

# **Meža autoceļu izmantošanas lēmuma pieņemšanas rīka izveide (kompleksais meža autoceļu izmantošanas rādītājs)**

**Pētījuma beigu atskaite**  
no 2009.gada aprīļa līdz 2014.gada jūlijam

**Izstrādāts:** 2014.gada 14.jūlijā

**Izstrādātājs:**  
SIA "Ceļu eksperts", Apeņu iela 1, Ikšķile, Ikšķiles novads, LV-5052  
Tālrunis: 67255696; e-pasts: celueksperts@celueksperts.lv  
Pētījuma vadītājs: Jānis Kivilands

**Pasūtītājs:**  
AS "Latvijas Valsts meži", LVM Meža infrastruktūra  
Kristapa iela 30, Rīga, LV-1046  
Tālrunis: 67602075, fakss: 67805430, e-pasts: lvm@lvm.lv  
Pasūtītāja pārstāvis: Jānis Buņķis

## Saturs

Ievads .....	4
1. Vispārīgā daļa .....	4
1.1. Pētījuma mērķi un sagaidāmais rezultāts .....	4
1.2. Darba uzdevums .....	4
1.3. Kompleksā MAC izmantošanas rādītāja (KoMACir) noteikšanas plānotā secība .....	7
1.4. Vispārīgi paveiktais pa pētījumu etapiem .....	9
2. Saistīto LR un ES normatīvu pārskats .....	9
2.1. Normatīvu uzskaitījums .....	9
2.2. Normatīvo aktu ierobežojumi .....	9
3. Latvijā un ārvalstīs veikto saistīto zinātnisko pētījumu un projektu apzināšana un analīze .....	10
3.1. LR veikto līdzīgo pētījumu apzināšana .....	10
3.2. Citu valstu pētījumu apzināšana .....	11
3.3. Izmantojamā citu pētījumu informācija .....	11
4. MAC ekspluatāciju ietekmējošie faktori .....	11
4.1. Deformāciju veidi .....	11
4.2. Vispārējs ietekmējošo faktoru modelis .....	13
4.3. Transporta slodzes .....	14
4.3.1. Ass slodzes, asu skaita un izvietojums ietekme uz MAC .....	16
4.3.2. Transportlīdzekļu riepu spiediena ietekme .....	23
4.3.3. Materiāla iekšējā berzes leņķa ietekme .....	24
4.3.4. Braukšanas ātruma ietekme uz ceļa konstrukciju .....	26
4.3.5. Satiksmes intensitātes ietekme .....	27
4.3.6. LVM lietoto kravas transportlīdzekļu raksturojums .....	27
4.3.7. Transporta slodzes ietekmes mērīšana .....	27
4.4. Ceļa konstrukcijas nestspēja .....	28
4.4.1. Nestspējas nozīme .....	28
4.4.2. Nesošo kārtu materiāla granulometrijas un biezuma ietekme .....	31
4.4.3. Seguma materiāla tīrības ietekme .....	33
4.4.4. Drenējošā slāņa ietekme .....	33
4.4.5. Zemes klātnes ietekme .....	35
4.4.6. Nesaistīto materiālu mitruma pakāpe .....	37
4.4.7. Ūdens novades vērtējums .....	38
4.4.8. Nenovērtētie ietekmējošie faktori .....	39
4.5. Meteoroloģisko faktoru ietekme .....	40
4.5.1. Gadalaiki .....	40
4.5.2. Lietus ietekme .....	41
4.5.3. Meteoroloģisko apstākļu datu iegūšana Latvijā .....	42
4.5.4. Meteoroloģiskās informācijas piegādātāju novērtējums .....	43
4.6. Citu speciālistu vērtējums .....	45
5. MAC parametru mērīšanas metodika .....	46
5.1. Galvenie mērāmie parametri .....	46
5.2. Eksperimentālo mērījumu punkti .....	46
5.3. Ceļa konstrukcijas parametru mērīšana .....	47
5.4. MAC seguma materiāla īpašību mērīšana un klasifikācija .....	48
5.5. Hidroģeoloģisko apstākļu mērīšana .....	48
6. Rezultātu apkopojums, secinājumi .....	49

<b>6.1.</b>	Iegūtie rezultāti .....	49
<b>6.2.</b>	KoMACir precizitātes vērtējums .....	49
<b>6.3.</b>	Galvenie secinājumi.....	50
	Bibliogrāfija .....	51
	Pielikumi.....	51

## Ievads

2009. gada aprīlī saskaņā ar AS “Latvijas valsts meži” pasūtījumu tika uzsākts pētījums „**Meža autoceļu izmantošanas lēmuma pieņemšanas rīka izveide (kompleksais meža autoceļu izmantošanas rādītājs)**”. Pētījuma galvenos rezultātus bija paredzēts izmantot MAC tīkla ekspluatācijas vadības sistēmas ietvaros.

