

Ceļiem saudzīgu transporta tehnoloģiju aprobēšana uz zemas nestspējas ceļiem

2. Mērījumi un datu apstrāde
Starpatskaite nr.2.2. (papildināts)

22.06.2013.

SIA „Meža un koksnes produktu pētniecības un attīstības institūts” Adrese:
Dobeles iela 41, Jelgava, LV – 3001, Tālrunis 63010605, fakss 63010609;
Reģistrācijas nr. 43603022749

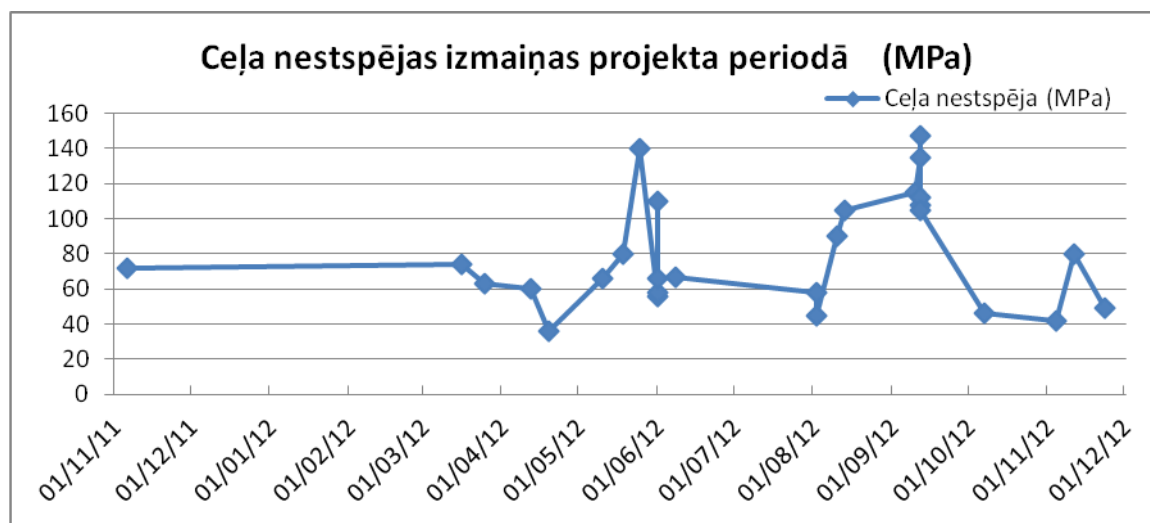
1.Mērījumi un datu apstrāde

A. Zariņš, RTU

Mērījumu rezultāti (01.06.12.; 02.08.12.; 12.09.12.; 23.11.12.)

Mērījumi

Turpinot pavasarī iesāktos izpētes darbus, ir iegūti dati par pētāmās ceļa konstrukcijas nestspējas izmaiņām atkarībā no klimatiskajiem, mituma, un citiem apstākļiem. Izpētes periodā tika veikts eksperimentālā ceļa stāvokļa monitorings (uzdevums 2.3. un 2.5.), mērot ceļa nestspēju dažādos gada mēnešos. Nestspējas izmaiņas atspoguļotas diagrammā (1.attēls), kur Y ass atspoguļo ceļa nestspēju, Mpa.



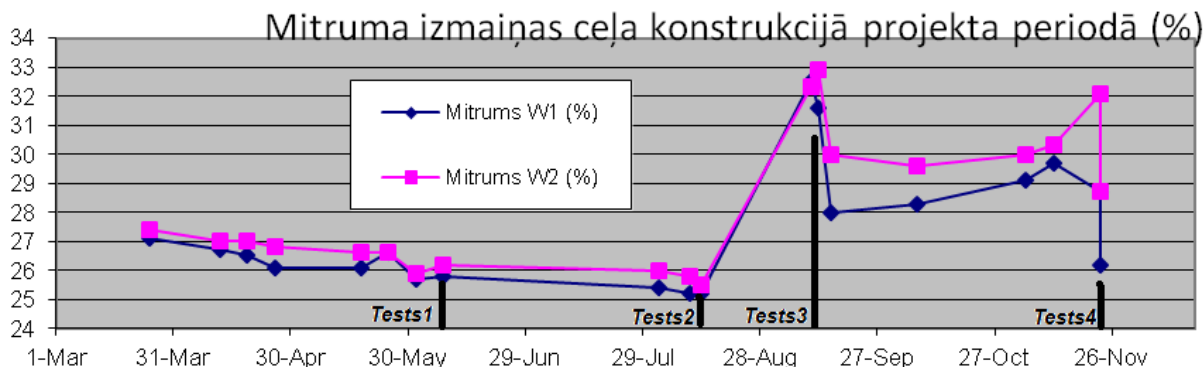
1. attēls. Ceļa nestspējas izmaiņas 2011-2012 novērojumos (Mpa).

2011.gada un 2012.gada novembrī ceļa nestspēja bija robežās no 40 līdz 70 MPa. 2012.gada aprīlī veiktais mērījums uzrādīja 60-75 MPa nestspēju, taču paaugstinoties gaisa temperatūrai un segas pamatnei atkūstot (maiņā), ceļa nestspēja samazinājās līdz 35 MPa. Jūnija sākumā ceļa nestspēja palielinājās līdz 140 MPa. Iestājoties lietus periodam vasaras mēnešos, ceļa nestspēja samazinājās robežās no 55 līdz 65 MPa. Septembrī ceļa nestspēja palielinājās 100 - 150 MPa. Oktobrī – novembrī ceļa nestspēja samazinājās: 40 – 80 MPa robežās. Testa sesiju laikā veikto nestspējas mērījumu (MPa) rezultāti parādīti 1a tabulā.

Tabula 1a Nestspējas rādītāji mērījumu sesiju laikā

| Dat | | E0 | E0.3 | Dat | | E0 | E0.3 | Dat | | E0 | E0.3 | Dat | | E0 | E0.3 |
|-------|------------|-----|------|-------|------------|----|------|-------|------------|-----|------|-------|------------|----|------|
| 01.06 | Pirms | 140 | 94 | 02.08 | Pirms | 67 | 134 | 12.09 | Pirms | 115 | 172 | 23.11 | Pirms | 80 | 100 |
| | pēc0.35MPa | 56 | 75 | | pēc0.35MPa | 58 | 100 | | pēc0.35MPa | 135 | 136 | | pēc0.35MPa | 49 | 68 |
| | pirms | 58 | 79 | | pirms | 58 | 100 | | pirms | 147 | 145 | | | | |
| | pēc0.8 MPa | 110 | 60 | | pēc0.8 MPa | 45 | 25 | | pēc0.8 MPa | 108 | 137 | | | | |

