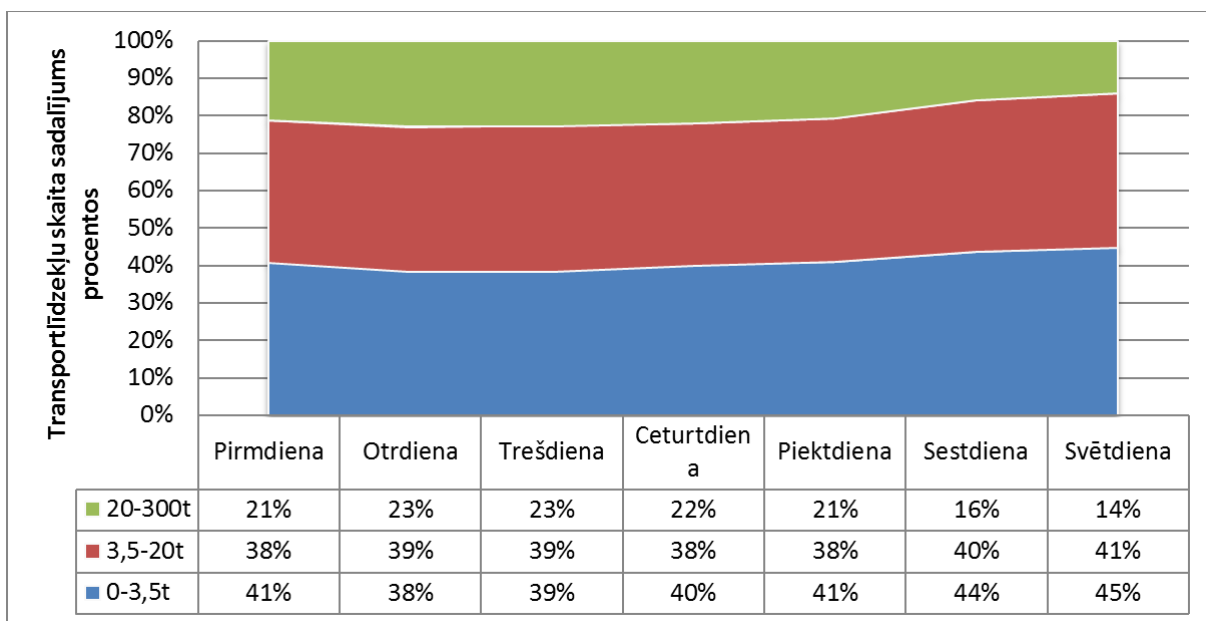
- vieglais autotransports, ar masu līdz 3,5t,
- smagais autotransports, ar masu no 3.5 t līdz 20 t,
- ļoti smagais autotransports, ar masu no 20 t līdz 300 t.

Iegūtie dati rāda, ka vieglais transports kopējā satiksmes plūsmā, aizņem 41%, smagais 39% un ļoti smagais 20%. Ņemot vērā to, ka transportlīdzekļu skaits ir atkarīgs no nedēļas dienas, katrai satiksmes grupai tika apkopoti satiksmes intensitātes dati par katru nedēļas dienu. Iegūtie rezultāti grafiskā veidā parādīti 4.8.attēlā.



4.8.att. 2004. gada vidējās satiksmes intensitātes skaitliskā vērtība katrai nedēļas dienai transportlīdzekļu svara intervāliem 0-3.5t, 3.5-20t un 20-300t

Iegūtie rezultāti rāda, ka satiksmes intensitāte ir augšupejoša no pirmdienas līdz piektdienai un lejupejoša no piektdienas līdz svētdienai. Samazinoties intensitātei brīvdienās samazinās arī visu trīs grupu transportlīdzekļu daudzums. Transportlīdzekļu grupu procentuālā attiecība aplūkota 4.9.attēlā.

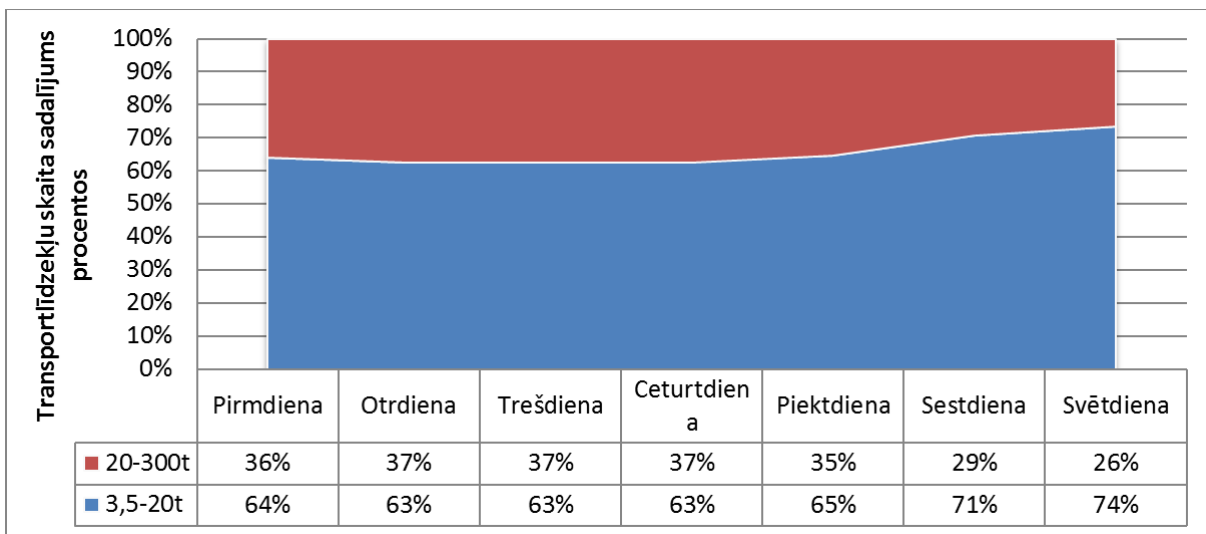


4.9.att. 2004. gada vidējās satiksmes intensitātes procentuālais īpatsvars katrai nedēļas dienai transportlīdzekļu svara intervāliem 0-3.5t, 3.5-20t un 20-300t

Aplūkojot datus gan pēc to absolūtajiem vērtībām, gan procentuālās attiecības, varam konstatēt, ka vieglā transporta īpatsvars savu maksimumu sasniedz piektdienā ar 2216 transportlīdzekļiem vienībām un sastādot 41% no visas transporta plūsmas. Tomēr pēc procentuālās attiecības vieglā transporta lielākais īpatsvars ir svētdienā un sastāda 45% no visas transporta plūsmas.

Līdzīgu tendenci var novērot arī smagajam transportam, kura skaitliskais maksimums tiek sasniegts piektdienā ar 2067 transporta līdzekļiem, kas atbilst 38% no visas transporta plūsmas, bet svētdienā procentuālā attiecība palielinās līdz 41%, kamēr transportlīdzekļu skaits samazinājās līdz 1616 transportlīdzekļiem. Savukārt ļoti smago transportlīdzekļu skaits savu maksimumu sasniedz ceturtdienās, kas atbilst 1172 transportlīdzekļiem un sastāda 22% no visas transporta plūsmas. Smagā transporta procentuālā attiecība vislielākā ir otrdienā un trešdienā, kad tā sasniedz 23%. Minimums procentuāli un skaitliski ir svētdienās ar 546 transportlīdzekļiem un 14% no kopējās plūsmas.

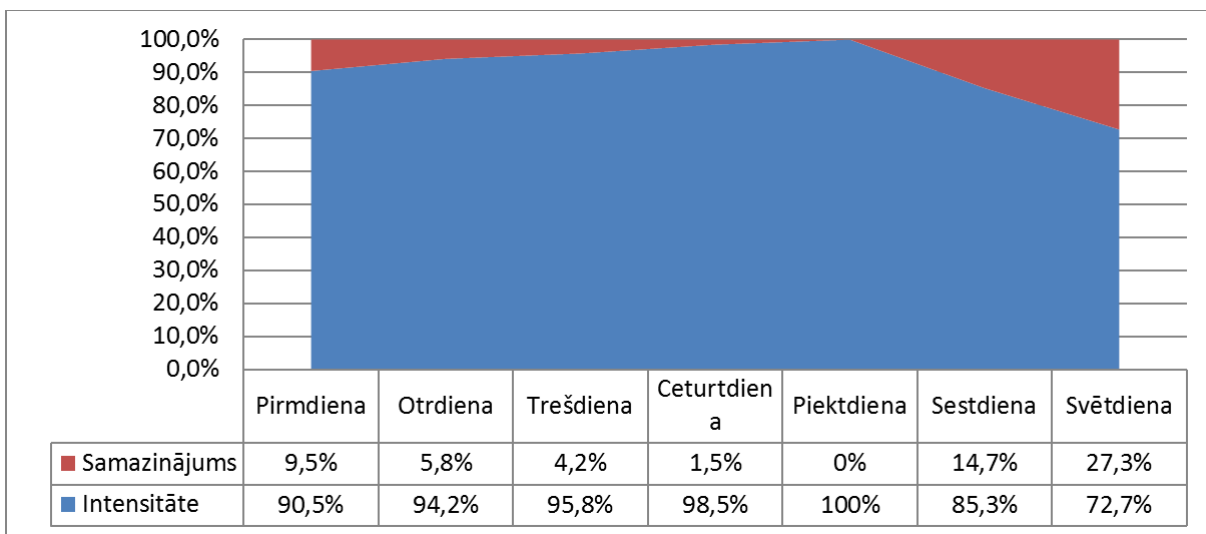
Pieņemot, ka vieglais transports rada nenozīmīgas piepūles tilta konstrukcijām, aplūkojam smagā un ļoti smagā transporta attiecību gan kvantitatīvi gan procentuāli 4.10.att.



4.10.att. 2004. gada smagā un ļoti smagā transporta sadalījums katrai nedēļas dienai svara intervāliem 0-3.5t, 3.5-20t un 20-300t

Kā redzams no grafika 4.11. attēlā, ļoti smagais transports procentuāli savu maksimumu 37% no kopējā smagā un ļoti smagā transporta intensitātes, sasniedz trīs dienu garumā no otrdienas līdz ceturtdienai, tomēr skaitliski tas maksimumu sasniedz tikai ceturtdien, kad vidēji smagais transports sastāda 66% un ļoti smagais 34%.

Zinot, kurās dienās gaidāma maksimālā intensitāte un lielākais smagā transporta īpatsvars, iespējams plānot un koordinēt satiksmes skaitīšanu vai svēršanu, kā arī organizēt būvniecības vai rekonstrukcijas darbus. Pieņemot, ka satiksmes intensitāte savu maksimumu sasniedz piektdien, var noteikt par cik procentiem pārējās nedēļas dienās satiksmes intensitāte ir samazināta 4.11.att.



4.11.att. 2004. gada satiksmes intensitātes samazinājums katrai nedēļas dienai

Kā redzams no 4.11.attēla, būtisks satiksmes intensitātes samazinājums ir brīvdienās, kas sastāda 14.7% sestdienās un 27.3% svētdienās.

Datu izpēte rāda, ka analīzei derīgo datu apjoms (dati par 1 078 403 transportlīdzekļiem) ir pietiekošs, datu daudzuma sadalījums pa nedēļām, mēnešiem un gadu ir vienmērīgs, tāpat vienmērīgs ir arī datu sadalījums pa transportlīdzekļu intensitātes, masas un asu skaita grupām. Tas nodrošina labu bāzi vispusīgas satiksmes slodzes analīzes veikšanai.

5. SATIKSMES SLODŽU DATI

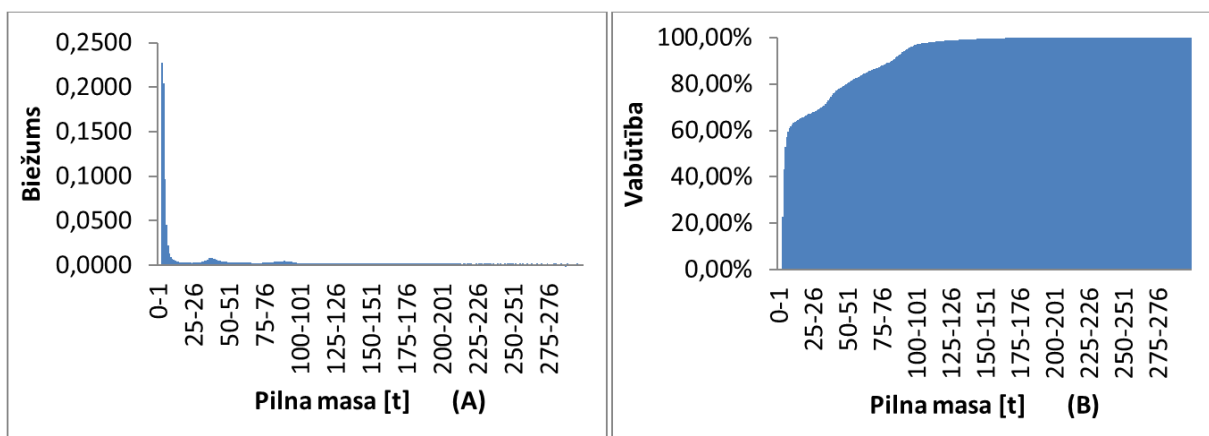
5.1. Transportlīdzekļu dati

5.1.1. Transportlīdzekļu pilnā masa

Transportlīdzekļa pilnā masa, smagākās riteņu ass slodzes lielums un attālums starp riteņu asīm ir svarīgākie satiksmes slodzes raksturojumi. Visprecīzāk šo slodžu sadalījumu var raksturot ar slodžu sadalījuma histogrammām (Bailey, 1996), (Ruan, 2010), (OConnor, A., 2008), (ASTRA, 2006).

Veicot satiksmes datu statistisko analīzi, tika konstatēts, ka maksimālais transportlīdzekļa svars sastāda ap 300 t, vidējais transportlīdzekļa svars ir 25,33 t, bet smagākās ass slodzes vidējā vērtība ir 8.23 t.

Transportlīdzekļu pilnas masas biežuma un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais sadalījums visiem transportlīdzekļu veidiem ir dots 5.1.attēlā.



5.1.att. Transportlīdzekļu pilnas masas biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

No 5.1.attēlā dotās histogrammas ir iespējams nolasīt galvenos pilnas masas sadalījuma raksturlielumus, kas parādīti 5.1.tabulā.

5.1. tabula.

Transportlīdzekļu pilnas masas sadalījuma raksturīgās vērtības

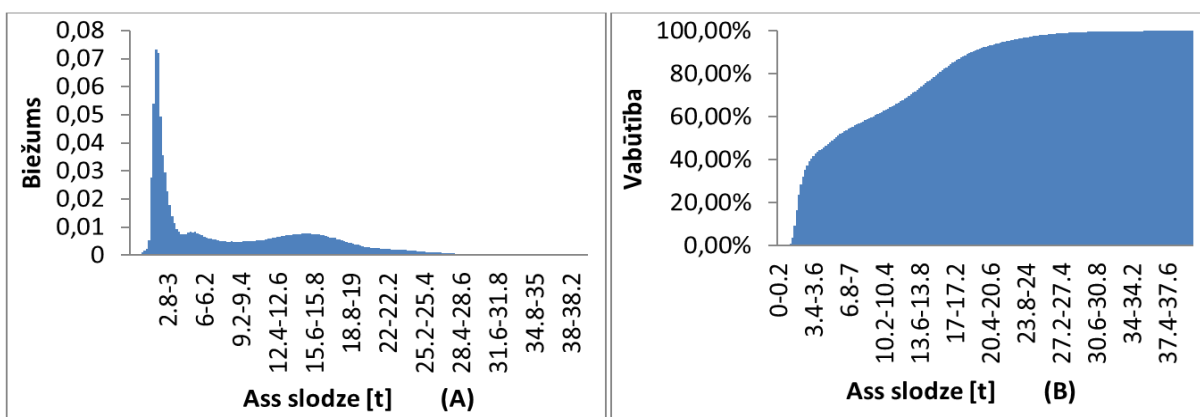
	Pie 95% varbūtības	Pirmais maksimums	Otrais maksimums	Trešais maksimums
Pilna masa	94-95 t	3-4 t	37-38 t	89-90 t

Transportlīdzekļu pilnas masas sadalījumā, kas dots 5.1.attēlā, redzamas trīs virsotnes: pirmā un lielākā ir pie 3-4t, gadījumu, kas norāda uz divasu transportlīdzekļu īpatsvaru, otrā ir

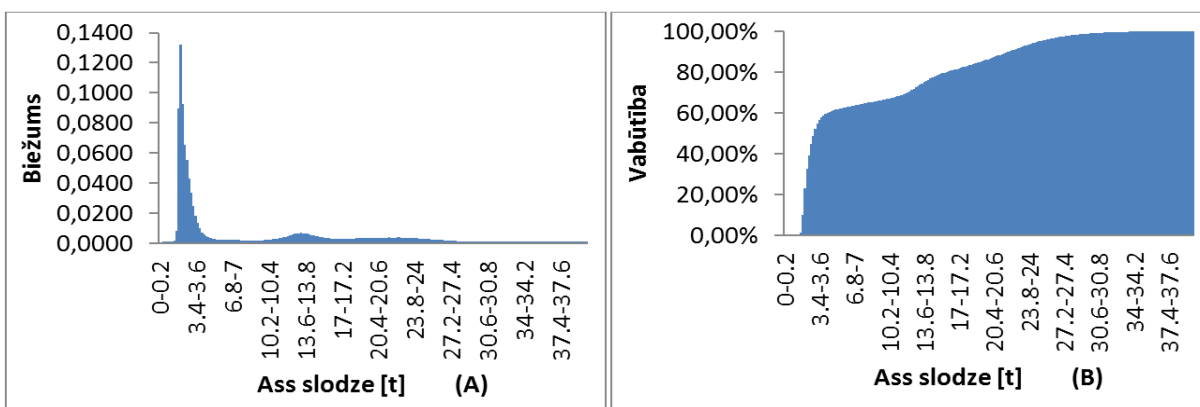
pie 37-38t, kas sakrīt ar četru asu transportlīdzekļu maksimumu, un trešā ir ap 89-90t, kas ir piecu asu transportlīdzekļu kopējā svara izkliedes maksimums. Visu transportlīdzekļu kopīgais svars, ar 95% varbūtību, ir nolasāms no nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvā sadalījuma histogrammas un tas ir 94-95t. Aplūkojot histogrammu 5.1. varam secināt, ka visu transportlīdzekļu masas izkliede ir ļoti plaša ar dažiem biežuma maksimumiem atsevišķās tās zonās. Tas ir saistāms ar dažādu transportlīdzekļu grupu īpatsvaru noteiktos svara intervālos.

Līdzīgas tendences novērotas arī citu valstu satiksmes sastāvā (O'Brien, 2006). Latvijā dominē transportlīdzekļi ar kopējo svaru 3.5-7 t, kas ir vairāk, kā citur Eiropā.

Nākamais satiksmi raksturojošais parametrs ir maksimālā un kopējā ass slodzes sadalījuma histogramma. Ass slodžu sadalījums dod relatīvi precīzu priekšstatu par to kā tiek ievēroti satiksmes noteikumos paredzētie ierobežojumi. Diemžēl, Eiropas valstīs diezgan plaši izplatīta prakse ir nesankcionēta smagā transporta pārvietošanās pa koplietošanas ceļiem (O'Brien, 2012). Šī tendence atspoguļojas transportlīdzekļu visu un smagākā riteņu ass slodžu sadalījumā, kas redzams 5.2. un 5.3.attēlā.



5.2.att. Transportlīdzekļu kopīgais ass biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums



5.3.att. Transportlīdzekļu maksimālo ass biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

No 5.2. un 5.3.attēlā dotajām histogrammām iespējams nolasīt galvenos sadalījuma raksturlielumus, kas parādīti 5.2.tabulā.

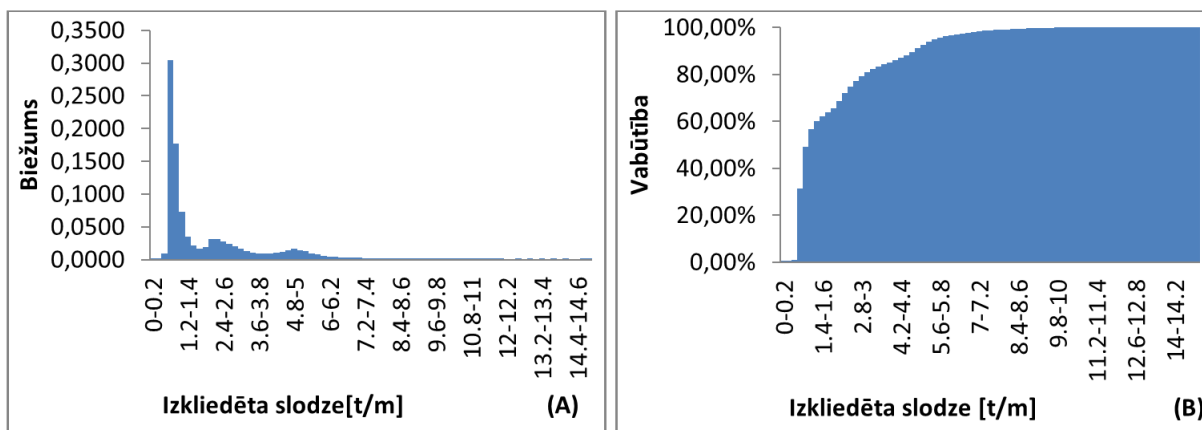
5.2. tabula

Transportlīdzekļu kopīgā un maksimālā ass sadalījuma raksturīgās vērtības

	Pie 95% varbūtības	Pirmais maksimums	Otrais maksimums	Trešais maksimums
Visu asu slodze	22-22,2 t	1,8-2 t	5,2-5,4 t	14,8-15
Maks. Ass slodze	24,8-25 t	2-2,2 t	13,2-13,4 t	22,2-22,4

Pētot transportlīdzekļa masas un ģeometrijas sakarības tiek apskatīta attiecība starp transportlīdzekļa masu un garumu, pārveidojot to vienmērīgi izkliedētā slodzē ar mērvienību - tonnas uz metru [t/m]. Šādi var parādīt slodzes lielumu, kas attiecināts uz automašīnas garumu, jo bieži īsi divu un trīs asu transportlīdzekļi, ar nelielu attālumu starp riteņu asīm, rada lielāku slodzi, kā smagi un gari transporta līdzekļi ar lielu riteņu asu skaitu un attālumu starp tiem. Transportlīdzekļus ar nelielu riteņu bāzi plaši izmantoja aprēķina slodzes modeļos pirms 1984. gada.

Izkliedētas slodzes histogramma, kas dota 5.4.attēlā, norāda uz trīs maksimumiem, kas saistāmi ar trīs dominējošo transportlīdzekļu veidiem.



6.4.att. Transportlīdzekļu radītās izkliedētās slodzes vērtību biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

No histogrammām, kas dotas 5.4.attēlā, ir iespējams nolasīt galvenos sadalījuma raksturlielumus, kas apkopoti 5.3.tabulā.

5.3. tabula

Transportlīdzekļu radītās izkliedētās slodzes sadalījuma raksturīgās vērtības

	Pie 95% varbūtības	Pirmais maksimums	Otrais maksimums	Trešais maksimums
Izkliedētās slodzes	5,6-5,8 t	0,6-0,8 t	2,2-2,4 t	4,8-5 t

5.1.2. Transportlīdzekļu smagākās ass novietojums

Analizējot datus, transportlīdzekļi tika sadalīti pēc to svara un riteņu asu skaita. Transportlīdzekļu procentuālais sadalījums pēc asu skaita ir apkopots 5.4.tabulā.

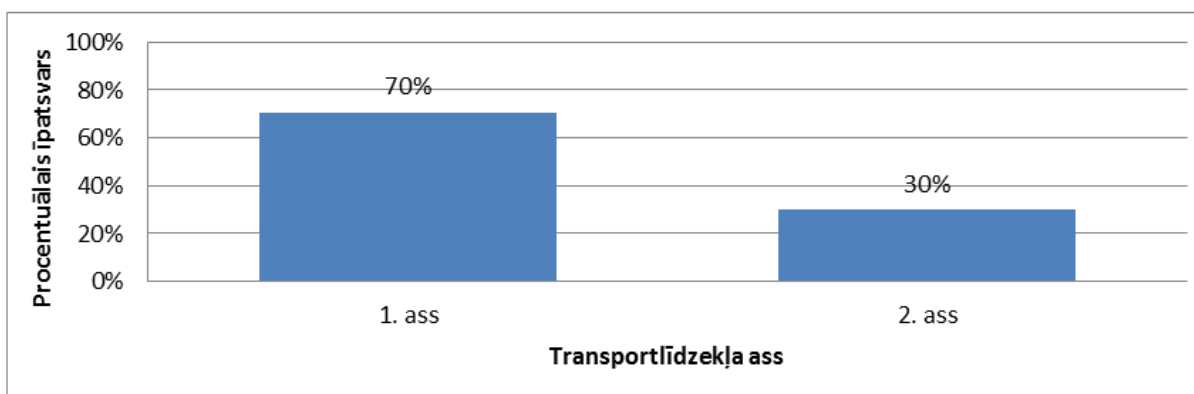
5.4. tabula.

Transportlīdzekļu procentuālais sadalījums pēc asu skaita

Transportlīdzekļa asu skaits	Procentuālais īpatsvars
2	66,50%
3	3.4%
4	5.2%
5	20.9%
6	1.6%
>6	2.4%
Kopā:	100%

Iegūtie rezultāti rāda, ka transportlīdzekļu sadalījums pēc riteņu asu skaita atbilst populārāko transportlīdzekļu veidiem. No kopējās satiksmes plūsmas divasu transportlīdzekļi, kas atbilst vieglajām automašīnām un vieglajam kravas transportlīdzeklim, sastāda ap 67%, piecasu transportlīdzekļi, kas atbilst kravas treileriem, sastāda ap 21 %, un četrasu transportlīdzekļi, kas atbilst smagajam kravas transportlīdzeklim, sastāda ap 5%.

Tālāk veikta transportlīdzekļu smagākās ass novietojuma noteikšana. Riteņu asu numerācija ir pieņemta mērierīces šķērsošanas secībā. Pirmā ass mērierīci šķērso pirmā. Smagākās ass novietojumu ir svarīgi zināt, jo pārbaudot tiltu nestspēju, satiksmes slodzes modeļa smagāko asi vajadzēs novietot virs ietekmes līnijas maksimālās ordinātas.

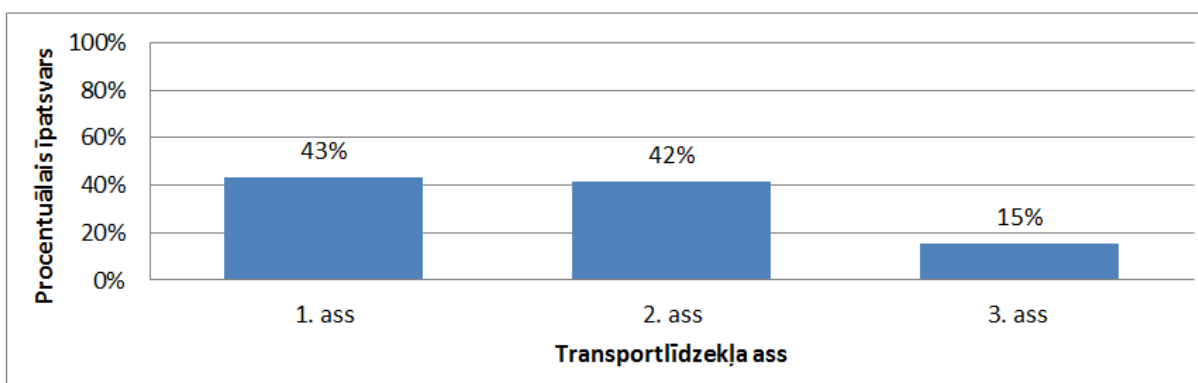


5.5.att. Divu asu transportlīdzekļa smagākās ass novietojuma sadalījums

Analizējot datus par divasu smagajiem transportlīdzekļiem (masa no 3.5 t līdz 20 t) var secināt, ka 70% gadījumu smagākā ir pirmā ass 5.5.att. Tas izskaidrojams ar to, ka tādiem

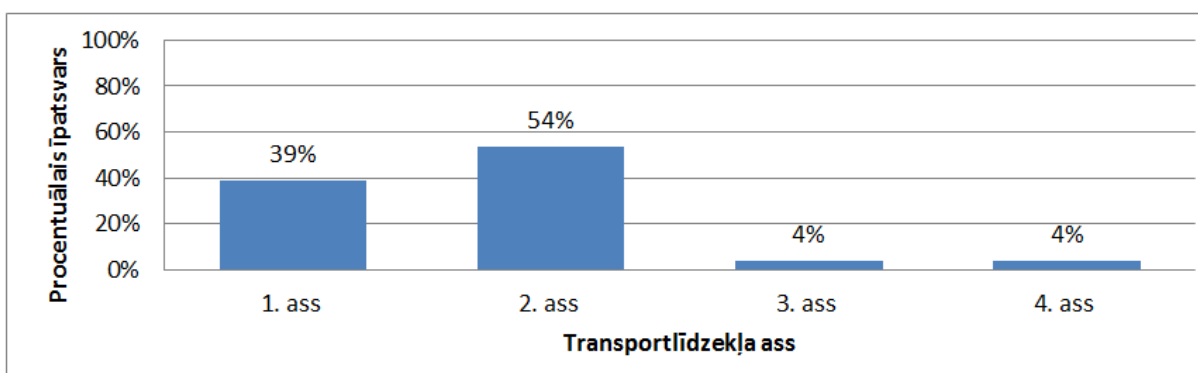
smagajiem transportlīdzekļiem, kā mikroautobusiem vai vieglajām kravas automašīnām, braucot bez kravas, priekšējā ass būs smagāka. Tātad liela daļa no automašīnām ir pārvietojusies bez kravas vai ar nelielu kravu.

Slodzes sadalījums trīsasu transporta līdzekļiem ir šāds: 43% gadījumu smagākā ir pirmā ass un 42% gadījumu otrā ass, bet tikai 15% gadījumu smagākā izrādījās trešā ass 5.6.att. Tas norāda uz to, ka arī trīsasu transportlīdzekļi, lielākajā daļā gadījumu, pārvietojas bez kravas, vai ar nelielu kravu.



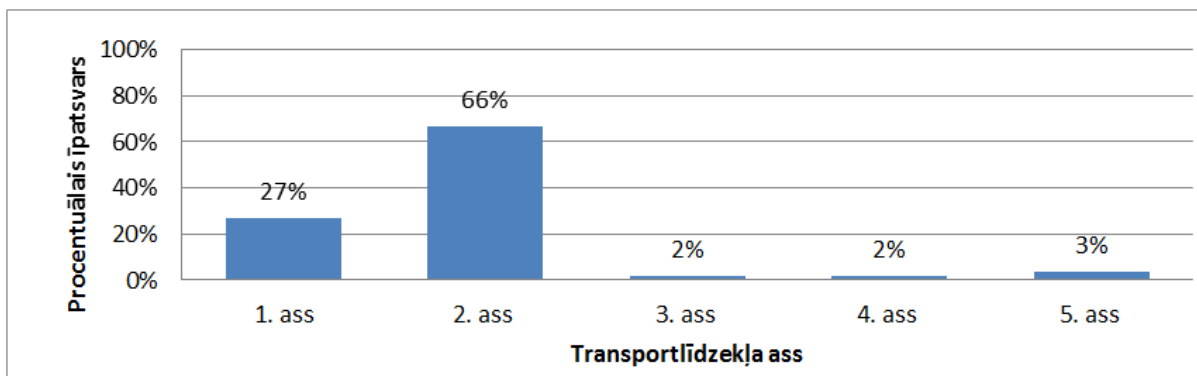
5.6.att. Trīs asu transportlīdzekļa smagākās ass novietojums

Četru asu transportlīdzekļiem, līdzīgi kā trīs asu transportlīdzekļiem, 39% gadījumu smagākā ir pirmā ass un 54% gadījumu tā ir otrā ass. Trešā un ceturtā ass smagākā bija tikai 4% gadījumu 5.7.att.



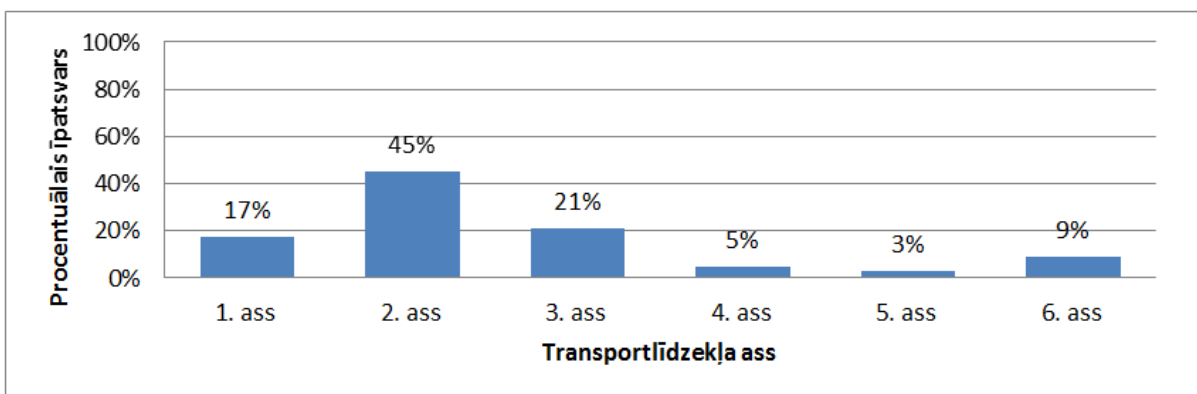
5.7.att. Četru asu transportlīdzekļa smagākās ass novietojums

Savukārt piecu asu transportlīdzekļiem 66% gadījumu smagākā ir otrā ass, aiz sevis atstājot pirmo asi ar 27% gadījumu. Trešā, ceturtā un piektā ass smagākā ir bijusi 2% un 3% gadījumos 5.8.att.