Pētījuma rezultātā ir noteiktas likumsakarības, kas ļauj paredzēt MAC ekspluatācijas iespējas atkarībā no laika apstākļiem, ar noteiktu precizitāti.

Šajā atskaitē ir apkopota pētījuma gaita un pētījuma beigu rezultāti. Detalizēta pētījuma gaita, starprezultāti un rezultātu analīzes metodes ir iekļautas starpziņojumos un pielikumos. Atskaitē ir iekļautas atsauces uz pielikumiem, kas var būt gan teksta, gan aprēķina failu veidā.

## 1. Vispārīgā daļa

### 1.1. Pētījuma mērķi un sagaidāmais rezultāts

Meža autoceļi (MAC) galvenokārt kalpo koksnes izvešanai no mežu masīviem. Lai šo funkciju pildītu, MAC ir jānodrošina pietiekoši augsta konstrukcijas nestspēja kokmateriālu transportēšanas laikā.

MAC pārsvarā ir būvēti no nesaistītiem minerāliem materiāliem: grunts, smilts, grants, šķembām. Visu šo materiālu kopīga īpašība ir tāda, ka to nestspēja (pretestība slodzēm) ir atkarīga no šāda materiāla samitrinājuma pakāpes. Pieaugot mitruma pakāpei, samazinās konstrukcijas nestspēja, savukārt samazinoties mitrumam (konstrukcijai izžūstot) nestspēja atjaunojās. MAC konstrukcijas pretestība slodzēm ir mainīga, no mitruma atkarīga lielums.

Nestspējas samazināšanās mitruma ietekmē var būt tik ievērojama, ka ekspluatācijas gaitā var notikt MAC konstrukcijas sabrukšana. Zinot MAC nestspēju, var novērtēt tā piemērojamību ekspluatācijai konkrētā brīdī, konkrētos apstākļos.

Pētījuma mērķis ir iegūt lēmuma pieņemšanas rīku, ar kura palīdzību var pieņemt lēmumu par MAC ekspluatēšanas iespējām lēmuma pieņemšanas brīdī vai tuvākajās dienās. Pētījuma gaitā paredzēts izstrādāt divu veidu lēmumu pieņemšanas metodikas:

- Teorētiski aprēķināmā, ar kuras palīdzību var pieņemt lēmumu „neizejot no kabineta”. MAC ekspluatāciju organizējošais darbinieks, izmantojot datu apstrādes programmu, jebkurā brīdī var pārredzēt visa MAC tīkla izmantošanas iespējas. Tas dod iespēju racionāli izmantot ceļa tīklu, neradot konstrukciju bojājumus. Pētījuma ietvaros ir paredzēts noteikt visus MAC ekspluatāciju ietekmējošos faktorus un noteikt to ietekmes likumsakarības. Šiem datiem un likumsakarībām ir jābūt pielietojamiem datorprogrammas izveidei.
- Otra lēmumu pieņemšanas metodika ir paredzēta lietošanai speciālistiem, kuri apsekojot konkrētu ceļa posmu un nepieciešamības gadījumā veicot mērījumus, pieņem lēmumu par MAC ekspluatāciju.