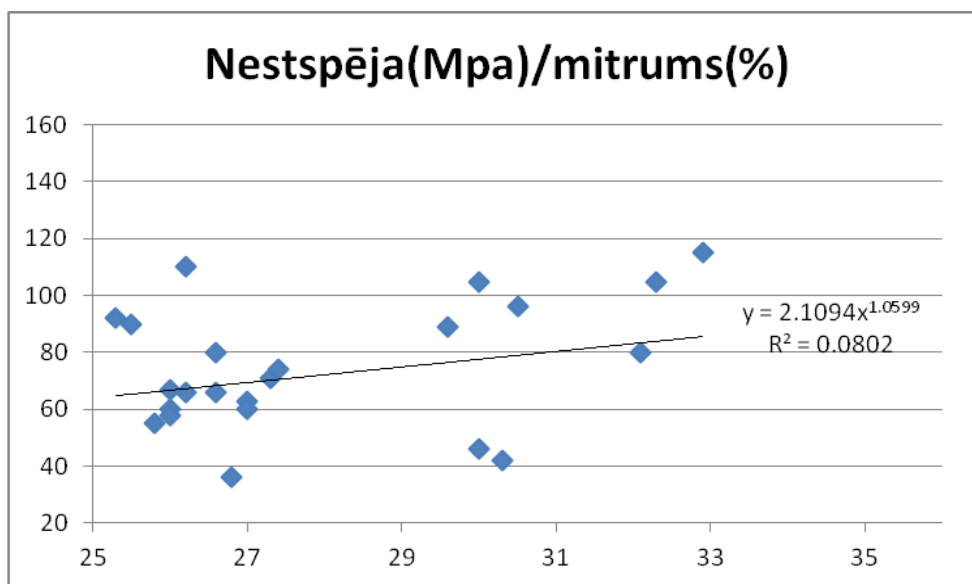
Ceļa konstrukcijā izpētes perioda ietvaros tika fiksētas relatīvā mitruma (W) izmaiņas, kas atspoguļotas 2.attēlā (uzdevums 2.5.). Ceļa konstrukcijas mitrums tika noteikts augšējā



2. attēls. Ceļa mitruma izmaiņas mērījumu periodā

sensorā (W1) un apakšējā sensorā (W2). Atbilstoši šai diagrammai, katrai no zemāk minētajām mērījumu sesijām nosakāmi atbilstošie segas mitruma apstākļi. Veikti mērījumi ar samazinātu spiedienu riepās pavasarī un rudenī uz zemas nestspējas ceļa – poligonā (uzdevums 2.2.). 2.attēlā uz X ass atspoguļots mitruma mērījuma laiks, uz Y ass relatīvais mitrums (%) ceļa konstrukcijā.

3.attēls atspoguļo sakarību starp ceļa konstrukcijas mitrumu uz horizontālās ass un ceļa nestspēju uz vertikālās ass. Redzams, ka pašreizējo novērojumu dati tomēr neveido pat vāju korelāciju ($R < 0.5$). Skaidrojums tam meklējams vai nu būtiski palielinot mērījumu un mērāmo faktoru skaitu, vai arī mēģinot kādu no faktoriem izslēgt. Risinājumu tiks mēģināts rast turpmāk klasificējot mērījumu izdarīšanas apstākļus (neslogota konstrukcija, pēc slogošanas utml.) – resp. meklējot faktoru, kas izjauc iespējamo korelāciju, kuru turpmāk varētu izslēgt.



3. attēls. Ceļa mitruma un nestspējas korelācija mērījumu periodā

Kur: $y=f(x)$ iegūtās korelācijas funkcija un R^2 ir mērījumu kopai atbilstošais determinācijas koeficients

Projekta ietvaros 2012. gadā ir veiktas četras veiksmīgas slogošanas sesijas:

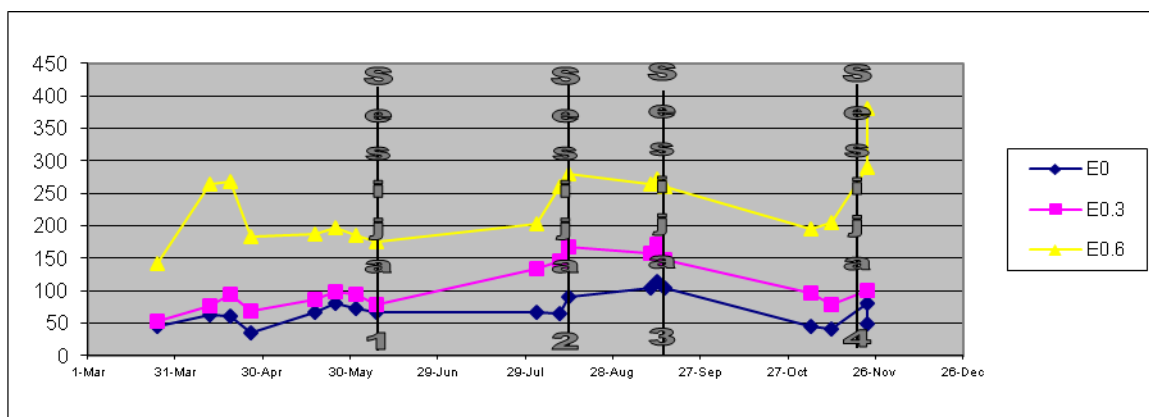
1. 1. jūnijā;
2. 2. augustā;
3. 12. septembrī;

4. 23. novembrī.

Ceļa konstrukcija poligonā tika slogota ar kokvedēju, kuram noteikta masa katrai asij atsevišķi nepārsniedzot kopējo masu 52 t ar pieļaujamu kļūdu $\pm 5\%$. Pēc mērījumu sesijas, kas veikta 23.novembrī tika veikts kontrolmērījums kopējai kokvedēja masai kokmateriālu pieņemšanas vietā, kur mērījuma atšķirība no veiktā poligonā sastādīja 4,4%. Poligonā veikto mērījumu summa pa asīm sastādīja 57800 kg, kokmateriālu nodošanas vietā 55560 kg. (Atbilstoši ceļa inženierbūvju nestspējas noteikšanas vadlīnijām doto lielumu pielāide ir $\pm 5\%$ no ass slodzes un/vai transportlīdzekļa kopējās masas lieluma. (sk: A.Gailis Tiltu aprēķinu metodes, projekta un ekspluatācijas slodzes. Autoceļi Nr. 1.2002., 13-17 lpp.)) Pie nemainīgas kokvedēja masas pārbraucieni pāri sensoriem tika atkārtoti gan ar standarta riepu spiedienu, gan ar samazinātu spiedienu riepās (uzdevums 2.2., 2.6.). Ceļa konstrukcijas mērījumi slogošanas laikā (2.attēlā apzīmēti ar Tests1, Tests2, Tests3, Tests4) tika veikti sekojoši mērījumi un novērojumi:

- nestspējas mērījumi ar deflektometru (LWD), (uzdevums 2.3.);
- mitruma un dielektrisko parametru mērījumi ar perkometru (uzdevums 2.6., 2.8.);
- vizuālie novērojumi, situāciju fiksējot foto un video (uzdevums 2.11.).