5.8.att. Piecu asu transportlīdzekļa smagākās ass novietojums

Sešu asu transportlīdzekļa smagākās ass novietojuma sadalījums ir līdzīgs, kā piecu asu transportlīdzeklim - 45% gadījumos tā ir otrā ass, 21% gadījumu tā ir trešā ass, 17% gadījumu tā ir pirmā ass. Ceturtā un piektā ass ir bijusi smagākā 4% un 5% gadījumu, sestā ass 10% gadījumu 5.9.att.



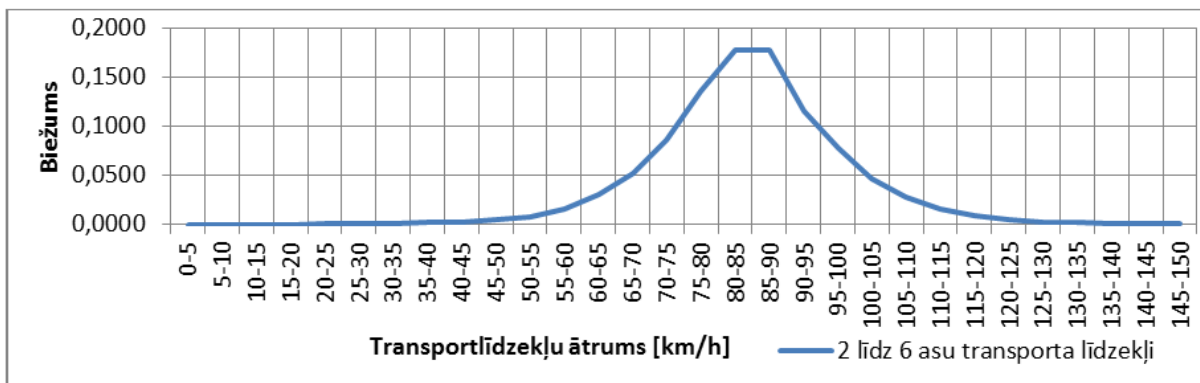
5.9.att. Sešu asu transportlīdzekļa smagākās ass novietojums

Iegūtie rezultāti rāda, ka pirmā un otrā ass lielā daļā gadījumu ir smagākās, tas nozīmē, ka smagie transporta līdzekļi bieži vien tiek nepilnīgi noslogoti. Lielu daļu no divasu transportlīdzekļiem, kas tikai nedaudz pārsniedz 3.5 t masu, veido kravas mikroautobusi, kas pārvadā dažādas preces, tomēr šo preču svars nav pietiekošs, lai smagākā būtu otrā ass. Līdz ar to var secināt, ka statistiski smagākās ne vienmēr ir pēdējās transportlīdzekļa asis, kā tas tika pieņemts daudzos aprēķina slodzes modeļos pirms 1984.gada (skat. 2.4.sadaļu).

5.1.3. Transportlīdzekļu ātrums

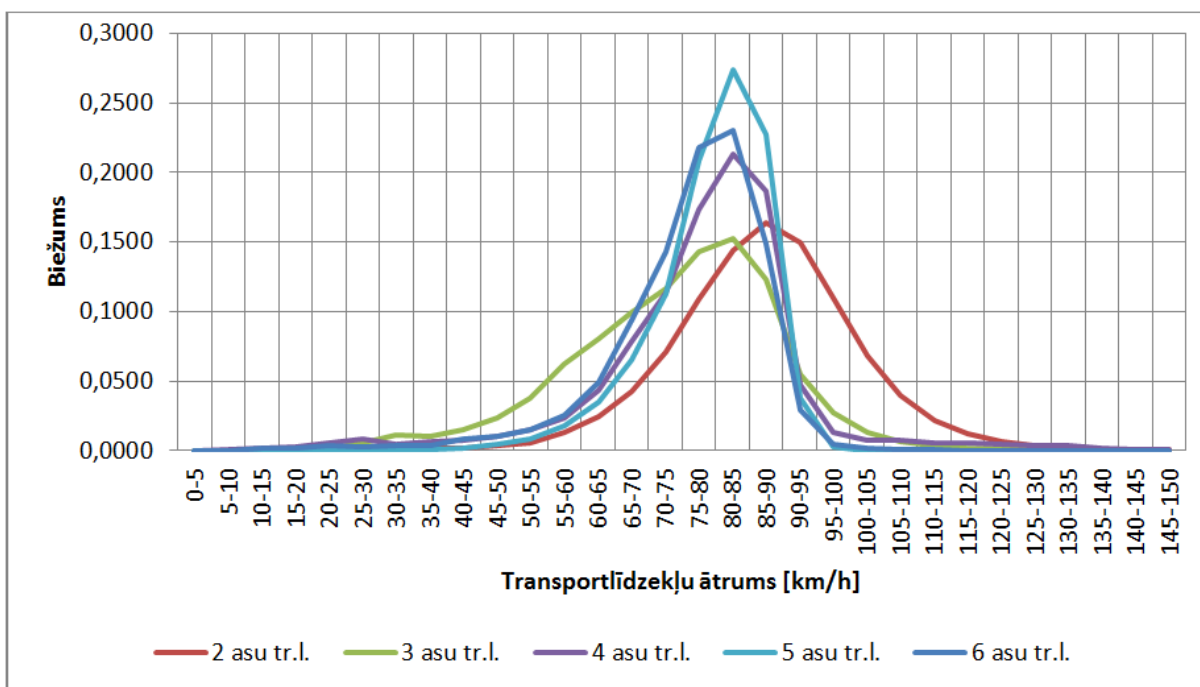
Transportlīdzekļu ātrums ir mainīgs lielums, kas atkarīgs no tādiem faktoriem kā: laika apstākļi, ceļa kvalitāte, redzamība, transportlīdzekļu intensitāte, transportlīdzekļa tehniskais stāvoklis, transportlīdzekļa tehniskie parametri, vadītāja kvalifikācija un citi.

Kopējais transportlīdzekļu ātrums kvantitatīvi apkopots 5.10.attēlā. Iegūtais ātruma sadalījums rāda, ka vidējais ātrums atbilst atļautajam 85-90 km/h, tomēr redzama arī liela izkliede – no 5 km/h līdz 150 km/h.



5.10.att. Kopējais transportlīdzekļu ātruma sadalījums

Ja aplūko transportlīdzekļu ātruma sadalījumu atkarībā no transportlīdzekļiem ar dažādu asu skaitu (5.11.att.), tad redzams, ka divu un trīs asu transportlīdzekļiem ātruma izkliede ir lielāka nekā četru līdz sešu asu transportlīdzekļiem.



5.11.att. Ātruma sadalījums dažādu asu skaita transportlīdzekļiem

Divu asu transporta līdzekļu sadalījuma funkcijas forma norāda uz piedrību normālajam sadalījumam, izlases moda atbilst 85-90 km/h. Ar 95% nepārsniegšanas

varbūtību ātrums ir 105-110 km/h, kas lielā mērā saistāms ar divasu transportlīdzekļu – mikroautobusu īpatsvaru un tendenci pārsniegt ātrumu. Pie divasu transportlīdzekļiem bieži tiek pieskaitīti arī apvidus transportlīdzekļi, kas pārsniedz 3,5 t, bet tiek izmantots kā personīgais autotransports. Līdzīgs ātruma sadalījums aprakstīts arī (Caprani & OBrien, 2007) publikācijā.

Vienīgais ātruma sadalījums ar bimodālu formu ir trīssasu transportlīdzekļiem, kur viena virsotne atrodas ap 30-35 km/h un otra ap 80-85 km/h. Ar 95% nepārsniegšanas varbūtību satiksmes slodze ieņem 95-100 km/h, kas pavisam nedaudz pārsniedz atļauto braukšanas ātruma ierobežojumu.

Četru, piecu un sešu asu transportlīdzekļu ātruma sadalījumu moda, jeb lielākais biežums atbilst 80-85 km/h. Četru asu transporta līdzekļiem 95% nepārsniegšanas varbūtība atbilst 95-100 km/h, savukārt piecu un sešu asu transporta līdzekļiem tā ir pie 85-90 km/h.

Līdz ar to varam secināt, ka palielinoties transportlīdzekļu asu skaitam, ātrums samazinās un pielīdzinās atļautajam.

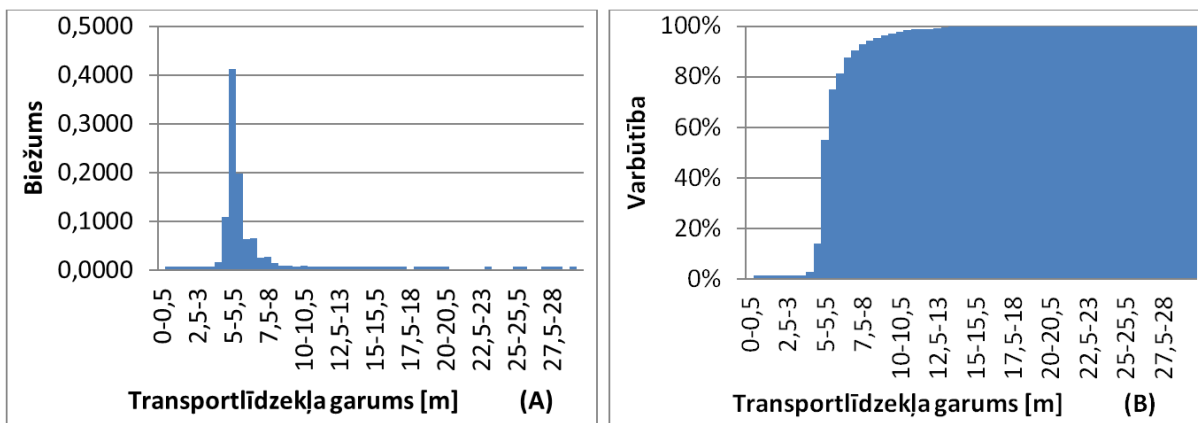
5.1.4. Transportlīdzekļu garuma un tā riteņu asu attāluma sadalījums

Svarīgs faktors, kas nosaka satiksmes slodzes iedarbes lielumu tilta garenvirzienā ir transportlīdzekļa garums un tā riteņu asu attālumu sadalījums. Uz Latvijas autoceļiem tiek izmantoti visdažādākā veida transportlīdzekļi, kas atšķiras gan ar savu garumu, gan asu skaitu.

Pieņemot šo parametru dažādību, aplūkoju transportlīdzekļu kopīgo garumu, kā arī atsevišķi attālumu starp asīm: divu, trīs, četru, piecu un sešu asu transportlīdzekļiem. Tā kā transportlīdzekļi ar lielāku asu skaitu ir reti sastopami un to intensitāte nav regulāra, tie tālāk pētījumā netiek apskatīti. Līdzīgs transportlīdzekļu sadalījums pēc to asu skaita atrodams arī (OConnor, 2005), (OConnor, 2007) un (Caprani & OBrien, 2007) publikācijās.

Kā pirmo aplūkoju divu asu transportlīdzekļus, apskatot to kopīgā garuma, kā arī attālumu sadalījumu starp riteņu asīm.

Divasu transportlīdzekļa garuma sadalījums 41% gadījumu ir 5.5 m, kaut gan sadalījuma izkliede ir liela un maksimālais garums pie 95% nepārsniegšanas varbūtības ir 8.5 – 9 m. No histogrammām, kas dotas 5.12. un 5.13.attēlā iespējams nolasīt galvenos sadalījuma raksturlielumus, kas parādīti 5.5.tabulā.

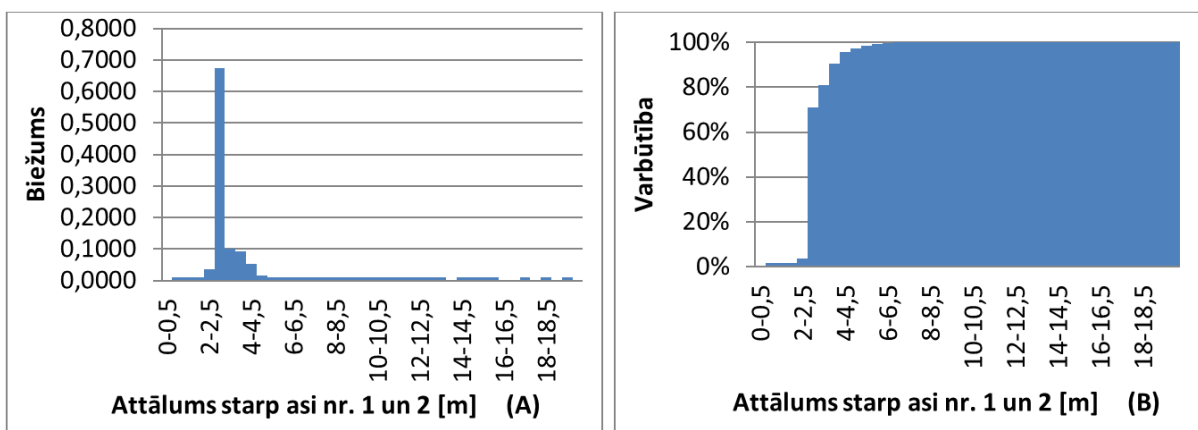


5.12.att. Divu asu transportlīdzekļu garuma biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

5.5. tabula

Divasu transportlīdzekļu kopējā garuma un attālumu starp asīm raksturīgās vērtības

		Pie 95% varbūtības	Pirmais maksimums	Otrais maksimums	Trešais maksimums
Kopējais transportlīdzekļa garums	[m]	8,5-9	5-5,5	7,5-8	nav
Attālums starp 1. un 2. asi	[m]	4-4,5	2,5-3	nav	nav



5.13.att. Divu asu transportlīdzekļu attālumu starp asi Nr. 1 un 2 biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

Attālums starp pirmo un otro asi 68% gadījumu (5.13.att.) ir 3 m, kas atbilst populārāko smago automašīnu bāzes attālumam

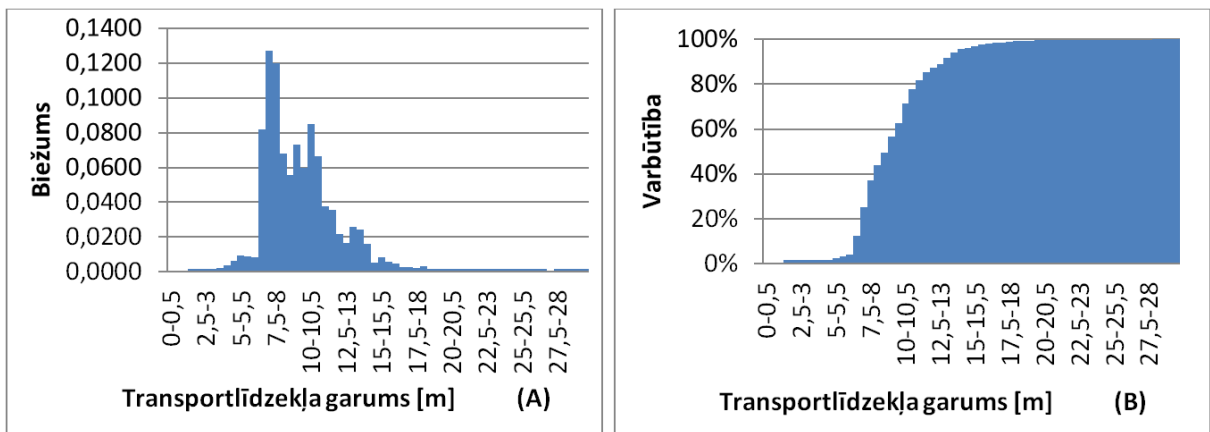
Divu asu transportlīdzekļu garuma un attālumu starp asīm maksimuma pamatā ir dažādie komerciālie kravas transportlīdzekļi un mikroautobusi, kuru garums bieži ir neliels un tie tiek izmantoti relatīvi vieglu kravu pārvadāšanai skatīt attēlu 5.14.



5.14.att. Divu asu smagie (A), (B) transportlīdzekļi un (C) mikroautobuss

Tālāk tiek aplūkoti trīs asu transportlīdzekļi. Šo transportlīdzekļu īpatsvars satiksmes plūsmā ir tikai 3,4%, tomēr to kopējā masa var būt ievērojama un uz tilta brauktuves, sakarā ar nelielo attālumu starp riteņu asīm, tā būs koncentrēta nelielā laukumā.

Kopējais transportlīdzekļu garuma sadalījums redzams 5.15.attēlā. Trīs asu transportlīdzekļa garuma sadalījumam ir trīs maksimumi, tādēļ 13% gadījumos transportlīdzekļa garums ir ap 7.5 m, 8% gadījumu 10.5 m, bet 2 % gadījumu 13.5 m, maksimālais garums pie 95% nepārsniegšanas varbūtības ir 14.5 m.



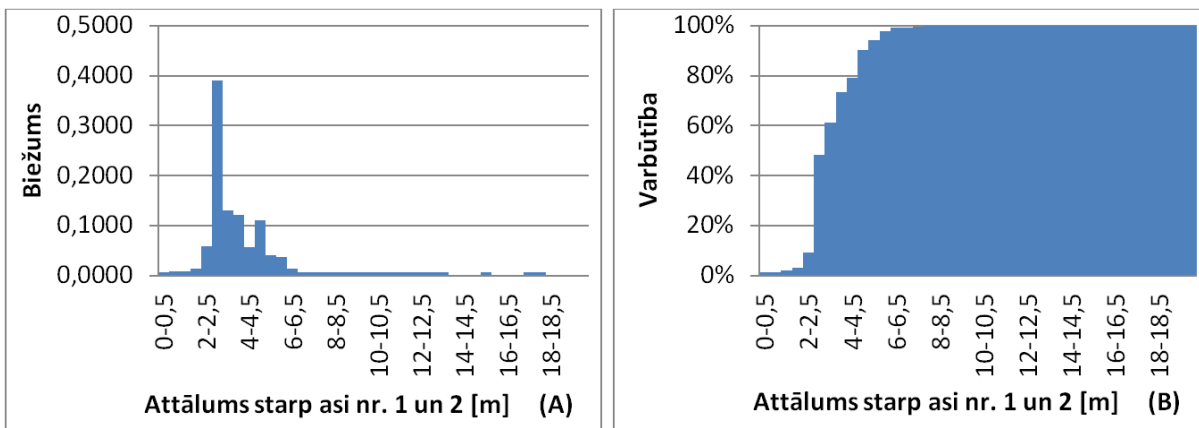
5.15.att. Trīs asu transportlīdzekļu garuma biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

No histogrammām, kas dotas 5.15., 5.16. un 5.17.attēlā, iespējams nolasīt galvenos garuma un starpasu sadalījuma raksturlielumus, kas parādīti 5.6.tabulā.

5.6. tabula.

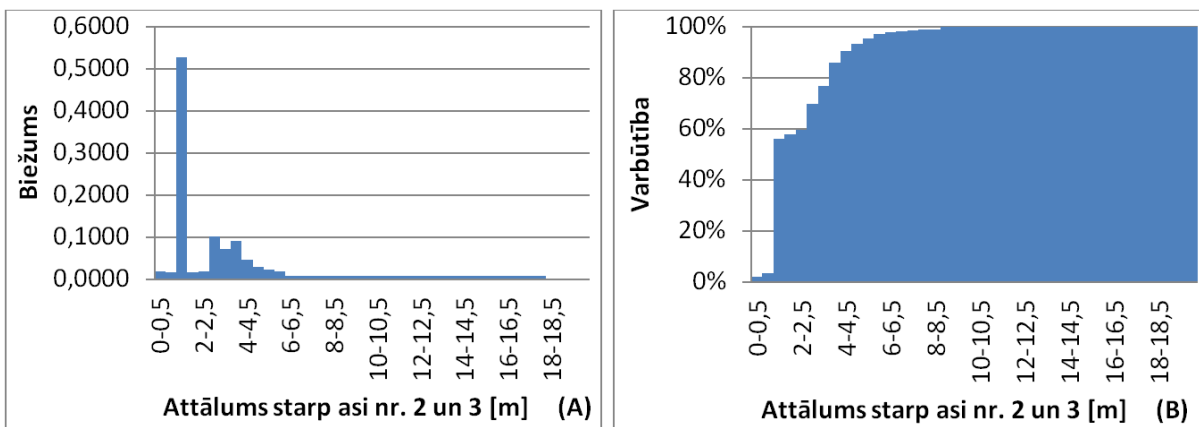
Trīs asu transportlīdzekļu kopējā garuma un attālumu starp asīm raksturīgās vērtības

		Pie 95% varbūtības	Pirmais maksimums	Otrais maksimums	Trešais maksimums
Kopējais transportlīdzekļa garums	[m]	14-14,5	7-7,5	10-10,5	13-13,5
Attālums starp 1. un 2. asi	[m]	5-5,5	2,5-3	4,5-5	nav
Attālums starp 2. un 3. asi	[m]	5-5,5	1-1,5	2,5-3	3,5-4



5.16.att. Trīs asu transportlīdzekļu attālumu starp asi Nr. 1 un 2 biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

Trīs asu transportlīdzekļi ir ar satuvinātām aizmugurējām asīm, tas redzams no datiem, kas doti 5.6.tabulā. Grafikos, kas doti 5.15. un 5.16.attēlā, norāda uz viena noteikta asu attāluma pārsvaru auto ģeometriskajos parametros.



5.17.att. Trīs asu transportlīdzekļu attālumu starp asi Nr. 2 un 3 biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

Tipiskie trīs asu smagie transportlīdzekļi redzami attēlā 5.18. Eksistē trīsasu transportlīdzekļi, kas var pacelt vienu no asīm un pārvietoties kā divasu transportlīdzekļi.



5.18.att. Trīs asu transportlīdzekļi (A), (B) un (C)

Ja aplūkojam histogrammu 5.17 redzam ka eksistē transportlīdzekļi ar atvirzītām aizmugurējām asīm, kā piemēru skatīt attēlu 5.19.



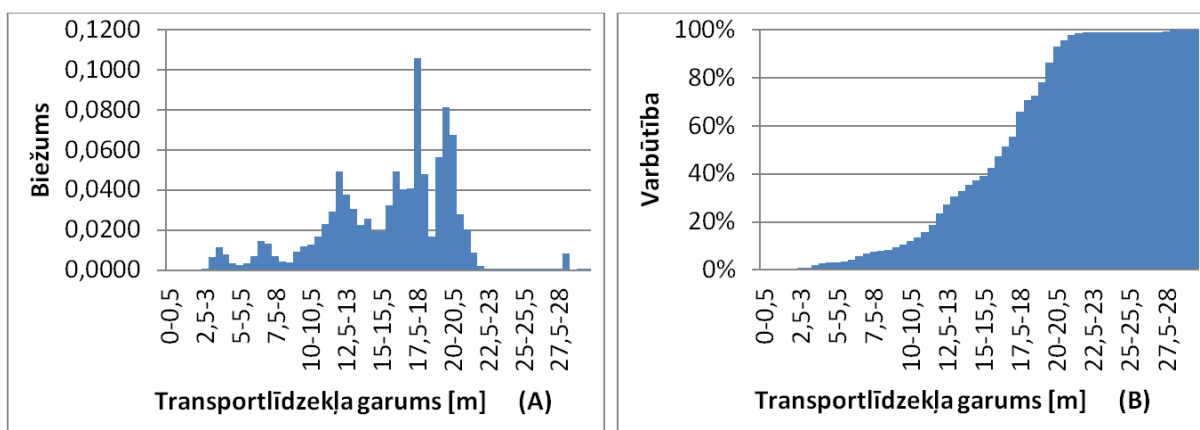
5.19.att. Trīs asu sabiedriskais autobuss

Tālāk tiek apskatīti četru asu transportlīdzekļi. Arī šo transportlīdzekļu garums mainās lielā amplitūdā: no 3 līdz pat 30 m garumam. Datu statistiskā analīze parādīja, ka visbiežāk, 10.6% gadījumos transportlīdzekļa garums ir intervālā ap 18 m.

Trīs un četru asu transportlīdzekļi pārsvarā tiek izmantoti dažādu beramu kravu pārvadāšanai, tādēļ šādu transportlīdzekļu masa var būt ievērojama, un nelielais attālums starp aizmugurējām asīm rada slodzes koncentrāciju, kas var izraisīt lielas piepūles tiltu konstrukcijās, skatīt attēlu 5.20 (C). Uz četrasu riteņu bāzes var tikt veidoti arī celtņi, betona maisītāji un citi smagie transportlīdzekļi, skatīt attēlu 5.20.



5.20.att. Četrasu (A) celtnis, (B) betona maisītājs un (C) beramu kravu pašizgāzējs



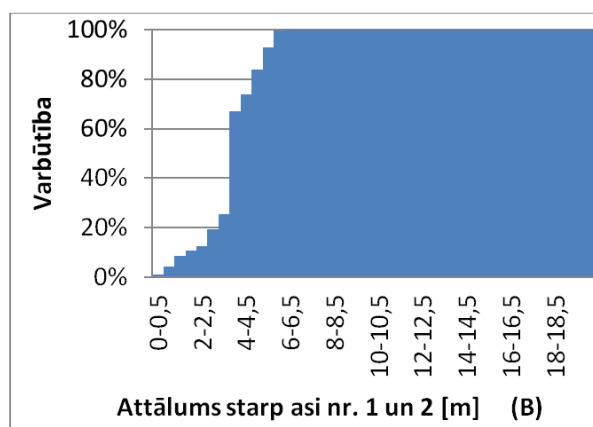
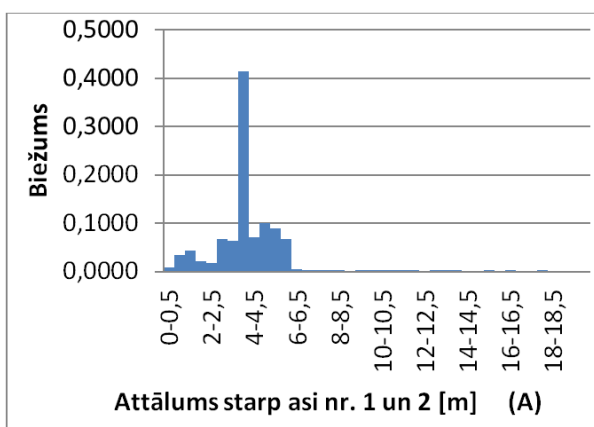
5.21.att. Četru asu transportlīdzekļu garuma biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

No histogrammām 5.21., 5.22., 5.23. un 5.24.attēlā ir iespējams nolasīt galvenos garuma un starpasu attāluma sadalījuma raksturlielumus, kas parādīti 5.7.tabulā.

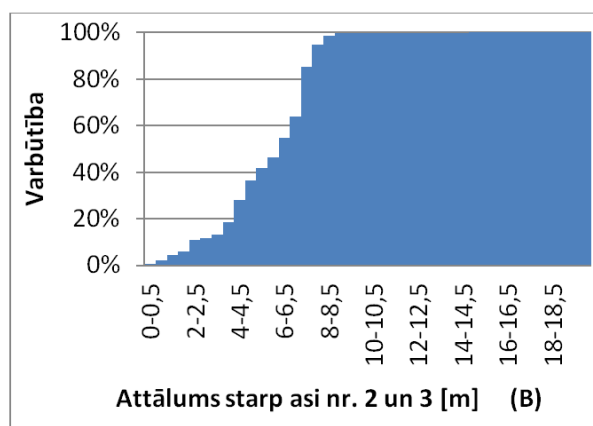
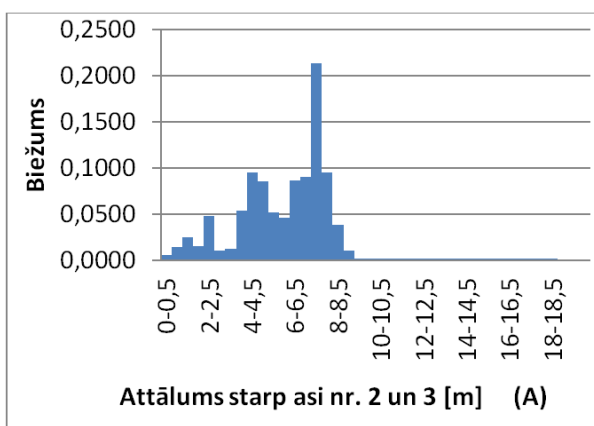
5.7.Tabula.

Četru asu transportlīdzekļu kopējā garuma un attālumu starp asīm raksturīgās vērtības

		Pie 95% varbūtības	Pirmais maksimums	Otrais maksimums	Trešais maksimums
Kopējais transportlīdzekļa garums	[m]	20-20,5	17,5-18	19,5-20	16-16,5
Attālums starp 1 . un 2. asi	[m]	5-5,5	3,5-4	2,5-3	1-1,5
Attālums starp 2. un 3. asi	[m]	7,5-8	7-7,5	4-4,5	2-2,5
Attālums starp 3 . un 4. asi	[m]	4,5-5	1-1,5	5-5,5	



5.22.att. Četru asu transportlīdzekļu attālumu starp asi Nr. 1 un 2 biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

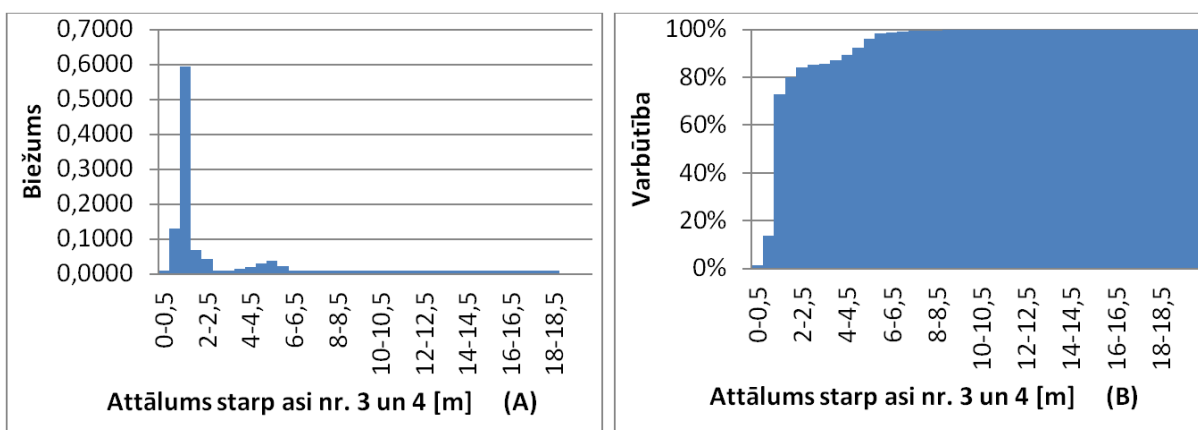


5.23.att. Četru asu transportlīdzekļu attālumu starp asi Nr. 2 un 3 biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

Attālums starp pirmo un otro asi 41% gadījumu 5.22.att. ir 3.7m, kas atbilst populārāko smago automašīnu bāzes attālumam. Attālums starp otro un trešo asi 5.23.att. ir

mainīgs un atkarīgs no automašīnas tipa: 5% gadījumu tas ir 1.3 m, 9% gadījumu tas ir 4 m, un 22% gadījumu tas ir 7.5 m. Attālums starp trešo un ceturto asi 60% gadījumu ir 1.6 m, kas norāda uz to, ka aizmugurējās divas vai trīs asis ir sapārotas un veido koncentrētas slodzes grupu.

Lai precīzāk fiksētu šo transportlīdzekļu veidu, būtu bijis nepieciešams WIM sistēmu papildināt ar foto vai video kameru, kā to rekomendē (O'Brien, 2012) , tomēr šoreiz tādas iespējas nebija, tādēļ dati tika iegūti tikai no brauktuvē iebūvētajiem sensoriem.



5.24.att. Četru asu transportlīdzekļu attālumu starp asi Nr. 3 un 4 biežuma (A) un kumulatīvais (B) sadalījums

Tālāk tiek apskatīti piecu asu transportlīdzekļi. Šie transportlīdzekļi visbiežāk tiek lietoti tranzīta kravu pārvadāšanai, un to modeļu izvēle nav tik plaša. Tas redzams no kopējā garuma histogrammas 5.27.att. Šie transportlīdzekļi pārsvarā tiek lietoti tranzīta konteineru un līdzīga izmēra kravu pārvadāšanai skatīt attēlu 5.25., kā arī dažādu cisternu, celtnu, beramu kravu un citādi konfigurētu kravu pārvadāšanai skatīt attēlu 5.26.