### 1.2. Darba uzdevums

Pētījumu bija paredzēts veikt divu gadu laikā. Pēc pētījuma pirmās aprēķina algoritmu versijas notika trīs gadu pētījuma rezultāta uzraudzības periods. Šajā laikā tika veikta pētījuma papildināšana un koriģēšana. Darba uzdevums tika izveidots sekojošs:

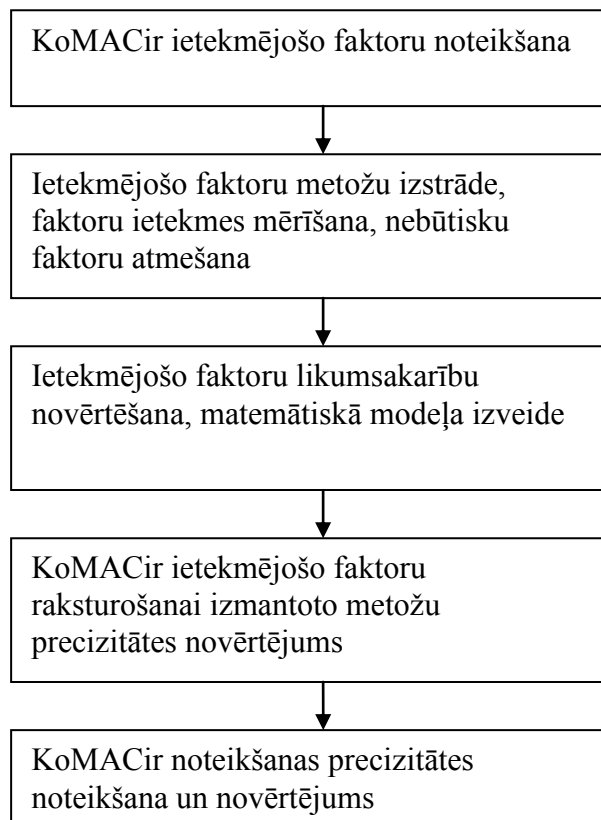
	<b>I etaps. Izpildes termiņš – 6 mēnešu laikā pēc līguma noslēgšanas datuma.</b>
1.1.	Ar zinātniskās izpētes darbu saistīto Latvijas un Eiropas Savienības esošo normatīvo aktu regulējuma un ietekmes analīze
1.2.	Latvijā un ārvalstīs veikto saistīto zinātnisko pētījumu un projektu apzināšana un analīze
1.3.	MAC konstrukcijas parametru (apgabala zemes grunts tips, seguma veids, granulometrija, filtrācija, nestspēja, u.c.) un meteoroloģisko parametru (temperatūra, lietus nokrišņu daudzums laika vienībā, u.c.) izpēte, un to savstarpējo mijiedarbību noteikšana
1.4.	Nepieciešamās meteoroloģiskās informācijas iegūšanas iespēju un avotu apkopojums. Informācijas iegūšanas veidu, formu, operativitātes, izmantošanas iespēju un citu būtisku rādītāju noteikšana un to analīze
1.5.	I etapa atskaišu un prezentācijas sagatavošana
	<b>II etaps. Izpildes termiņš – 12 mēnešu laikā pēc līguma noslēgšanas datuma.</b>
2.1.	MAC konstrukcijas parametru (apgabala zemes grunts tips, seguma veids, granulometrija, filtrācija, nestspēja, u.c.) un meteoroloģisko parametru (temperatūra, lietus nokrišņu daudzums laika vienībā, u.c.) izpēte, un to savstarpējo mijiedarbību noteikšana
2.2.	Nepieciešamās meteoroloģiskās informācijas iegūšanas iespēju un avotu apkopojums. Informācijas iegūšanas veidu, formu, operativitātes, izmantošanas iespēju un citu būtisku rādītāju noteikšana un to analīze
2.3.	Tabulas vai cita veida palīglīdzekļa projekta izstrāde, ar kuras palīdzību speciālists var pieņemt lēmumu par MAC ekspluatācijas īslaicīgu (operatīvu) ierobežošanu, atkarībā no MAC konstrukcijas un meteoroloģiskajiem parametriem, apsekojot MAC objektu dabā: MAC konstrukcijas parametru kopsavilkums un to mērāmo lielumu (seguma mitrums, seguma pārmitrināšanās dziļums, u.c.) definēšana, pēc kuru iegūšanas dabā (mērījumi, vizuālais novērtējums) var pieņemt lēmumu par MAC ekspluatācijas īslaicīgu (operatīvu) ierobežošanu; MAC konstrukcijas parametru mērāmo lielumu iegūšanas metožu un tam nepieciešamo mērinstrumentu kopsavilkums
2.4.	Ziņojuma sagatavošana par pētījumu „Meža autoceļu izmantošanas lēmuma pieņemšanas rīka izveide (Kompleksais meža autoceļu izmantošanas rādītājs)” un iesniegšana termiņā konferencei „Conference on Low-Volume Roads”, Lake Buena Vista, Florida, ASV. Termiņš 31.03.2010. (iekļauta 10.pielikumā Operational ServiceExploitation Management System of Forest Roads)
2.5.	II etapa atskaišu un prezentācijas sagatavošana
	<b>III etaps. Izpildes termiņš – 18 mēnešu laikā pēc līguma noslēgšanas datuma.</b>
3.1.	MAC konstrukcijas parametru (apgabala zemes grunts tips, seguma veids, granulometrija, filtrācija, nestspēja, u.c.) un meteoroloģisko parametru (temperatūra, lietus nokrišņu daudzums laika vienībā, u.c.) un to savstarpējo mijiedarbību precizēšana
3.2.	Nepieciešamās meteoroloģiskās informācijas iegūšanas iespēju un avotu apkopojums. Informācijas iegūšanas veidu, formu, operativitātes, izmantošanas iespēju un citu būtisku rādītāju precizēšana
3.3.	Matricas vai cita veida palīglīdzekļa projekta izstrāde, ar kuras palīdzību IT sistēma var pieņemt lēmumu par MAC ekspluatācijas īslaicīgu (operatīvu) ierobežošanu, atkarībā no MAC konstrukcijas un meteoroloģiskajiem parametriem, neapskatot MAC objektu dabā
3.4.	Tabulas vai cita veida palīglīdzekļa precizēšana, ar kuras palīdzību speciālists var pieņemt lēmumu par MAC ekspluatācijas īslaicīgu (operatīvu) ierobežošanu, atkarībā no MAC konstrukcijas un meteoroloģiskajiem parametriem, apsekojot MAC objektu dabā: MAC konstrukcijas parametru kopsavilkums un to mērāmo lielumu (seguma mitrums, seguma pārmitrināšanās dziļums, u.c.) definēšana, pēc kuru iegūšanas dabā (mērījumi, vizuālais novērtējums) var pieņemt lēmumu par MAC ekspluatācijas īslaicīgu (operatīvu) ierobežošanu; MAC konstrukcijas parametru mērāmo lielumu iegūšanas metožu un tam nepieciešamo mērinstrumentu kopsavilkums
3.5.	Izstrādāto matricu/tabulu vai cita veida palīglīdzekļu sniegto rezultātu atbilstības kontrole situācijai dabā: Tabulas vai cita veida palīglīdzekļa dotā rezultāta iegūšana izmantojot izpētīto MAC konstrukcijas un meteoroloģisko parametru mijiedarbību