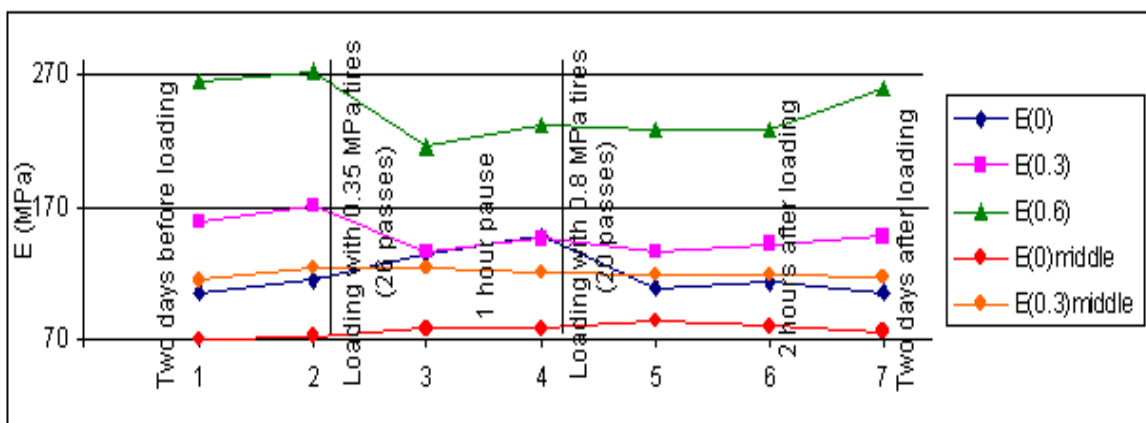
Ceļa nestspējas izmaiņas līdzšinējā pētījuma laikā atspoguļotas 4.attēlā (uzdevums 2.4., 2.6, 2.8). Parādītās trīs līknes atspoguļo mērījumu pēc deflektometra (LWD) trijiem geofoniem, attiecīgi, slogošanas centrā (E0), 30 cm no centra (E0.3) un 60 cm no centra (E0.6).



4. attēls. Izmērīto ceļa konstrukcijas deformācijas moduļa izmaiņas E (MPa) slogošanas rezultātā. Nolasījumi no trijiem LWD geofoniem (E0, E0.3 un E0.6).

4.attēlā uz horizontālās ass atspoguļots mērījuma sesijas (*Testa*) laiks, uz vertikālās ass atspoguļota ceļa nestspēja (MPa). E0, E0.3 un E0.6 ir deflektometra (LWD) geofoni, kas atspoguļo nestspēju (MPa) norādītajos attālumos no slodzes pielikšanas centra. Uz vertikālās ass ir atspoguļota ceļa nestspēja (MPa) slogošanas centrā (E0), 30 cm no centra (E0.3) un 60 cm no centra (E0.6) 1.,2.,3. un 4. sesijā. Redzamie mērījumi ārpus *Sesijām* ir veiktie nestspējas mērījumi bez ceļa slogošanas - ceļa monitorings (sk. tabula 5.) (uzdevums 2.5.). Mērījumos iegūtie rezultāti (datu tabulas) tiks pievienoti projekta gala atskaites Pielikumā (drukātā vai digitālā formātā).

Detalizēti diagrammā (5.attēls) ir parādīta nestspējas rādītāju slogošanas centrā (E0), 30 cm no centra (E0.3) un 60 cm no centra (E0.6) izmaiņu dinamika vienas slogošanas sesijas laikā - (12.09.) (uzdevums 2.6.). Šajā piemērā (testā 12.09.) (5.attēls) redzams, ka centrālais geofona mērījums (E0), kas uzrāda ceļa seguma augšējās daļas nestspējas parametru, norāda uz nestspējas pieaugumu pēc slogošanas cikla (vismaz 22 pārbraucieni) ar 0.35 MPa spiedienu riepās un nestspējas kritumu pēc tāda paša apjoma slogošanas ar 0.8 MPa spiedienu. Šo faktu var skaidrot ar segas virskārtas sablīvējuma palielināšanos slogojot ar zema spiediena riepām, kas pie noteiktiem apstākļiem noved pie augšējās ceļa konstrukcijas daļas nestspējas paaugstināšanās, kā tas ticis norādīts arī citos līdzīgos pētījumos. Citās testu sesijās, tomēr, tika novērots atšķirīgs scenārijs, kura skaidrojums prasa papildus datus un to analīzi.



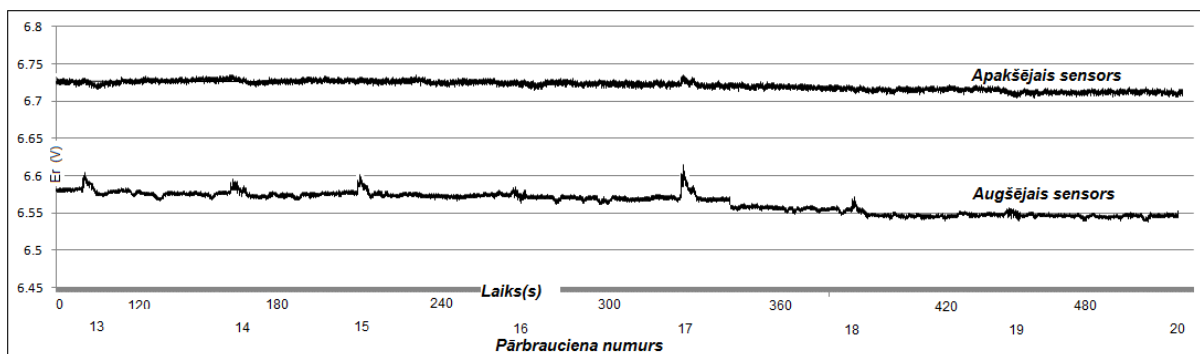
5. attēls. Ceļa segas konstrukcijas deformācijas moduļa dinamika pie vienas slogošanas 3.sesijas laikā.

Tajā pat laikā 5.attēlā redzams, ka zemāko slāņu nestspēja, kuru raksturo E0.3 un E0.6, šādā veidā, tomēr, netiek palielināta vai arī krītas, kas notiek gan ūdens uzsūkšanas, gan bīdes deformāciju rezultātā pamatnes gruntij uzirdinoties. Fakts, ka zemāko jeb ceļa segas pamata slāņu nestspēja krītas slogošanas rezultātā, norāda uz to, ka arī izmantojot CTI, ir jāievēro pārbraucienu skaita ierobežojums. To neievērojot, notiks bīdes spriegumu izraisīta nobīde segas pamata kārtās vai arī pamatnes gruntī, un tai sekos straujš pārējās ceļa konstrukcijas sabrukums. Par nepieciešamo ierobežojumu apjomu var spriest pēc 4. tabulas.

Kā redzams 5.attēlā, LWD mērījumos, kas veikti pa vidu starp riteņu trajektorijām (E(0)middle un E(0.3)middle), ceļa segas nestspēja saglabājas pēc būtības nemainīga visā mērījumu sesijas laikā, kas apliecina slodzes nozīmi nestspējas izmaiņu skaidrojumā mērījumos, kas veikti riteņu pārbrauciena vietā.

