

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**  
Būvniecības Fakultāte  
Transportbūvju institūts

**Andris PAEGLĪTIS**  
Doktora studiju programmas „Būvniecība” doktorants

**SATIKSĒMES SLODZES MODEĻI LATVIJAS  
AUTOCEĻU TILTIEM AR LAIDUMU GARUMIEM  
LĪDZ 30 METRIEM**

**Promocijas darba kopsavilkums**

Promocijas padome „RTU P-06”

Zinātniskais vadītājs  
Dr. sc. ing., profesors  
**Ainārs PAEGLĪTIS**

**Rīga 2012**

UDK 656.1.021(043.2)  
Pa 061s

Paeglītis A. Satiksmes slodzes modeļi  
Latvijas autoceļu tiltiem ar laiduma  
garumu līdz 30 metriem.  
Promocijas darba kopsavilkums.-  
Rīga: RTU, 2012.-19 lpp.

Iespiests saskaņā ar promociju  
Padomes „P-06” 2012.gada 28.septembra  
lēmumu, protokols Nr.5-2012



Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā „Atbalsts RTU doktora studiju īstenošanai”

ISBN 978-9934-507-13-7

**PROMOCIJAS DARBS  
IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU BŪVZINĀTŅU  
DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI  
RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu būvzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2013.g. 18. janvārī Rīgas Tehniskās universitātes Būvniecības fakultātes sēžu zālē, Āzenes ielā 16 plkst. 14.15.

**OFICIĀLIE RECENZENTI**

Profesors, Dr.habil.sc.ing. Jānis Brauns  
Latvijas Lauksaimniecības universitāte  
Promocijas padomes „RTU P-06” loceklis

Dr. Assoc. Prof. Darius Bacinskas  
Vilnius Gediminas Technical University  
Department of Bridges and Special Structures

Docents, Dr.sc.ing. Kaspars Bondars  
Rīgas Tehniskā universitāte

**APSTIPRINĀJUMS**

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Andris Paeglītis .....(Paraksts)

Datums: 26.09.2012

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 8 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 119 zīmējumus un ilustrācijas, 37 tabulas, kopā 115 lappuses. Literatūras sarakstā ir 82 nosaukumi.

## DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

### 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. Ekspluatācijā esošu tiltu drošuma novērtēšanai tiek lietota Eirokodeksā dotā vispārējā pieeja. Tomēr šādas pieejas piemērošana ekspluatācijā 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 ekspluatācijā 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 pielietojumu, 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 ekspluatācijas 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.

## **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  $\alpha$  rekomendējamās vērtību ekspluatācijā esošo tiltu nestspējas novērtēšanai, ņemot vērā iegūtos satiksmes slodžu modeļus.

## **Pētījuma uzdevumi**

- 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.
- 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.
- Noteikt Latvijai raksturīgās autoceļu satiksmes slodzes raksturojumus, izmantojot WIM datus, kas iegūti uz autoceļa A4 (Baltezers – Saulkalne).
- Izstrādāt satiksmes slodzes modeļus tiltiem ar laidumu garumiem līdz 30 metriem, ņemot vērā Latvijai raksturīgās autoceļu satiksmes slodzes raksturojumus.
- Noteikt Eirokodeksā LVS EN 1991-2 dotā slodzes modeļa LM1 regulējošā koeficienta  $\alpha$  rekomendējamo vērtību, ņemot vērā Latvijai raksturīgās autoceļu satiksmes slodzes raksturojumus.

## 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  $\alpha$  rekomendējamā vērtība Latvijas apstākļos.

## 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  $\alpha$  rekomendējamo vērtību Latvijas apstākļos, rekomendējams ietvert LVS EN 1991-2 Nacionālā pielikumā, ekspluatācijā esošo tiltu nestspējas novērtēšanai.

## 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  $\alpha$  rekomendējamās vērtības tiltiem ar laidumu garumiem līdz 30 metriem, ņemot vērā Latvijai raksturīgās autoceļu satiksmes slodzes raksturojumus.

## Darba sastāvs un apjoms

Promocijas darbs sastāv no 8 nodaļām, Darba apjoms 115 lapas, 119 attēli, 37 tabulas, 82 literatūras avoti.

## 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 zinātniskā 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.p.

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), 2.Sērija 13. Sējums, 33-41.lpp..

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.

## DARBA SATURS

**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. 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. 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 precīzs citu piepūļu ievērtēšanai (piemēram, bīdes). Satiksmes slodzes radītie efekti ir atkarīgi no tādiem nejaušiem mainīgajiem kā satiksmes līdzekļu svars, ass svars, attālums starp asīm, kustības ātrums utt.. Satiksmes slodžu modeļu izstrādāšanai, kas ņemtu vērā dažādu nejaušo mainīgo ietekmi, tiek pielietotas varbūtību metodes.