3.6.	Ziņojuma par pētījumu „Meža autoceļu izmantošanas lēmuma pieņemšanas rīka izveide (Kompleksais meža autoceļu izmantošanas rādītājs)” saskaņošana ar konferences „Conference on Low-Volume Roads” organizatoriem. Termins 30.07.2010.
3.7.	III etapa atskaišu un prezentācijas sagatavošana
	<b>IV etaps. Izpildes termiņš – 24 mēnešu laikā pēc līguma noslēgšanas datuma.</b>
4.1.	MAC konstrukcijas parametru (apgabala zemes grunts tips, seguma veids, granulometrija, filtrācija, nestspēja, u.c.) un meteoroloģisko parametru (temperatūra, lietus nokrišņu daudzums laika vienībā, u.c.) un to savstarpējo mijiedarbību galīgā definēšana
4.2.	Nepieciešamās meteoroloģiskās informācijas iegūšanas iespēju un avotu apkopojums. Informācijas iegūšanas veidu, formu, operativitātes, izmantošanas iespēju un citu būtisku rādītāju galīgā definēšana
4.3.	Izstrādāto matricu/tabulu vai cita veida palīgīdzekļu sniegto rezultātu atbilstības kontrole situācijai dabā: Matricas vai cita veida palīgīdzekļa dotā rezultāta iegūšana izmantojot izpētīto MAC konstrukcijas un meteoroloģisko parametru mijiedarbību; Tabulas vai cita veida palīgīdzekļa dotā rezultāta iegūšana izmantojot izpētīto MAC konstrukcijas un meteoroloģisko parametru mijiedarbību
4.4.	Matricas vai cita veida palīgīdzekļa galīgā izstrāde, ar kuras palīdzību IT sistēma var pieņemt lēmumu par MAC ekspluatācijas īslaicīgu (operatīvu) ierobežošanu, atkarībā no MAC konstrukcijas un meteoroloģiskajiem parametriem, neapskatot MAC objektu dabā: Sagatavota un praktiskai lietošanai noformēta matrica vai cita veida palīgīdzeklis ar kura palīdzību IT sistēma var pieņemt lēmumus par MAC ekspluatācijas īslaicīgu (operatīvu) ierobežošanu, neapskatot MAC objektu dabā
4.5.	Tabulas vai cita veida palīgīdzekļa galīgā izstrāde, ar kuras palīdzību speciālists var pieņemt lēmumu par MAC ekspluatācijas īslaicīgu (operatīvu) ierobežošanu, atkarībā no MAC konstrukcijas un meteoroloģiskajiem parametriem, apsekojot MAC objektu dabā: Sagatavota un praktiskai lietošanai noformēta tabula vai cita veida palīgīdzeklis ar kura palīdzību speciālists var pieņemt lēmumus par MAC ekspluatācijas īslaicīgu (operatīvu) ierobežošanu, apsekojot MAC objektu dabā; MAC konstrukcijas parametru kopsavilkums un to mērāmo lielumu (seguma mitrums, seguma pārmitrināšanās dziļums, u.c.) definēšana, pēc kuru iegūšanas dabā (mērījumi, vizuālais novērtējums) var pieņemt lēmumu par MAC ekspluatācijas īslaicīgu (operatīvu) ierobežošanu; MAC konstrukcijas parametru mērāmo lielumu iegūšanas metožu un tam nepieciešamo mērinstrumentu kopsavilkums
4.6.	Metodisko norādījumu (instrukcijas) sagatavošana, par to kā veikt MAC konstrukcijas parametru mērījumus un izmantot izstrādāto tabulu vai cita veida palīgīdzekli
4.7.	Metodisko norādījumu (instrukcijas) sagatavošana, par to kā izmantot izstrādāto matricu vai cita veida palīgīdzekli
4.8.	IV etapa atskaišu un prezentācijas sagatavošana
	<b>V etaps. Izpildes termiņš – 3 gadu laikā pēc līguma noslēgšanas datuma.</b>
5.1.	Kursu, semināru un apmācību vadīšana, par izstrādātās matricas/tabulas vai cita veida palīgīdzekļa darbības principiem un praktisko pielietojumu
5.2.	Praktiska apmācība MAC objektos par nepieciešamo mērījumu veikšanu, saistošajiem aprēķiniem un iegūto rezultātu nozīmi lēmuma pieņemšanā par MAC ekspluatācijas īslaicīgu (operatīvu) ierobežošanu
5.3.	Izstrādāto matricu/tabulu vai cita veida palīgīdzekļu sniegto rezultātu atbilstības kontrole situācijai dabā un darbības kvalitātes nodrošināšana 3 gadu periodā, pēc zinātniskās izpētes darba nodošanas pasūtītājam. Nepieciešamības gadījumā vai pēc pasūtītāja pieprasījuma veikt pārstrādi vai labojumus
5.4.	Nepieciešamības gadījumā vai pēc pasūtītāja pieprasījuma zinātniski pamatot izstrādāto matricu/tabulu vai cita veida palīgīdzekļu sniegto datu ticamību un darbību trešajai personai 3 gadu periodā pēc zinātniskās izpētes darba nodošanas pasūtītājam
5.5.	Ziņojuma par pētījumu „Meža autoceļu izmantošanas lēmuma pieņemšanas rīka izveide (Kompleksais meža autoceļu izmantošanas rādītājs)” prezentēšana konferencē „Conference on Low-Volume Roads”, Lake Buena Vista, Florida, ASV. Termins 24.-27.07.2011.
5.6.	V etapa atskaišu un prezentācijas sagatavošana
	<b>VI etaps. Izpildes termiņš – 4 gadu laikā pēc līguma noslēgšanas datuma.</b>