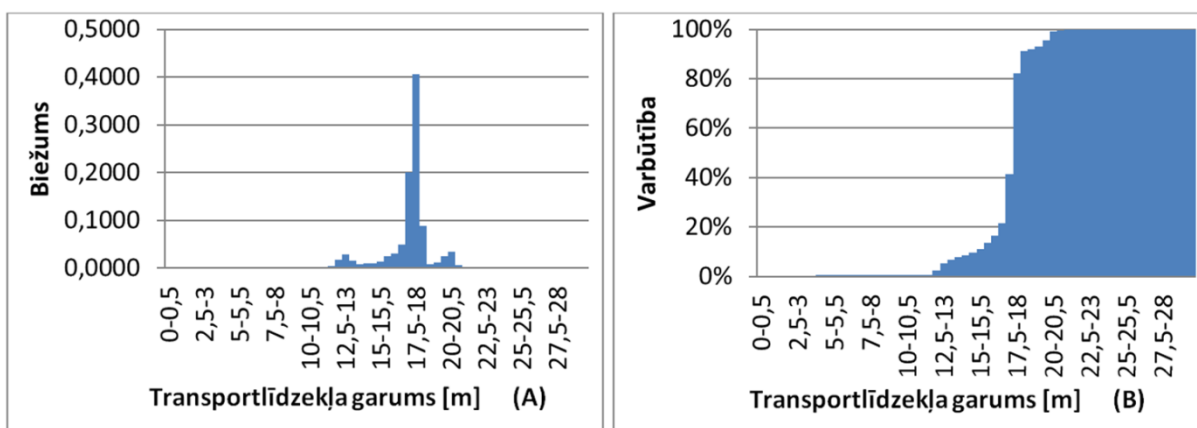
5.25.att. Piecu asu transportlīdzekļi kas pārvadā (A) kontēneri un (B) puspiekabi

No histogrammas attēlā 5.27. var secināt, ka 40% gadījumu piecu asu transportlīdzekļa garums ir aptuveni 18 m gari. Kaut arī šie transportlīdzekļi var pārvadāt ievērojama smaguma kravas, tomēr to garums ļauj šo slodzi vienmērīgi sadalīt lielākā

garumā, tādēļ šādu transportlīdzekļu slodze dod vērā ņemamas piepūles tiltos, kuru laidumi ir garāki par 25 m.



5.26.att. Piecu asu transportlīdzekļi kas pārvadā (A) beramas kravas un (B) cisternu



5.27.att. Piecu asu transportlīdzekļu garuma biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

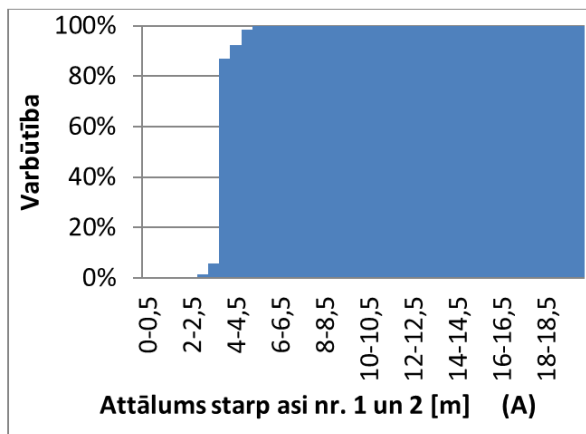
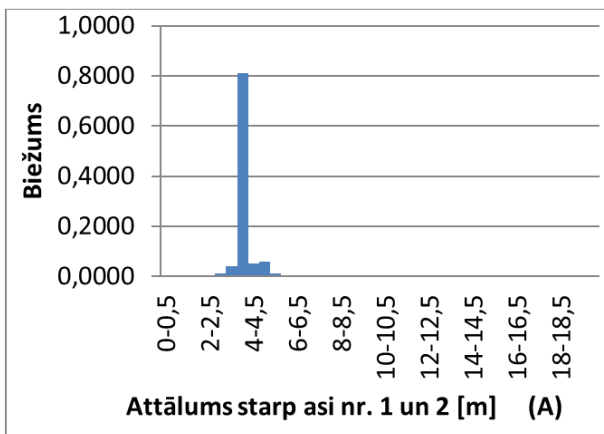
No histogrammām, kas dotas 5.27., 5.28., 5.29., 5.30. un 5.31. attēlā ir iespējams nolasīt galvenos sadalījuma raksturlielumus, kas parādīti 5.8.tabulā.

5.8.tabula.

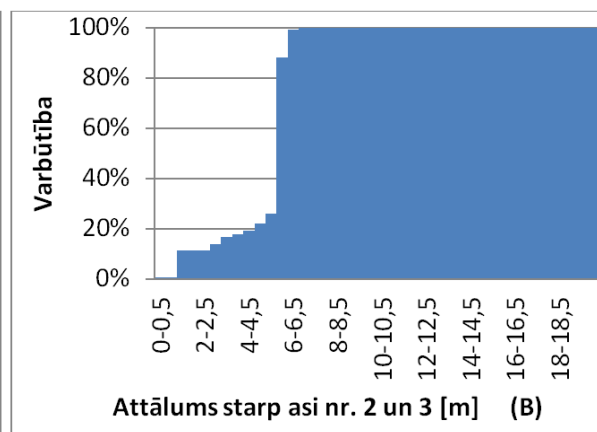
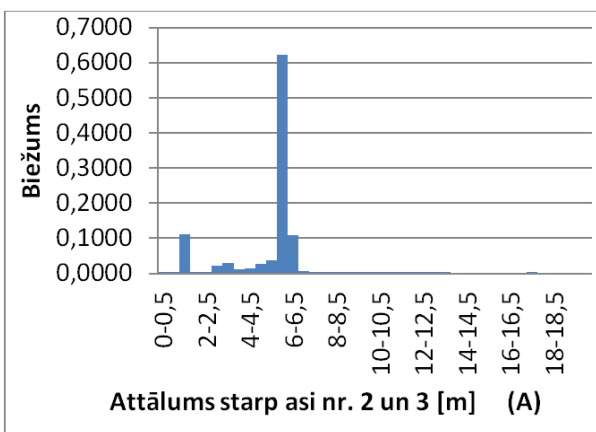
Piecu asu transportlīdzekļu kopējā garuma un attālumu starp asīm raksturīgās vērtības

		Pie 95% varbūtības	Pirmais maksimums	Otrais maksimums	Trešais maksimums
Kopējais transportlīdzekļa garums	[m]	19,5-20	17,5-18	20-20,5	12,5-13
Attālums starp 1 . un 2. asi	[m]	4-4,5	3,5-4	nav	nav
Attālums starp 2. un 3. asi	[m]	5,5-6	5,5-6	1-1,5	3-3,5
Attālums starp 3 . un 4. asi	[m]	5,5-6	1-1,5	nav	nav
Attālums starp 4 . un 5. asi	[m]	1,5-2	1-1,5	4-4,5	nav

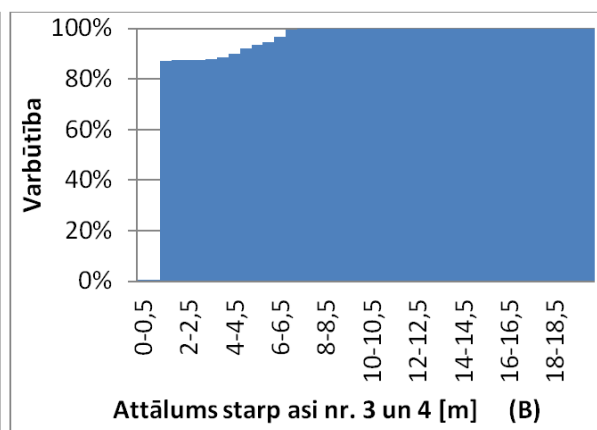
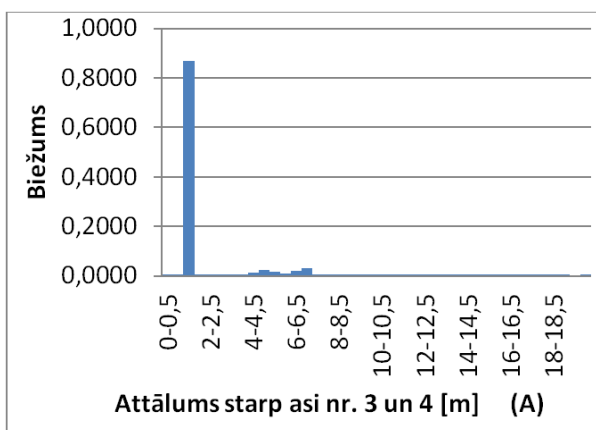
Piecu asu transportlīdzekļiem ir ļoti izteiktas asu attālumu koncentrēšanās zonas, kas norāda uz divu tipu automašīnām: treileriem ar divām vai trim sapārotām asīm.



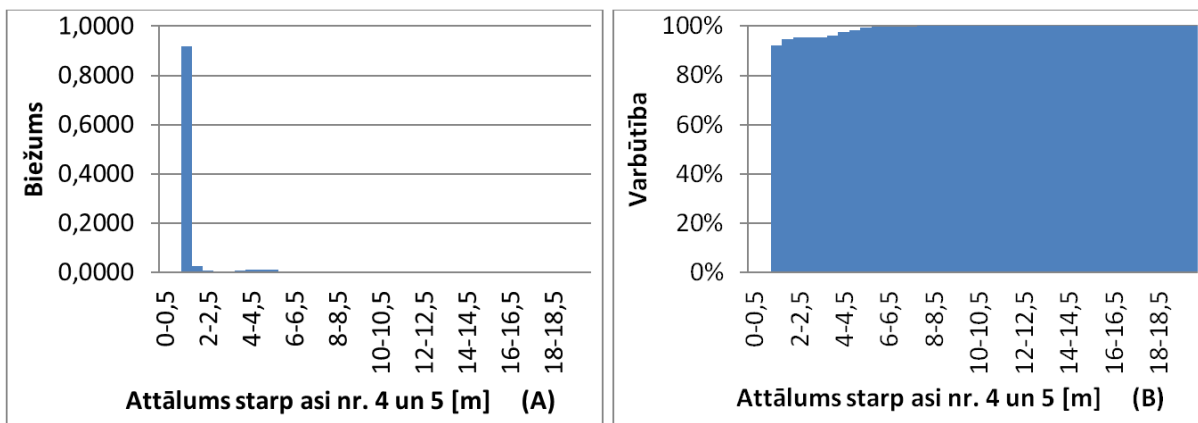
5.28.att. Piecu asu transportlīdzekļu attālumu starp asi Nr. 1 un 2 biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums



5.29.att. Piecu asu transportlīdzekļu attālumu starp asi Nr. 2 un 3 biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums



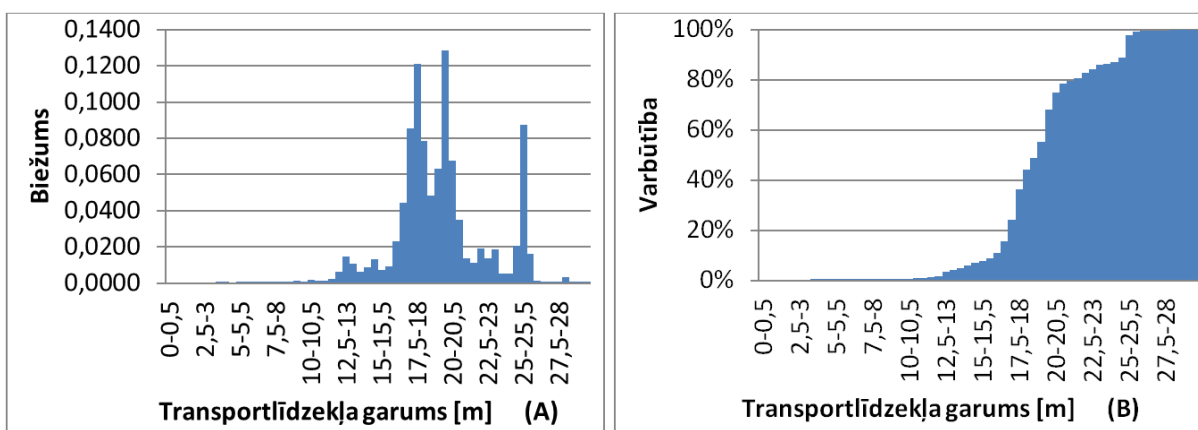
6.30.att. Piecu asu transportlīdzekļu attālumu starp asi Nr. 3 un 4 biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums



6.31.att. Piecu asu transportlīdzekļu attālumu starp asi Nr. 4 un 5 biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

Attālums starp pirmo un otro asi 80% gadījumu 5.28.att. ir ap 3.7m, kas atbilst populārāko smago automašīnu-vilcēju bāzes attālumam. Attālums starp otro un trešo asi 5.29.att. ir mainīgs un atkarīgs no automašīnas tipa: 10% gadījumu tas ir 1.3 m, 9% gadījumu tas ir 3.5 m, un 62% gadījumu tas ir ap 6 m. Attālums starp trešo un ceturto asi, kā arī starp ceturto un piekto asi 60% gadījumu ir 1.3 m, kas norāda uz to, ka aizmugurējās divas vai trīs asis ir sapārotas un veido koncentrētas slodzes grupu.

Tālāk tiek apskatīti sešu asu transportlīdzekļi. Šādus transportlīdzekļus, visbiežāk, veido dažāda veida autovilcēji, kas sastāv no vilcēja un piekabēm. Viens no lielākajiem sešu asu transportlīdzekļu pielietojumiem ir redzams tieši apaļkoka baļķu transportā no izstrādes vietām uz apstrādes vai eksporta galamērķiem skatīt attēlu 5.33.



5.32.att. Sešu asu transportlīdzekļu garuma biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums



5.33.att. Sešu asu apaļkoka baļķu transportlīdzeklis

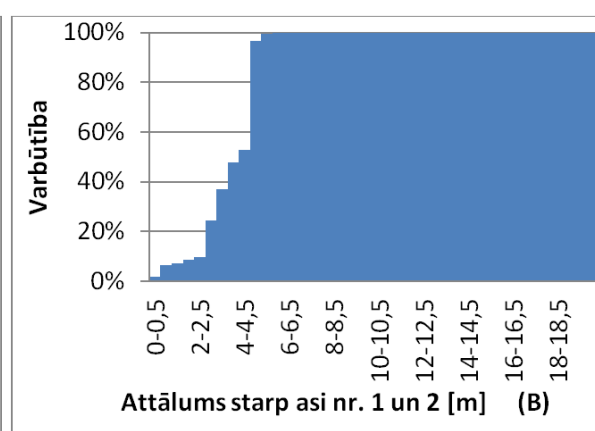
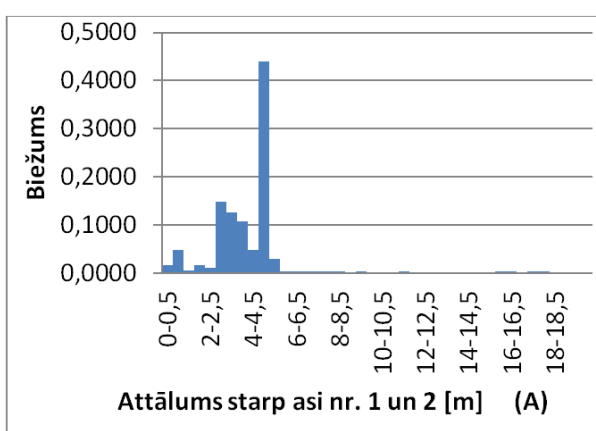
Sešu asu transportlīdzekļu garuma kumulatīvais sadalījums 5.32.att. rāda, ka 12 % gadījumu transportlīdzekļa garums ir 18 m, 13% gadījumu tas ir 20 m, bet 9% gadījumu tas ir 25 m. Tas nozīmē, ka tiek pielietoti trīs izteikti sešu asu transporta līdzekļu tipi.

No histogrammām, kas dotas 5.33., 5.34., 5.35., 5.36., 5.37. un 5.38.attēlā iespējams nolasīt galvenos sadalījuma raksturlielumus, kas parādīti 5.9.tabulā.

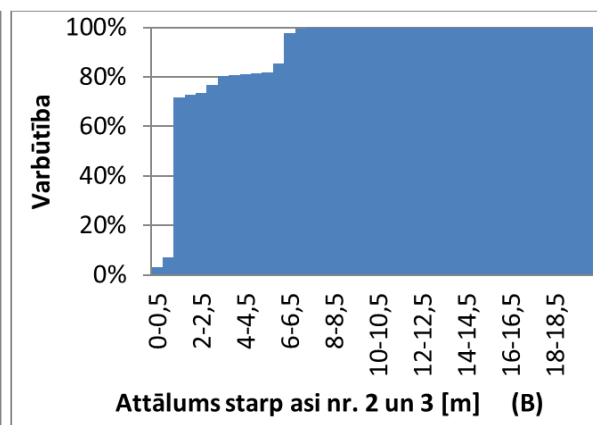
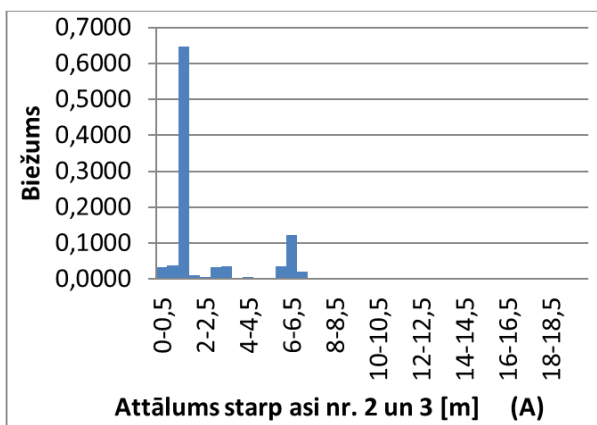
5.9.tabula.

Sešu asu transportlīdzekļu kopējā garuma un attālumu starp asīm raksturīgās vērtības

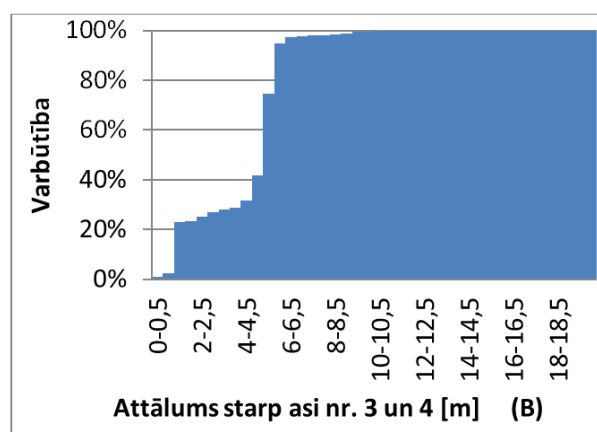
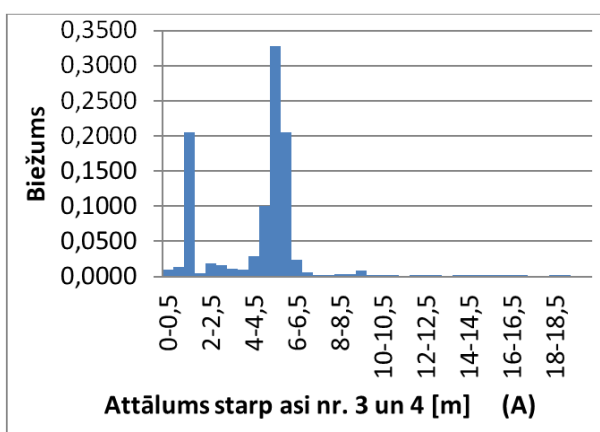
		Pie 95% varbūtības	Pirmais maksimums	Otrais maksimums	Trešais maksimums
Kopējais transportlīdzekļa garums	[m]	24,5-25	19,5-20	17,5-18	25-25,5
Attālums starp 1 . un 2. asi	[m]	4,5-5	4,5-5	2,5-3	nav
Attālums starp 2. un 3. asi	[m]	5,5-6	1-1,5	6-6,5	3-3,5
Attālums starp 3 . un 4. asi	[m]	5,5-6	5-5,5	1-1,5	nav
Attālums starp 4 . un 5. asi	[m]	6,5-7	1-1,5	3,5-4	7-7,5
Attālums starp 5 . un 6. asi	[m]	1,5-2	1-1,5	nav	nav



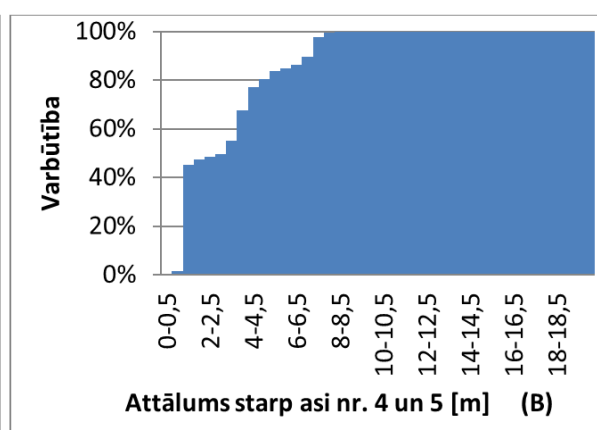
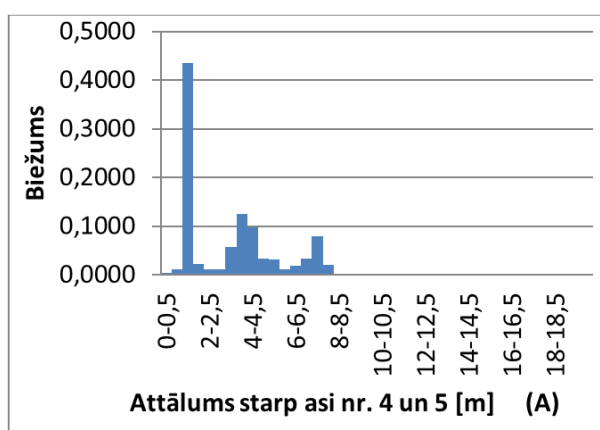
5.34.att. Sešu asu transportlīdzekļu attālumu starp asi Nr. 1 un 2 biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums



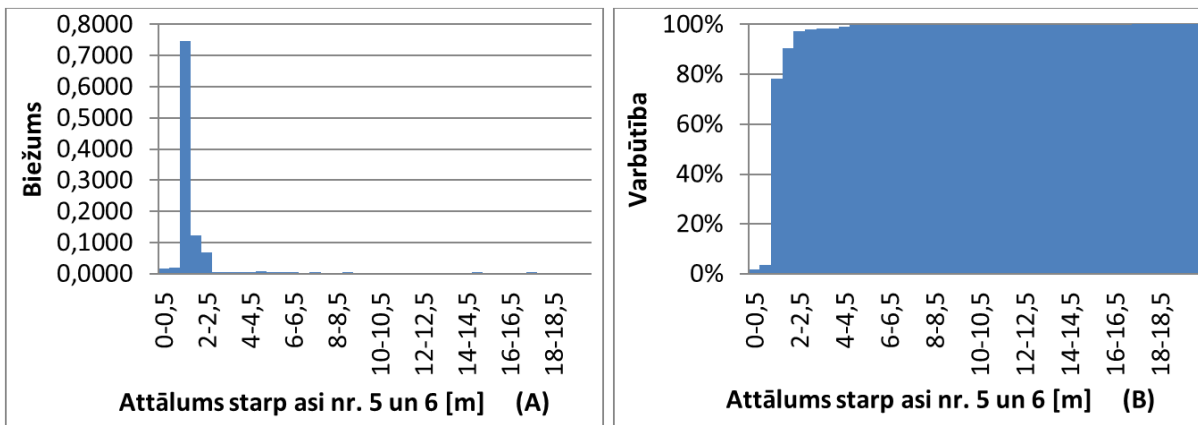
5.35.att. Sešu asu transportlīdzekļu attālumu starp asi Nr. 2 un 3 biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums



5.36.att. Sešu asu transportlīdzekļu attālumu starp asi Nr. 3 un 4 biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums



5.37.att. Sešu asu transportlīdzekļu attālumu starp asi Nr. 4 un 5 biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums



5.38.att. Sešu asu transportlīdzekļu attālumu starp asi Nr. 5 un 6 biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

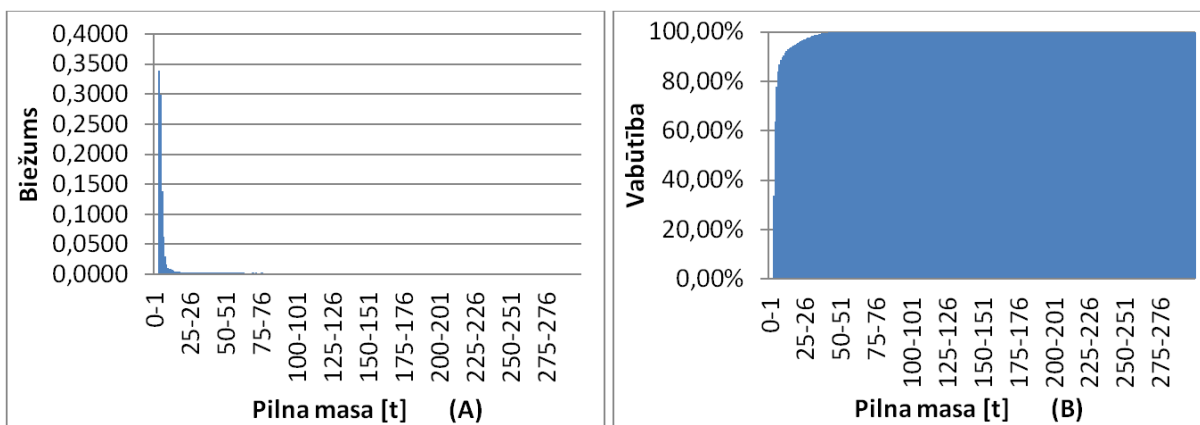
Attālums starp pirmo un otro asi 42% gadījumu 5.34.att. ir ap 3.7m, kas atbilst populārāko smago automašīnu-vilcēju bāzes attālumam. Attālums starp otro un trešo asi 5.35.att. ir mainīgs un atkarīgs no automašīnas tipa: 65% gadījumu tas ir 1.3 m (sapārotās asis), 11% gadījumu tas ir 6.5 m (piekabes pirmā ass). Attālums starp trešo un ceturto asi, 20% gadījumu ir 1.3 m (sapārotas priekšējās asis), 33% gadījumu tas ir 5.5 m. Attālums starp ceturto un piekto asi, 42% gadījumu ir 1.3 m (sapārotas asis), 12% gadījumu tas ir 3.7 m, 8% gadījumu ir 7 m. Attālums starp piekto un sesto asi 72% gadījumu ir 1.3 m, kas norāda uz to, ka aizmugurējās trīs asis, visbiežāk, ir sapārotas un veido koncentrētas slodzes grupu.

5.1.5. Transportlīdzekļu kopīgās un ass slodžu sadalījums

Transportlīdzekļu masas un katras atsevišķās ass slodzes sadalījums ir svarīgs faktors tiltu nestspējas noteikšanai un faktisko slodzes modeļa izstrādāšanai. Tādēļ meklēto satiksmes slodzes modeļu iegūšanai tika analizētas un aplūkotas katras atsevišķās ass slodzes vērtības.

Līdzīgi kā ģeometriskajiem lielumiem tika aplūkotas 2, 3, 4, 5, 6 asu transportlīdzekļu katras ass slodzes un pilnās masas biežuma un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais sadalījums. Raksturīgās vērtības apkopotas tabulās, kas atvieglo histogrammu novērtēšanu.

Apskatot divasu transportlīdzekļu masas sadalījumu 5.39.att., var redzēt, ka 34% gadījumu kopējā transportlīdzekļu masa ir ap 3.5 t. Tā pat var konstatēt, ka diagrammā ir tikai viens maksimums, kas norāda uz lielu transportlīdzekļu vienvērtīgumu.



5.39.att. Divu asu transportlīdzekļu kopējās masas biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

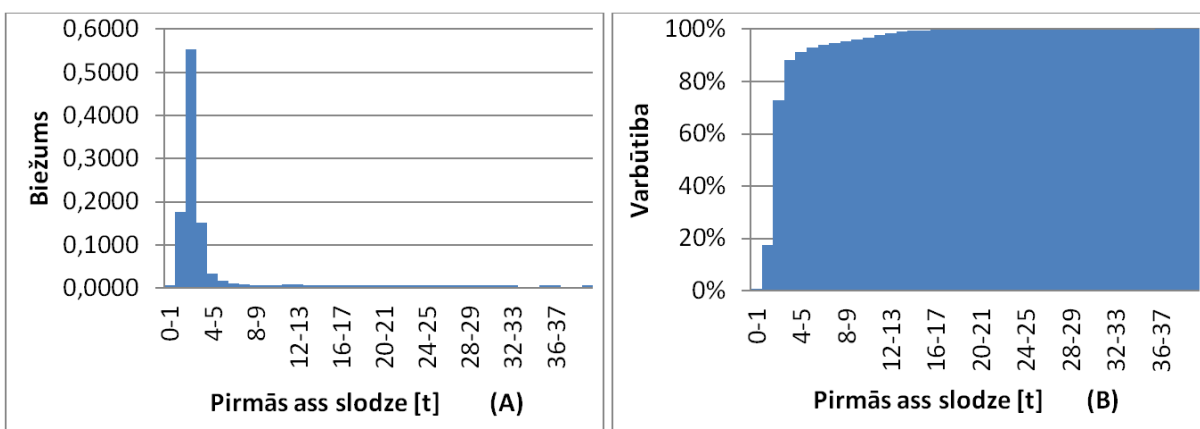
Iegūtais slodzes sadalījums atšķiras no līdzīga pētījuma (Xin, 2010), kur aplūkojot divu asu transportlīdzekļus, tika iegūtas trīs raksturīgās virsotnes. Te gan jāatzīmē, ka arī šajā pētījumā pirmais maksimums bija noteicošais.

No histogrammām, kas dotas 5.39., 5.40. un 5.41.attēlā, iespējams nolasīt galvenos sadalījuma raksturlielumus, kas parādīti tabulā 5.10.

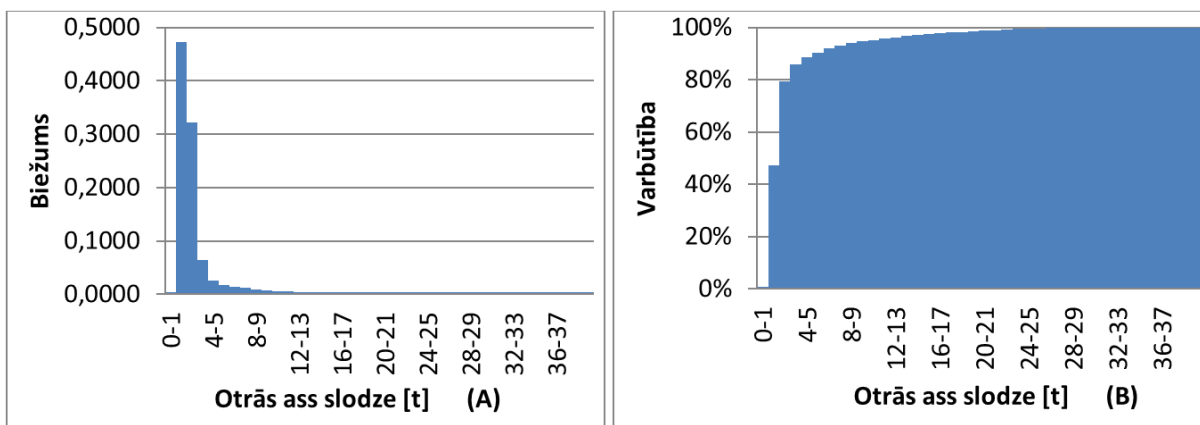
5.10.tabula.

Divu asu transportlīdzekļu kopējā un katras ass slodzes raksturīgās vērtības

		Pie 95% varbūtības	Pirmais maksimums	Otrais maksimums	Trešais maksimums
Kopējais transportlīdzekļa svars	[t]	15-20	3,5-5	nav	nav
Maks. Ass svars	[t]	10-11	2-3	nav	nav
Pirmās ass svars	[t]	8-9	2-3	11-12	nav
Otrās ass svars	[t]	10-11	1-2	nav	nav



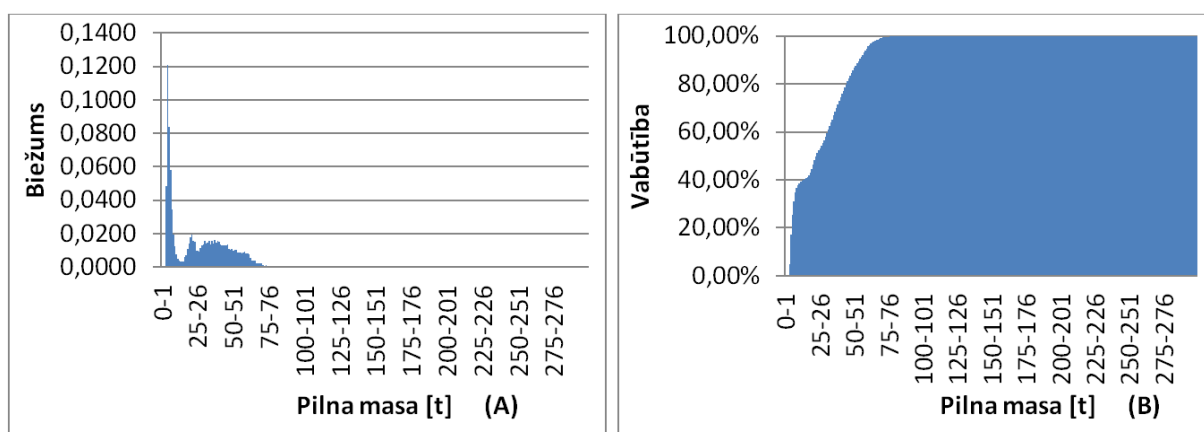
5.40.att. Divu asu transportlīdzekļu pirmās ass slodzes biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums



5.41.att. Divu asu transportlīdzekļu otrās ass slodzes biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

Pirmās ass svars 55% gadījumu ir 2.5 t, bet ar 95% varbūtību tas sasniedz 9 t. Otrās ass svars 48% gadījumu ir 2 t un 95% varbūtību tas sasniedz 11 t. Tas ir „Satiksmes noteikumos” doto pieļaujamo lielumu robežās. Divu asu transportlīdzekļu pirmās un otrās ass slodzes sadalījumi līdzinās lognormāla sadalījuma formai, līdz ar to ir paredzama diezgan liela slodzes izkliede ekscentritātes virzienā.