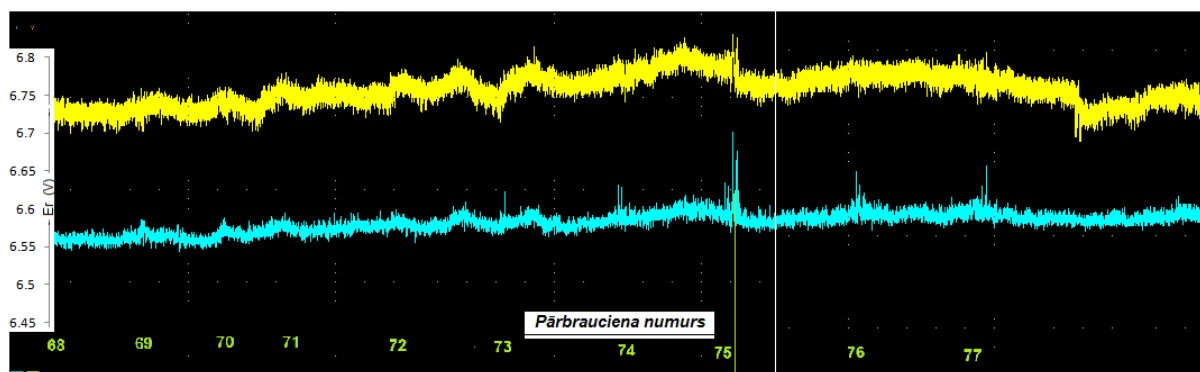
Dielektriskās caurlaidspējas vērtība tika novērota nepārtrauktā režīmā slogošanas laikā (uzdevums 2.6.), līdz ar to dodot iespēju sekot faktiskajam ūdens – mitruma režīmam konstrukcijā, un pēc tā izdarīt secinājumus par konstrukcijas stāvokļa izmaiņām. Mērījumi veikti ar diviem sensoriem, kas izvietoti tieši zem slodzes pielikšanas vietas – riteņa trajektorijā. Kā jau iepriekšējos pētījumos tika noskaidrots, sensoru fiksētā slodzes ietekme ir atkarīga no to iebūves dziļuma. Kā redzams diagrammā (6.attēls), kas atspoguļo testa pārbrauciena sesiju ar standarta spiediena riepām 0.8 MPa – būtiska dielektriskās

caurlaidspējas reakcija no slodzes sākotnēji novērojama tikai augšējā sensorā. Tā pati reakcija arī pazemināta spiediena pārbraucienos (6. attēls) augšējā sensorā bija niecīga.



6. attēls. E_r izmaiņas slogojot ar 0.8 MPa.

Uz X ass 6.attēlā atspoguļots pārbrauciena kārtas numurs (13-20) un laika atskaite (sekundes pēc 1.pārbrauciena uzsākšanas). Uz Y ass atspoguļotas dielektriskās caurlaidspējas vērtības (E_r , V) izmaiņas.). 13.,14.,15.,16.,17. pārbraucienā (augšējais sensors) uzskatāmi redzamas dielektriskās caurlaidspējas izmaiņas. Sākot ar 18. pārbraucienu dielektriskās caurlaidspējas izmaiņas samazinās, jo kopējā dielektriskās caurlaidspējas vērtība ir samazinājusies.



7. attēls. Dielektriskās caurlaidspējas (E_r) izmaiņas slogojot ar 0.35 MPa.

Dielektriskā caurlaidība lielā mērā ir atkarīga no poru ūdens kustības. Pirmās sesijas laikā slogošanas rezultātā tika novērota ūdens uzsūkšana no gruntsūdens līmeņa, un tas tika novērots apakšējā sensora mērījumos. Attiecīgi, drīz pēc šī fakta sekoja arī vizuālas sabrukuma pazīmes – šķērsvirziena izspiedumi, risu veidošanās un garenvirziena plaisas risas vidū (skatīt 9.att.).

Cieša korelācija starp 2 faktoriem (segas materiāla mitrumu un nestspēju), balstoties uz līdzšinējiem rezultātiem (uzdevums 2.4.)(sk. 3.att.), nav apstiprināta. Tas skaidrojams ar daudz lielāku faktoru skaita ietekmi, nekā uzdevumā pieminētie. Neievērtējot un nenosakot visu būtisko faktoru ietekmi, acīmredzot, korelācijai sagaidāms vienīgi gadījuma raksturs.

Atsevišķos gadījumos ir novērota segas virskārtas nestspējas palielināšanās vienlaicīgi ar mitruma pieaugumu. Tas skaidrojams ar poru ūdens konsolidāciju materiālam sablīvējoties līdz zināmai pakāpei, kā arī ar molekulāri saistītā ūdens atbrīvošanos segumam

sablīvējoties. Paralēli šim procesam slogošanas laikā novērota arī segas materiāla temperatūras celšanās par 1-2 grādiem.

Pētījumu rezultātu ierakstā (12.09.12.) ir fiksēta ceļa konstrukcijas sabrukuma pazīme, kas parādīta 6.attēlā. Diagrammā redzams perkometra rādījumu pieraksts, slogojot ar standarta spiedienu riepās. Līdz 16. pārbraucienam (12.09.12.) redzama reakcija tikai augšējā sensorā, bet pēc 17. pārbrauciena parādās acīmredzama spiediena pazīme arī apakšējā sensorā. Turklāt pēc šī artefakta, būtiski samazinās spiediena radītā reakcija abos sensoros un kopumā dielektriskā caurlaidība sāk kristies abās vietās. Tas skaidrojams ar seguma izspieduma veidošanos, kā rezultātā segas materiāls uzirdinās un dielektriskā caurlaidība samazinās. Savukārt pirms tam - virskārtas sabrukuma rezultātā spiediens netiek izkliedēts bet koncentrētā veidā nonāk līdz otrā sensora dziļumam. Šīs pazīmes līdz ar to ir uzskatāmas par segas sabrukuma fakta pierādījumu. To pašu situāciju var novērot arī pie testa ar 0.35 Mpa spiedienu. Taču šajā gadījumā tā parādās vien pie 75 pārbrauciena (skat. 7.att).

Testos izmantotajā kokvedējā ar CTI sistēmu aprīkoti ir visi riteņi izņemot vilcēja priekšējās ass riteņus. Atbilstoši uzdevumam 2.7. ir noteikts noskaidrot stūrējamās ass vienkameras riteņu ar nemaināmu spiedienu (bez CTI iekārtas) ietekmi uz ceļa konstrukciju. Tā kā nav noskaidrotas piemērotas, uz mērījumiem balstītas metodes šādas problēmas noskaidrošanai, kā arī šo problēmu nevar atrisināt izmantojot dielektriskās caurlaidības mērījumu, jo tās būtība, kā norādīts iepriekš šajā pētījumā, ir balstīta uz salīdzināmiem (relatīviem) mērījumiem, kas šajā gadījumā nav pieejami, jo spiediens ir konstants, tad jautājums tika risināts analītiskām metodēm balstoties uz normatīvo dokumentu analīzes un empīriskiem aprēķiniem.