6.1.	Izstrādāto matricu/tabulu vai cita veida palīgīdzekļu sniegto rezultātu atbilstības kontrole situācijai dabā un darbības kvalitātes nodrošināšana 3 gadu periodā, pēc zinātniskās izpētes darba nodošanas pasūtītājam. Nepieciešamības gadījumā vai pēc pasūtītāja pieprasījuma veikt pārstrādi vai labojumus
6.2.	Nepieciešamības gadījumā vai pēc pasūtītāja pieprasījuma zinātniski pamatot izstrādāto matricu/tabulu vai cita veida palīgīdzekļu sniegto datu ticamību un darbību trešajai personai 3 gadu periodā pēc zinātniskās izpētes darba nodošanas pasūtītājam
6.3.	VI etapa atskaišu un prezentācijas sagatavošana
<b>VII etaps. Izpildes termiņš – 5 gadu laikā pēc līguma noslēgšanas datuma.</b>	
7.1.	Izstrādāto matricu/tabulu vai cita veida palīgīdzekļu sniegto rezultātu atbilstības kontrole situācijai dabā un darbības kvalitātes nodrošināšana 3 gadu periodā, pēc zinātniskās izpētes darba nodošanas pasūtītājam. Nepieciešamības gadījumā vai pēc pasūtītāja pieprasījuma veikt pārstrādi vai labojumus
7.2.	Nepieciešamības gadījumā vai pēc pasūtītāja pieprasījuma zinātniski pamatot izstrādāto matricu/tabulu vai cita veida palīgīdzekļu sniegto datu ticamību un darbību trešajai personai 3 gadu periodā pēc zinātniskās izpētes darba nodošanas pasūtītājam
7.3.	VII etapa atskaišu un prezentācijas sagatavošana