Apskatot trīsasu transportlīdzekļa masas sadalījuma diagrammu 5.42.att. var redzēt trīs masas maksimumus: 12% gadījumos tas ir pie 3 t, 9% gadījumu tas ir pie 20 t, un 8% gadījumu tas ir pie 38 t.

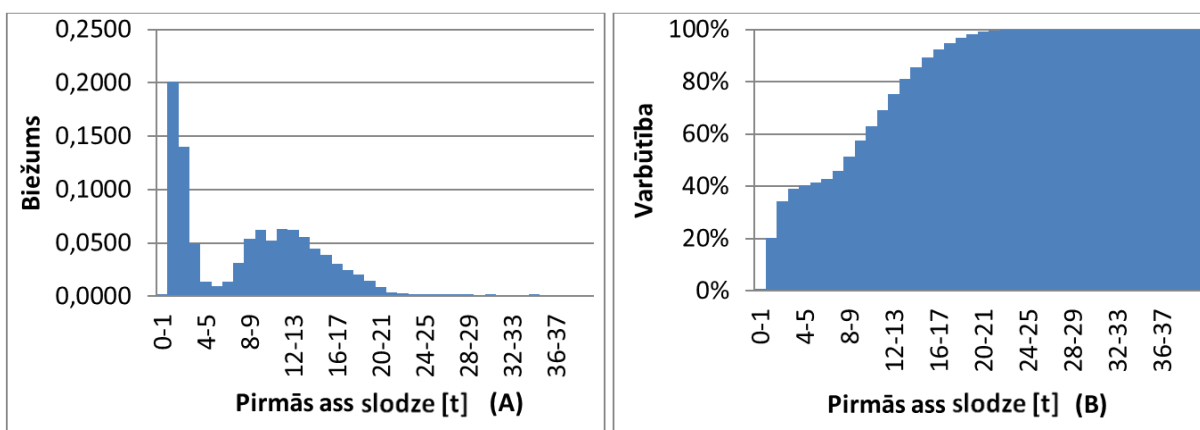


5.42.att. Trīs asu transportlīdzekļu kopējās masas biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B)

No histogrammām, kas dotas 5.42., 5.43., 5.44. un 5.45.attēlā, iespējams nolasīt galvenos sadalījuma raksturlielumus, kas parādīti 5.11.tabulā.

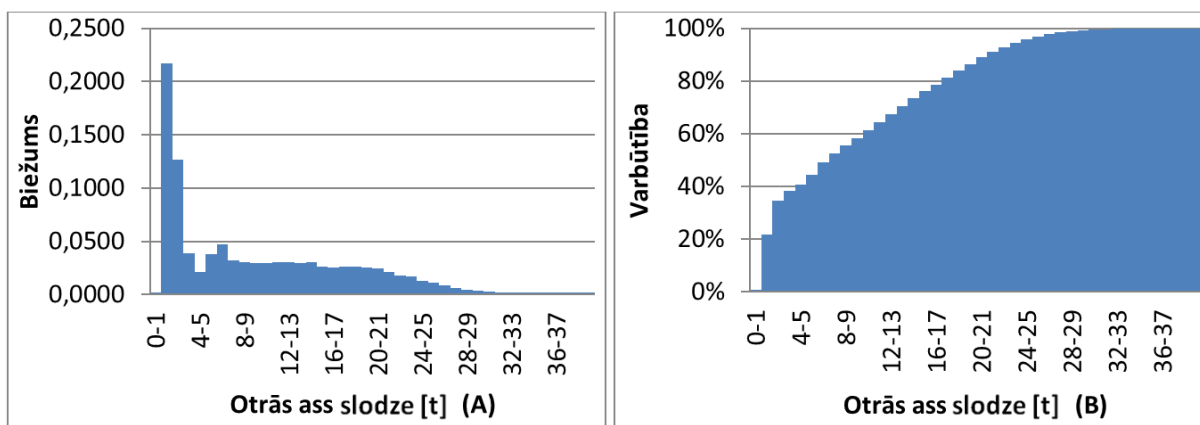
Trīs asu transportlīdzekļu kopējā un katras ass slodzes raksturīgās vērtības

		Pie 95% varbūtības	Pirmais maksimums	Otrais maksimums	Trešais maksimums
Kopējais transportlīdzekļa svars	[t]	55-61	4-7	21-22	37-38
Maks. Ass svars	[t]	24-25	2-3	9-10	13-14
Pirmās ass svars	[t]	17-18	1-2	11-12	nav
Otrās ass svars	[t]	23-24	1-2	6-7	nav
Trešās ass svars	[t]	20-21	1-2	6-7	nav



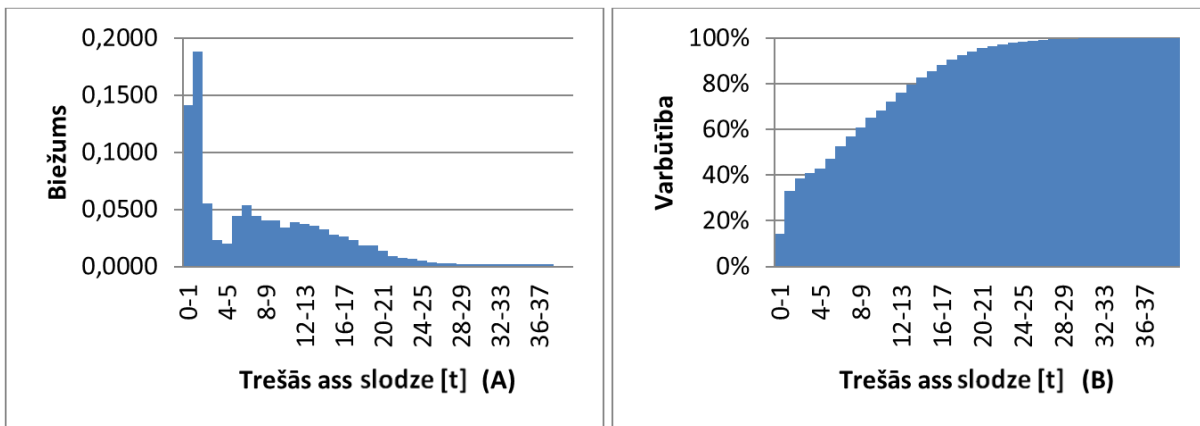
5.43.att. Trīs asu transportlīdzekļu pirmās ass slodzes biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

Pirmās ass slodzes sadalījumam ir divi maksimumi: pirmais maksimums ir pie 2 t, kas ir redzams 20% gadījumos, bet otrais pie 12 t, kas ir redzams 6% gadījumu.



5.44.att. Trīs asu transportlīdzekļu otrās ass slodzes biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

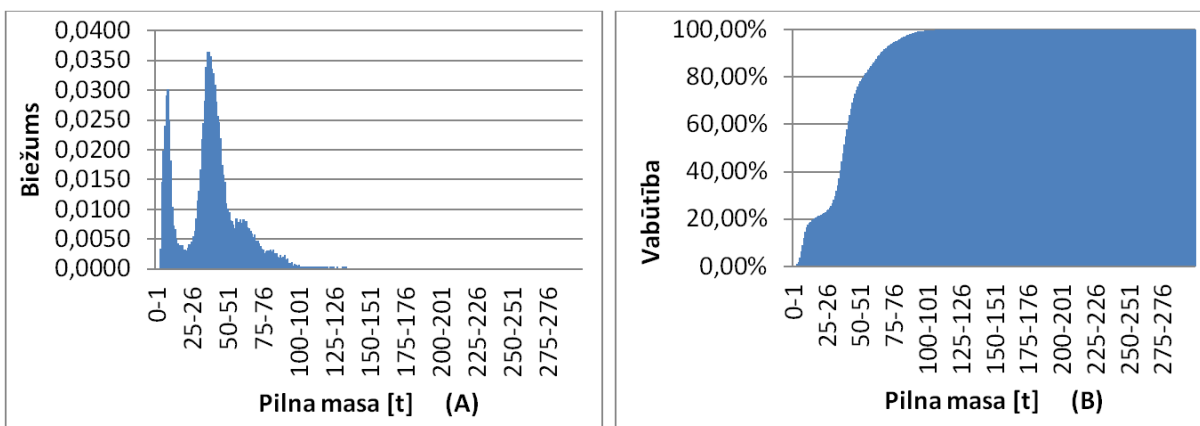
Arī otrās ass slodzes sadalījumam ir divi maksimumi: pirmais maksimums ir pie 2 t, kas ir redzams 22% gadījumos, bet otrais pie 7 t, kas ir redzams 4% gadījumu. Otrās ass slodzes sadalījums ir izteikti lognormāls, līdz ar to ir paredzama diezgan liela slodzes izkliede pie lielākām ass slodzēm.



5.45.att. Trīs asu transportlīdzekļu trešās ass slodzes biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

Trešās ass slodzes sadalījumam arī ir divi maksimumi: pirmais maksimums ir pie 2 t, kas ir redzams 18% gadījumos, bet otrais pie 7 t, kas ir redzams 6% gadījumu. Trešās ass slodzes sadalījums arī ir izteikti lognormāls, līdz ar to ir paredzama diezgan liela slodzes izkliede ekscentritātes virzienā.

Apskatot četru asu transportlīdzekļu masas sadalījuma diagrammu 5.46.att. var redzēt divus masas sadalījuma maksimumus: 30% gadījumos tas ir pie 10 t, 36% gadījumu tas ir pie 40 t.



5.46.att. Četru asu transportlīdzekļu kopējā slodzes biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

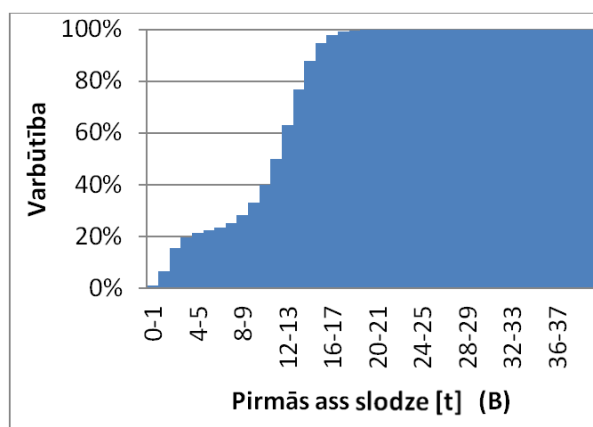
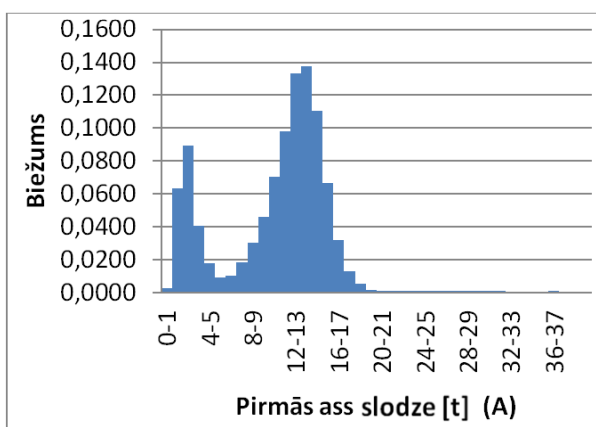
Četru, piecu un sešu asu transporta līdzekļiem to masas biežuma sadalījumā dominē bimodāla forma. Šāda sadalījuma forma liecina par transportlīdzekļu pārvietošanos ar kravu un bez tās vai diviem izteiktiem transportlīdzekļu veidiem. Sadalījuma lielo izkliedi veido nepilnīgi piekrauto transportlīdzekļu masas. Pie līdzīgiem secinājumiem nonākts arī (OBrien, 2012) publikācijā.

No histogrammām, kas dotas 5.46., 5.47., 5.48., 5.49 un 5.50.attēlā, iespējams nolasīt galvenos sadalījuma raksturlielumus, kas parādīti 5.12.tabulā.

5.12.tabula.

Četru asu transportlīdzekļu kopējā un katras ass slodzes raksturīgās vērtības

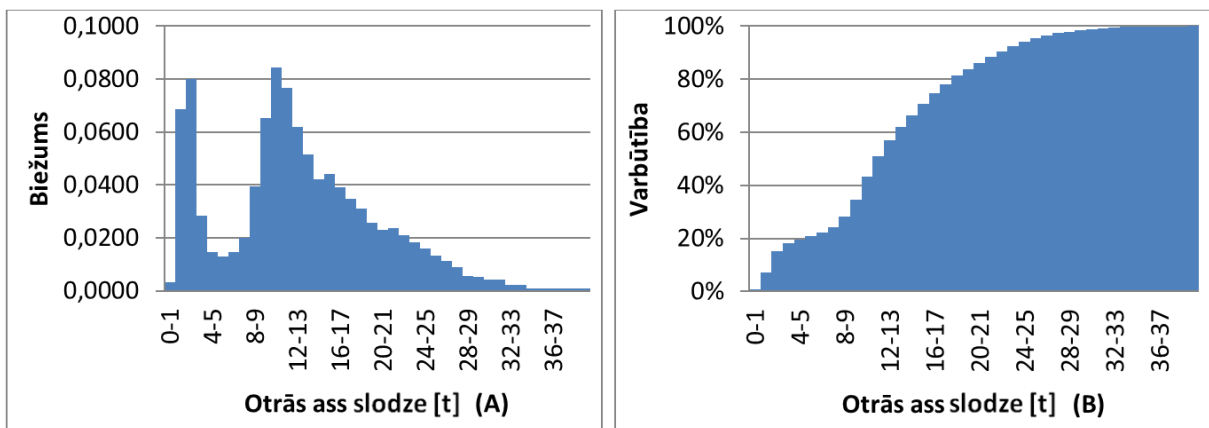
		Pie 95% varbūtības	Pirmais maksimums	Otrais maksimums
Kopējais transportlīdzekļa svars	[t]	75-80	35-40	5-10
Maks. Ass svars	[t]	25-26	13-14	2-3
Pirmās ass svars	[t]	15-16	13-14	2-3
Otrās ass svars	[t]	25-26	10-11	2-3
Trešās ass svars	[t]	18-19	6-7	1-2
ceturtais ass svars	[t]	18-19	6-7	1-2



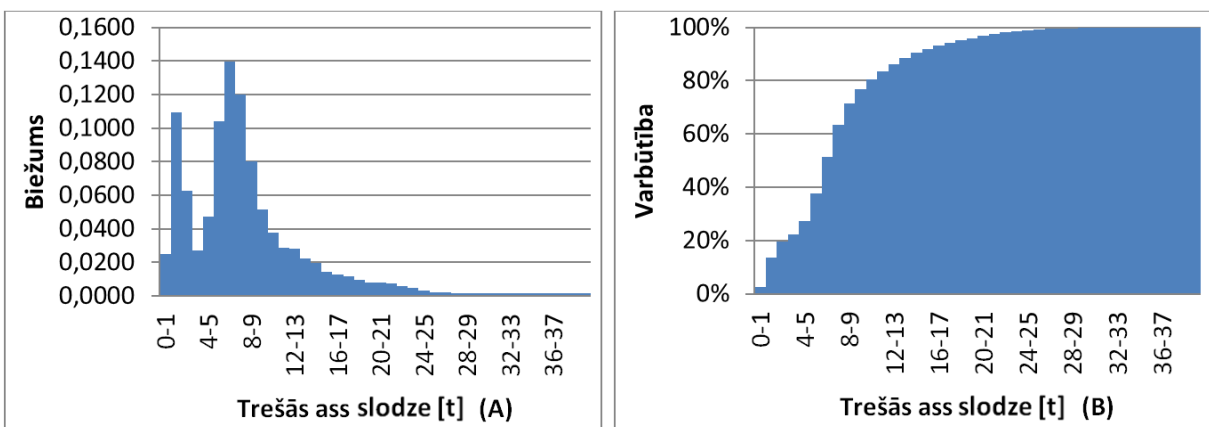
5.47.att. Četru asu transportlīdzekļu pirmās ass biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

Pirmās ass slodzes sadalījuma pirmais maksimums ir pie 3 t, kas ir redzams 9% gadījumos, bet otrais pie 14 t, kas ir redzams 13% gadījumu. Otrās ass slodzes sadalījuma pirmais maksimums ir pie 3 t, kas ir redzams 8% gadījumos, bet otrais pie 11 t, kas ir redzams 9% gadījumu. Trešās ass slodzes sadalījuma pirmais maksimums ir pie 2 t, kas ir redzams 18% gadījumos, bet otrais pie 7 t, kas ir redzams 6% gadījumu. Ceturtais ass slodzes

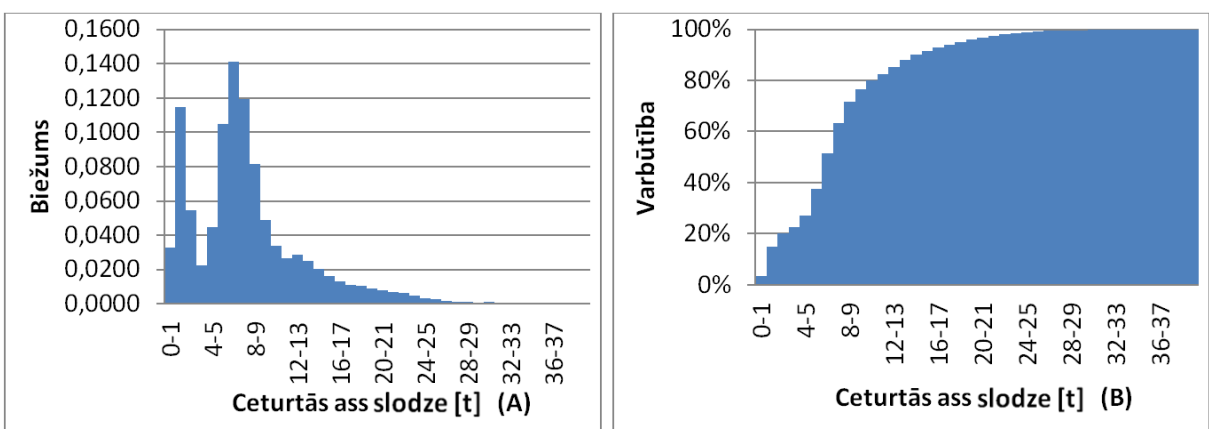
sadalījuma pirmais maksimums ir pie 2 t, kas ir novērots 11% gadījumos, bet otrs pie 7 t, kas ir redzams 14% gadījumu.



5.48.att. Četru asu transportlīdzekļu otrās ass slodzes biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums



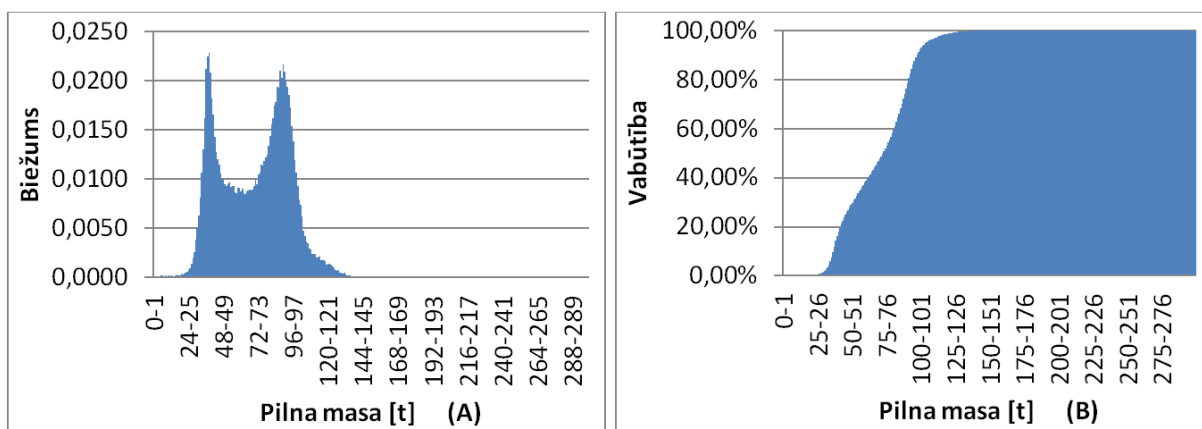
5.49.att. Četru asu transportlīdzekļu trešās ass slodzes biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums



6.50.att. Četru asu transportlīdzekļu ceturtais ass slodzes biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

Kā iepriekš minēts, analizējot transportlīdzekļa pilnas masas sadalījumu, arī atsevišķo asu slodzes sadalījumi veidojušies no tukšu un piekrautu transportlīdzekļu kustības un tādējādi pirmā virsotne ir ar mazāku izkliedi nekā otrā, jo tukša transportlīdzekļa masa ir ar mazāku izkliedi. Jāņem vērā arī tas, ka transportlīdzekļa svars atkarīgs no daudziem savstarpēji neatkarīgiem faktoriem, tādiem kā benzīna bākas pilnums, pasažieru skaits, utt., kas noved pie svara izmaiņām. Svara sadalījumu virsotnes četrasu transportlīdzekļiem ir ar relatīvi zemu, līdz 14%, biežumu.

Piecu asu transportlīdzekļi, līdzīgi kā četru asu masas sadalījums, ir ar ļoti izteiktu bimodālu formu. No histogrammām, kas dotas 5.51., 5.52., 5.53., 5.54., 5.55 un 5.56.attēlā, iespējams nolasīt galvenos sadalījuma raksturlielumus, kas parādīti 5.13.tabulā.



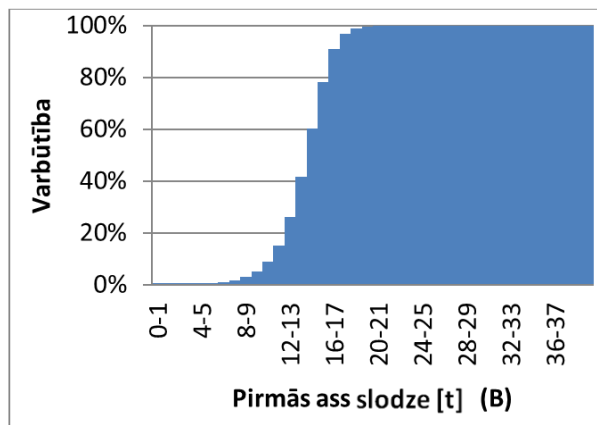
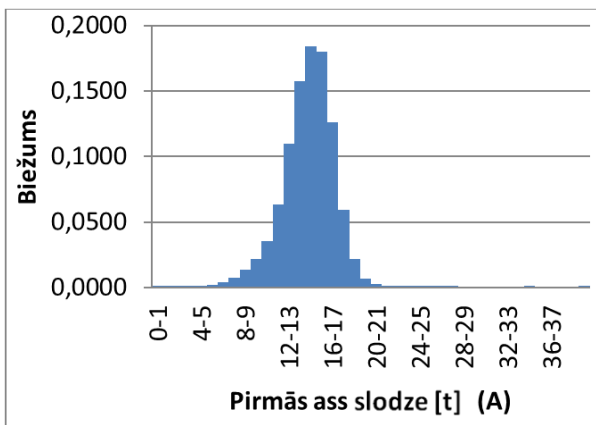
5.51.att. Piecu asu transportlīdzekļu kopējā svara biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

Apskatot piecu asu transportlīdzekļa masas sadalījuma diagrammu 5.51.att. var redzēt divus masas sadalījuma maksimumus: 24% gadījumos tas ir pie 40 t, 22% gadījumu tas ir pie 90 t.

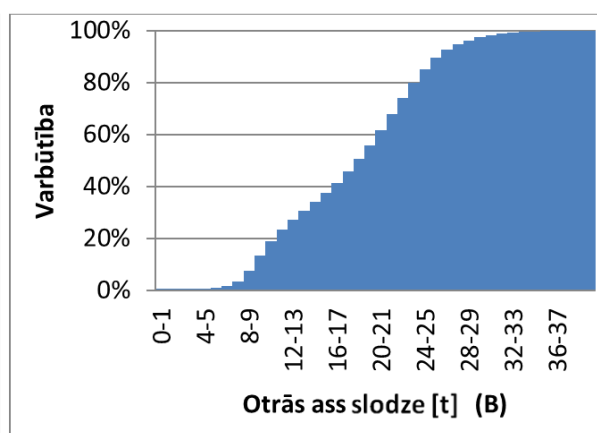
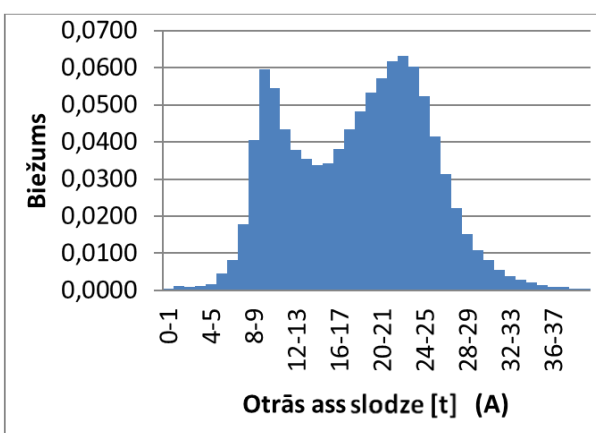
5.13.tabula.

Piecu asu transportlīdzekļu kopējā un katras ass slodzes raksturīgās vērtības

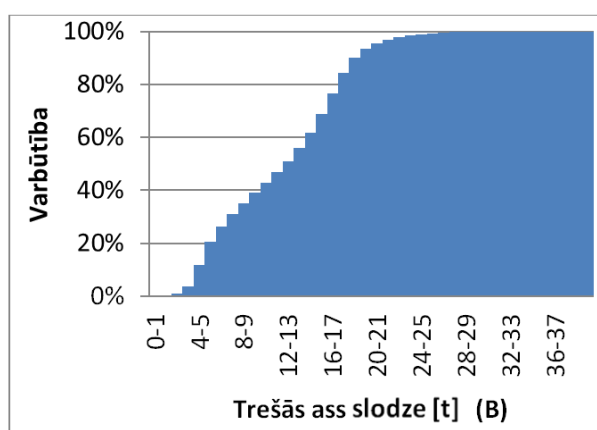
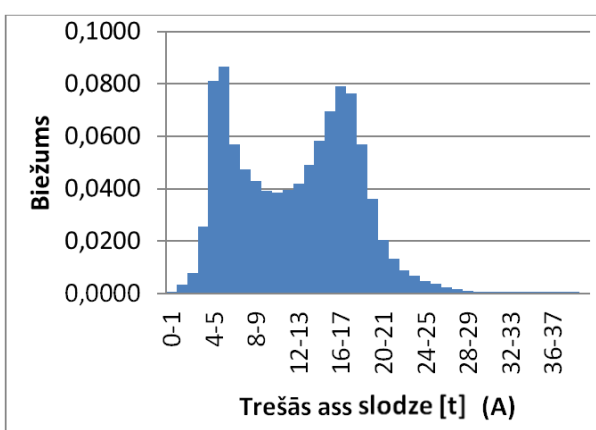
		Pie 95% varbūtības	Pirmais maksimums	Otrais maksimums
Kopējais transportlīdzekļa svars	[t]	100-105	35-40	85-90
Maks. Ass svars	[t]	27-28	13-14	22-23
Pirmās ass svars	[t]	16-17	14-15	nav
Otrās ass svars	[t]	27-28	22-23	9-10
Trešās ass svars	[t]	19-20	5-6	16-17
ceturtais ass svars	[t]	20-21	5-6	17-18
piektās ass svars	[t]	20-21	5-6	16-17



6.52.att. Piecu asu transportlīdzekļu pirmās ass slodzes biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

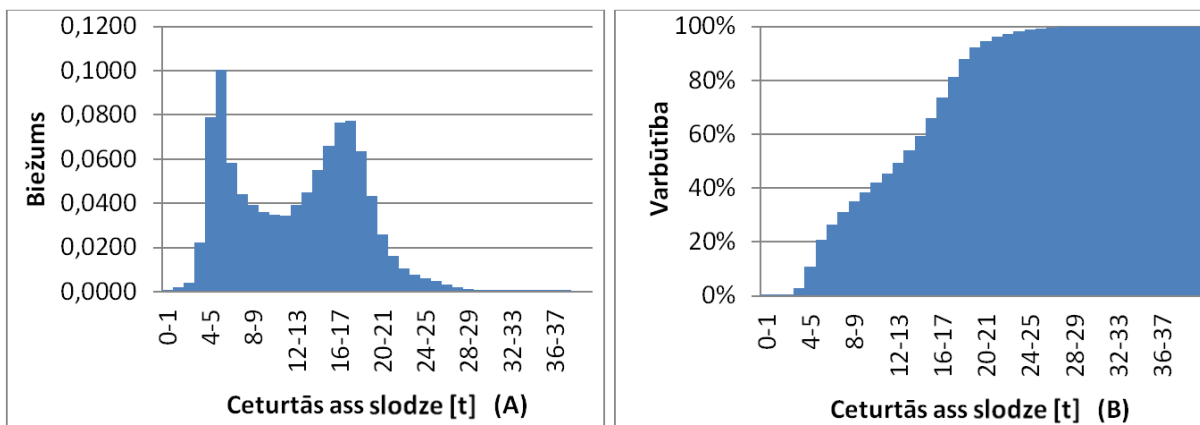


6.53.att. Piecu asu transportlīdzekļu otrās ass slodzes biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums.



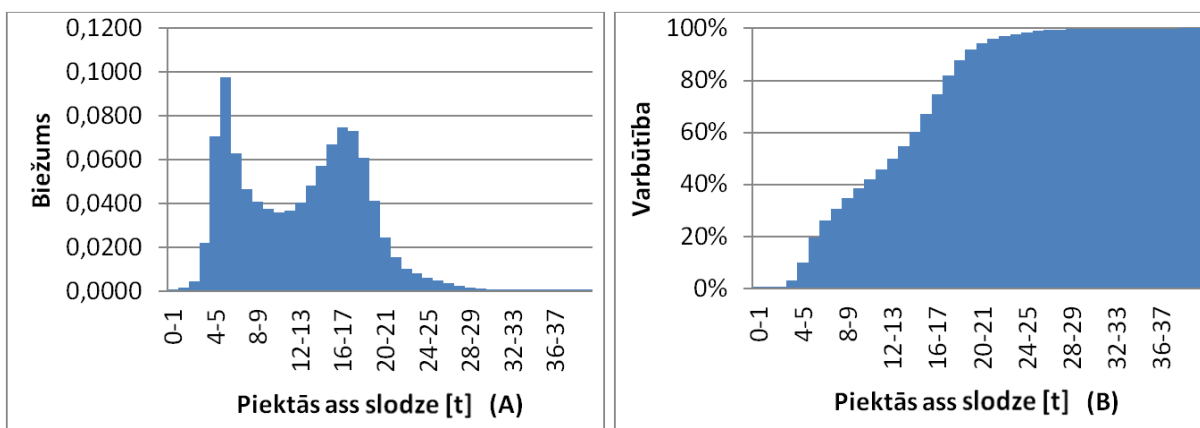
6.54.att. Piecu asu transportlīdzekļu trešās ass slodzes biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums.

Pirmās ass slodzes sadalījuma maksimums ir pie 15 t, kas ir redzams 18% gadījumos. Otrās ass slodzes sadalījuma pirmais maksimums ir pie 10 t, kas ir redzams 6% gadījumos, bet otrais pie 23 t, kas ir redzams 7% gadījumu.



6.55.att. Piecu asu transportlīdzekļu ceturtais ass slodzes biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

Trešās ass slodzes sadalījuma pirmais maksimums ir pie 6 t, kas ir redzams 9% gadījumos, bet otrais pie 17 t, kas ir redzams 8% gadījumu. Ceturtais ass slodzes sadalījuma pirmais maksimums ir pie 6 t, kas ir redzams 10% gadījumos, bet otrais pie 18 t, kas ir redzams 8% gadījumu. Piektās ass slodzes sadalījuma pirmais maksimums ir pie 6 t, kas ir redzams 10% gadījumos, bet otrais pie 17 t, kas ir redzams 7% gadījumu.



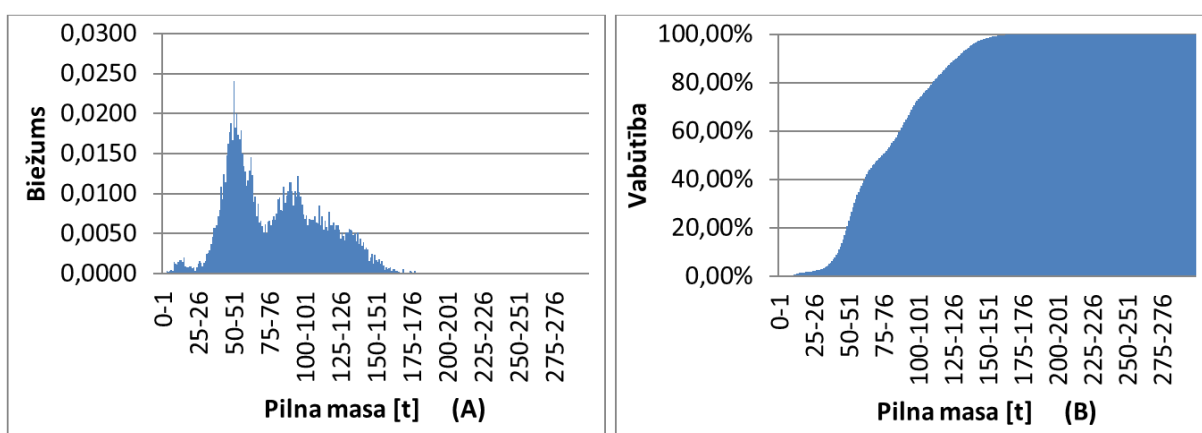
6.56.att. Piecu asu transportlīdzekļu piektās ass slodzes biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

Piecu asu transportlīdzekļu asu slodzes sadalījumu salīdzinājums parādīja, ka pirmās ass sadalījums veido normāla gausa sadalījuma formu, bet otrās līdz piektās ass sadalījumi veido bimodālas formas sadalījumus. Šāds sadalījums skaidrojams ar transportlīdzekļu uzbūvi, jo piecu asu transportlīdzeklis visbiežāk ir treileris, kas sastāv no vilcēja un piekabes

daļas. Ar piekabes palīdzību kravas svars tiek nodots otrajai asij, un atkarībā no tā, vai transportlīdzeklis ved kravu, vai brauc bez tās, ir atšķirīgs slodzes sadalījums, kas parādās divu maksimumu veidā.