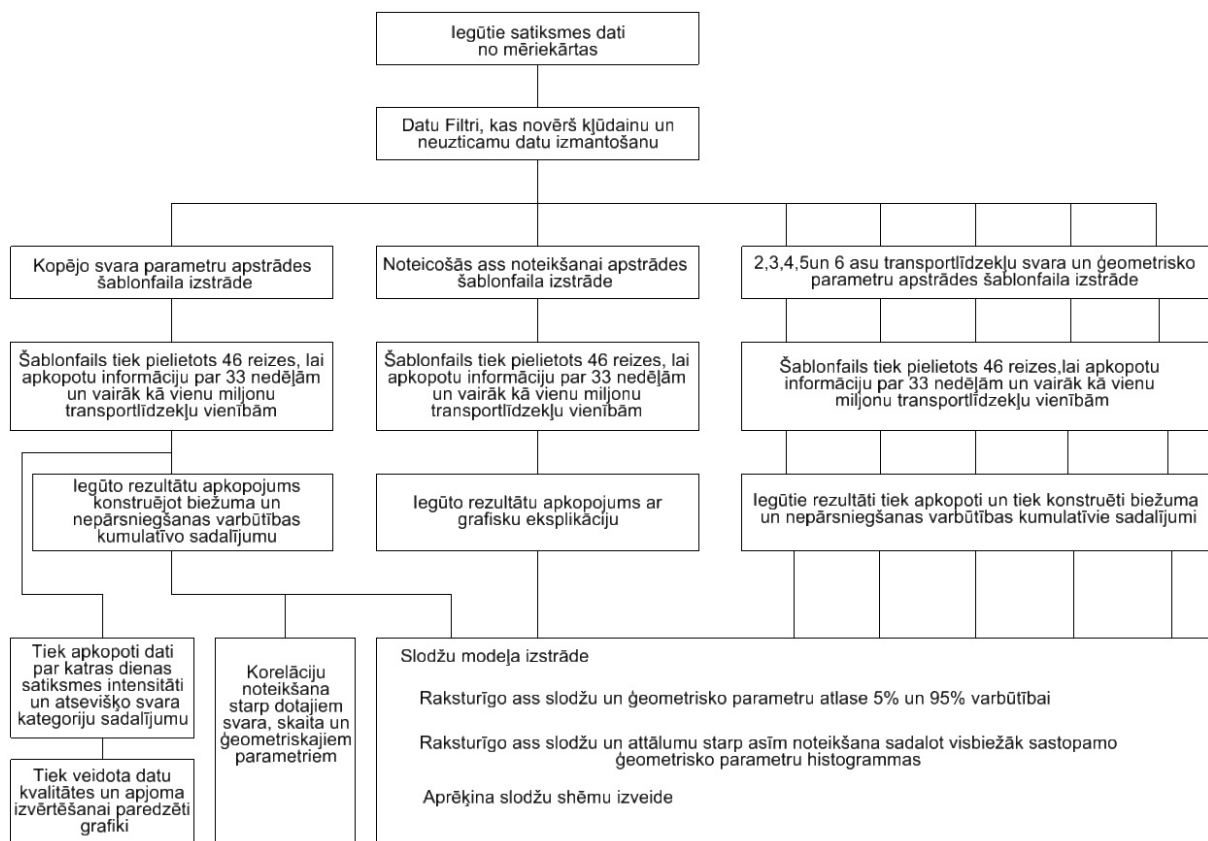
„Automašīnas parametru mērīšana kustībā” vai „weight in motion” (WIM) tehnoloģija atļauj iegūt objektīvu informāciju par satiksmes plūsmas sastāvu, kas ļauj modelēt satiksmes slodzi uz tiltiem. Daudzu autoru darbi parāda, ka WIM datu izmantošana atļauj veikt konstrukciju noguruma prognozēšanu, ņemot 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 palēnina datu iegūšanas procedūru. 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 to tieši pielietot citās valstīs tiltu nestspējas novērtēšanai nav rekomendējams.

Ekspluatācijā esošu tiltu nestspējas novērtēšanas metodes balstās uz konstrukcijas tehniskā stāvokļa novērtējumu un faktiskās satiksmes slodzes analīzi. Dažādu pētījumu 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  $\alpha$  vērtības, ir konstatēts, ka tās lielā mērā ir atkarīgas gan no tilta laiduma garuma, gan brauktuves platumā, gan ceļa kategorijas.

Iegūti secinājumi, ka satiksmes un tās sastāva novērtējums katrā valstī atšķiras un tos nav iespējams tiešā veidā izmantot Latvijā, tādēļ ir nepieciešams veidot savus, Latvijai atbilstošus slodžu modeļus, kuru izveidošanai izmantot ilgtermiņa WIM datus.

Turpat ir analizēti Latvijā lietoto vēsturisko un mūsdienu tiltu projektēšanai izmantotie satiksmes slodžu modeļi, parādīta satiksmes slodžu modeļu attīstība un slodžu vērtību pieaugums. Konstatēts, ka mūsdienu transporta līdzekļi, salīdzinot ar vēsturiskajiem, 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 tie nevar uzbaukt uz maza, vai vidēja tilta laiduma vienlaicīgi. Tādēļ ir svarīgi noskaidrot Latvijas autoceļu tiltiem raksturīgos satiksmes slodžu modeļus un tos ņemt vērā pie maza un vidēja laiduma tiltu nestspējas pārbaudes.

**Trešajā nodaļā** ir izstrādāta uz varbūtībām balstīta metode satiksmes slodzes datu analīzei, izmantojot WIM datus.



1.att. Satiksmes slodzes datu analīzes metodes blokshēma

Daļu WIM datu vajadzēja izslēgt no turpmākas apstrādes to zemās ticamības dēļ. Datu izslēgšanai tika izmantoti (Pratt A. , 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 vērā tiek ņemti 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 netiktu ieskaitīta.