Lai noskaidrotu šāda aprīkojuma ietekmi uz ceļu, tika veikta normatīvo dokumentu analīze un empīriski aprēķini (uzdevums 2.7.). Stūrējamās ass vienkameras riepu ietekme uz ceļu ar konstantu spiedienu riepās tiek noskaidrota standarta kokvedējam ir ar kopējo masu 52t ar pieļaujamo kļūdu +/- 5%, garumu 18.75m un 6 asīm:

- Kopējais garums – **18.75m**
- Kopējā masa – **52t +/- 5%**
- Masas sadalījums pa asīm:

1.Tabula

Masas sadalījums uz testa automobiļa asīm

| Ass nr. | Ass transportlīdzekļa sastāvā | Masa (tonnas) |
|----------------|--------------------------------------|----------------------|
| 1. | vilcējs (stūrējamā) | 8.3 |
| 2. | vilcējs (dzenošā) | 9.6 |
| 3. | vilcējs (dzenošā) | 9.0 |
| 4. | piekabe | 8.3 |
| 5. | piekabe | 9.2 |
| 6. | piekabe | 7.6 |

Priekšējā ass uzņem 8.3 t slodzi jeb 4.15 t katram ritenim. Teorētiskais riepas aprēķina kontaktvirsmas laukuma diametrs aprēķināms pēc sakarības:

$$D = \sqrt{\frac{40Q}{\pi p}}$$

kur Q – nominālā statiskā slodze uz vienu riteni (kN),

p – spiediens riepā (MPa).

Kā redzams pēc sakarības, kontaktvirsmas laukums konstantas slodzes gadījumā ir vienas brīvības pakāpes funkcija no spiediena riepā. Teorētiski iegūtā laukuma vērtība ir 800cm², kas ir par 5% vairāk, nekā faktiski izmērītā, tātad apstiprina mērījuma ticamību.

Mērījumu rezultāti dažādiem spiedieniem un riteņu slodzēm (1.tab.) parādīti 2.Tabulā.

2.Tabula

Riepu kontaktlaukums ar ceļa segumu atkarībā no spiediena riepā

| Spiediens riepā* | | 1. tilts (pr.)* | | 2. tilts** | | 3. tilts** | | 4. tilts | | 5. tilts | | 6. tilts | |
|---------------------|------|--------------------------------|--|--------------------------------|--|----------------------------|--|----------------------------|--|----------------------------|--|----------------------------|--|
| | | Laukuma | | Laukuma | | Laukuma | | Laukuma | | Laukuma | | Laukuma | |
| | | Garums / platums (cm) | Sāķeres laukums (cm ²) | Garums / platums (cm) | Sāķeres laukums (cm ²) | Garums/ platums (cm) | Sāķeres laukums (cm ²) | Garums/ platums (cm) | Sāķeres laukums (cm ²) | Garums/ platums (cm) | Sāķeres laukums (cm ²) | Garums/ platums (cm) | Sāķeres laukums (cm ²) |
| Atm | MPa | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 0.8 | 26.5 28.5 | 755.25 | 24 | 600 | 26 | 650 | 18 | 432 | 19 | 456 | 18 | 432 |
| | | | | 25 | | 25 | | 24 | | 24 | | 24 | |
| | | | | 23 | 575 | 23 | 575 | 18 | 432 | 19 | 456 | 17 | 408 |
| | | | | 25 | | 25 | | 24 | | 24 | | 24 | |
| 3.5 | 0.35 | 26.5 28.5 | 755.25 | 33 | 825 | 33 | 825 | 28 | 672 | 25 | 600 | 24 | 576 |
| | | | | 25 | | 25 | | 24 | | 24 | | 24 | |
| | | | | 33 | 792 | 32 | 800 | 28 | 672 | 25 | 600 | 24 | 576 |
| | | | | 24 | | 25 | | 24 | | 24 | | 24 | |

* 1., priekšējā tilta riepu spiediens konstants 8,0 atm.

Sadalot slodzi uz katras ass riepas saskares virsmu standarta kokvedējam ar kopējo masu 52t, iegūstam šādas ietekmes uz ceļa segumu no katras ass (statiskas slodzes gadījumā):

(2.7.) Balstoties uz izmērīto standartriepu datiem, interpolēt uz platākām priekšējās ass riepām / to ietekme uz ceļu.

3.Tabula

Slodze uz ceļu riepas kontakvirsmā atkarībā no spiediena riepā

| Ass | Slodze uz segumu pie spiediena riepā 0.8 MPa (MPa) | Slodze uz segumu pie spiediena riepā 0.35 MPa (MPa) |
|----------|--|---|
| 1. tilts | 0.55 | 0.55* (0.8Mpa) |
| 2.tilts | 0.41 | 0.30 |
| 3. tilts | 0.37 | 0.28 |
| 4. tilts | 0.48 | 0.31 |
| 5. tilts | 0.50 | 0.38 |

| | | |
|----------|------|------|
| 6. tilts | 0.45 | 0.33 |
|----------|------|------|

Kā redzams 3.Tabulā, stūrējamā ass rada vislielāko slodzi arī pie standarta spiediena riepās 0.8 MPa. Ja spiedienu samazinātu arī priekšējās vienkameras riepās, tad, ievērojot, ka 1.tilta riepās ir vienīgās vienkameras riepās transportlīdzeklim, priekšējā ass tāpat radītu vislielāko spiedienu uz ceļu. Kā redzams pēc veiktajiem mērījumiem 2.Tabulā, samazinot spiedienu visos pārējos riteņos, priekšējo riteņu kontakta laukums, un līdz ar to arī uz ceļu radītais spiediens, nemainās.

Novērtējot iegūtos datus var secināt, ka priekšējo riteņu radītais spiediens uz ceļa segu, pat ievērojot palielināto kopējo masu (52t), ir 0.55 MPa, kas nepārsniedz ceļa segas projektēšanas aprēķinos lietojamo standartslogzi 0.60 MPa.

Rezultāti

Četrās testa sesijās tika noskaidrots pārbraucienu skaits, pēc kura tiek fiksētas nepārprotamas ceļa segas sabrukuma pazīmes (uzdevums 2.6., 2.8., 2.9.). Saskaņā ar līdz šim noskaidrotiem faktiem par sabrukuma pazīmēm tika uzskatītas:

- 1) vizuālās pazīmes (skat. 9. att.):
 - a. šķērsvirziena izspiedumu straujš pieaugums blakus risai;
 - b. risas veidošanās;
 - c. garenvirziena plaisas risas vidusdaļā;
 - d. mitruma izspiešanās segas virspusē;
- 2) dielektriskās caurlaidības samazināšanās (skat. 6.,7. att.):
 - a. segas virskārtā;
 - b. segas zemākajos slāņos segas materiāla uzirdināšanās rezultātā;
- 3) dielektriskās caurlaidības īslaicīgs palielinājums (skat. 6.,7.att.):
 - a. slodzes pielikšanas brīdī segas pamata kārtā;

Tika iegūti šādi rezultāti:

4.Tabula.