Piecu asu transportlīdzekļu kopīgais svars, pēc analizētajiem datiem, var sasniegt pat līdz 150t, savukārt dominējošās vērtības ir divas: 40t un 90t. Sakarā ar šo transportlīdzekļu plašo pielietojumu tranzīta pārvadājumos – to īpatsvars satiksmē ir relatīvi liels.

Kā pēdējo aplūkojam sešu asu transportlīdzekļu ass slodžu sadalījumus. No histogrammām, kas dotas 5.57., 5.58., 5.59., 5.60., 5.61., 5.62. un 5.63.attēlā, iespējams nolasīt galvenos sadalījuma raksturlielumus, kas parādīti 5.14.tabulā.



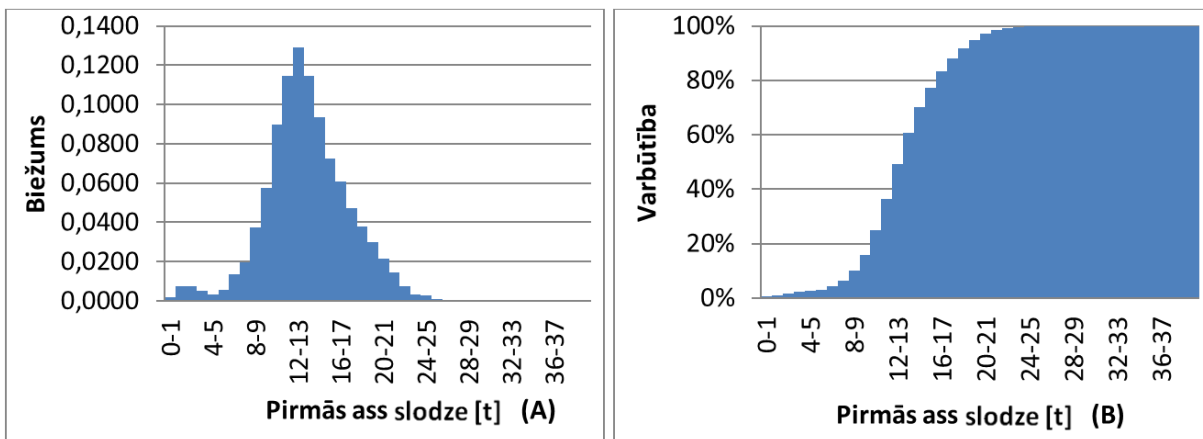
5.57.att. Sešu asu transportlīdzekļu kopējā svara biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

Apskatot sešu asu transportlīdzekļa masas sadalījuma diagrammu 5.57.att. var redzēt divus masas sadalījuma maksimumus: 24% gadījumos tas ir pie 55 t, 15% gadījumu tas ir pie 90 t. Tomēr jāatzīmē liela datu izkliede pie otrā maksimuma.

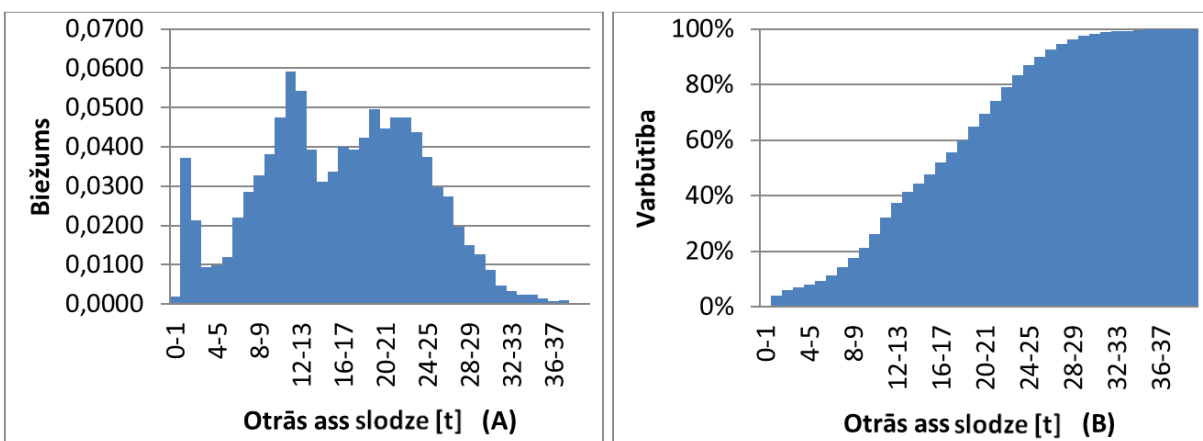
5.14.tabula.

Sešu asu transportlīdzekļu kopējās masas un katras ass slodzes raksturīgās vērtības

		Pie 95% varbūtības	Pirmais maksimums	Otrais maksimums	Trešais maksimums
Kopējais transportlīdzekļa svars	[t]	130-135	50-55	85-90	nav
Maks. Ass svars	[t]	29-30	12-13	19-20	nav
Pirmās ass svars	[t]	19-20	12-13	nav	nav
Otrās ass svars	[t]	27-28	11-12	19-20	1-2
Trešās ass svars	[t]	26-27	7-8	11-12	nav
ceturtais ass svars	[t]	23-24	6-7	16-17	nav
piektās ass svars	[t]	23-24	4-5	16-17	nav
sestās ass svars	[t]	24-25	6-7	16-17	nav

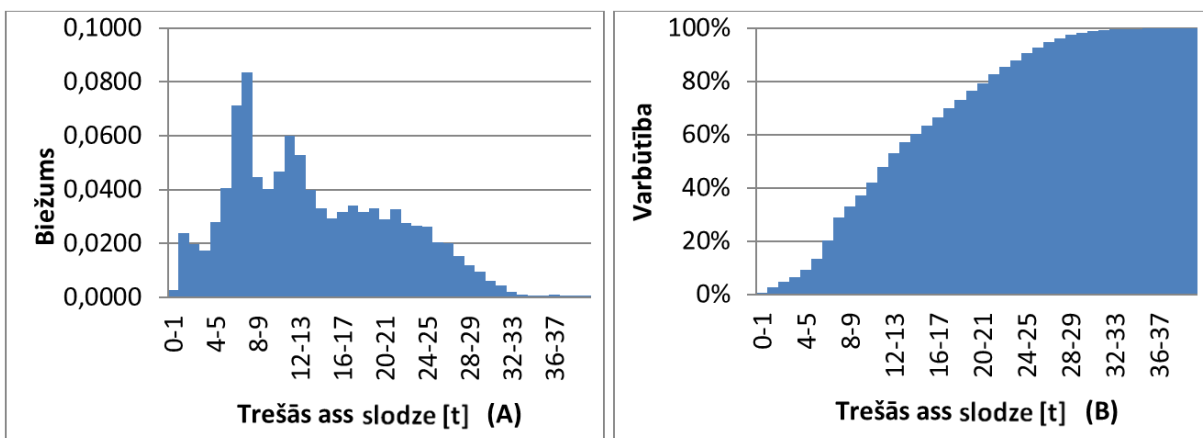


6.58.att. Sešu asu transportlīdzekļu pirmās ass slodzes biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums



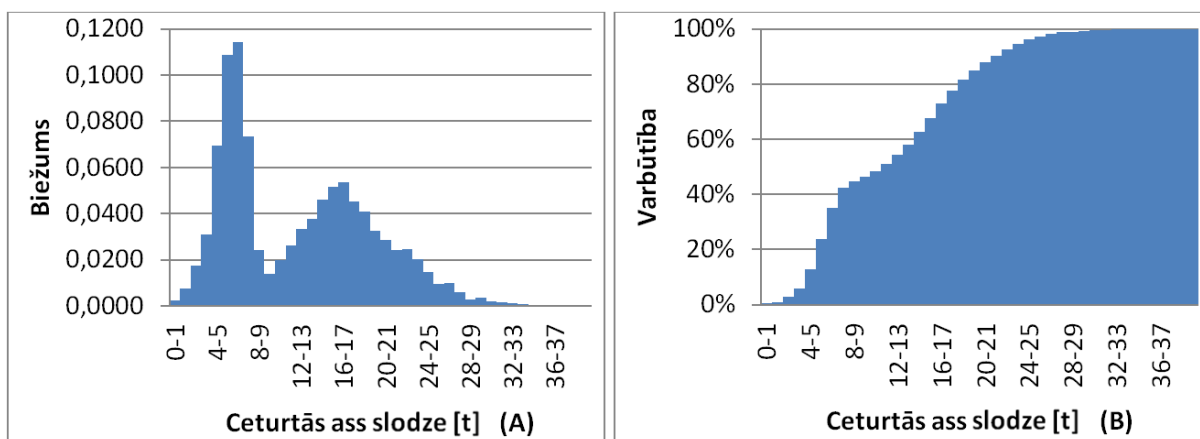
6.59.att. Sešu asu transportlīdzekļu otrās ass slodzes biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

Pirmās ass slodzes sadalījuma maksimums ir pie 13 t, kas ir redzams 13%. Otrās ass slodzes sadalījuma pirmais maksimums ir pie 2 t, kas ir redzams 3,5% gadījumos, otrais pie 12 t, kas ir redzams 6% gadījumu, bet trešais – pie 20 t, kas redzams 5% gadījumu.

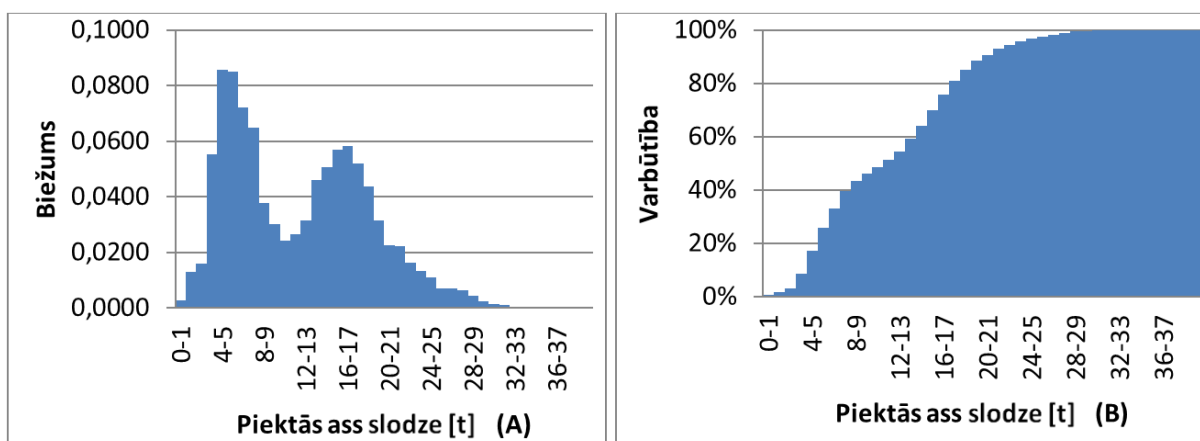


6.60.att. Sešu asu transportlīdzekļu trešās ass slodzes biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

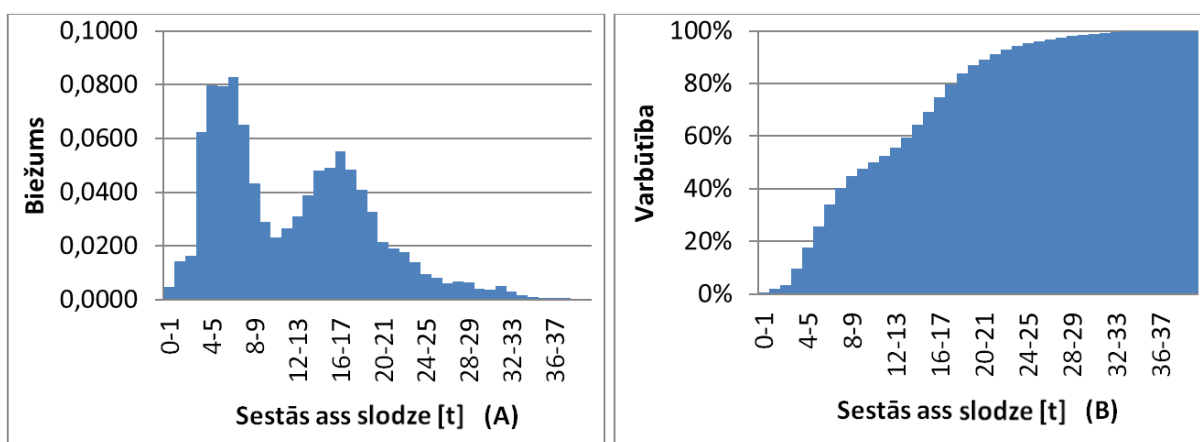
Trešās ass slodzes sadalījuma pirmais maksimums ir pie 8 t, kas ir redzams 8% gadījumos, bet otrais pie 12 t, kas ir redzams 6% gadījumu.



6.61.att. Sešu asu transportlīdzekļu ceturtais ass slodzes biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums



6.62.att. Sešu asu transportlīdzekļu piektās ass slodzes biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums



6.63.att. Sešu asu transportlīdzekļu sestās ass slodzes biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums

Ceturtās ass slodzes sadalījuma pirmais maksimums ir pie 7 t, kas ir redzams 11% gadījumos, bet otrais pie 17 t, kas ir redzams 5% gadījumu. Piektās ass slodzes sadalījuma pirmais maksimums ir pie 5 t, kas ir redzams 9% gadījumos, bet otrais pie 17 t, kas ir redzams 6% gadījumu. Sestās ass slodzes sadalījuma pirmais maksimums ir pie 7 t, kas ir redzams 8% gadījumos, bet otrais pie 17 t, kas ir redzams 5% gadījumu.

Līdzīgi kā piecu asu arī sešu asu transportlīdzekļiem pirmās ass sadalījums ir ar normālā gausa sadalījuma formu. Otrā un trešā ass nav ar noteiktu sadalījuma likumu, savukārt ceturtās līdz sestās ass sadalījums atbilst bimodālai formai. Sešu asu transportlīdzekļu kopīgajā masas sadalījuma histogrammā redzams, ka lielākā transportlīdzekļa masas sasniedz 170t. Sešu asu transportlīdzekļi tiek plaši pielietoti dažādu tranzīta kravu un koku transportēšanā. Slodzes uz Latvijas Valsts ceļiem no šiem transportlīdzekļiem ir relatīvi lielas un bieži vien pārsniedz pieļaujamās, tāpēc būtu jāpievērš īpaša uzmanība, lai novērstu šādus pārkāpumus un saglabātu ceļu tīklu.

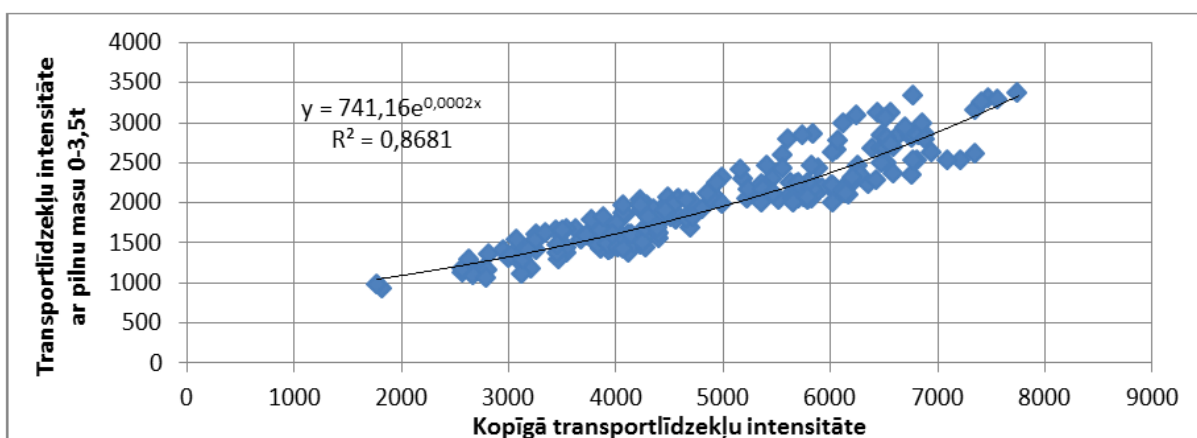
5.2. Sakarības starp iegūtajiem datiem

Lai nooskaidrotu vai apskatītie lielumi ir savstarpēji saistīti, tika meklētas to savstarpējās korelācijas. Ja saistība tiek atrasta, to novērtē, izmantojot korelācijas koeficientu palīdzību, kas var norādīt uz tādiem sakarību veidiem, kā: nekādu, vāju, vidēji ciešu, ciešu vai pozitīvu. Ja sakarība ir cieša vai pozitīva, tad ar noteiktu precizitāti, zinot vienu lielumu iespējams izteikt otru, kas var lieki noderēt gadījumos, kad datu vākšana, piemēram, par momentātāno transportlīdzekļa svaru, ir ļoti dārga un sarežģīta, bet datu iegūšana par satiksmes intensitāti ļoti viegla un ātra. Sakarībai tiek piemērots matemātiskais modelis vai regresijas līknes vienādojums, kas atspoguļo likumsakarību starp pētāmiem gadījuma lielumiem. Regresijas līknes var būt gan lineāras, gan nelineāras, un to veids atkarīgs no korelējamā lielumu grafiku formas. Lai atrastu vistuvāko regresijas vienādojumu, katram grafikam tiek aplūkoti četri iespējamie varianti: eksponenciālais, lineārais, logaritmiskais un polinoma. Par vispiemērotāko izvēlas vienādojumu ar lielāko determinācijas koeficientu R^2 .

5.2.1. Sakarības starp satiksmes intensitāti un transportlīdzekļa svaru

Analizējot datus par intensitāti un atbilstošo transportlīdzekļu svaru tika meklētas dažādas korelācijas starp kopīgo intensitāti un noteikta svara transportlīdzekļu grupām, kas ļautu ar zināmu precizitāti novērtēt smagā transporta īpatsvaru satiksmes plūsmā.

Sakarība starp kopīgo un vieglo transportlīdzekļu intensitāti parāda ciešu korelāciju ar determinācijas koeficientu $R^2=0.8681$, kas dots 5.64.attēlā.

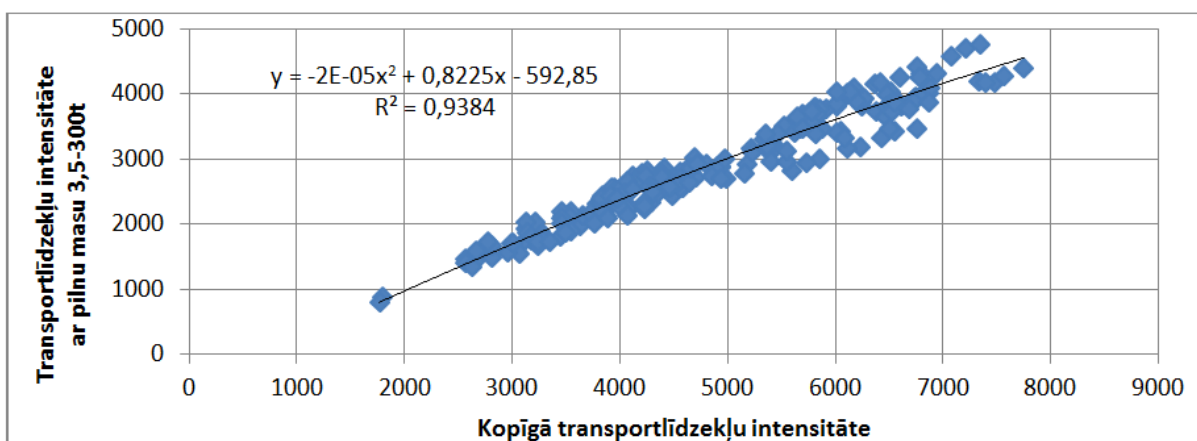


5.64.att. Korelācija starp kopīgo un vieglo transportlīdzekļu intensitāti

Matemātiskā modeļa vienādojums ir eksponenciāls un tas izteikts ar formulu (5.1.)

$$y = 741.16 * e^{0.0002x} \quad (5.1.)$$

Sakarība starp kopīgo un smago transportlīdzekļu intensitāti parāda ļoti ciešu korelāciju ar determinācijas koeficientu $R^2=0.9384$, kas dots 5.65.attēlā. Datu sadalījums grafikā iezīmējas ļoti šauras piltuves formā ar paplašinājumu pie lielākas intensitātes.

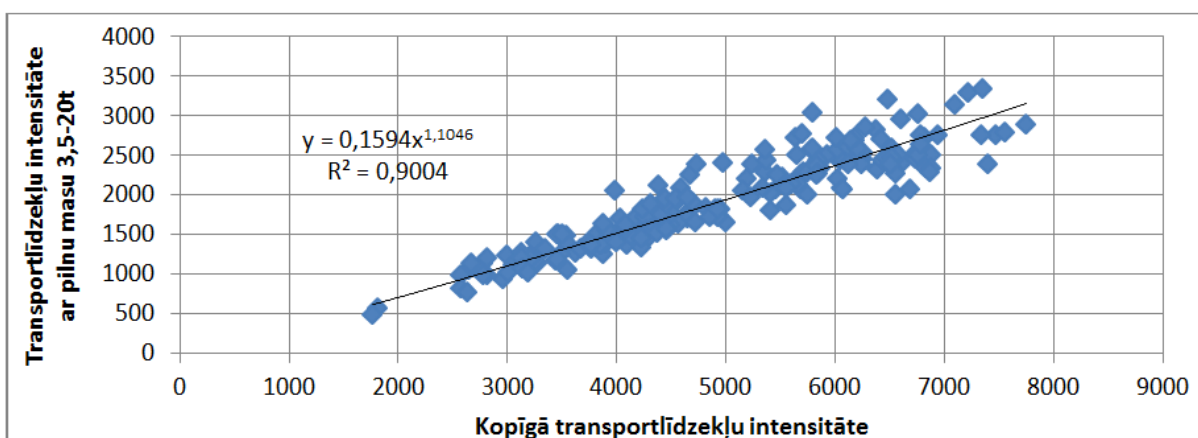


5.65.att. Korelācija starp kopīgo un kopīgo smago transportlīdzekļu intensitāti

Matemātiskā modeļa vienādojums ir polinoma veida un tas izteikts ar formulu (5.2.)

$$y = -2E - 0.5x^2 + 0.8225x - 592.85 \quad (5.2.)$$

Tālāk tiek meklētas sakarības starp kopīgo intensitāti un smagais transportu intervālos 3.5 – 20 t 5.66.att. un 20 -300 t 5.67.att.

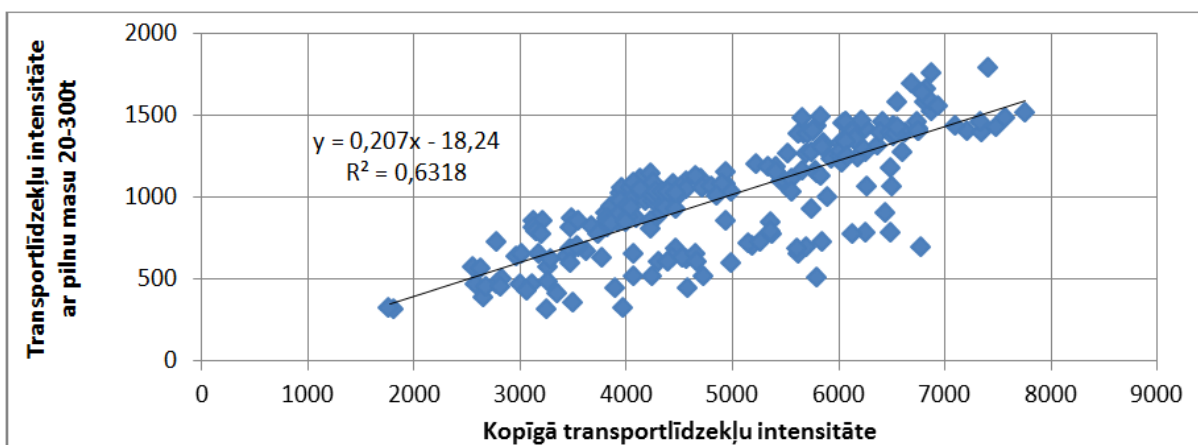


5.66.att. Korelācija starp kopīgo un smago transportlīdzekļu (3.5 – 20 t) intensitāti

Smagā transporta daļa ļoti izteikti korelējas ar kopīgo intensitāti, determinācijas koeficientam sasniedzot ļoti ciešas sakarības lielumu $R^2=0.9004$, ko izsaka ar formulu (5.3.)

$$y = 0.1594x^{1.1046} \quad (5.3.)$$

Daudz sliktāka situācija ir ar ļoti smagā transportu korelāciju, kas redzama 5.67.attēlā.



5.67.att. Korelācija starp kopīgo un ļoti smago transportlīdzekļu intensitāti

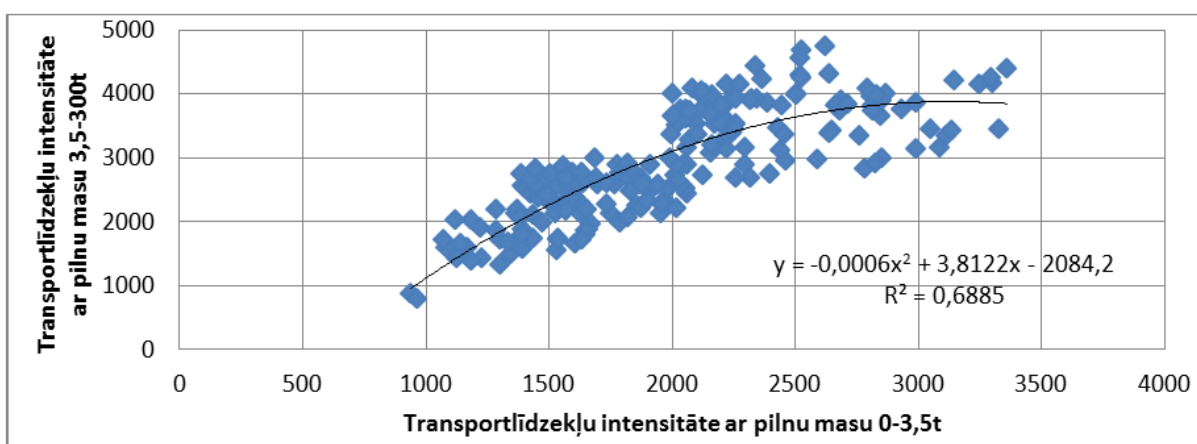
Šīs grupas determinācijas koeficients ir tikai $R^2=0.6318$, kas norāda uz vidēji ciešu sakarību, un izteikts ar formulu (5.4.).

$$y = 0.207x - 18.24 \quad (5.4.)$$

Šāda vidēji cieša korelācija visdrīzāk ir saistīta ar ļoti smaga transporta piesaisti konkrētam būvprojektam. Līdz ar to, zinot konkrētā posma intensitāti, ar zemu varbūtību varam ievērtēt ļoti smagā transporta īpatsvaru.

Papildus kopīgās intensitātes korelācijām, iespējamu ciešu vai vidēji ciešu sakarību meklējumos, tika aplūkotas arī savstarpējās vieglā transporta un smagā transporta grupu sakarības.

No vieglā transporta un kopīgā smagā transporta intensitātes korelācijas, kas dota 5.68.attēlā, var secināt, ka tā ir vidēji cieša, ar determinācijas koeficientu $R^2=0.6885$.



5.68.att. Korelācija starp vieglo un kopīgo smago transportlīdzekļu intensitāti

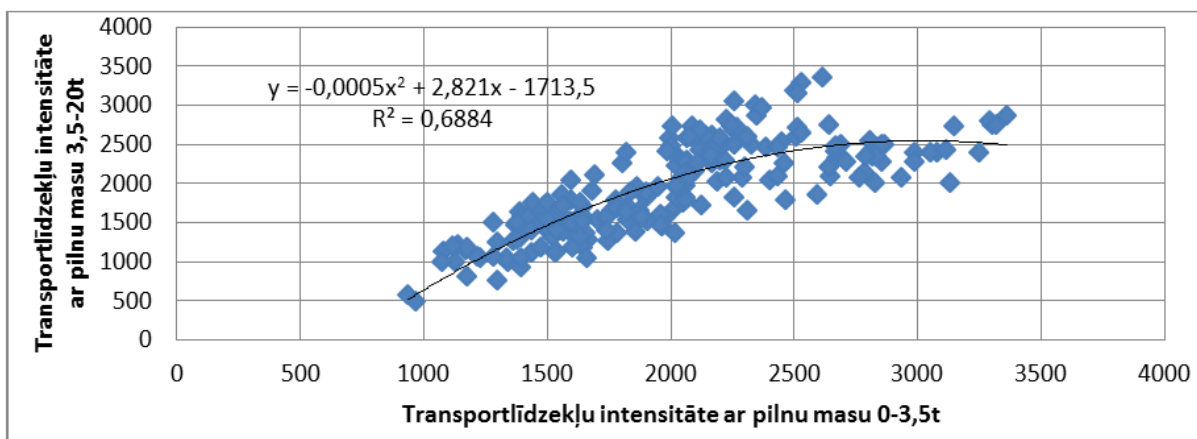
Matemātiskā modeļa vienādojums ir polinoma veida un tas izteikts ar formulu (5.5).

$$y = 0.0005x^2 + 3.8122x - 2084.2 \quad (5.5)$$

Līdzīgas precizitātes korelācija ar starp vieglo un smago transportlīdzekļu intensitāti dota 5.69.attēlā, arī šajā gadījumā var secināt, ka tā ir vidēji cieša ar determinācijas koeficientu $R^2=0.6884$.

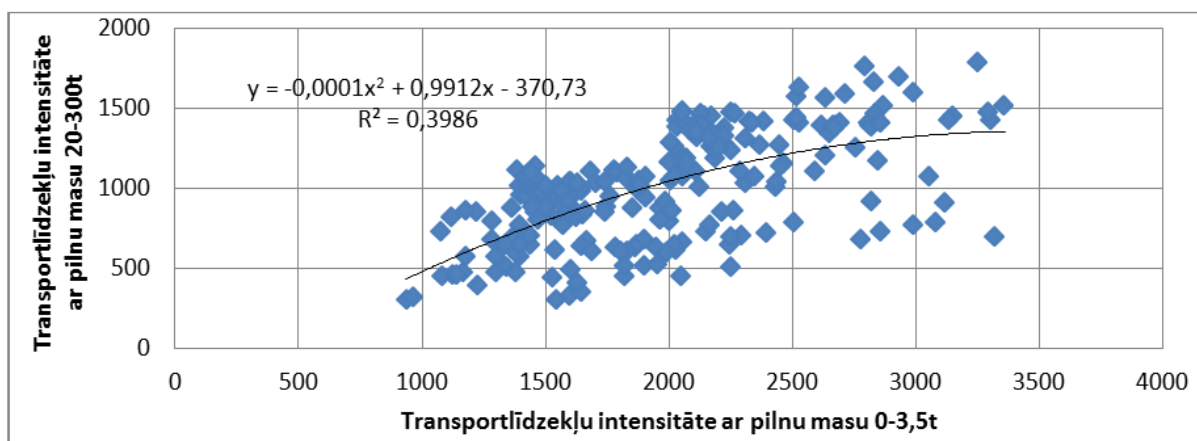
Matemātiskā modeļa vienādojums ir polinoma veida un tas izteikts ar formulu (5.6).

$$y = -0.0005x^2 + 2.821x - 1713.5 \quad (5.6)$$



5.69.att. Korelācija starp kopīgo un ļoti smago transportlīdzekļu intensitāti

Līdzīgi kā kopējās un ļoti smagās intensitātes korelācijā, arī vieglā un ļoti smagā transportlīdzekļu intensitātes korelācija ir visnenoteiktākā 5.70.att., šajā gadījumā determinācijas koeficients ir $R^2=0.3986$, kas atbilst vājai korelācijai.