Datu apstrādes nākamais posms ir šablona failu izveide katras parametru kopas izvērtēšanai. Pirmais šablona fails ietvēra informāciju par visu asu svara sadalījumu, maksimālo asu svara sadalījumu, kopējo transportlīdzekļa svara sadalījumu, no kopējās transportlīdzekļa masas un garuma nosakāmo izklīdētās slodzes sadalījumu un 2,3,4,5,6 un >6 asu transportlīdzekļu kopīgo svara sadalījumu. Otrais šablona fails tiek veidots noteicošās ass aprēķinam un transportlīdzekļu skaita sadalījumam pēc tā asu skaita. 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. 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.

Nodaļā paskaidrotas galvenās statistiskās analīzes metodes un uz varbūtībām balstītās aprēķinu un modelēšanas metodes satiksmes ass slodžu un ģeometrisko parametru atlasei, biežuma un kumulatīvo raksturlielumu sadalījuma konstruēšanai, korelāciju noteikšanai starp dotajiem svara, skaita un ģeometriskajiem parametriem, kā arī slodžu modeļu izstrādei.

Ģeometrisko parametru atlasei, biežuma un kumulatīvo raksturlielumu sadalījuma konstruēšanai plaši pielietotas histogrammas. Histogrammu konstruēšanai tiek izmantots sekojošs algoritms. 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 (Kronbergs, 1988). 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 izkļiedētai 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 attālumiem 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”. Nosaka relatīvo klases biežumu  $f_j$  izdalot absolūto klases biežumu  $N_j$  ar kopējo izlases elementu skaitu  $n$  (1.1.).

$$\sum_1^{n_c} f_j = 1 \quad (1.1.)$$

Aprēķina absolūto kumulatīvo klases biežumu  $N_j$ . Klasei  $j$  tas ir visu elementu skaits, kas iekrīt no klases  $N_{i=1}$  līdz  $N_{i=j}$  ieskaitot. Relatīvo kumulatīvo klases biežumu  $F_j$  iegūst izdalot absolūto kumulatīvo klases biežumu  $N_j$  ar kopējo izlases elementu skaitu  $N$ . Ja  $j=n_c$ , tad  $F_j=1$ , (1.2.) formula.

$$F_j = \frac{N_j}{N} \quad (1.2.)$$

Iegūtās skaitliskās vērtības tiek apkopotas tabulā un, balstoties uz tabulu datiem, tiek konstruētas histogrammas.

Gadījumos, kad praktiski nav iespējams aprēķināt varbūtību pēc klasiskās definīcijas, tās vietā izmanto relatīvo biežumu, kas aprēķināts lielam mēģinājumu skaitam. (Kronbergs, 1988) Tas nozīmē, jo lielāks ievākto datu skaits, jo precīzāk tas raksturo varbūtību vērtības. Pamatojoties uz pētījumā aplūkoto plašo datu apjomu, tiek pieņemts, ka relatīvā biežuma kumulatīvā grafika vērtības atbilst meklētajai varbūtībai.

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

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 transportlīdzekļu mēnesī. Datu sākotnējās apstrādes rezultāti liecināja, ka WIM sensoru kļūda pirmajā gadā sastāda ap 5%, otrajā gadā – 15%, trešajā gadā 25%.

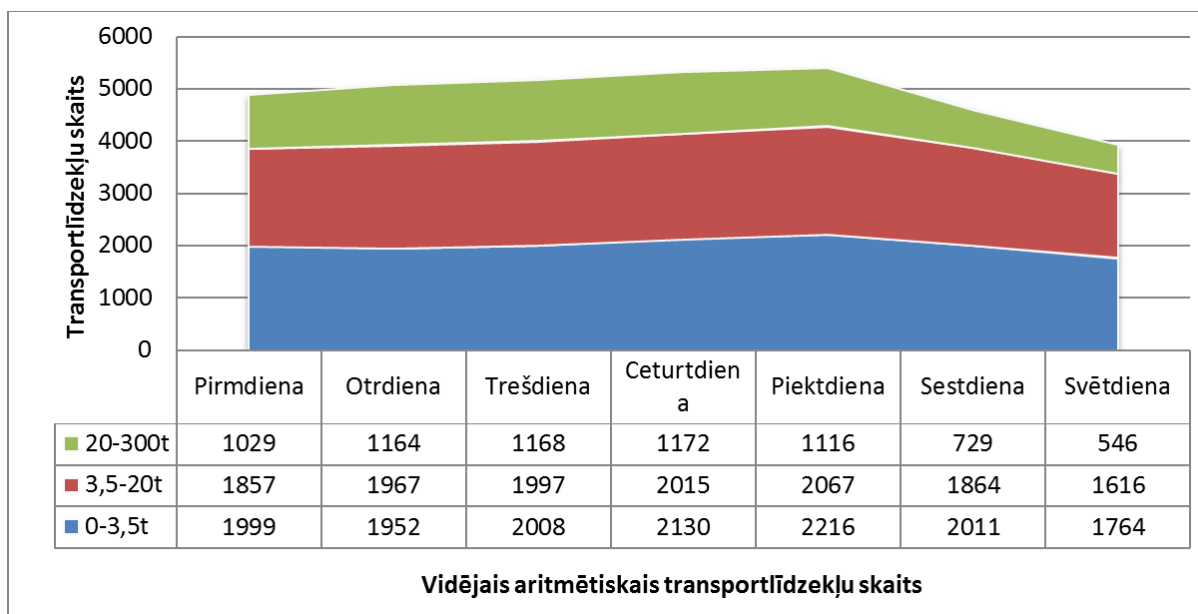
2002.gada un 2003.gada dati netika izmantoti, jo tie bija ļoti fragmentāri, bet 2005.gada – 2008.gada dati bija nekvalitatīvi, tādēļ tika izslēgti no tālākās apstrādes. Tādēļ šī pētījuma ietvaros veiktajai datu apstrādei tika izmantoti tikai 2004.gada dati, kas iegūti 33 nedēļu laikā. Kopā tika analizēti 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. Datu statistiskā analīze parādīja, ka 861 165, jeb 79.82% ir divas