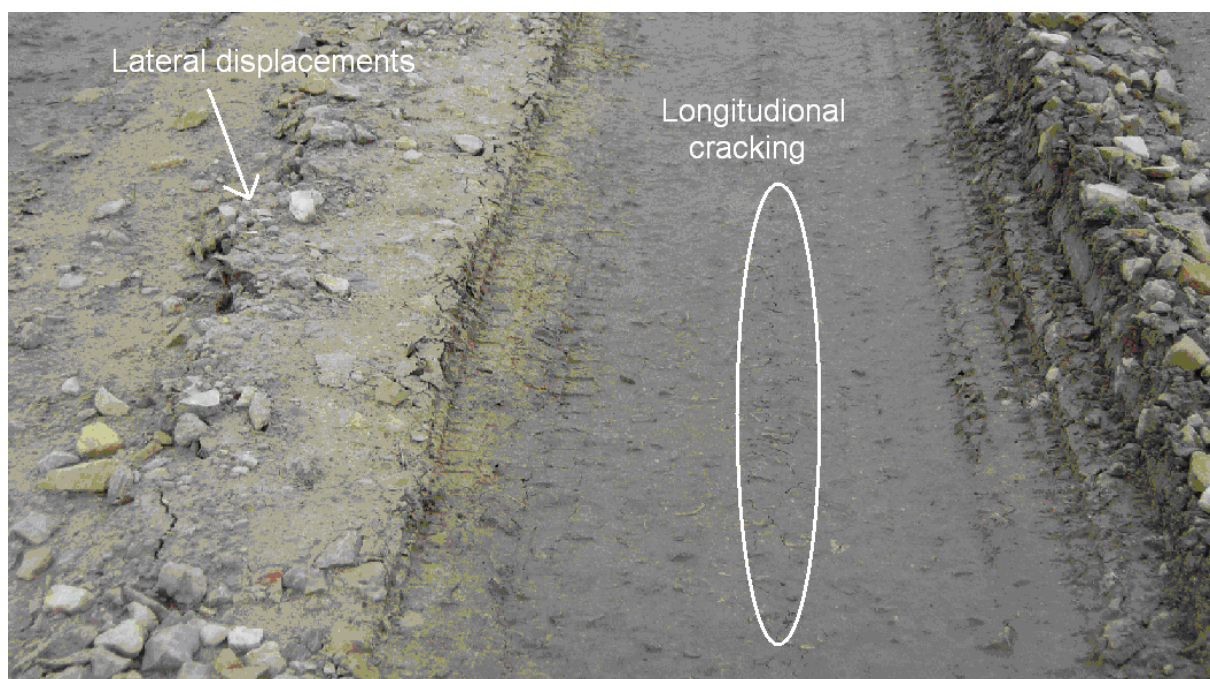
Līdz segas sabrukumam fiksētais pārbraucienu skaits. (uzdevums 2.9.)

| Datums | nestspēja pirms slogošanas (E, MPa) | 0.35 MPa (ar CTI) Pārbraucienu skaits | nestspēja pēc slogošanas (E, MPa) | nestspēja pirms slogošanas (E, MPa) | 0.8MPa (standarta spiediens) Pārbraucienu skaits | nestspēja pēc slogošanas (E, MPa) | mitrums (W1, W2) % |
|---------|-------------------------------------|--|-----------------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------------|--------------------|
| 1. jūn. | 140 | >22* | 56 | 58 | 17 | 110 | 25.7, 25.9 |
| 2. aug. | 67 | >23* | 58 | 58 | 18 | 45 | 25.9, 26.0 |
| 12.sep. | 115 | >26* | 135 | 147 | 17 | 108 | 31.6, 32.9 |

| | | | | | | | |
|---------|----|----|----|---|---|---|------------|
| 23.nov. | 80 | 75 | 49 | - | - | - | 28.7, 32.1 |
|---------|----|----|----|---|---|---|------------|

*) sabrukuma pazīmes norādīto pārbraucienu laikā netika sasniegtas

Slogojot ar 0.35 MPa spiedienu riepās pirmajās trijās slogošanas sesijās ceļa segas sabrukuma pazīmes netika sasniegtas pie paredzētā pārbraucienu skaita. Tā kā pamatojoties uz iepriekš veiktajos testos noskaidroto ceļa struktūra un nestspēja vēl divas stundas pēc sagraujoša testa nav atjaunojusies un tā atjaunojas tikai pēc aptuveni diennakts, slogošana 1.-3. testos tika veikta vispirms ar samazinātu spiedienu nesasniedzot sabrukuma pazīmes. Pēc tam slogojot ar standarta spiedienu tika sasniegtas sabrukuma pazīmes, pēc kam ceļš vairs nebija izmantojams. Starp abiem slogojumiem šajos testos tika ievērota pauze ~ 1-2h fiksējot dielektriskās caurlaidības atgriešanos sākotnējā stāvoklī, kāds tika novērots pirms testa. Pēdējā testā, lai novērtētu faktisko rezultātu slogošana tika veikta, līdz tika sasniegtas sabrukuma pazīmes, pēc kam ceļš vairs nebija izmantojams. Pēdējā (4.) mērījumu sesijā mērījumi tika veikti tikai ar samazinātu spiedienu riepās, lai konstatētu faktisko pārbraucienu skaitu, pie kura iestājas ceļa sabrukuma fāze.



9. attēls. Ceļa sabrukuma vizuālās pazīmes.

Veicot nestspējas un dielektrisko parametru mērījumus divas dienas pēc slogošanas, visos gadījumos tika fiksēts, ka ceļa segas nestspēja un citi parametri ir atgriezušies sākuma stāvoklī.

Pagaidu apsvērumi

1. Vērtējot relatīvi pakāpi, kādā iespējams samazināt ceļam nodarīto bojājumu apjomu un smagumu, to var izteikt, kā attiecību starp pārbraucienu skaitu līdz sabrukumam

līdzīgos apstākļos (nestspēja pirms slogošanas, mitrums, citi) ar un bez samazināta spiediena – piemēram: 75/17.

2. Vērtējot pieļaujamo satiksmes intensitāti pie diviem pētījumā aplūkotajiem spiedieniem riepās, pēc izpildītas nepilnas pētījuma programmas, var izvirzīt hipotēzi, ka aplūkotajai un tai līdzvērtīgām ceļa konstrukcijām, izmantojot standarta spiedienu ir ierobežojams līdz noteiktam pārbraucienu skaitam vienas diennakts (24h) laikā ar 52 t kravu standarta konfigurācijas transportlīdzeklim. Izmantojot samazināta spiediena riepās ir pieļaujams lielāks pārbraucienu skaits. Ar vienu mērījumu fiksētais iespējamais pārbraucienu skaits ir 75 reizes vienas diennakts (24h) laikā ar 52 t kravu standarta konfigurācijas transportlīdzeklim. Pēc kritiskā pārbraucienu skaita ir nosakāma vismaz 24 h pauze šī ceļa izmantošanai ar kravas transportu.
3. Braucot ar standarta spiedienu riepās, priekšējās ass ietekme ir par 40-60% lielāka nekā piekabes asīm. Mērījumi un aprēķini rāda, ka ietekme no stūrējamās ass riepām nepārsniedz ceļa segas aprēķinos noteiktos standartspiediena riepu izraisītos spriegumus. Tomēr jāsecina, ka priekšējās ass radītā slodze ir vislielākā no pētījuma gaitā aplūkotā standarta automobiļa ar palielinātu kopējo masu – 52t visām asīm. Taču tas ir saistīts ar transportlīdzekļa konstrukciju, kas nosaka, ka stūrējamā ass ir aprīkota ar vienkameras riteniem.