6.70.att. Korelācija starp kopīgo un ļoti smago transportlīdzekļu intensitāti

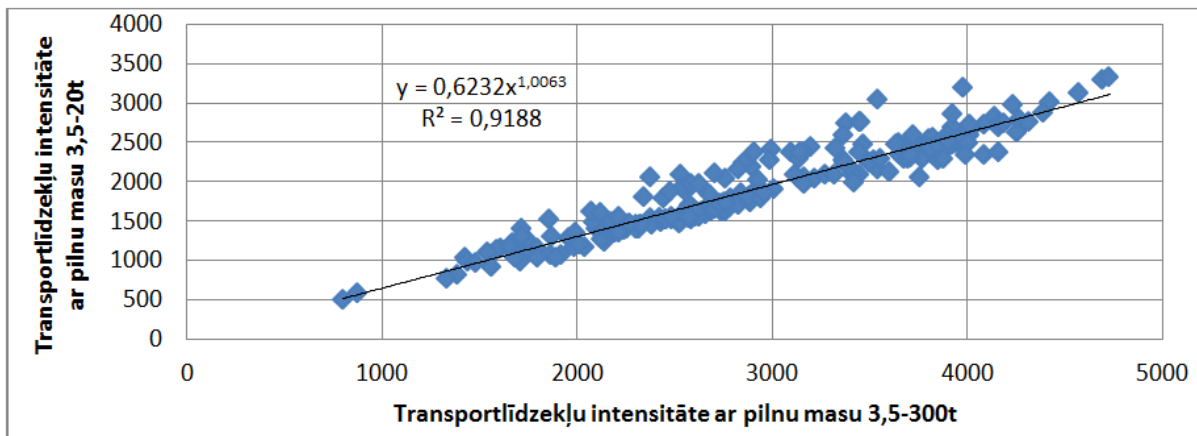
Matemātiskā modeļa vienādojums ir polinoma veida un tas izteikts ar formulu (5.7.):

$$y = -0.0001x^2 + 0.9912x - 370.73 \quad (5.7.)$$

Dziļāk analizējot smagā transporta intensitāti, aplūkojam tās daļu savstarpējās sakarības.

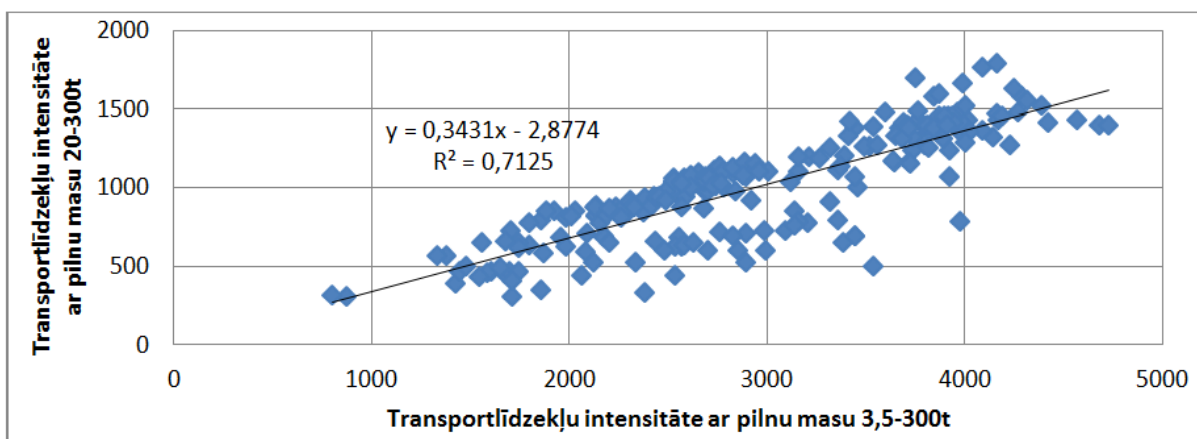
Kā pirmo aplūkojam korelāciju starp smagā transportlīdzekļu intervālu 3.5-20t un 3.5-300t, kas dots 5.71.att.. Tā kā aplūkojam korelāciju vienas datu kopas ietvaros ar kopīgo un lielāko daļu, tad iegūstam determinācijas koeficientu ar relatīvi augstu vērtību $R^2=0.9188$. Matemātiskā modeļa vienādojums ir izteikts ar formulu (5.8.).

$$y = 0.6232x^{1.0063} \quad (5.8.)$$



5.71.att. Korelācija starp kopīgo un ļoti smago transportlīdzekļu intensitāti

Kā otro aplūkojam korelāciju starp smagā transportlīdzekļu intervālu 20-300t un 3.5-300t, kas dots 5.72.attēlā. Determinācijas koeficients ir vienāds ar $R^2=0.7125$, kas atbilst vidēji ciešai korelācijai.



5.72.att. Korelācija starp kopīgo un ļoti smago transportlīdzekļu intensitāti

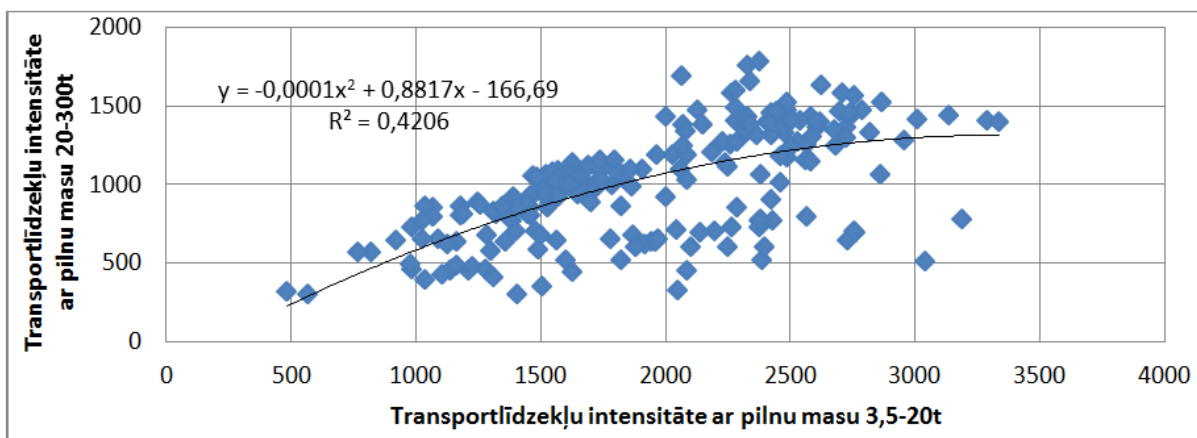
Matemātiskā modeļa vienādojums ir izteikts ar formulu (5.9.).

$$y = 0.3431x - 2.8774 \quad (5.9.)$$

Kā pēdējā tiek aplūkota korelācija starp smago transportlīdzekļu intervālu 20-300t un 3.5-20t, kas dots 5.73.attēlā. Matemātiskā modeļa vienādojums ir polinoma veida un izteikts ar formulu (5.10.):

$$y = -0.0001x^2 + 0.8817x - 166.69 \quad (5.10.)$$

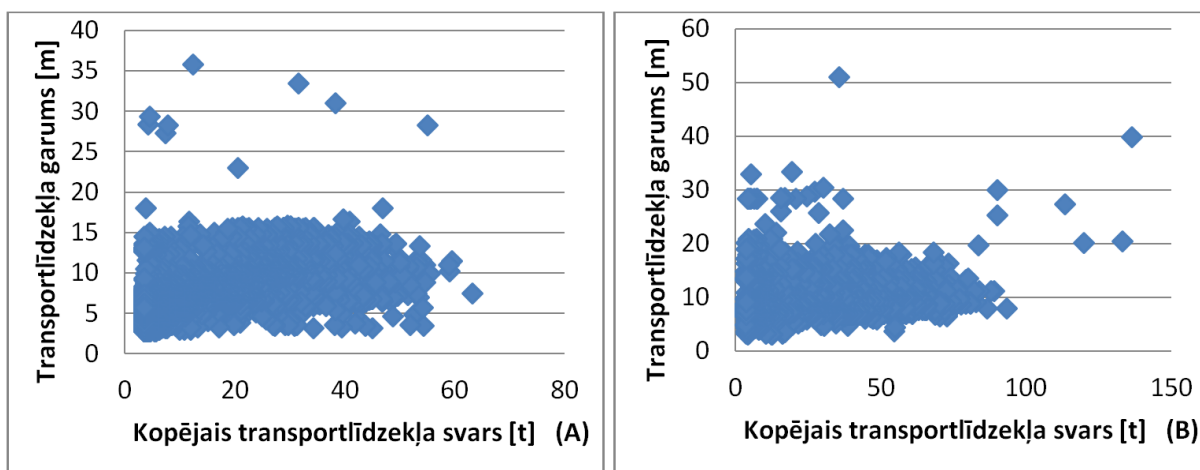
Līdzīgi kā ar kopējo un vieglo transportu arī starp smago un ļoti smago transportlīdzekļu intensitāti pastāv vāja korelācija ar determinācijas koeficientu ir $R^2=0.4206$.



5.73.att. Korelācija starp kopīgo un ļoti smago transportlīdzekļu intensitāti

5.2.2. Sakarības starp transportlīdzekļu raksturīgajiem lielumiem

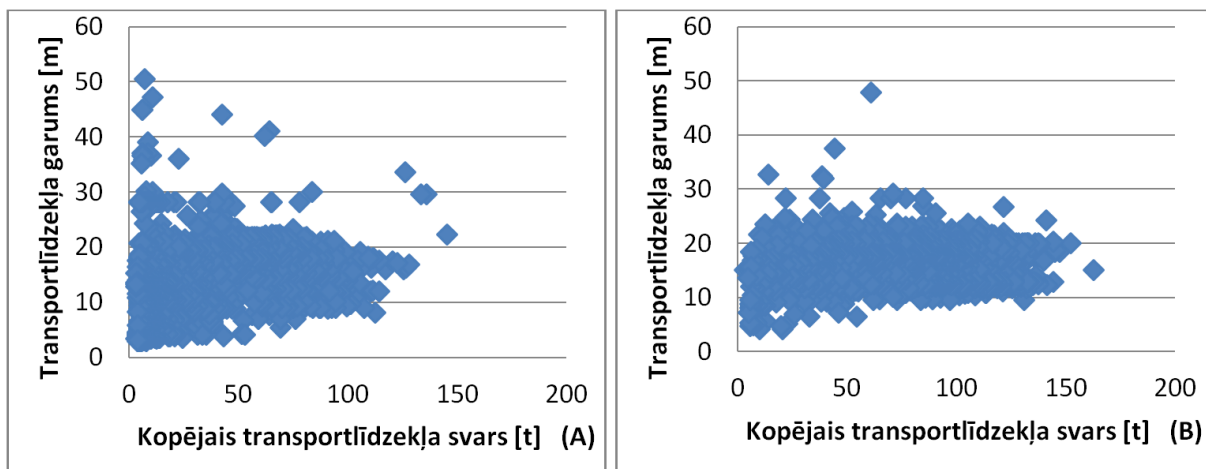
Lai pārbaudītu sakarību starp transportlīdzekļu garumu un to masu, šie lielumi tika salīdzināti: divu, trīs, četru, piecu un sešu asu transportlīdzekļiem, kā arī visai transportlīdzekļu grupai kopā. Divu un trīs asu transportlīdzekļiem, šīs korelācijas redzamas 5.74.attēlā.



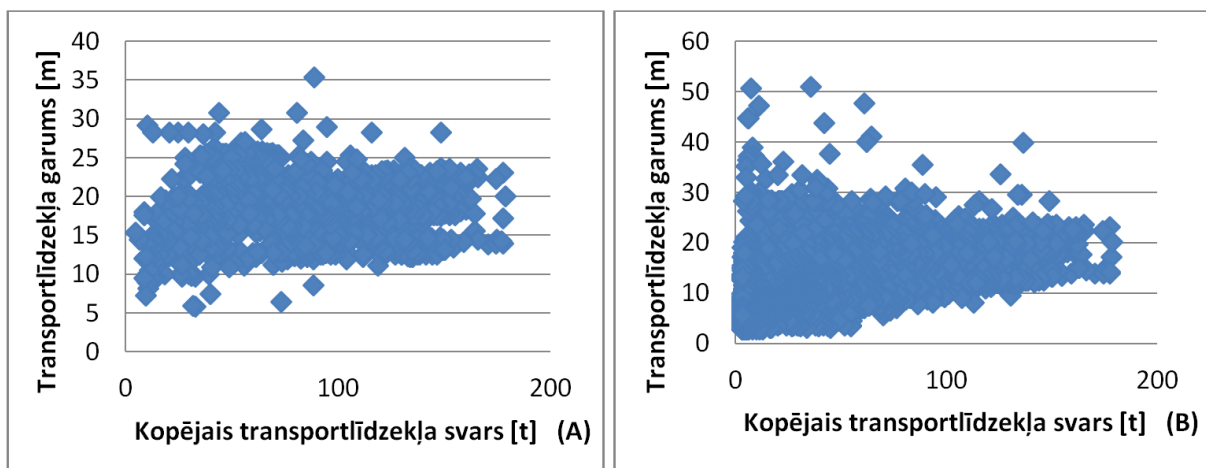
5.74.att. Korelācijas starp kopējo un divu (A) - trīs (B) asu transportlīdzekļiem

Tā kā datu korelācija ir ļoti vāja, tad nav iespējams iegūt ticamu korelāciju raksturojošu modeli. Tomēr pēc grafikā doto punktu izkliedes redzams, ka, palielinoties transportlīdzekļa svaram, tā garums palielinās tikai nedaudz. Tāpat grafikos redzamas, ka ir iespējamas reālas ekstrēmas vērtības ar lielu transportlīdzekļa garumu. Korelācijas starp četru

un piecu asu transportlīdzekļiem redzama 5.75.attēlā, savukārt korelācija starp sešu asu un visiem transportlīdzekļiem dota 5.76. attēlā.



5.75.att. Korelācijas starp kopējo un četrus (A) - piecus (B) asu transportlīdzekļiem

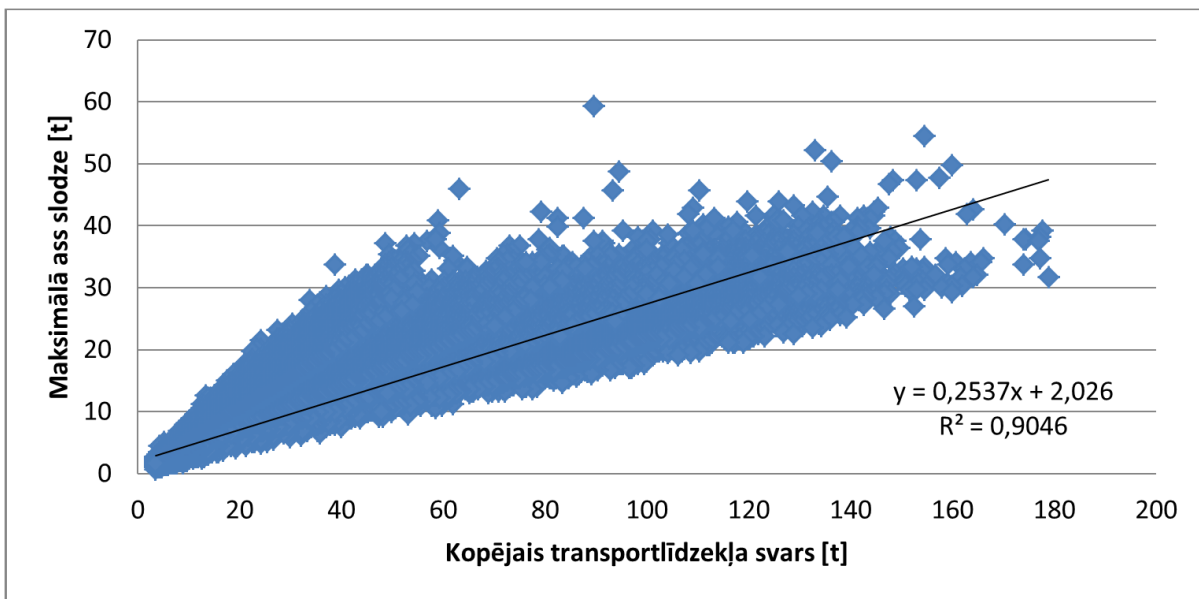


5.76.att. Korelācijas starp kopējo un sešus (A) - visus (B) asu transportlīdzekļiem

Lielumi, kas savā starpā ir matemātiski saistīti, tiek aplūkoti 5.77.attēlā. Tā kā kopējā transportlīdzekļa svarā ietilpst maksimālā ass slodze, korelācija starp tiem ir cieša, ar determinācijas koeficientu $R^2=0.9046$.

Matemātiskā modeļa vienādojums ir lineāra veida un tas izteikts ar formulu (5.11.).

$$y = 0.2537x + 2.026 \quad (5.11.)$$

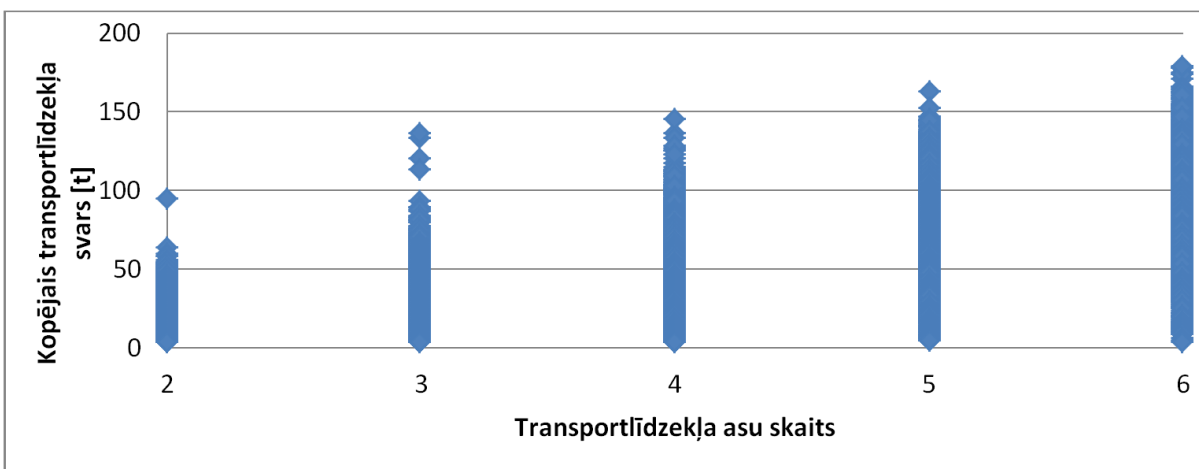


6.77.att. Korelācijas starp kopējo un maksimālo ass slodzi

Korelācijas grafika forma ir piltuves veida, kas norāda uz plašāku datu izkliedi, palielinoties maksimālajai ass slodzei. No iegūtajiem rezultātiem var secināt, ka palielinoties kopējai slodzei, palielinās maksimālā ass slodze.

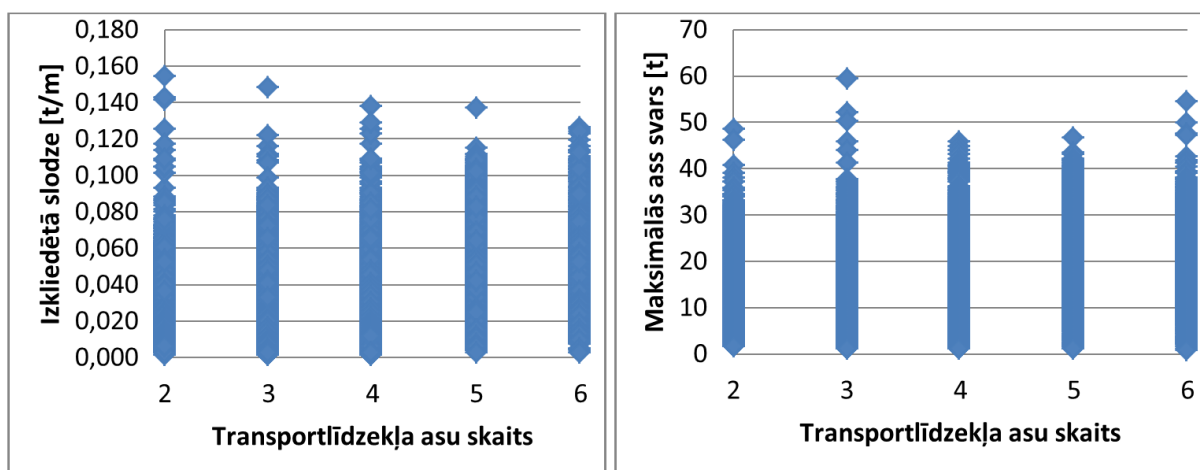
Kā pēdējo aplūkojam kopējā transportlīdzekļa svara, izkliedētās slodzes un maksimālās ass slodzes izkliedi atkarībā no transportlīdzekļa asu skaita.

Aplūkojot transportlīdzekļu masas izkliedi, kas dota 5.78.attēlā, varam secināt, ka tā palielinās, palielinoties transportlīdzekļa asu skaitam. Grafikā pie divasu un trīs asu transportlīdzekļiem redzami pāris datu punkti, kas ir ekstrēmi, tomēr noteicošā ir blīvā grafika daļa.



5.78.att. Kopējā transportlīdzekļa svara un asu skaita izkliede

Grafikā, kas dots 5.79.attēlā, redzams, ka izkliedētās slodzes datu ekstremālo vērtību attālums no datu blīvās daļas divu un trīs asu transportlīdzekļiem ir lielāks, tomēr grafiku blīvajās daļās sakarība ir augoša.



5.79.att. Izkliedētās slodzes un maksimālās ass izkliede atkarībā no asu skaita

5.3. Kopsavilkums par transportlīdzekļu ģeometrisko parametru un svara analīzi

Transportlīdzekļu pilnās masas datu analīze parādīja, ka visbiežāk uz autoceļiem ir sastopamas automašīnas ar masu ap 3.5 t, otrs lielākais transportlīdzekļu īpatsvars ir ar masu ap 37 t, bet trešais – ar masu 90 t. Maksimālā transportlīdzekļu masa 94-95t ir noteikta ar 95% nepārsniegšanas varbūtību, tomēr tas neizslēdz, ka atlikušajos 5% ir transportlīdzekļi ar masu līdz 300 t. Tomēr tādi ir sastopami ļoti reti un to pārvietošanās notiek pa iepriekš sakaņotiem maršrutiem.

Transportlīdzekļu sadalījums pēc asu skaita parādīja, ka visvairāk, ap 67%, uz Latvijas autoceļiem ir divasu transportlīdzekļi, kas atbilst vieglajām automašīnām un vieglajam kravas transportlīdzeklim, otru lielāko grupu sastāda ar 21% sastāda piecu asu transportlīdzekļi, kas atbilst kravas treileriem, un trešā grupa ir četru asu transportlīdzekļi, kas atbilstu smagajam kravas transportlīdzeklim un sastāda ap 5% no kopējās satiksmes plūsmas.

Tai pašā laikā, analizējot transportlīdzekļu asu noslogojumu ir konstatēts, ka, apmēram, 70% gadījumu smagākā ir izrādījusies pirmā transportlīdzekļa riteņu ass, kas šķērsojusi sensoru braukšanas virzienā. Parasti gan tiek pieņemts, ka automašīnas aizmugurējā ass ir smagākā, tomēr tas ir tikai tajā gadījumā, ja transportlīdzeklis ir piekrauts līdz pieļaujamajam līmenim. Šāds rezultāts ir izskaidrojami ar to, ka smagie transporta līdzekļi bieži vien tiek nepilnīgi noslogoti. Lielu daļu no divasu transportlīdzekļiem, kas tikai

nedaudz pārsniedz 3.5 t masu, veido kravas mikroautobusi, kas pārvadā dažādas preces, tomēr šo preču svars nav pietiekošs, lai smagākā būtu otrā ass. Līdzīga situācija ir arī ar trīsasu transportlīdzekļiem, kur smagākās izrādās pirmā un otrā ass. Četru, piecu un sešu asu transportlīdzekļiem statistiski smagākā ir otrā ass. Līdz ar to var secināt, ka statistiski smagākās ne vienmēr ir pēdējās transportlīdzekļa ass, kā tas tika pieņemts daudzos aprēķina slodzes modeļos pirms 1984.gada. Tas nozīmē, ka pārbaudot esošo tiltu nestspēju, ir jāņem vērā nevienmērīgs ass slodzes sadalījums.

Pētot transportlīdzekļu faktisko ģeometriju (garumu un asu izvietojumu), tika iegūti dati par statistiski biežāk sastopamo transportlīdzekļu garumiem un asu sadalījumu. Iegūtie rezultāti norādīja uz lielu transportlīdzekļu dažādību un to jāņem vērā pie slodzes modeļu izstrādāšanas.

Pētot transportlīdzekļu masas un asu slodzes sadalījumus, ir noteikts, ka divu asu transportlīdzekļu pirmās un otrās ass slodzes sadalījumi līdzinās lognormālam sadalījumam, līdz ar to ir paredzama diezgan liela slodzes izkliede palielinājuma virzienā. Trīs, četru, piecu un sešu asu transporta līdzekļiem to masas biežuma sadalījumā dominē bimodāla forma.

Šāda sadalījuma forma liecina par transportlīdzekļu pārvietošanos ar kravu un bez tās, vai diviem izteiktiem transportlīdzekļu veidiem. Divi izteikti transportlīdzekļu veidi netika konstatēti. Tādējādi bimodālā sadalījuma pirmā virsotne ir ar mazāku izkliedi nekā otrā, jo tukša transportlīdzekļa masa ir ar mazāku izkliedi. Jāņem vērā arī tas, ka transportlīdzekļa svars atkarīgs arī no citiem faktoriem, tādiem kā benzīna bākas pilnums, pasažieru skaits, utt..

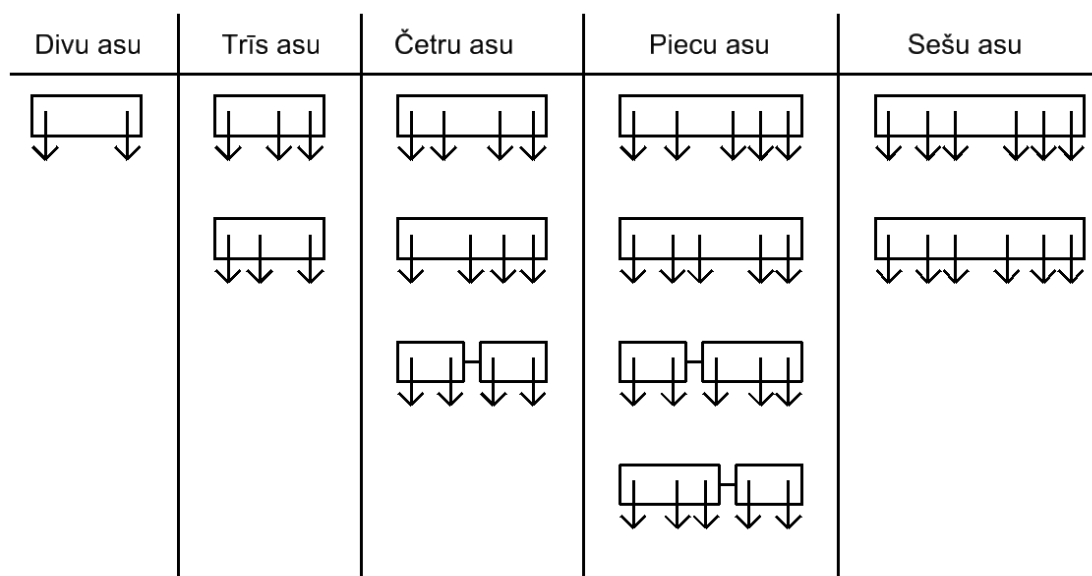
Iegūtās formulas dažādu datu korelācijas koeficientu noteikšanai, ļauj atjaunot satiksmes slodzes datus, izmantojot datus par satiksmes intensitāti un smago un vieglo transportlīdzekļu attiecību.

6. LATVIJAS AUTOCEĻIEM RAKSTURĪGS TRANSPORTA SLODZES MODELIS

Reālie transporta slodžu modeļi, līdzīgi kā būvnormatīvos dotie, sastāv no precīzi definētām slodžu vērtībām un to ģeometrisko novietojuma uz laiduma konstrukcijas. Atšķirība ir tā, ka standartā šis modelis ir viens, bet reālajā dzīvē modeļu ir daudz, plašā smago transportlīdzekļu klāsta dēļ.

Vēsturiski un mūsdienās pielietotajiem slodžu modeļu apraksts ir dots otrajā nodaļā. Reālas satiksmes slodzes definēšanai nepieciešamie parametri, tādi kā ass slodzes, attālums starp riteņu asīm un citi ir apskatīti sestajā nodaļā.

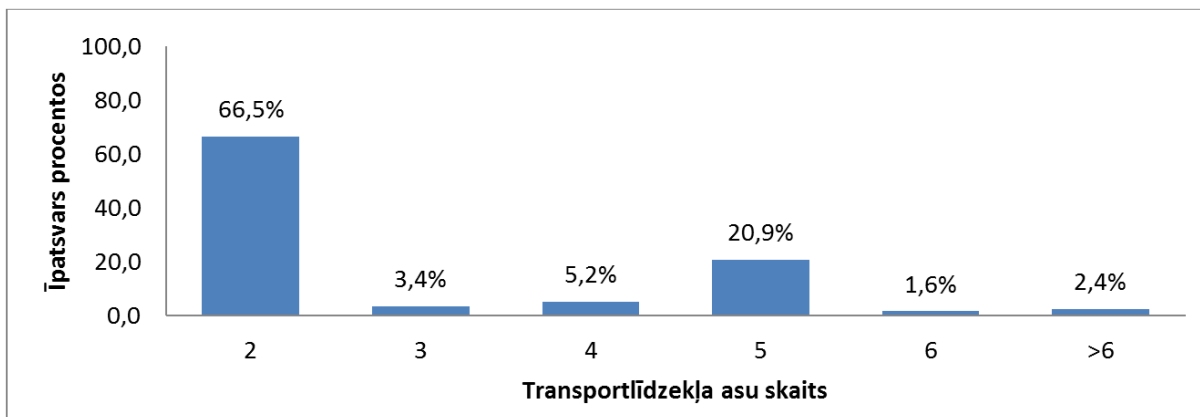
Vispārpieņemta prakse satiksmes sastāva novērtēšanai ir tā iedalīšana pēc asu skaita. Dažādās publikācijās (Sriramula, 2007), (OConnor, 2007) (Xin, 2010) un (OConnor, 2005) dots transportlīdzekļu shematiskais sadalījums pēc asu skaita skatīt 6.1.attēlā. Latvijas apstākļiem šīs shēmas ir līdzīgas, izņemot trīs jaunus modeļus, kas aprakstīti 6.1.sadaļā.



6.1.att. Kopējā transportlīdzekļa asu skaita un to izvietojuma shēma

Aplūkojot divu asu transportlīdzekļus redzam, ka tiem ir tikai viens starpasu attālums līdz ar to arī viena slodzes shēma, taču trīs un vairāk asu transportlīdzekļiem eksistē dažādas starpasu attālumu kombinācijas, kas izriet no transportlīdzekļu veida.

Balstoties uz apkopotajiem datiem, konstruēju transportlīdzekļu īpatsvara grafiku, kas dots 6.2.attēlā, kur skaidri iezīmējās divu un piecu asu transportlīdzekļu īpatsvars. Šī tendence liek pievērst īpašu uzmanību piecu asu transportlīdzekļiem tālāko modeļu izveidē.



6.2.att. Transportlīdzekļu īpatsvars sadalot tos pēc asu skaita

6.1. Transportlīdzekļu slodžu modeļi

Satiksmes slodzes ir mainīgs lielums, kas tiešā veidā nav modelējamas, tomēr pielietojot statistikas metodes iespējams iegūt raksturīgās transporta slodžu vērtības.

Balstoties uz (LVS_EN_1991-2_NP, 2004) pamatnosacījumiem slodžu modeļa LM1 kalibrēšanai var izmantot slodžu normatīvās vērtības ar atkārtotānās periodu 1000 gadi vai ar pārsniegšanas varbūtību 5% 50 gados. Tas nozīmē nepārsniegšanas varbūtības vērtību 95%.

Lai pārbaudītu un atrastu satiksmes slodžu modeļus, šī pētījuma ietvaros, tika izvirzītas divas pieejas kritisko slodžu modeļu noteikšanai.

Pirmā pieeja ir tieši saistīta ar piektajā nodaļā iegūtajiem ģeometriskajiem un slodžu parametriem, kas apkopoti 6.1. un 6.2.tabulā. Šajās tabulās parādīti iegūtie slodžu modeļi visneizdevīgākajai situācijai, ņemot vērā starp asu attāluma nepārsniegšanas varbūtību 5% un slodzes nepārsniegšanas varbūtību 95%. Starpasu attālumiem 5% varbūtība ir nepieciešama, lai raksturotu iespējami mazāko attālumu starp asīm.

6.1.tabula.