transporta līdzekļi. Otru lielāko transportlīdzekļu grupu sastāda piecu asu transportlīdzekļi - 12.48%, bet trīs, četru un sešu asu transporta līdzekļi sastāda tikai 6.25% no kopējā skaita.

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 2.attēlā.



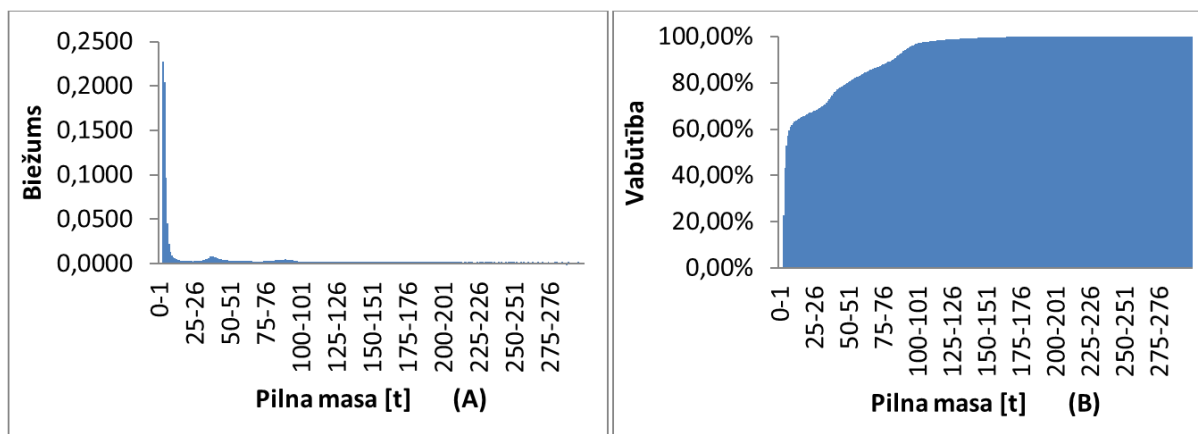
2.att. 2004.gada vidējās satiksmes intensitātes skaitliskā vērtība katrai nedēļas dienai transportlīdzekļu svara intervāliem 0-3.5t, 3.5-20t un 20-300t

Iegūtie rezultāti rāda, ka satiksmes intensitāte 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. 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.

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 par transportlīdzekļu intensitāti, masas un asu skaita grupām. Tas nodrošina labu bāzi vispusīgas satiksmes slodzes analīzes veikšanai.

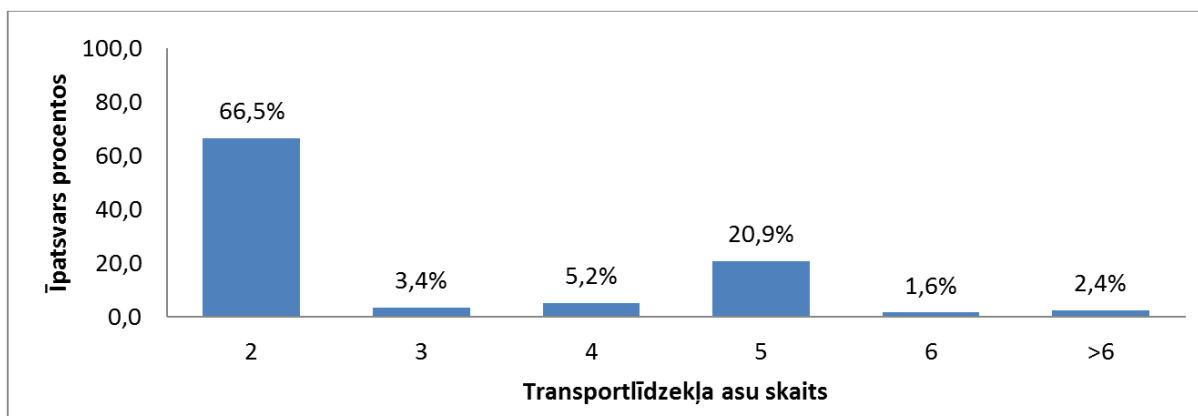
**Piektajā nodaļā** veikta WIM iegūto datu analīze. Noskaidroti Latvijai raksturīgās autoceļu satiksmes slodzes raksturojumi. Iegūtas slodžu sadalījuma histogrammas, noteikti smagāko asu novietojums, veikta transportlīdzekļu ātruma un intensitātes analīze un to svara korelācijas, noteikts kādam varbūtību sadalījuma funkcijas veidam atbilst slodžu histogrammas forma.