### 1.3. Kompleksā MAC izmantošanas rādītāja (KoMACir) noteikšanas plānotā secība

Kompleksais MAC izmantošanas rādītājs ir atkarīgs no daudzu faktoru kopējās ietekmes. KoMACir izveides darbu secība tika noteikta sekojoša:



- **Jāapzina visi KoMACir ietekmējoši faktori:** gan slodzes faktori, gan slodzes pretestības faktori. Slodzes pretestības faktori ir atkarīgi no konstrukciju veidojošo materiālu īpašībām (piemēram,

deformācijas moduļa), kas savukārt ir atkarīgs materiāla samitrinājuma pakāpes. Samitrinājumu izraisa nokrišņu ūdens, gruntsūdens, utt.

- **Jānosaka metodes ietekmējošo faktoru nozīmīguma novērtēšanai:** Katrs faktors ir jānovērtē saskaņā ar noteiktu, tam piemērotu metodi. Metodes var būt balstītas uz aprēķiniem, pētījumiem, pieredzi u.c. Piemēram, viens no grunts nestspēju ietekmējošiem faktoriem ir granulometriskais sastāvs, ko var raksturot ar māla un putekļu daļiņu saturu. Šī lieluma noteikšanai ir standartizēta metode. Papildus nosacījums – metodēm ir jābūt piemērotām MAC ietekmējošo faktoru novērtēšanai. Jāņem vērā liels objektu daudzums, datu iegūšanas ātrums un ērtums. Piemēram, nav iespējams katru dienu noteikt visiem autoceļiem nestspēju vai mitruma pakāpi.

- **Jānosaka šo faktoru ietekmes nozīmīgums, kas jāizsaka nosacītās skaitliskās vērtībās:** Jānosaka vērtību minimālās un maksimālās robežas un to ietekmes nosacījumi.

- **Jāizstrādā KoMACir noteikšanas matemātiskais modelis:** Jāizveido matemātiska formula (funkcija), kurā būtu iekļauti visi nozīmīgie faktori un to ietekme tiktu faktoru ietekme tiktu izteikta ar koeficientiem, kas mainās saskaņā ar noteiktām likumsakarībām.

Vispārīgi KoMACir aprēķina matemātiskais modelis izskatās sekojoši:

$$KoMACir = f(\text{ceļa konstrukcijas raksturlielumi, hidroģeoloģiskie apstākļi, meteoroloģiskie faktori})$$

- **Jānovērtē KoMACir ietekmējošo faktoru noteikšanas metožu precizitāte:**

Katra faktora ietekme tiek noteikta skaitliski. Katrai noteikšanas metodei ir ticamība vai nenoteiktība. Lielas nenoteiktības ir vizuālām metodēm. Piemēram, nosakot dienas no atkusuma sākuma, precīzi to noteikt nevar. Vienā un tajā pašā reģionā saules pusē ceļam atkusums sākās pirms 7 dienām, ēnas pusē pirms 1 dienas. Līdz ar to vidējais rezultāts ir 4 (+/-3).