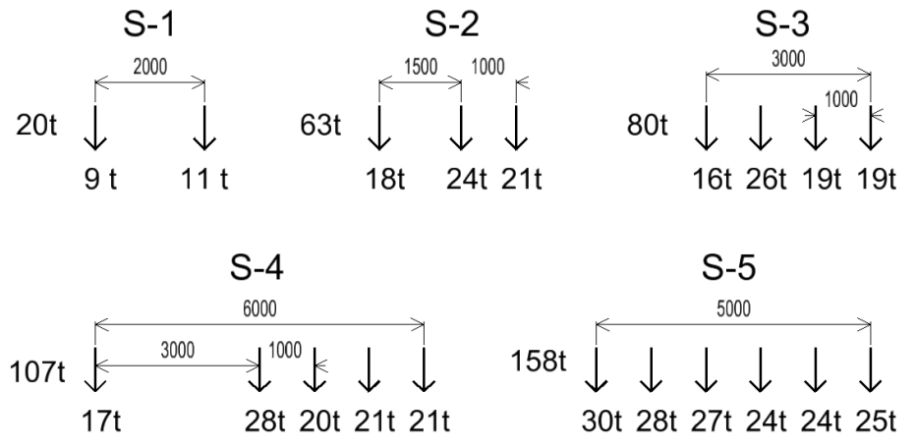
Transportlīdzekļu slodzes novietojuma raksturīgās vērtības

6 asu transporta līdzekļi					
		5% varbūtība	Pirmais Maks.	Otrais Maks.	Trešais Maks.
Kopējais Tr.l.garums	[m]	13,5	19,5-20	17,5-18	25-25,5
Attālums starp 1 . Un 2. asi	[m]	1	4,5-5	2,5-3	
Attālums starp 2. Un 3. asi	[m]	1	1-1,5	6-6,5	3-3,5
Attālums starp 3 . Un 4. asi	[m]	1	5-5,5	1-1,5	
Attālums starp 4 . Un 5. asi	[m]	1	1-1,5	3,5-4	7-7,5
Attālums starp 5 . Un 6. asi	[m]	1	1-1,5		
5 asu transporta līdzekļi					
		5% varbūtība	Pirmais Maks.	Otrais Maks.	Trešais Maks.
Kopējais Tr.l.garums	[m]	12,5	17,5-18	20-20,5	12,5-13
Attālums starp 1 . Un 2. asi	[m]	3	3,5-4		
Attālums starp 2. Un 3. asi	[m]	1	5,5-6	1-1,5	3-3,5
Attālums starp 3 . Un 4. asi	[m]	1	1-1,5		
Attālums starp 4 . Un 5. asi	[m]	1	1-1,5	4-4,5	
4 asu transporta līdzekļi					
		5% varbūtība	Pirmais Maks.	Otrais Maks.	Trešais Maks.
Kopējais Tr.l.garums	[m]	6	17,5-18	19,5-20	16-16,5
Attālums starp 1 . Un 2. asi	[m]	1	3,5-4	2,5-3	1-1,5
Attālums starp 2. Un 3. asi	[m]	1	7-7,5	4-4,5	2-2,5
Attālums starp 3 . Un 4. asi	[m]	1	1-1,5	5-5,5	
3 asu transporta līdzekļi					
		5% varbūtība	Pirmais Maks.	Otrais Maks.	Trešais Maks.
Kopējais Tr.l.garums	[m]	6	7-7,5	10-10,5	13-13,5
Attālums starp 1 . Un 2. asi	[m]	1,5	2,5-3	4,5-5	
Attālums starp 2. Un 3. asi	[m]	1	1-1,5	2,5-3	3,5-4
2 asu transporta līdzekļi					
		5% varbūtība	Pirmais Maks.	Otrais Maks.	Trešais Maks.
Kopējais Tr.l.garums	[m]	4	5-5,5	7,5-8	
Attālums starp 1 . Un 2. asi	[m]	2	2,5-3		

Transportlīdzekļu slodzes raksturīgās vērtības

6 asu transporta līdzekļi		95% varbūtība	Pirmais Maks.	Otrais Maks.	Trešais Maks.
Kopējais Tr.l. Svars	[t]	130-135	50-55	85-90	
Maks. Ass svars	[t]	29-30	12-13	19-20	
Pirmās ass svars	[t]	19-20	12-13		
Otrās ass svars	[t]	27-28	11-12	19-20	1-2
Trešās ass svars	[t]	26-27	7-8	11-12	
ceturtais ass svars	[t]	23-24	6-7	16-17	
piektās ass svars	[t]	23-24	4-5	16-17	
sestās ass svars	[t]	24-25	6-7	16-17	
5 asu transporta līdzekļi		95% varbūtība	Pirmais Maks.	Otrais Maks.	Trešais Maks.
Kopējais Tr.l. Svars	[t]	100-105	35-40	85-90	
Maks. Ass svars	[t]	27-28	13-14	22-23	
Pirmās ass svars	[t]	16-17	14-15		
Otrās ass svars	[t]	27-28	22-23	9-10	
Trešās ass svars	[t]	19-20	5-6	16-17	
ceturtais ass svars	[t]	20-21	5-6	17-18	
piektās ass svars	[t]	20-21	5-6	16-17	
4 asu transporta līdzekļi		95% varbūtība	Pirmais Maks.	Otrais Maks.	Trešais Maks.
Kopējais Tr.l. Svars	[t]	75-80	35-40	5-10	
Maks. Ass svars	[t]	25-26	13-14	2-3	
Pirmās ass svars	[t]	15-16	13-14	2-3	
Otrās ass svars	[t]	25-26	10-11	2-3	
Trešās ass svars	[t]	18-19	6-7	1-2	
ceturtais ass svars	[t]	18-19	6-7	1-2	
3 asu transporta līdzekļi		95% varbūtība	Pirmais Maks.	Otrais Maks.	Trešais Maks.
Kopējais Tr.l. Svars	[t]	55-61	4-7	21-22	37-38
Maks. Ass svars	[t]	24-25	2-3	9-10	13-14
Pirmās ass svars	[t]	17-18	1-2	11-12	9-10
Otrās ass svars	[t]	23-24	1-2	6-7	
Trešās ass svars	[t]	20-21	1-2	6-7	
2 asu transporta līdzekļi		95% varbūtība	Pirmais Maks.	Otrais Maks.	Trešais Maks.
Kopējais Tr.l. Svars	[t]	15-20	3,5-5		
Maks. Ass svars	[t]	10-11	2-3		
Pirmās ass svars	[t]	8-9	2-3	11-12	
Otrās ass svars	[t]	10-11	1-2		

No parametriem, kas doti 6.1. un 6.2. tabulā, iegūtās slodžu shēmas S1-S5 redzamas 6.3.attēlā.



6.3.att. Transportlīdzekļu slodžu shēmas S1-S5 ar 5% attālumu un 95% slodzes nepārsniegšanas vērtībām. Attālumi doti milimetros, svars spēka tonnās.

Iegūtās vērtības ir konservatīvas, jo tiek ņemti vērā attālumi starp visa veida transportlīdzekļu asīm, tādējādi kopā tiek saliktas dažādu transportlīdzekļu asu shēmas. Turklāt vērā netiek ņemts transportlīdzekļu smagākās un vieglākās ass svars, bet gan tikai smagākās ass slodze ar 95% nepārsniegšanas varbūtību.

Otrā pieeja saistās ar reāli eksistējošu transportlīdzekļu shēmu noteikšanu. Raksturīgos transportlīdzekļu veidus iespējams iegūt veicot tālāku transportlīdzekļu sastāva analīzi, balstoties uz iegūtajiem asu attālumu izkliedes grafikiem. Tā kā daži attālumu biežuma histogrammas ir ar diviem vai trim maksimumiem, tad tika veikta papildus datu izvērtēšana, sadalot tos tā, lai katrs maksimums atrastos savā datu intervālā.

Darbs tika veikts, pielietojot MS Excel pieejamo funkciju „IF”. Lai precīzāk definētu slodžu modeļus, precizitāte tika palielināta līdz 0.25 m. Ņemot vērā visus šos precizējumus, tika pārrēķināti asu attālumi, kā arī sastādītas atbilstošās slodzes sadalījuma histogrammas un atdalīti Latvijas apstākļiem raksturīgie slodžu modeļi. Lai racionāli veiktu šo darbu, datu apjoms tika samazināts līdz 172 918 smagajiem transportlīdzekļiem. Iegūtie ģeometriskos parametru dati redzami 6.3.tabulā, savukārt slodzes vērtības apkopotas 6.4.tabulā.

6.3.tabula.

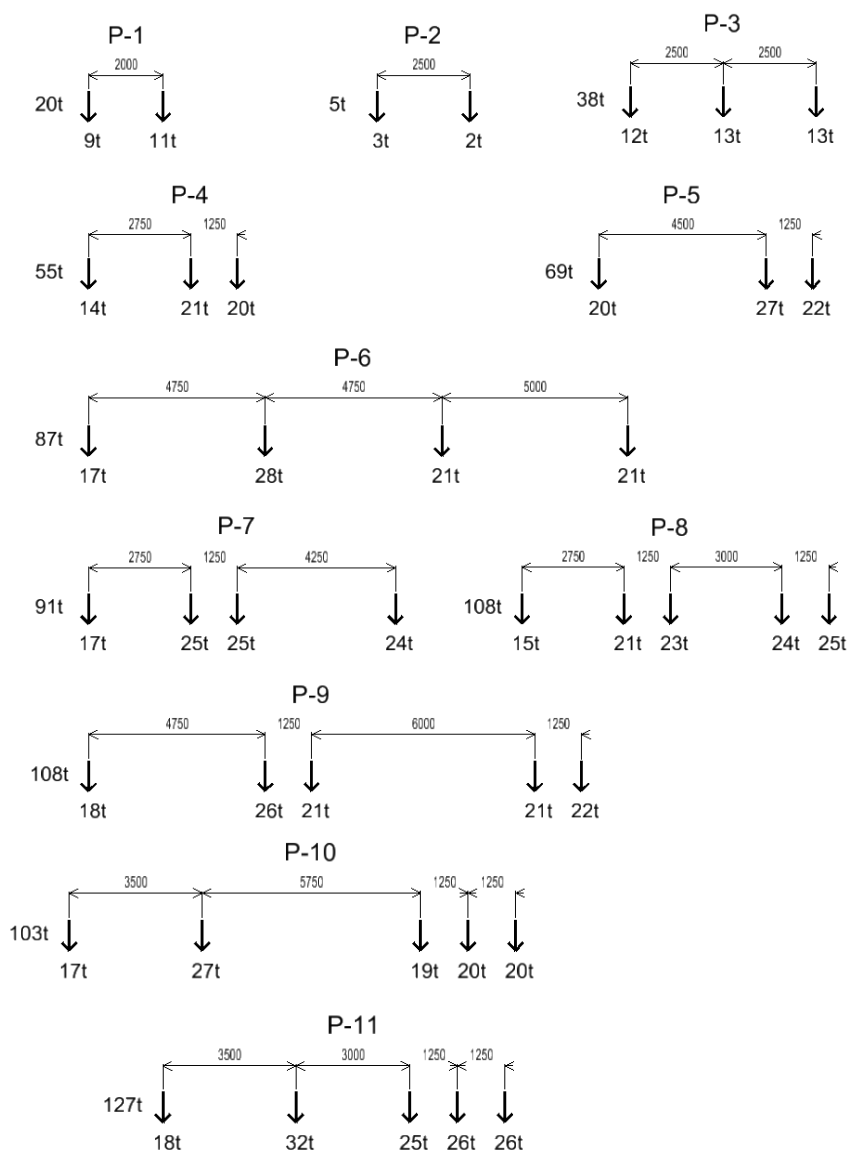
Transportlīdzekļu slodzes novietojuma raksturīgās vērtības

6 asu transporta līdzekļi					
		P-17	P-18	P-18	P-20
Attālums starp 1 . Un 2. asi	[m]	4,5	4,5	2,75	3,5
Attālums starp 2. Un 3. asi	[m]	6	1,25	1,25	5,5
Attālums starp 3 . Un 4. asi	[m]	1,25	2,25	2,75	1,25
Attālums starp 4 . Un 5. asi	[m]	4,25	1,25	1,25	1,25
Attālums starp 5 . Un 6. asi	[m]	1,25	1,25	1,25	0,5
		P-14	P-15	P-16	
Attālums starp 1 . Un 2. asi	[m]	4,5	2,75	4,5	
Attālums starp 2. Un 3. asi	[m]	6	1,25	1,25	
Attālums starp 3 . Un 4. asi	[m]	1,25	5	4,75	
Attālums starp 4 . Un 5. asi	[m]	7	1,25	3,5	
Attālums starp 5 . Un 6. asi	[m]	1,75	1,25	1,25	
5 asu transporta līdzekļi					
		P-10	P-11	P-12	P-13
Attālums starp 1 . Un 2. asi	[m]	3,5	3,5	4,5	2,75
Attālums starp 2. Un 3. asi	[m]	5,75	3	1,25	1,25
Attālums starp 3 . Un 4. asi	[m]	1,25	1,25	4,75	7,5
Attālums starp 4 . Un 5. asi	[m]	1,25	1,25	4,25	2
		P-8	P-9		
Attālums starp 1 . Un 2. asi	[m]	2,75	4,75		
Attālums starp 2. Un 3. asi	[m]	1,25	1,25		
Attālums starp 3 . Un 4. asi	[m]	3	6		
Attālums starp 4 . Un 5. asi	[m]	1,25	1,25		
4 asu transporta līdzekļi					
		P-6	P-7		
Attālums starp 1 . Un 2. asi	[m]	4,75	2,75		
Attālums starp 2. Un 3. asi	[m]	4,75	1,25		
Attālums starp 3 . Un 4. asi	[m]	5	4,25		
3 asu transporta līdzekļi					
		P-3	P-4	P-5	
Attālums starp 1 . Un 2. asi	[m]	2,5	2,75	4,5	
Attālums starp 2. Un 3. asi	[m]	2,5	1,25	1,25	
2 asu transporta līdzekļi					
		P-1	P-2		
Attālums starp 1 . Un 2. asi	[m]	2	2,5		

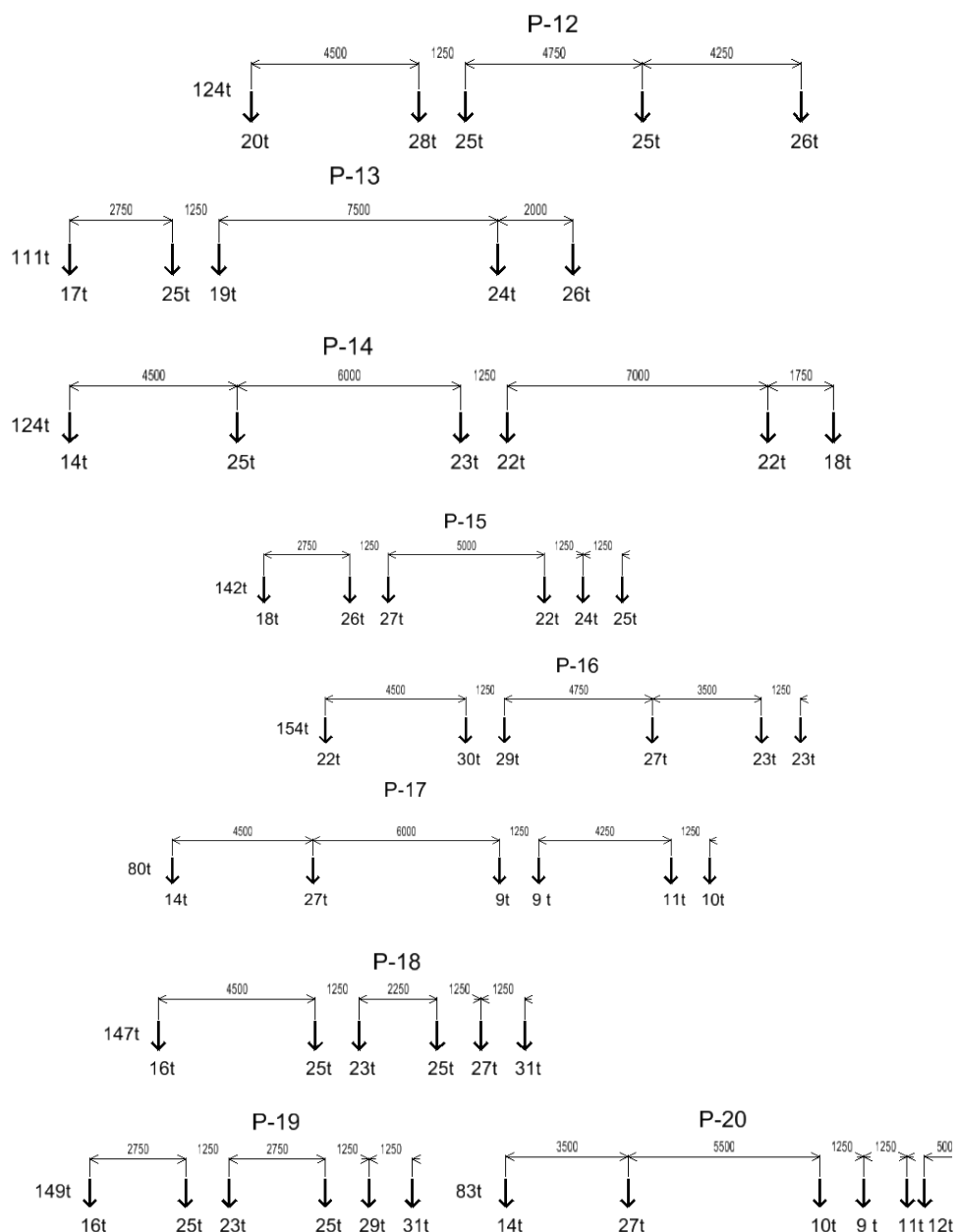
Transportlīdzekļu slodzes raksturīgās vērtības

6 asu transporta līdzekļi					
		P-17	P-18	P-18	P-20
Pirmās ass svars	[t]	14	16	16	14
Otrās ass svars	[t]	27	25	25	27
Trešās ass svars	[t]	9	23	23	10
ceturtais ass svars	[t]	9	25	25	9
piektās ass svars	[t]	11	27	29	11
sestās ass svars	[t]	10	31	31	12
		P-14	P-15	P-16	
Pirmās ass svars	[t]	14	18	22	
Otrās ass svars	[t]	25	26	30	
Trešās ass svars	[t]	23	27	29	
ceturtais ass svars	[t]	22	22	27	
piektās ass svars	[t]	22	24	23	
sestās ass svars	[t]	18	25	23	
5 asu transporta līdzekļi					
		P-10	P-11	P-12	P-13
Pirmās ass svars	[t]	17	18	20	17
Otrās ass svars	[t]	27	32	28	25
Trešās ass svars	[t]	19	25	25	19
ceturtais ass svars	[t]	20	26	25	24
piektās ass svars	[t]	20	26	26	26
		P-8	P-9		
Pirmās ass svars	[t]	15	18		
Otrās ass svars	[t]	21	26		
Trešās ass svars	[t]	23	21		
ceturtais ass svars	[t]	24	21		
piektās ass svars	[t]	25	22		
4 asu transporta līdzekļi					
		P-6	P-7		
Pirmās ass svars	[t]	17	17		
Otrās ass svars	[t]	28	25		
Trešās ass svars	[t]	21	25		
ceturtais ass svars	[t]	21	24		
3 asu transporta līdzekļi					
		P-3	P-4	P-5	
Pirmās ass svars	[t]	12	14	20	
Otrās ass svars	[t]	13	21	27	
Trešās ass svars	[t]	13	20	22	
2 asu transporta līdzekļi					
		P-1	P-2		
Pirmās ass svars	[t]	8-9	2-3		
Otrās ass svars	[t]	10-11	1-2		

Apkopojot datus, kas doti 6.4. un 6.5.tabulā, izveidotas slodžu shēmas P-1 līdz P-20, skatīt 6.4. un 6.5.attēlu. Šīs shēmas ir daudz precīzākas nekā iepriekš izveidotās S-1 līdz S-5, jo tiek aplūkotas atdalītas transportlīdzekļu grupas, pēc to ģeometriskajiem parametriem.



6.4.att. Transportlīdzekļu slodžu shēmas P-1 līdz P-11



6.5.att. Transportlīdzekļu slodžu shēma P-12 līdz P-20

No iegūtajām slodžu shēmām varam secināt, ka tās ir daļēji līdzīgas citos pētījumos dotajām (OConnor, 2005). Izņēmumi ir slodžu shēmas P-14, P-17 un P-20, kas ir individuālas Latvijas apstākļiem.

Izmantojot datus, kas doti 6.4. un 6.5.tabulā ir izveidoti 25 Latvijai raksturīgi satiksmes slodžu modeļi. Visu 25 slodžu modeļu pielietošana tiltu nestspējas novērtēšanai ir grūta un laikietilpīga. Te jāņem vērā arī tas, ka daļa no šiem slodžu modeļiem ir ar mazu svaru, tādēļ to ietekme uz konstrukciju nestspēju būs neliela. Tādēļ izstrādātie slodžu modeļi

ir jāizvērtē un tālākajai pielietošanai ir jārekomendē tikai tie, kas konstrukcijās izraisa vislielākās piepūles.

6.2. Latvijā sastopamie tiltu veidi un raksturīgie laiduma konstrukcijas garumi

Lai noteiktu laiduma konstrukciju loku, kuram tiks noteikti tie satiksmes slodžu modeļi, kas izraisīs vislielākās piepūles, ir jāapskata Latvijai raksturīgie laiduma konstrukcijas tipi. Izmantojot VAS „Latvijas Valsts ceļi” tiltu vadības sistēmas datus, ir apkopoti Latvijai raksturīgie tiltu laidumu veidi skatīt 6.5.tabulu.

6.5.tabula .

Latvijai raksturīgie tiltu laidumu konstrukciju veidi

Nr.	Laiduma konstrukcijas veids
1.	56.tipu projekta dzelzsbetona diafragmu sijas: Laidumi: 8.66, 11.36, 14.06, 16.76, 22.16 m
2.	56.tipu projekta dzelzsbetona bezdiafragmu sijas: Laidumi: 8.66, 11.36, 14.06, 16.76, 22.16 m
3.	Stīgbetona sijas: Laidumi: 11.36, 14.06, 16.76 m
4.	Spriegbetona Dubul-T veida sijas: Laidumi: 16.76, 18, 24, 33 m
5.	Dobās vienlaiduma plātnes Laidumi: 9, 12, 18 m
6.	Pilna šķērsriezuma dzelzsbetona vienlaiduma plātnes Laidumi: 4, 6 m
7.	Ribotās saliekamā dzelzsbetona vienlaidumu plātnes Laidums: 6 m
8.	Divkonsoļu monolīti betonētas vienlaidumu sijas Centrālais laidums: 14, 17, 21, 27 m
9.	Nepārtrauktas vairāklaidumu Žuravļova tipa šķērsriezuma sijas Garākie laidumi: 12, 15, 18, 24 m Sānu laidumi: 9, 12, 15, 18 m
10.	Dobā šķērsriezuma vairāklaidumu nepārtrauktās plātnes Laidums: 12, 15, 18, 24 m
11.	Nepārtrauktas vairāklaidumu T-šķērsriezuma sijas Laidums: 12 – 18 m
12.	Dzelzsbetona rāmju sistēmas tilti ar slīpiem balstiem
13.	Nepārtrauktas, kastveida šķērsriezuma, siju – rāmju sistēmas dzelzsbetona tilti
14.	Individuāli projektētas tiltu laidumu konstrukcijas:
15.	Tērauddzelzsbetona nepārtrauktas sijas
16.	Tērauda kopņu tilti

Pēc VAS „Latvijas Valsts ceļi” tiltu vadības sistēmas datiem, 90% no visiem tiltiem ir vienkāršās divbalstu, sijas vai plātnes. Pēc īpatsvara nākamā konstrukciju grupa ir

nepārtrauktas sistēmas siju un plātņu tilti, kas sastāda, apmēram, 3% no visiem tiltu veidiem. Tādēļ iegūto slodžu modeļu shēmas tiks pārbaudītas uz vienkāršu divbalstu siju un nepārtrauktu siju tiltu laidumu konstrukcijām.

Ņemot vērā raksturīgos tiltu laidumu garumus, kas doti 6.5.tabulā, tālākajos aprēķinos vienkāršām divbalstu konstrukcijām pieņemu šādus aprēķina laiduma garumus: 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 un 33 metri, savukārt nepārtrauktu trīs laidumu konstrukcijām laiduma garuma sadalījumi doti 6.6.tabulā.

6.6.tabula.

Nepārtrauktu trīs laidumu konstrukciju laiduma garuma sadalījumus

Laidumu sadalījums	Laidums Nr.1 [m]	Laidums Nr.2 [m]	Laidums Nr.3 [m]
1	9	12	9
2	12	15	12
3	15	18	15
4	18	24	18

6.3. Slodzes aprēķina modeļi

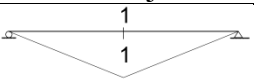

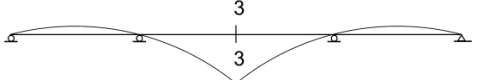

Lai noteiktu, kuri no iegūtajiem satiksmes slodžu modeļiem: S-1 līdz S-5 un P-1 līdz P-20, izraisīs vislielākās piepūles vienkāršai divbalstu plātnes tilta konstrukcijai ar laidumu garumiem 33, 24 un 21 m, datorprogrammā Dlubal RFEM 4.05 tika sastādīts konstrukciju aprēķina modelis. Datorprogramma balstās uz galīgo elementu metodi. Konstrukcijas aprēķina modelī tika pieņemta 6 m plata tilta brauktuve ar divām 1.5 m platām ietvēm katrā brauktuves pusē. Aprēķina modelī laiduma konstrukcijas biezums tika pieņemts 2 metri, lai samazinātu konstrukcijas ielieces. Plātnes pašsvars aprēķinā netiek ņemts vērā. Kopā ar slodzes modeļiem: S-1 līdz S-5 un P-1 līdz P20 uz tilta ietvēm tika novietota 3 kN/m² vienmērīgi izkliedēta gājēju slodze. Slodžu modeļi uz brauktuves tiek novietoti vienā brauktuves pusē. Pirmais ass ritenis atrodas 0.5m no brauktuves malas, bet attālums starp vienas ass riteņiem ir 2 metri. Lai noteiktu neizdevīgāko slodžu izvietojumu tiek izmantotas 6.7.tabulā dotās ietekmes līniju shēmas.

Novietojot slodzes uz laiduma konstrukcijām, tiek iegūtas maksimālās momenta piepūļu M_1 un šķērsspēka piepūļu Q_2 vērtības. Visas laiduma konstrukcijas tiek slogotas arī ar LVS EN 1991-2 LM1 slodžu shēmu (ar regulējošo koeficientu $\alpha = 1$), lai iegūtu momentu un

šķērsspēku piepūles. Iegūtie rezultāti vienkāršai divbalstu laiduma konstrukcijai doti 6.8.tabulā.

6.7.tabula.

Ietekmes līniju shēmas viena un trīs laiduma sijām

Piepūles	Ietekmes līnijas forma	Piezīmes
M_1		Lielākā momenta piepūle divbalstu sijai
Q_2		Lielākā šķērsspēka piepūle divbalstu sijai
M_3		Lielākā momentu piepūle daudzlaidumu sijas otrā laiduma vidū
M_4		Lielākā momenta piepūle virs daudzlaidumu sijas otrā balsta

Lieces momentu M_1 un šķērsspēku Q_2 piepūļu vērtības, kas dotas 6.8.tabulā, tika iegūtas, novietojot slodžu modeļa smagāko asi kritiskajos laiduma konstrukcijas šķēlumos. Slodžu modeļi tika pārvietoti pa laiduma konstrukciju tilta garenass virzienā ar soli 0.5 m.

Laidumi ar garumiem: 6, 9, 12, 15 un 18 m modeļu atlasē netika izmantoti, jo uz tiem nebija iespējams novietot visus aprēķina slodžu veidus.

Balstoties uz 6.8.tabulā iegūtajiem rezultātiem lielākās piepūles laiduma konstrukcijā dod slodžu modeļi S-5, P-18 un P-19. Tādēļ par Latvijai raksturīgajiem slodzes modeļiem tiek **noteikti šie trīs slodžu modeļi, kas rada laiduma konstrukcijā lielākās piepūles tie ir S-5, P-18 un P-19**. Līdz ar to šie slodžu modeļi tiek rekomendēti izmantot Latvijā ekspluatācijā esošo tiltu nestspējas pārbaudei.

Lai vienkāršotu izstrādāto modeļu pielietošanu, tos apzīmē:

- S-5 apzīmē ar LSM1 ar kopējo svaru 107 t un 6.3.att. doto attālumu starp asīm;
- P-18 apzīmē ar LSM2 ar kopējo svaru 147 t un 6.5.att. doto attālumu starp asīm;
- P-19 apzīmē ar LSM3 ar kopējo svaru 148 t un 6.5.att. doto attālumu starp asīm.

Iegūto slodžu modeļu raksturlielumi ievērojami pārsniedz ikdienā pieļaujamās vērtības. Tomēr analizētie satiksmes dati parādīja, ka šādi slodžu modeļi ar lielu varbūtību ir iespējami uz Latvijas autoceļiem.

Raksturlielumu tabula 21, 24 un 33 metru garai vienkāršai divbalstu laiduma konstrukcijai

Slodžu modelis	Laidums 21 m		Laidums 24 m		Laidums 33 m	
	M_1 [kNm]	Q_2 [kN]	M_1 [kNm]	Q_2 [kN]	M_1 [kNm]	Q_2 [kN]
S-1	174,62	92,72	208,00	100,04	321,55	118,69
S-2	434,37	226,82	503,62	242,40	725,13	278,00
S-3	528,45	279,29	611,84	297,91	875,04	340,76
S-4	641,21	353,83	747,03	378,74	1078,50	434,60
S-5	917,83	509,60	1066,00	544,60	1524,90	621,71
P-1	174,62	92,72	208,00	100,04	321,55	118,69
P-2	84,80	45,83	105,83	50,30	182,45	63,03
P-3	259,72	143,87	307,68	155,06	467,24	182,21
P-4	368,38	199,05	430,98	213,37	632,51	246,55
P-5	424,85	235,24	498,99	253,12	735,16	293,81
P-6	380,94	226,56	469,43	255,87	749,46	318,80
P-7	511,64	283,28	604,09	308,61	895,40	362,66
P-8	574,90	339,05	681,52	366,50	1015,40	426,75
P-9	483,14	280,88	589,55	315,58	922,93	389,75
P-10	436,66	275,09	579,80	307,05	899,22	377,27
P-11	671,32	374,78	793,60	408,46	1174,70	482,13
P-12	540,74	315,27	660,23	346,52	1033,20	433,80
P-13	452,66	279,79	560,16	316,78	898,72	394,72
P-14	438,13	253,52	550,92	298,09	924,92	384,99
P-15	627,66	396,82	760,92	436,59	1176,80	519,23
P-16	613,00	368,91	756,17	418,50	1202,40	524,37
P-17	325,29	193,14	401,70	222,65	662,09	285,86
P-18	756,95	414,80	895,77	452,79	1326,60	539,87
P-19	764,01	452,71	904,48	489,55	1540,30	569,73
P-20	379,64	230,67	464,21	256,25	733,16	312,75
LM1	1284,30	614,05	1537,90	623,58	2401,80	749,62

6.4. Raksturīgās laiduma konstrukcijas

Visi 6.2. nodaļā noteiktie laiduma konstrukciju veidi tika pārbaudīti ar Latvijai raksturīgajām satiksmes slodžu shēmām LSM1, LSM2 un LSM3 un Eirokodeksā paredzēto slodžu shēmu LM-1 (ar $\alpha = 1$). Lai iegūtu pilnīgi precīzas piepūļu epīras, aprēķina slodžu modeļi tika bīdīti pāri laiduma konstrukcijai ar soli 0.5 m un tika izveidotas aptvērējepīras gan lieces momenta M_1 , gan šķērsspēka Q_2 vērtībām. Iegūtās vērtības viena laiduma konstrukcijām redzamas 6.9. un 6.10.tabulā, bet nepārtrauktām trīs laiduma konstrukcijām - tabulās 6.11 un 6.12.tabulā.

6.9.tabula.

Raksturlielumu tabula 6, 9, 12 un 15 metru garai divbalstu konstrukcijai

Slodžu modelis	Laidums 6 m		Laidums 9 m		Laidums 12 m		Laidums 15 m	
	M [kNm]	Q [kN]	M [kNm]	Q [kN]	M [kNm]	Q [kN]	M [kNm]	Q [kN]
LSM1	194,75	379,07	347,39	411,63	488,65	426,90	629,21	436,49
LSM2	144,56	297,35	251,05	318,09	370,25	334,79	488,52	345,14
LSM3	149,27	352,42	241,67	380,23	362,90	399,14	490,76	411,53
LM1	280,72	550,21	442,90	569,30	626,29	582,64	828,66	593,91

6.10.tabula.

Raksturlielumu tabula 18, 21, 24 un 33 metru garai divbalstu konstrukcijai

Slodžu modelis	Laidums 18 m		Laidums 21 m		Laidums 24 m		Laidums 33 m	
	M [kNm]	Q [kN]	M [kNm]	Q [kN]	M [kNm]	Q [kN]	M [kNm]	Q [kN]
LSM1	772,17	466,86	917,83	509,60	1066,00	544,60	1524,90	621,71
LSM2	620,66	376,66	756,95	414,80	895,77	452,79	1326,60	539,87
LSM3	626,10	420,19	764,01	452,71	904,48	489,55	1540,30	569,73
LM1	1047,90	604,23	1284,30	614,05	1537,90	623,58	2401,80	749,62

6.11.tabula .

Nepārtrauktas sistēmas raksturlielumi laiduma garumiem 9+12+9 un 12+15+12 metri.

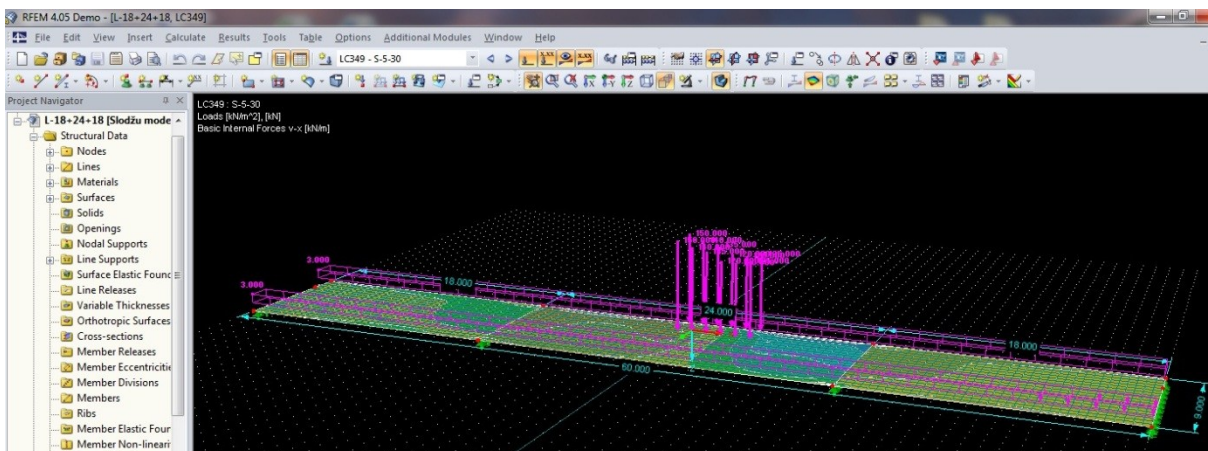
Slodžu modelis	Laidumu garumi 9 + 12 + 9 m				Laidumu garumi 12 + 15 + 12 m			
	+M [kNm]	-M [kNm]	+Q [kN]	-Q [kN]	+M [kNm]	-M [kNm]	+Q [kN]	-Q [kN]
S-5	306,72	241,25	453,15	406,51	402,73	306,25	465,91	402,45
P-18	221,63	207,69	359,11	417,47	302,32	261,75	374,63	434,15
P-19	219,83	204,20	419,15	353,72	301,45	255,62	436,60	370,40
SM1	380,20	295,58	606,08	411,30	488,59	402,29	621,52	526,68

6.12.tabula.