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 (3.att.). Maksimālā transportlīdzekļu masa 94-95t ir noteikta ar 95% varbūtību, tomēr tas neizslēdz, ka atlikušajos 5% ir transportlīdzekļi ar masu līdz 300 t. Tomēr tādi ir sastopami ļoti reti.



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

Transportlīdzekļu sadalījums pēc asu skaita parādīja, ka visvairāk, ap 67%, uz Latvijas autoceļiem ir divasu transportlīdzekļi, kas atbilst vieglajām automašīnām un vieglajiem kravas transportlīdzekļiem, otru lielāko grupu ar 21% sastāda piecu asu transportlīdzekļi, kas atbilst kravas treileriem, un trešā grupa ir četru asu transportlīdzekļi, kas atbilstu smagajiem kravas transportlīdzekļiem un sastāda ap 5% no kopējās satiksmes plūsmas (4.att.).

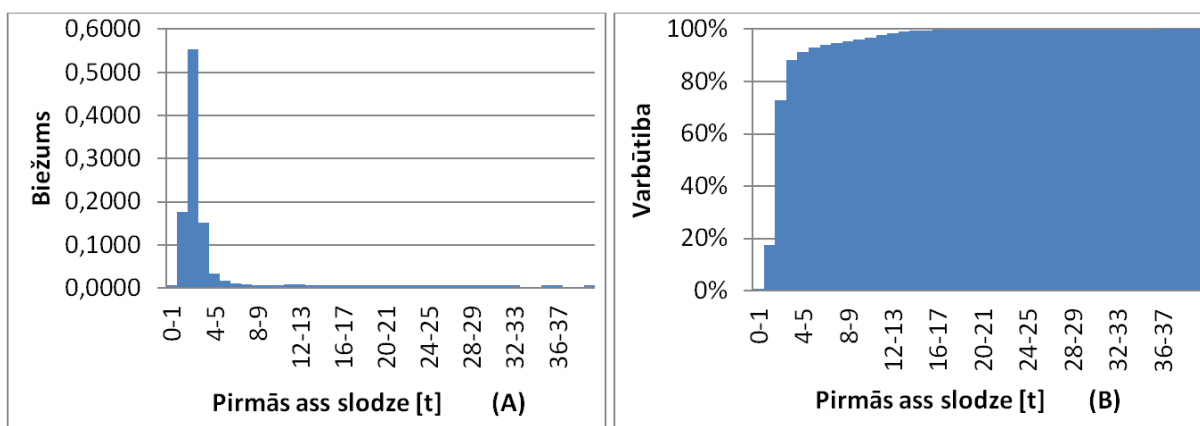


4.att. Transportlīdzekļu īpatsvars sadalot tos pēc asu skaita

Tai pašā laikā, analizējot divasu 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 skaidrojams 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 trīsas 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.

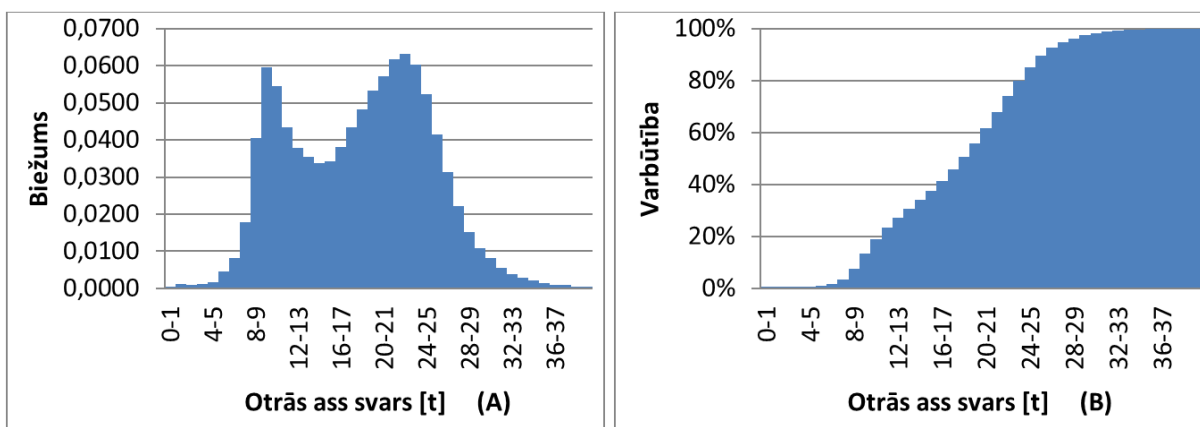
Pētot transportlīdzekļu faktisko ģeometriju (garumu un asu izvietojumu), tika iegūti dati par statistiski biežāk sastopamo transportlīdzekļu garumiem un asu sadalījumu. Iegūtie rezultāti norādīja uz lielu transportlīdzekļu dažādību un to jāņem vērā pie slodzes modeļu izstrādāšanas.

Pētot transportlīdzekļu masas un asu svara sadalījumus, ir noteikts, ka divu asu transportlīdzekļu pirmās un otrās ass svara sadalījumi līdzinās lognormālam sadalījumam (piemērs dots 5.attēlā).



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

Trīs, četru, piecu un sešu asu transporta līdzekļiem to masas biežuma sadalījumā dominē bimodāla forma, piemērs dots 6.attēlā.