Pārskata periodā 2.13. uzdevuma ietvaros tika veiktas sekojošas aktivitātes:

- 1) projekta rezultāti prezentēti konferencē (skat. apliecinājumu);
 - a. sagatavots un izvietots konferences norises vietā plakāts (pielikumā);
 - b. sagatavots un iekļauts kopsavilkums par mērījumu rezultātiem konferences rakstu krājumā Mežzinātne 25 (58) ,2012 (pielikumā);
 - c. sagatavota uzstāšanās konferencē (pielikumā);
 - d. nodrošināta praktiskā demonstrācija konferences dalībniekiem (<https://sites.google.com/site/oscarconference2012/video-journal>);
- 2) piedalīšanās OSCAR transporta darba grupā (protokols pielikumā)
- 3) sagatavota publikācija žurnālā Baltijas koks, lai nozares profesionāļiem būtu iespēja iepazīties ar CTI tehnoloģiju un tās priekšrocībām (pielikumā).

5. Tabula Deflektometra mērījumu dati (monitorings)

| dat | E0 | E0.3 |
|----------|-----|------|
| 14/11/11 | 72 | |
| 25/03/12 | 74 | 52 |
| 12/04/12 | 63 | 76 |
| 19/04/12 | 60 | 95 |
| 26/04/12 | 36 | 68 |
| 18/05/12 | 66 | 87 |
| 25/05/12 | 80 | 99 |
| 01/06/12 | 140 | 94 |
| 08/06/12 | 66 | 78 |
| 02/08/12 | 67 | 134 |
| 13/08/12 | 90 | 167 |
| 10/09/12 | 105 | 158 |
| 12/09/12 | 115 | 172 |
| 12/09/12 | 135 | 136 |
| 15/09/12 | 105 | 147 |
| 04/11/12 | 46 | 96 |
| 11/11/12 | 42 | 79 |
| 23/11/12 | 80 | 100 |
| 26/04/13 | 96 | 88 |

Pētījums: Risinājumi kokmateriālu transportēšanas tehnoloģiju aprobēšanu uz zemas nestspējas ceļiem apzināšana un analīze

Mērījumu veikšanas metodika (precizēta)

Pētījuma mērķis: noskaidrot sakarību un nosacījumus transportlīdzekļa slodzes ietekmei uz ceļa segu atkarībā no spiediena riepās (ar vai bez CTI), ceļa konstrukcijas tipa un tās raksturīgajiem parametriem.

Pārbaudāmās ceļa konstrukcijas: Mērījumu gaitā pārbaudāmas divas konstrukcijas 1.: Grants ceļš ar sekojošu konstrukciju:

- Grants (saskaņā ar Ceļu specifikācijām 2012 - **drupināts akmens materiāls**) segums – 20 cm
- smilts drenējošais slānis – 25 cm
- Pamatnes grunts

Saskaņā ar spēkā esošajām ceļu specifikācijām, ceļa konstrukcijas izbūvei segumā un nesošajās kārtās jāparedz drupinātu akmens materiālu. Norādītajām prasībām jāatbilst arī grants materiālam, kas tiek lietots šajās kārtās. Tādējādi arī dolomīta šķembas, ievērojot noteiktos būtiskos parametrus atbilstoši šīm specifikācijām, ir uzskatāmas kā līdzvērtīgas atbilstošam grants materiālam (un otrādi). Konkrētajā konstrukcijā racionālu apsvērumu dēļ segums izbūvēts no dolomīta šķembām – maisījums 0-45.

2. Zemes ceļš (bez seguma)

Sagatavojot pārbaudei zemes ceļu attiecīgajā posmā ir jānoņem augsne un jānoplanē.

Aprīkojums: Mērījumu gaitā paredzēts noskaidrot sekojošus parametrus:

- Konstrukcijas nestspēju (deformācijas moduli) E
- Grunts relatīvo mitrumu W,
- Gruntsūdens līmeni (ja tas atrodas tuvāk par 30 cm no segas apakšas),
- Risas dziļumu (mērot deformāciju zemes ceļam),
- Grunts un segas materiāla dielektrisko pretestību Er un caurlaidību I.

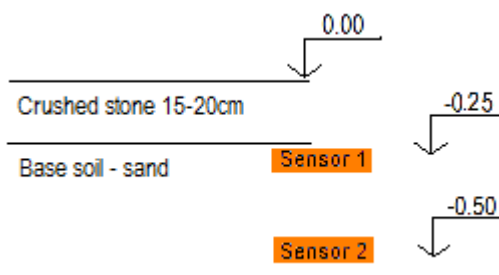
Šim nolūkam tiks izmantots aprīkojums:

- Portatīvais deflektometrs (LWD sk.att1.)
 - perkometrs (1 un 3 kanālu) ar diviem segas konstrukcijā iebūvētiem sensoriem (sk. 1.att)
 - nivelieris (risas dziļuma noteikšanai)
 - Dators
 - datu loggeris
 - CTI (uz transportlīdzekļa)
- un papildaprīkojums

- portatīvie auto svāri
- rakšanas instrumenti
- mērlenta
- hronometrs



att. 1 LWD



att. 2 Sensoru izvietojums segas konstrukcijā un shēma
(attēlā augšējais sensors, kas izvietots tieši zem šķembu kārtas)

Metode: Mērījumos tiek noskaidrots pārbraucienu skaits līdz pazīmēm, kas liecina par strauja segas sabrukuma sākumu. Par šādām pazīmēm tiek uzskatītas sekojošās:

1. Dielektriskās caurlaidības strauja palielināšanās zem slodzes augšējā sensorā, kam seko strauja tās krišanās, vienlaicīgi novērojot arī līdzīgas ietekmes pieaugumu un sekojošu kritumu zemākajos sensoros, kas ir proporcionāli sensora novietojuma dziļumu attiecībai. Šī pazīme novērojama dielektriskās caurlaidības diagrammā, kas tiek ierakstīta un novērota slogošanas laikā.
2. Izspiestās grunts vaļņa straujš pieaugums risu malās un
3. Garenvirziena plaisu parādīšanās tieši zem slodzes pielikšanas vietas (risās).
4. Var tikt novērots arī ūdens uzsūkšanas efekts, kad parādās mitrums risās. Tāds iespējams augsta gruntsūdens gadījumā.