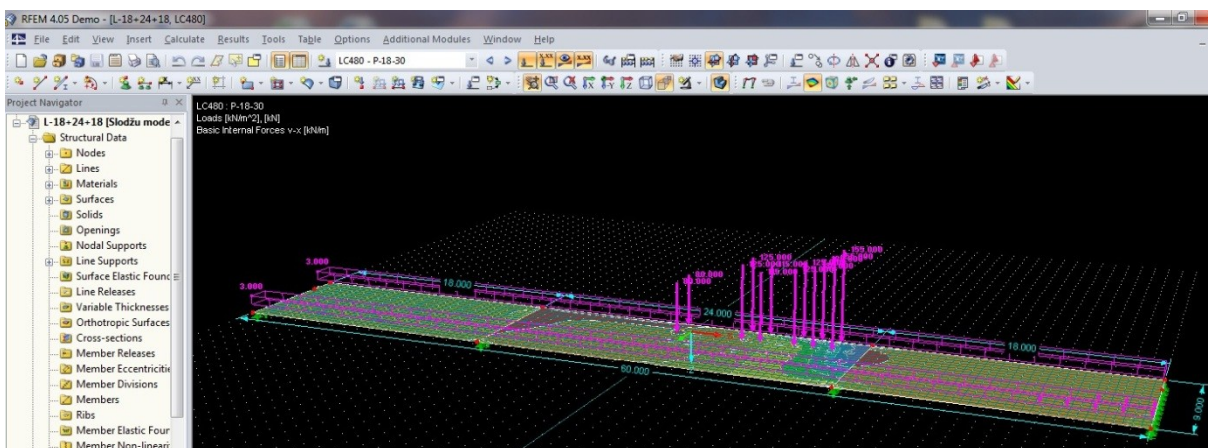
Nepārtrauktas sistēmas raksturlielumi laiduma garumiem 15+18+15 un 18+25+18 metri.

Slodžu modelis	Laidumu garumi 15 + 18 + 15 m				Laidumu garumi 18 + 24 + 18 m			
	+M [kNm]	-M [kNm]	+Q [kN]	-Q [kN]	+M [kNm]	-M [kNm]	+Q [kN]	-Q [kN]
S-5	512,59	366,38	474,79	430,09	676,11	495,20	488,23	444,51
P-18	395,83	312,99	385,28	446,26	547,03	440,79	400,24	463,99
P-19	396,99	318,30	449,00	381,93	549,23	448,03	466,98	398,30
SM1	631,79	523,61	638,86	542,69	858,77	781,25	668,39	572,78

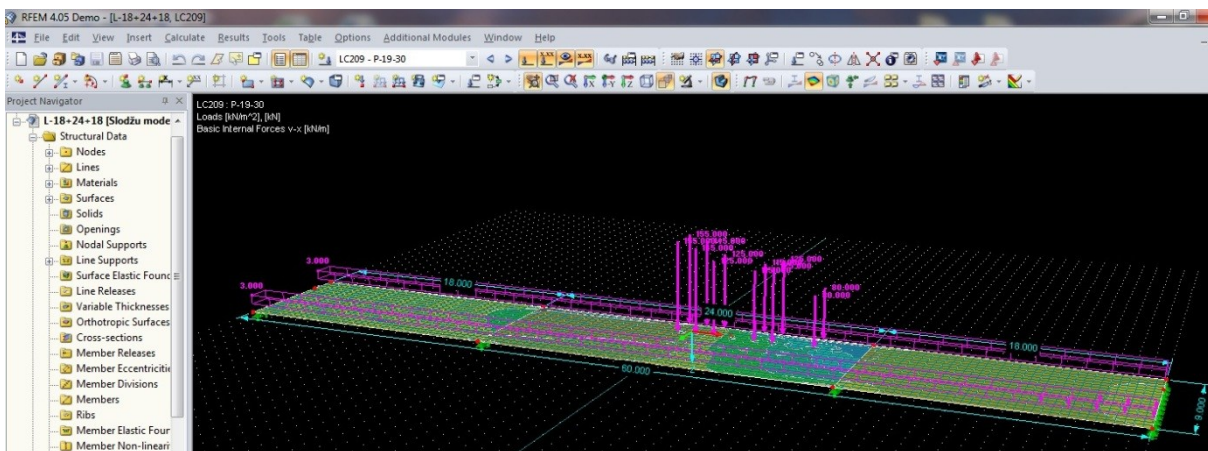
Satiksmes slodžu shēmu LSM1, LSM2, LSM3 un LM1 novietojums uz nepārtrauktas laiduma konstrukcijas ar laiduma garumiem 18+25+18 metru redzams attēlos 6.6, 6.7. un 6.8.



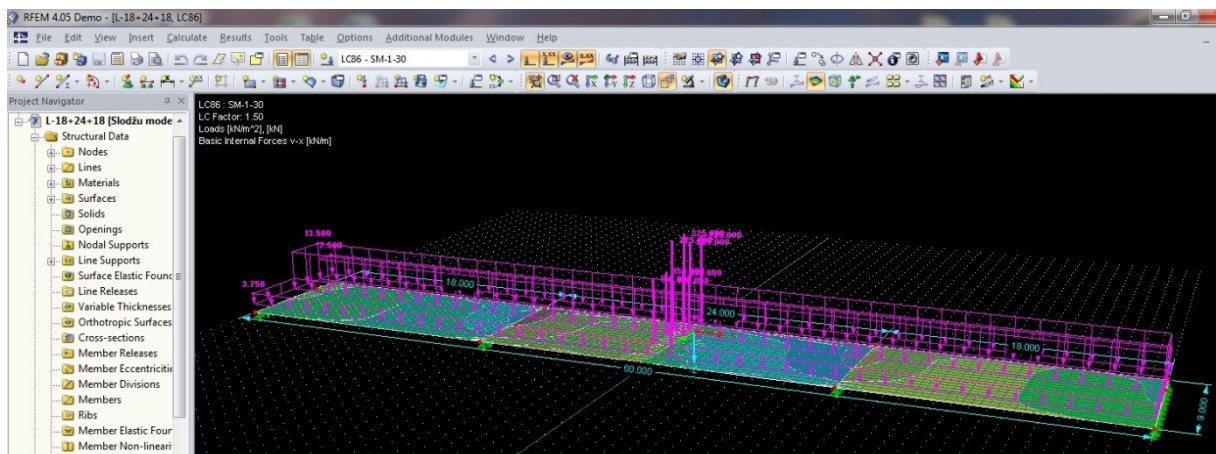
6.6.att. LSM1 slodžu modelis novietots uz laiduma konstrukcijas



6.7.att. LSM2 slodžu modelis novietots uz laiduma konstrukcijas



6.8.att. LSM3 slodžu modelis novietots uz laiduma konstrukcijas



6.9.att. LM1 slodžu modelis novietots uz laiduma konstrukcijas

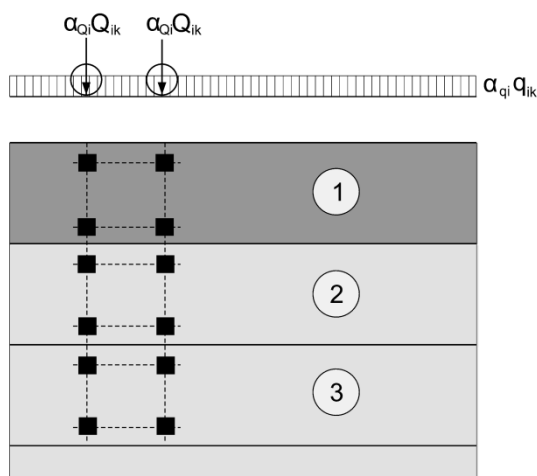
Iegūtie rezultāti rāda, ka faktiskās satiksmes slodzes laiduma konstrukcijās izraisa par 20% mazākas piepūles, ka Eirokodeksā dotā satiksmes slodze LM1 (ar $\alpha = 1$). Tas nozīmē, ka veicot esošu tiltu nestspējas pārbaudi, būtu jāizmanto Latvijai raksturīgās satiksmes slodžu shēmas, kas ļaus objektīvāk novērtēt konstrukcijas atlikušo nestspēju un kalpošanas laiku, nesamazinot to drošumu.

7. EIROKODEKSA LVS EN 1991-2 SLODZES MODEĻA LM1 REGULĒJOŠĀ KOEFICIENTA α REKOMENDĒJAMĀS VĒRTĪBAS

7.1. Eirokodeksa LVS EN 1991-2 slodzes modeļa LM1 raksturojums

Eiropas Standartizācijas komiteja CEN ir izstrādājusi vienotas prasības autoceļu tiltu projektēšanas raksturīgajām slodzēm. Tās dotas 1.Eirokodeksa 2.daļā „Satiksmes slodzes tiltiem” (LVS_EN_1991-2, 2003). Visās Eiropas Savienības valstīs 1.Eirokodeksa 1.slodzes modeļa (LM1) (7.1.att.) lietošana no 2010.gada ir obligāta.

Eirokodeksā paredzētais slodzes modelis LM1 sastāv no divasu tandēma slodzes $\alpha_{Qi}Q_{ik}$ un vienmērīgi izkliedētās slodzes $\alpha_{qi}q_{ik}$, kur α_{Qi} un α_{qi} ir Nacionālajā pielikumā nosakāmie regulējošie koeficienti, i – aprēķina kustības joslas numurs. Slodžu modeļa LM1 raksturīgās vērtības ir dotas 7.1.tabulā.



7.1.att. Slodzes modeļa LM1 shēma

8.1.tabula.

Slodzes modeļa LM1 raksturīgās vērtības.

Izvietojums	Divasu tandēmu slodzes sistēma	Vienmērīgi izkliedētas slodzes sistēma
	Ass slodzes Q_{ik} (kN)	q_{ik} (vai q_{ik}) (kN/m ²)
Josla 1	300	9
Josla 2	200	2,5
Josla 3	100	2,5
Pārējās joslas	0	2,5
Atlikušais laukums (q_{rk})	0	2,5

Eirokodekss paredz, ka katra valsts savā Nacionālā pielikuma dokumentā var regulēt satiksmes slodžu vērtības, atbilstoši valstij raksturīgajām satiksmes slodzēm, izmantojot regulējošo koeficientu α . Šobrīd 1. Eurokodeksa 2.daļas nacionālais pielikums (LVS_EN_1991-2_NP, 2004) nosaka 7.2. tabulā dotās regulējošo koeficientu vērtības, kas pieņemtas saskaņā ar Eurokodeksa rekomendācijām.

7.2.tabula.

Latvijas Nacionālajā pielikumā dotās regulējošo koeficientu α_{Qi} , α_{qi} un α_{qr} vērtības

Ceļu iedalījums	α_{Qi}	α_{qi}	α_{qr}
Valsts galvenie autoceļi, pilsētu ielas	1.0	1.0	1.0
Reģionālie, vietējie un pašvaldību autoceļi	0.8	0.8	0.8

Izmantojot 6.nodaļā iegūtos Latvijai raksturīgos satiksmes slodzes modeļus ir iespējams noteikt regulējošo koeficientu α , kas ir balstīts uz faktisko satiksmes slodzi.

Slodžu regulējošo koeficientu α var noteikt, izmantojot lieces momenta un šķērsspēka piepūļu attiecību, izmantojot LM1 slodzes modeli (ar $\alpha = 1$) un 6. nodaļā noteiktos Latvijai raksturīgos satiksmes slodžu modeļus LSM1, LSM2 un LSM3.

7.2. Regulējošais koeficients α

Regulējošā koeficienta α vērtība tiek iegūta no LSM1, LSM2, LSM3 un LM1 radīto piepūļu attiecības, izmantojot 6.9. - 6.12.tabulā dotos datus. Iegūtie rezultāti divbalstu sijām ir apkopoti 7.1 un 7.2.tabulā, bet nepārtrauktām trīs laidumu sijām - 7.3. un 7.4.tabulā.

7.1.tabula.

Regulējošā koeficienta α rekomendējamā vērtība 6, 9, 12 un 15 metru garām divbalstu konstrukcijām

Slodžu modelis	Laidums 6 m		Laidums 9 m		Laidums 12 m		Laidums 15 m	
	M [kNm]	Q [kN]	M [kNm]	Q [kN]	M [kNm]	Q [kN]	M [kNm]	Q [kN]
LSM1	0,69	0,69	0,78	0,72	0,78	0,73	0,76	0,73
LSM2	0,51	0,54	0,57	0,56	0,59	0,57	0,59	0,58
LSM3	0,53	0,64	0,55	0,67	0,58	0,69	0,59	0,69
LM1	1	1	1	1	1	1	1	1

7.2.tabula

Regulējošā koeficienta α rekomendējamā vērtība 18, 21, 24 un 33 metru garām divbalstu konstrukcijām

Slodžu modelis	Laidums 18 m		Laidums 21 m		Laidums 24 m		Laidums 33 m	
	M [kNm]	Q [kN]	M [kNm]	Q [kN]	M [kNm]	Q [kN]	M [kNm]	Q [kN]
LSM1	0,74	0,77	0,71	0,83	0,69	0,87	0,63	0,83
LSM2	0,59	0,62	0,59	0,68	0,58	0,73	0,55	0,72
LSM3	0,60	0,70	0,59	0,74	0,59	0,79	0,64	0,76
LM1	1	1	1	1	1	1	1	1

Iegūtie rezultāti rāda, ka regulējošā koeficienta α vērtības divbalstu konstrukcijām ir atkarīgas no laiduma garuma un mainās no 0.51 līdz 0.87.

7.3.Tabula

Regulējošā koeficienta α rekomendējamā vērtība 9+12+9 un 12+15+12 metru garām nepārtrauktām konstrukcijām

Slodžu modelis	Laidumu garumi 9 + 12 + 9 m				Laidumu garumi 12 + 15 + 12 m			
	+M [kNm]	-M [kNm]	+Q [kN]	-Q [kN]	+M [kNm]	-M [kNm]	+Q [kN]	-Q [kN]
S-5	0,81	0,63	0,75	0,67	0,82	0,63	0,75	0,65
P-18	0,58	0,55	0,59	0,69	0,62	0,54	0,60	0,70
P-19	0,58	0,54	0,69	0,58	0,62	0,52	0,70	0,60
SM1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

7.4.Tabula

Regulējošā koeficienta α rekomendējamā vērtība 15+18+15 un 18+24+18 metru garām nepārtrauktām konstrukcijām

Slodžu modelis	Laidumu garumi 15 + 18 + 15 m				Laidumu garumi 18 + 24 + 18 m			
	+M [kNm]	-M [kNm]	+Q [kN]	-Q [kN]	+M [kNm]	-M [kNm]	+Q [kN]	-Q [kN]
S-5	0,81	0,58	0,74	0,67	0,79	0,58	0,73	0,67
P-18	0,63	0,50	0,60	0,70	0,64	0,51	0,60	0,69
P-19	0,63	0,50	0,70	0,60	0,64	0,52	0,70	0,60
SM1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Iegūtie rezultāti rāda, ka regulējošā koeficienta α vērtības nepārtrauktām trīslaidumu konstrukcijām ir maz atkarīgas no apskatītajiem laidumu garumiem un mainās no 0.58 līdz 0.82.

Balstoties uz iegūtajiem rezultātiem, slodzi regulējošo koeficientu α iespējams pieņemt robežās no 0.51 līdz 0.87, ņemot vērā laiduma konstrukcijas veidu un garumu. Lielākās piepūles laiduma konstrukcijās rada slodzes modelis LSM1.

Tā kā regulējošā koeficienta vērtības ir atkarīgas no laiduma garuma, tad var izdalīt divus laidumu garumu intervālus: no 6 m līdz 18 m, un no 18 m līdz 33 m un katram posmam noteikt savu regulējošā koeficientu α vērtību. Rekomendācijas apkopotas 7.5.tabulā.

7.5.tabula.

Rekomendējamās regulējošo koeficientu α_{Qi} , α_{qi} un α_{qr} vērtības tiltiem ar laidumu līdz 30 m

Laidumu intervāls	α_{Qi}	α_{qi}	α_{qr}
6 – 18 m	0.8	0.8	0.8
18-30 m	0.9	0.9	0.9

Iegūtās regulējošo koeficientu α_{Qi} , α_{qi} un α_{qr} vērtības ir tuvas tām, kas dotas 1.Eirokodeksa 2.daļas nacionālajā pielikumā, tomēr tās ir par 10% mazākas. Pielietojot noteiktā regulējošā koeficienta α vērtības, iespējams precīzāk novērtēt tiltu nestspēju un pieņemt pamatotus lēmumus par tiltu rekonstrukciju vai renovāciju, tā samazinot izdevumus virszemes transporta infrastruktūras uzturēšanai.

8. SECINĀJUMI

1. Eirokodeksā LVS EN 1991-2 „Satiksmes slodzes tiltiem” dotais slodzes modelis LM1 (ar regulējošo koeficientu $\alpha = 1$), kas domāts jaunām konstrukcijām, dod nepamatoti zemu ekspluatācijā esošu tiltu nestspējas novērtējumu. Tādēļ, izmantojot Latvijai raksturīgās satiksmes slodzes, kas iegūtas mērot automašīnu parametrus kustībā (WIM), un izstrādāto modelēšanas metodi, ir izveidoti skaitliski satiksmes slodzes modeļi LSM1, LSM2, LSM3, kas ļauj precīzāk novērtēt tiltu nestspēju un samazināt izdevumus tiltu konstrukciju uzturēšanai. Izstrādātā metode ļauj kalibrēt iegūtos satiksmes slodžu modeļus, atjaunināt tos pēc jaunu datu iegūšanas un apstrādes, kā arī koriģējot satiksmes slodzes modeli atbilstoši satiksmes slodzes izmaiņām.
2. Izstrādātās satiksmes slodzes modelēšanas metodes precizitāte ir atkarīga no iegūtā eksperimentālo datu apjoma. Lai raksturotu reālo satiksmes slodzi un ģeometrisko parametru vērtības ar 95% nepārsniegšanas varbūtību, ir nepieciešams vismaz 30 nedēļas ilgs satiksmes novērojums, kas sakrīt ar minimālo metodes lietošanai nepieciešamo datu apjomu. Datu apjomam palielinoties, metode kļūst precīzāka.
3. Noteikti datu korelācijas koeficienti, kas ļauj atjaunināt satiksmes slodzes datus, izmantojot mērījumus par satiksmes intensitāti un smago un vieglo transportlīdzekļu attiecību.
4. Slodzes modeļu LSM1, LSM2, LSM3 radītās piepūles, tiltiem ar laiduma garumiem līdz 30 m un divām kustības joslām, ir līdz 20% mazākas salīdzinot ar 1.Eirokodeksa slodzes modeļa LM1 (ar $\alpha = 1$) radītajām piepūlēm, jo LSM1, LSM2 un LSM3 modeļos tiek ņemtas vērā faktiskās, Latvijai raksturīgās satiksmes slodzes vērtības. Tiltiem ar lielāku laiduma garumu un platumu ir nepieciešami citi slodzes modeļi.
5. Ņemot vērā slodžu modeļu LSM1, LSM2 un LSM3 radītās piepūles, tiltiem ar laidumu garumu līdz 30 m un divām kustības joslām, var samazināt 1.Eirokodeksa LVS EN 1991-2 „Satiksmes slodzes tiltiem” slodzes modeļa LM1 regulējošā koeficienta α vērtības šādi: tiltiem ar laidumu garumiem no 6 līdz 18 m (ar divām kustības joslām) līdz $\alpha = 0.8$, un tiltiem ar laidumu garumiem no 18 līdz 30 m (ar

divām kustības joslām) līdz $\alpha = 0.9$. Tas ļauj projektēt ekonomiskākas konstrukcijas un ietaupīt jaunbūvēm paredzētos līdzekļus.

9. IZMANTOTIE INFORMĀCIJAS AVOTI

ASHTO_LRFD, A., 2007. *Bridge design specifications..* Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.

ASHTO, A., 2003. *Manual for Condition Evaluation and load and Resistance Factor Rating (LRFD) of Highway Bridges.* Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.

ASTRA, 2006. *Überprüfung bestehender Strassenbrücken mit aktualisierten Strassenlasten,* Lausanne: Bundesamt für Strassen (ASTRA).

ASTRA, 2009. *Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten. Bericht 623.,* Bern: Bundesamt für Strassen ASTRA.

Bailey, F. C., 1996. *Basic principles and load models for the structural safety evaluation of existing road bridges. Theses,* Lausanne: EPFL.

Bailey, S. B. R., 1999. Site specific probability distribution of extreme traffic action effects. *Probabilistic Engineering Mechanics*, 14(1), pp. 19-26.

Bez, R. C. R. J. J., 1987. *Modeling of highway traffic in Switzerland.* Zurich, IABSE, pp. 153-168.

Bruhwiller, E. a. L. J. P., 2010. *Updating of traffic loads on existing bridges.* Cavtat, Croatia, IABSE-fib.

Bruhwiller, E. B. S. F., 2002. *Target safety levels for the evaluation of existing bridges.* Barcelona, IABMAS, pp. 1-9.

CAN/CSA-S6-00 Canadian Highway Bridge Design Code, 2000. Toronto, Canada: CSA International.

Caprani, C.,C., Enright, B., Carey, C., 2012. Lane changing control to reduce traffic load effect on long span bridges. *Bridge Maintenance, Safety, Management, Resilience and Sustainability.* London: Taylor&Francis Group, pp. 2842-2849.

Caprani, C., 2005. *Probabilistic analysis of highway bridge traffic loading. Theses,* Dublin: Dublin Institute of Technology.

Caprani, C. C., 2005. *Probabilistic analysis of highway bridge traffic loading. PhD Theses.,* Dublin: Dublin Institute of Technology.

Caprani, C. C. O. E. J., 2009. *Estimating Extreme Highway Bridge Traffic Load Effects.* Osaka, IASSAR, pp. 1-8.

Caprani, C. & O'Brien, E., 2007. Characteristic traffic load effects from a mixture of loading events on short to medium span bridges. *Structural Safety*, pp. 1-8.

Ciguļskij, V., 1911. *Sistemātiska rokasgrāmata tiltu projektēšanai un aprēķiniem (krievu valodā)*. Maskava: Tovariškestvo Skoropečati A.A.Levenson.

Dolcemascolo, V. S. L., 2008. *Bridge Weight-in-motion: French tests and Swedish experience*. Paris, bez nos., pp. 1-6.

EK komisijas paziņojums & EK, 2006. *Eiropas dinamisma saglabāšana*, Brisele: Eiropas Kopienu komisija.

EK, 2008. Eiropas parlamenta un Padomes direktīva 2008/96/EK Par ceļu infrastruktūras drošības pārvaldību. *Eiropas Savienības Oficiālais Vēstnesis*, 29 11, pp. 59-67.

European Commission, 2010. *European Union energy and transport in figures*, Belgium: European Commission.

Fargier, L., 2010. *A Proposed Live Load Model for Bridge Design in Venezuela*. Venice, IABSE, pp. 1-8.

Gailis, A., 2002. Tiltu aprēķinu metodes, projekta un ekspluatācijas slodzes. *Autoceļi*, Sējums 1, pp. 13-17.

Getachew, A. O. E., 2007. Simplified site-specific traffic load models for bridge assessment. *Structure and Infrastructure Engineering*, 3(4), pp. 303-311.

Goldsman, H. P. M. V. A. P. F., 2008. *Test of WIM sensors and systems under Brazilian conditions*. Paris, bez nos., pp. 1-7.

Hayrapetova, A., A., O'Connor, A., J., O'Brien, E., J., 2012. Traffic load models for long span bridges. *Bridge Maintenance, Safety, Management, Resilience and Sustainability*. London: Taylor&Francis Group, pp. 2589-2596.

Hopkins, R. S. & Norman, O. K., 1952. Weighing vehicles in motion. *Bulletin 50*.

Kozikowski, M., 2009. *WIM Based Live Load Model for Bridge Reliability*. PhD Theses., Nebraska: University of Nebraska.

Krastiņš, O., 1978. *Varbūtību teorija un matemātiskā statistika*. pp 46-50, 66-77, 188 - 200 red. Rīga: Zvaigzne.

Kronbergs, E., 1988. *Augstākā matemātika 2*. pp. 429, 472-478, 510-514, red. Rīga: Zvaigzne.

Kudzys, A., 2009. The Structural Safety Assessment of the Overloaded Members of Highway Bridges. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 4(4), pp. 149-155.

Laman, J. A. N. A. S., 1997. Site-specific truck loads on bridges and roads. *Proc. Instn. Civ. Engrs. Transp.*, Sējums 123, pp. 119-133.

Leal, J., 2008. *WIM measurements in the National road network of Spain during the 2000 - 2003 period. Data collection procedure and main results*. Paris, bez nos., pp. 1-10.

Lutomirska, M., 2009. *Live load models for long span bridges. PhD Theses.*, Nebraska: University of Nebraska.

LVS_EN_1991-2_NP, 2004. *Iedarbes uz konstrukcijām. 2.daļa. Satiksmes slodzes tiltiem. Nacionālais pielikums.*. Rīga: LVS.

LVS_EN_1991-2, 2003. *Iedarbes uz konstrukcijām. 2.daļa. Satiksmes slodzes tiltiem*. Rīga: LVS.

LVS_EN_1991-2, 2003. *Satiksmes slodzes tiltiem*, Rīga: Latvijas Valsts standarts.

Nassif, H. Y. S. D. M. F., 2005. *Probabilistic dynamic load models for girder bridges*. Rotterdam, Millpress, pp. 769-774.

Nowak, A., 2003. *Target safety levels for design and evaluation of Bridges*. bez viet.:JWRI.

Nowak, A. a. H. Y., 1991. Bridge live load models. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 117(9), pp. 2757-2767.

Nowak, A. S., 1989. *Probabilistic basis for bridge design codes*. San Francisco, bez nos., pp. 2019 - 2026.

Nowak, A. S., 1993. Live load model for highway bridges. *Structural Safety*, Sējums 13, pp. 53-66.

O'Brien, E., J., O'Connor, A., J., Arrigan, J., E., 2012. Introduction to the Long Life Bridge Project. *Bridge Maintenance, Safety, Management, Resilience and Sustainability*. London: Taylor&Francis Group, pp. 2604-2608.

O'Brien, E., 2012. Procedures for calibrating eurocode traffic load model 1 for national conditions. *Bridge maintenances, safety, managment, resilience and sustainability*, pp. 2597-2603.

O'Brien, E. E. B. C. C., 2008. *Implications of Future Heavier Trucks for Europe's Bridges*. Ljubljana, bez nos., pp. 1-10.

O'Brien, E. J., 2006. Bridge assessment loading: a comparison of West and Central / East Europe. *Bridge Structures*, pp. 25-28.

O'Brien, E. J. C. C. C., 2005. Headway modelling for traffic load assessment of short and medium span bridges. *The Structural Engineer*, 83(16), pp. 33-36.

O'Brien, E. J. R. P. G. A. D. J. Ž. A., 2009. Characteristic dynamic traffic load effects in bridges. *Engineering Structures*, Sējums 31, pp. 1607-1512.

O'Connor, A., 2008. *Application of WIM in probability based safety assessment of bridges*. Paris, bez nos., pp. 1-10.

O'Connor, A., 2001. *Probabilistic dynamic load models for girder bridges*. PhD Thesis., Dublin: Trinity College Dublin.

O'Connor, A., 2002. Site-specific probabilistic load modelling for bridge reliability analysis. *Assessment of bridge and highway infrastructure*, pp. 97-104.

O'Connor, A. E. E. M., 2007. Site-specific traffic load modelling for bridge assessment. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Bridge Engineering*, Sējums 160, pp. 187-194.

O'Connor, A. O. E. J., 2005. Traffic load modelling and factors influencing the accuracy of predicted extremes. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Sējums 32, pp. 270-278.

OECD/International_Transport_Forum, 2011. *Permissible Maximum Weights of Trucks in Europe*, Paris: OECD.

Paeglītis, An., Paeglītis, Ai., 2010. Simple classification method for the bridge capacity rating. *Scientific Journal of Riga Technical University. Construction Science*, 2(11), pp. 44-50.

Paeglītis, An., Paeglītis, Ai., 2012. Investigation and upgrading of a historical multispan arch masonry bridge. *Bridge Maintenance, Safety, Management, Resilience and Sustainability*. Leiden: CRC Press, pp. 1086-1093.

Paeglītis, A. & Paeglītis, A., 2010. Simple classification method for the bridge capacity rating. *RTU zinātniskie raksti. Būvzinātne*, pp. 44-50.

Peters, B. & Koniditsiotis, C., 2000. *Weigh-In-Motion Technology*, Sydney: Austroads.

Pratt, A., 1998. *Weigh in Motion technology – Economics and Performance*. Charlotte, North Carolina: NATMEC.

Pratt, A. J. B. R., 1998. *Weigh In Motion Technology - Economics and Performance*. Charlotte, North Carolina, bez nos., pp. 1-7.

Pratt, A. J., bez datuma

Renehan, N.,S., Caprani, C.,C., 2012. A live load control procedure for long-span bridges. %1*Bridge Maintenance, Safety, Management, Resilience, and Sustainability*. London: Taylor&Francis Group, pp. 3747-3754.

Ricketts, N. J. P. J., 1997. *Traffic data for highway bridge loading. TRL Report 251*, Berkshire, UK: Transport Research Laboratory.

Rob Bushman, Andrew J. Pratt, 1998. *Weight in motion technology - Economics and performance*. Charlotte: NATMEC.

Rowley, C. G. A. O. E. Ž. A., 2008. *Comparison of conventional and regularized bridge WIM algorithms*. Paris, bez nos., pp. 1-10.

Ruan, X. S. X. Y. T., 2010. *Analysis of Highway Vehicle Load in China Based on WIM Data*. Venice, IABSE, pp. 1-8.

Schnellen_Bach-Helden, M. L. P. B. W., 2007. *Soft-WIM: Vehicle Identification from Bridge Measurement*. Weimar, IABSE, pp. 1-8.

SIA_261, 2003. *Einwirkungen auf Tragwerke*. Zurich: Schweizerischer Ingenieur- and Architektenverein.

Siegert, D. E. M. B. J. B. F. T. F., 2008. *Extreme effects of the traffic loads on a prestressed concrete bridge*. Paris, bez nos., pp. 1-9.

SN_200-62, 1962. *Tehniskie noteikumi autoceļu, dzelzceļu un pilsētu tiltu projektēšanai (krievu valodā)*. Maskava: Gosstroj SSSR.

SNIP_2.05.03-84, 1985. *Tilti un caurtekas (krievu valodā)*. Maskava: Gosstroj SSSR.

Sriramula, S., 2007. Axle load variations and vehicle growth projection models for safety assessment of transportation structures. *Transport - 2007*, pp. 31-37.

Treacy, M., Bruhwiler, E., 2012. Fatigue loading estimation for road bridges using long term WIM monitoring. %1*Advances in Safety, Reliability and Risk Management*. London: Taylor&Francis Group, pp. 1870-1875.

Van_De_Lindt, J. F. G., 2004. *Highway bridge design load and locality of truck load*. Shanghai, IABSE, pp. 1-6.

Vinogradski, D.J., Rudenko, J.D., Škuratovski, A.A., 1983. *Tiltu ekspluatācija un ilglaicība (krievu valodā)*. Kijeva: Budivel'nik.

Vrouwenvelder, A. a. W. P. H., 1992. *Traffic flow models, TNO Report B-91-218*, Utrecht: TNO.

Waarts, P. H. a. V. A. C. W. M., 1992. *Description of vehicular loads on bridges*, Utrecht: TNO report B-91-218.

Wikipedia, 2012. http://en.wikipedia.org/wiki/Cumulative_frequency_analysis.
[Tiešsaiste]

Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Cumulative_frequency_analysis

www.cross.cz, 2012. <http://www.cross.cz/en/wim-weigh-in-motion/cross-wim.html>.
[Tiešsaiste]

Available at: <http://www.cross.cz/en/wim-weigh-in-motion/cross-wim.html>

www.kistler.com, 2012. http://www.kistler.com/my_eng/124_history_dyn/History.html. [Tiešsaiste]

Available at: <http://www.kistler.com>

www.worldhighways.com, 2012. <http://www.worldhighways.com>. [Tiešsaiste]
Available at: <http://www.worldhighways.com/categories/traffic-focus-highway-management/features/weigh-in-motion-and-anpr-techology-aid-highway-protection/>

Xin, R., 2010. Analysis of highway vehicle load in China based on WIM data. *Large structures and infrastructures for environmentally constrained and urbanised areas*, pp. 1-8.

Zhao, H. U. N., 2011. *Influence Line Calculation of Existing Bridges in BWIM System*. London, IABSE, pp. 1-8.

Znidaric, J. a. Z. A., 1995. *Evaluation of the carrying capacity of existing bridges*. Report JF-026, Ljubljana: Ministry of science and Technology of Republic of Slovenia.