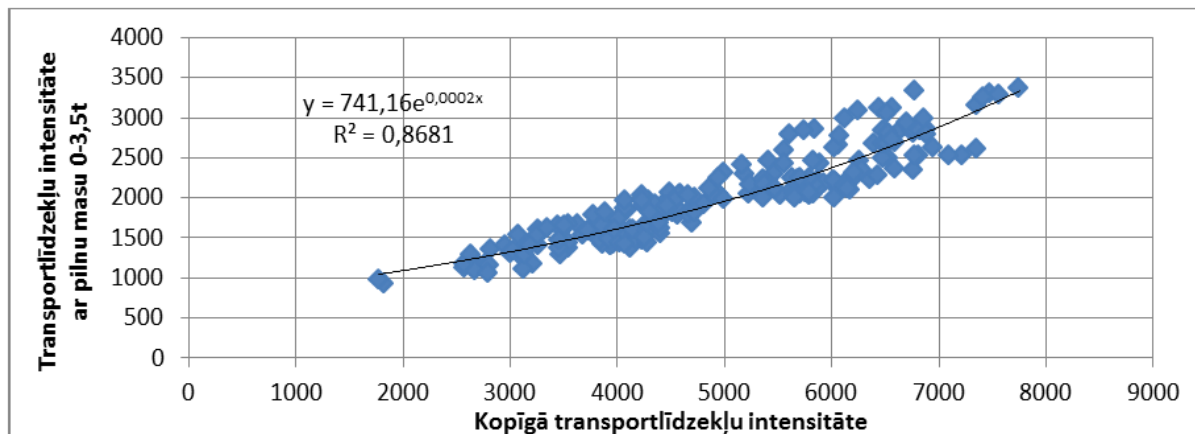
6.att. Piecu asu transportlīdzekļu otrās ass slodzes biežuma (A) un nepārsniegšanas varbūtības kumulatīvais (B) sadalījums.

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..

Lai noskaidrotu vai apskatītie lielumi ir savstarpēji saistīti, tika meklētas to savstarpējās korelācijas. Ja saistība tiek atrasta, to novērtē izmantojot korelācijas koeficientu palīdzību. 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 korelējamo 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  $R^2$ .

Piemēram, analizējot datus par intensitāti un atbilstošo transportlīdzekļu svaru, tika meklētas dažādas korelācijas starp kopīgo intensitāti un noteikta transportlīdzekļu svara grupām, kas ļautu ar zināmu precizitāti novērtēt smagā transporta īpatsvaru satiksmes plūsmā (7.att.).



7.att. Korelācija starp kopīgo un vieglo transportlīdzekļu intensitāti

Sakarība starp kopīgo un vieglo transportlīdzekļu intensitāti parāda ciešu korelāciju ar determinācijas koeficientu  $R^2=0.8681$ . Matemātiskā modeļa vienādojums ir eksponenciāls, un tas izteikts ar formulu (1.4.).

$$y = 741.16 * e^{0.0002x}. \quad (1.4.)$$

Līdzīgā veidā ir iegūtas korelāciju līknes un vienādojumu sakarības starp kopīgo un smago transportlīdzekļu intensitāti, smago un vieglo transporta līdzekļu intensitāti, utt.

Iegūtās sakarības ļauj atjaunot satiksmes slodzes vērtības, izmantojot datus par satiksmes intensitāti un smago un vieglo transportlīdzekļu attiecību.

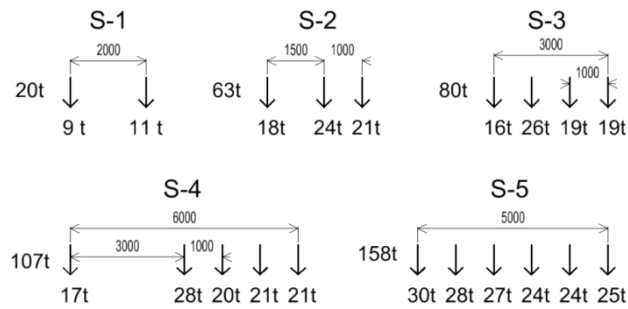
**Sestajā nodaļā** ir izstrādāti un analizēti Latvijas tiltiem raksturīgie satiksmes modeļi. Noteikti raksturīgākie Latvijas tiltu konstrukciju veidi. Pētīta to ietekme uz dažāda laiduma garuma vienkāršas divbalstu sijas un nepārtauktas trīslaidumu sistēmas tiltiem un noteikti trīs svarīgākie Latvijai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

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 atkārtosšanās 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 disertācijas piektajā nodaļā iegūtajiem ģeometriskajiem un slodžu parametriem. Šādi iegūtie slodžu modeļi raksturo visneizdevīgāko situāciju, 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.

No iegūtajiem parametriem ir izstrādātas slodžu shēmas S1 – S5, kas parādītas 8.attēlā.