Metodika balstīta uz projekta ietvaros pieejamiem resursiem un tehnoloģijām:

- perkostacija (2 stacijas ar 3 sensoriem abās konstrukcijās)
- CTI sistēma (uzstādīta uz testa transportlīdzekļa)
- pārvietojamie svāri ass slodzes noteikšanai
- citi

Pētījuma metodika tika balstīta uz segas dielektriskās caurlaidības mērījumiem slogošanas laikā, izmantojot perkometru. Saskaņā ar to, mērījumus paredzēts veikt divos dažādos segas konstrukcijas dziļumos, un dažādās sezonās. Dielektriskās caurlaidības parametra mērījums tiek veikts slogošanas sesijas laikā, slogojot ar testam speciāli sagatavotu transportlīdzekli, kura kopējā masa ir 52t (+/-5%). Nepieciešamā kopējās masas noteikšanas precizitāte ir noteikta - +/- 5% saskaņā ar ceļu un tiltu ekspluatācijas norādījumiem (*sk: A.Gailis, Tiltu aprēķinu metodes, projekta un ekspluatācijas slodzes, „Autoceļi” Nr. 1.2002., 13-17 lpp.*)), un ceļu segu projektēšanas praksē pieņemtajiem satiksmes slodžu novērtēšanas principiem. Veicot transportlīdzekļa svēršanu jānosaka slodze atsevišķi uz katras ass, kas dod iespēju novērtēt visvairāk noslogoto asi un novērtēt tās ietekmi dielektriskās caurlaidības mērījumā. Optimālais svēršanai izmantojamais aprīkojums – divas svēršanas platformas.

Transportlīdzekļa kopējā masa tiek pārbaudīta pirms slogošanas un nepieciešamības gadījumā koriģēta noņemot lieko kravas daļu vai to pievienojot, līdz ir sasniegta noteiktā kopējā masa.

Pārbaude tiek veikta ar divām svēršanas platformām, sverot katru asi atsevišķi. Kopējā masa ar 5% noteiktību tiek iegūta summējot svēršanas datus no katras ass. Svēršana tiek veikta saskaņā ar svēršanas iekārtas izgatavotāja (CAS) izdotajiem iekārtas ekspluatācijas norādījumiem.

Transportlīdzeklis aprīkots ar CTI sistēmu un izmantojot to tiek nodrošināti divi dažādi slogošanas režīmi:

- ar riepu spiedienu 0.35 (MPa), un
- ar riepu spiedienu 0.80 (MPa).

Katram no šiem režīmiem tiek noskaidrots pārbraucienu skaits līdz ceļa konstrukcijas strauja sabrukuma sākumam (sk.: pazīmes 2. lpp.). Pēc norādīto sabrukuma sākuma pazīmju fiksācijas slogošana tiek pārtraukta, un segas konstrukcijas bojājumi ir jāatjauno. Segu var atkārtoti slogot pēc vismaz 24h pārtraukuma. Tādējādi vienā slogošanas sesijā segas konstrukcijas strauja sabrukuma sākumu var sasniegt tikai vienu reizi. Lai optimizētu pētījuma izmaksas ir iespējams veikt nepilnīgu slogošanas ciklu (nesasniedzot strauja sabrukuma sākumu) ar samazināta spiediena riepām (0.35MPa), ievērojot sekojošus nosacījumus:

- ar 0.35 MPa spiedienu veikto pārbraucienu skaits ir par vismaz 20% lielāks par ar 0.8 MPa spiedienu fiksēto pārbraucienu skaitu, līdz strauja sabrukuma sākumam
- Vispirms tiek veikta slogošana ar 0.35 MPa spiediena riepām,
- Starp abiem slogojumiem m ir vismaz 1 stundu ilgs pārtraukums
- Pirmās slogošanas laikā netiek novērotas sabrukuma sākšanās pazīmes.

Slogošanas ātrumu nosaka izbūvētā poligona parametri, kas nodrošina kokvedēja ar piekabi pārvietošanos, kas atbilst reāliem satiksmes apstākļiem (noapaļojumu rādiusi mezglos. Maksimālais pārvietošanās ātrums ir aptuveni 25km/h vidēji 10-15 km/h, kas nodrošina pārbraucienu biežumu ik pēc 40-60 sek. Mērīšanas cikla ilgums ir paredzēts tāds, lai tas iekļautu gan pašu slodzes pielikšanas momentu, gan arī visu mērāmā materiāla atjaunošanās ciklu, kas atkarībā no ūdens un materiāla īpašībām var būt no 10sek līdz pat vairākām minūtēm. Mērījumu gaitā tas tiek noteikts operatīvi sekojot mērījumam.

Paredzētas šādas mērījumu sesijas:

1. Pirms segas sasalšanas, novembra beigās, kad segas konstrukcija ir maksimāli pārmitrināta, bet segums vēl nav sasalis (rudens šķīdonis),
2. pēc seguma atkuššanas, kad pamatnes grunts vēl nav atkususi, un pamats ir piesātināts ar ūdeni (pavasara šķīdonis),
3. sausai konstrukcijai
4. mitrai konstrukcijai vasaras lietus sezonas beigās.

Ceļa segas reakcijas šajā pētījumā tiek balstīta uz apsvērumu, ka segas nesaistītā materiāla dielektriskās caurlaidības izmaiņa slodzes pielikšanas rezultātā ir tieši saistīta ar pieliktās ietekmes lielumu. Tātad nosakot Er vienādos apstākļos dažādām slodzēm ir iespējams salīdzināt to izraisītās ietekmes.

Pirms un pēc slogošanas, kā arī slogošanas starplaikos tiek nolasītas ceļa segas konstrukciju raksturojošie parametri:

- nestspēja E (deformāciju modulis ar LWD)
- mitrums W
- temperatūra segas konstrukcijā

Šie mērījumi tiek izdarīti arī 24-48h pirms un pēc slogošanas.

Salīdzināmas ir slodzes izraisītās parametru izmaiņas vienas mērījumu sesijas ietvaros un noteikt korelāciju ar citiem gruntī raksturojošiem parametriem, kuri tiek noteikti pētījuma ietvaros. Slogošanas ilgums tiek kontrolēts pēc perkometra mērījuma un risas dziļuma

(izspieduma) attīstības tendencēm, nosakot stāvokli, kad segai iestājas sabrukuma fāze. Šajā brīdī slogošana tiek pārtraukta. Katrā mērījumu sesijā iegūtie mērījumi un citi dati tiek pierakstīti un vēlāk analizēti kontekstā ar slogošanas parametriem, iegūstot sakarības praktiskai lietošanai. Segas konstrukcija pēc katras mērījumu sesijas tiek atjaunota.

Mērījumu frekvence dielektriskās caurlaidības mērījumiem noteikta 40-50 MHz, un 2kHz vadītspējas mērījumiem. Lai mērījums pietiekami precīzi ilustrētu slogošanas un grunts reakcijas dinamiku visi mērījumi tiek veikti ar 200 - 1000Hz frekvenci.

Sloojot zemes ceļa konstrukciju (bez segas) tiek mērīts risas dziļums (cm) pie vienāda pārbraucienu skaita, un tiek novērtēts pārbraucienu skaits.