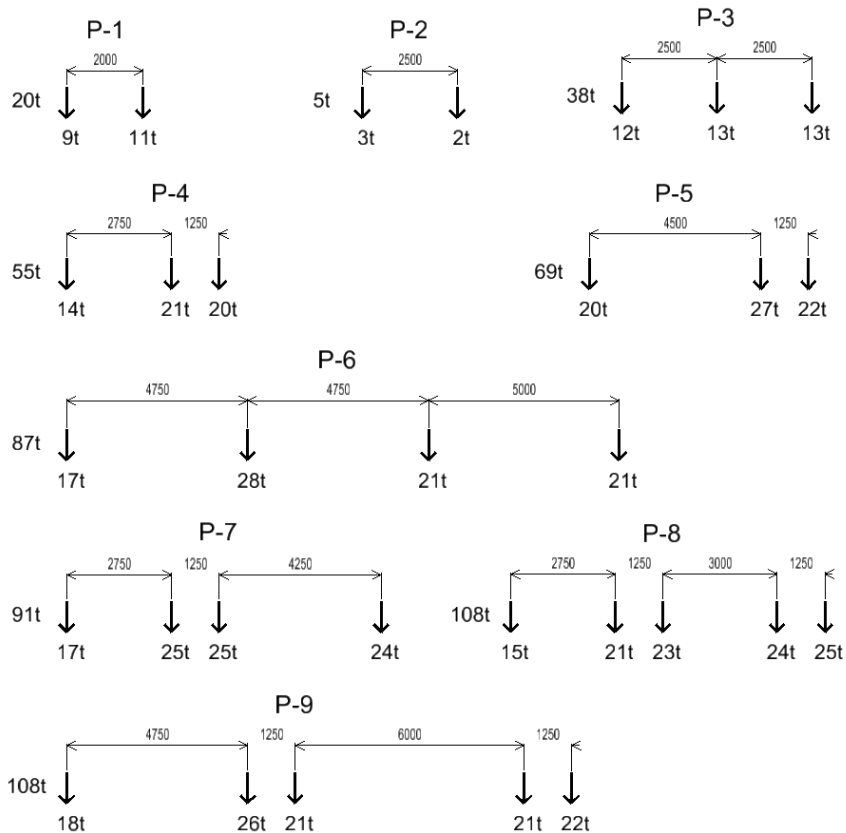


8.att. Transportlīdzekļu slodžu shēmas S1-S5 ar 5% attālumu un 95% slodzes nepārsniegšanas vērtībām. Attālumi doti milimetros, svars spēka tonnās.

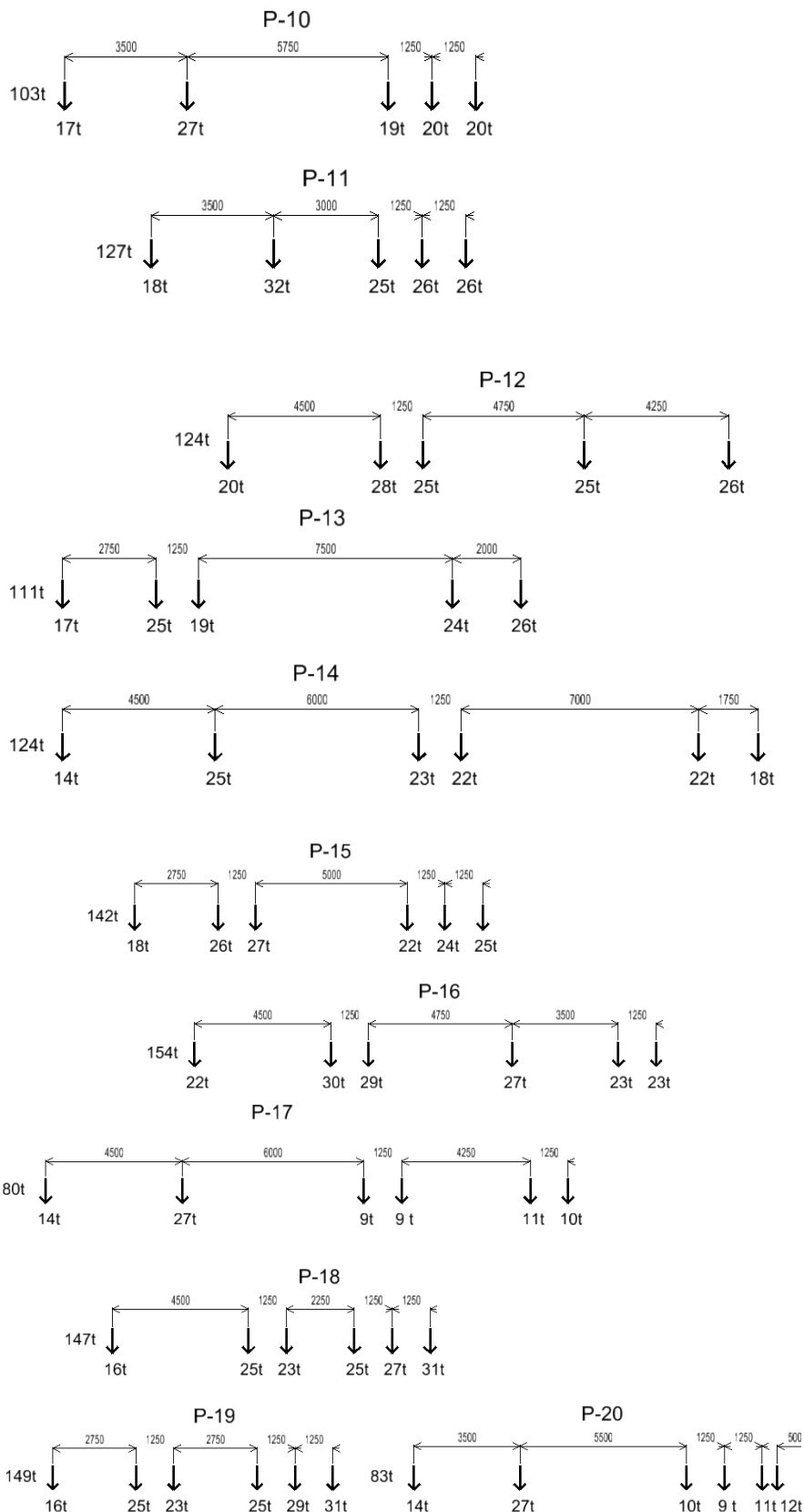
Iegūtās vērtības ir konservatīvas, jo tiek ņemti vērā attālumi starp visa veida transportlīdzekļu asīm, tādējādi kopā tiek saliktas dažādu transportlīdzekļu asu shēmas. Turklāt vērā netiek ņemts transportlīdzekļu smagākās un vieglākās ass svars, bet gan tikai smagākās ass slodze ar 95% nepārsniegšanas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

Iegūtie rezultāti apkopoti un izveidotās slodžu shēmas P-1 līdz P-20, kas dotas 9. un 10.attēlā.



9.att. Transportlīdzekļu slodžu shēmas P-1 līdz P-9



10.att. Transportlīdzekļu slodžu shēmas P-10 līdz P-20

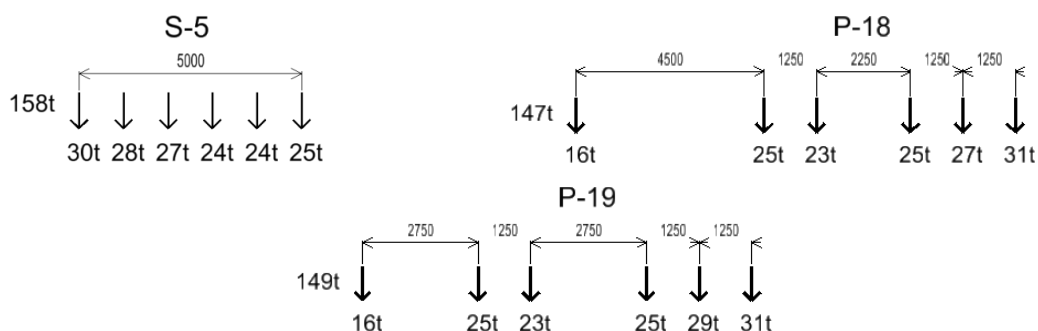
Lai noteiktu laiduma konstrukciju loku, kuram tiks noteikti tie satiksmes slodžu modeļi, kas izraisīs vislielākās piepūles, ir jāapskata Latvijai raksturīgie laiduma konstrukcijas tipi. Izmantojot VAS „Latvijas Valsts ceļi” tiltu vadības sistēmas datus un ņemot vērā raksturīgos tiltu laidumu garumus, aprēķinos vienkāršām divbalstu konstrukcijām pieņemti

šādi aprēķina laiduma garumi: 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 un 33 metri, savukārt nepārtrauktu trīs laidumu konstrukcijām laiduma garuma sadalījumi ir 9+12+9, 12+15+12, 15+18+15 un 18+24+18.

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 ietekmi uz spriegumu vērtībām. Plātnes pašsvars aprēķinā netiek ņemts vērā. Kopā ar slodzes modeļiem: S-1 līdz S-5 un P-1 līdz P-20 uz tilta ietvēm tika novietota 3 kN/m<sup>2</sup> 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 ietekmes līniju shēmas.

Novietojot slodzes uz laiduma konstrukcijām, tiek iegūtas maksimālās momenta piepūļu M1 un šķērsspēka piepūļu Q2 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.

Balstoties uz 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.



11.att. Latvijai raksturīgie slodzes modeļi S-5, P-18 un P-19

Lai vienkāršotu izstrādāto modeļu pielietošanu, tos apzīmē:

- S-5 apzīmē ar LSM1 ar kopējo svaru 107 t un 11.att. doto attālumu starp asīm;
- P-18 apzīmē ar LSM2 ar kopējo svaru 147 t un 11.att. doto attālumu starp asīm;
- P-19 apzīmē ar LSM3 ar kopējo svaru 148 t un 11.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.

**Septītajā nodaļā** ir noteikta Eirokodeksā LVS EN 1991-2 dotā slodzes modeļa LM1 regulējošā koeficienta  $\alpha$  rekomendējamā vērtība Latvijas apstākļos. Eirokodekss paredz, ka katra valsts savā Nacionālā pielikuma dokumentā var regulēt satiksmes slodžu vērtības, atbilstoši valstij raksturīgajām satiksmes slodzēm, izmantojot regulējošo koeficientu  $\alpha$ .

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

Iegūtie rezultāti rāda, ka regulējošā koeficienta  $\alpha$  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  $\alpha$  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  $\alpha$  vērtību. Rekomendācijas apkopotas 1.tabulā.

1.tabula.

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

Laidumu intervāls	$\alpha_{Qi}$	$\alpha_{qi}$	$\alpha_{qr}$
6 – 18 m	0.8	0.8	0.8
18-30 m	0.9	0.9	0.9

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

**Astotajā nodaļā** ir doti galvenie secinājumi, kas atrodami kopsavilkuma nākošajā nodaļā.

## 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  $\alpha$  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.