- **Jānovērtē KoMACir noteikšanas precizitāte:** Iespējams precizitātes uzlabošanai var mainīt ietekmējošo faktoru raksturošanas metodes. Ja ticamība iegūtajam KoMACir ir zema, piemēram,  $KoMACir = 120 (+/-60)$ , tad šādam rezultātam var nebūt praktiskas jēgas. Šādos gadījumos var novērtēt, varbūt metode ir pielietojama daļēji, piemēram, tikai ceļiem, kuriem ir zināmi konstrukcijas biežumi. Konstrukcijas biežuma nezināšana ir papildus nenoteiktības faktors, kuru izslēdzot ir iespējams palielināt kopējā KoMACir rādītāja precizitāti. Precizitāti var palielināt, izmantojot precīzākas ietekmējošo parametru noteikšanas metodes. Piemēram, nokrišņu daudzuma noteikšanai izmantojot reālus mērījumus netālu no MAC, nevis vispārējas prognozes, vai arī pamatnes grunts tipu nosaka nevis pēc apkārtējās vides raksturojuma, bet iegūstot paraugus no skatrakumiem uz katra MAC un raksturojot grunts paraugu Tomēr metodes izvēle ir kompromiss starp precizitāti un resursu patēriņu rezultātu ieguvei.

- **Jānosaka MAC ekspluatācijas klases, kuras tiek raksturotas ar KoMACir skaitlisku vērtību intervālu:** Ja metodikas ticamība tiek panākta pietiekoša, tad šis ir nākamais solis. Savienojot visu faktoru lielumus, iegūstam KoMACir skaitlisku vērtību, piemēram, 147. Iepriekš var noteikt ekspluatācijas klases, piemēram,

KoMACir >200 – lietot var bez ierobežojumiem

KoMACir 100-200 – lietošana nav vēlama

KoMACir 50-100 – var lietot <3 kravu izvešanai dienā

KoMACir <50 – lietošana aizliegta



#### 1.4. Vispārīgi paveiktais pa pētījumu etapiem

Šajā sadaļā ir īsi apkopota pētījuma gaita pa etapiem. Tabulā ir iekļautas tikai galvenās aktivitātes. Daļu no norādītajām aktivitātēm veica LVM darbinieki, piemēram, KoMACir aprēķina programmas izstrāde, papildus mērījumu punktu izveide, mērījumu veikšana papildus mērījumu punktos.

Etaps	Terminš	Īss paveikto darbu raksturojums
I un II	2009.aprīlis - decembris	Normatīvo aktu pārskats. Pētījuma gaitas noteikšana. KoMACir ietekmējošo faktoru noteikšana. Ietekmējošo parametru mērīšanas metodikas izstrāde.
II	2010.janvāris - jūnijs	Eksperimentālo ceļu izvēle, mērīšanas punktu ierīkošana, faktisko nestspējas mērījumu veikšana. Transporta ietekmes vērtēšana.
III	2010.jūlijs - decembris	Nestspējas mērījumi. Datu analīze. KoMACir algoritmu 1.versijas izstrāde. Transporta ietekmes vērtēšana. Papildus mērījumu punktu ierīkošana.
IV	2011.janvāris - jūnijs	Nestspējas mērījumi. Datu analīze. KoMACir algoritmu precizēšana. Operatīvās MAC novērtēšanas metodikas izstrāde un precizēšana. KoMACir elektroniskās aprēķina programmas izveide.
V	2011.jūlijs – 2012.jūnijs	Pētījuma prezentācija starptautiskā konferencē „Zemas noslodzes autoceļi” (Orlando, ASV). Nestspējas mērījumi, algoritmu precizēšana.
VI	2012.jūlijs – 2013.jūnijs	Nestspējas mērījumi, algoritmu precizēšana.
VII	2013.jūlijs – 2014.jūnijs	Nestspējas mērījumi, algoritmu precizēšana. KoMACir beigu versijas noformēšana. LVM darbinieku apmācības.

Par katru etapu tika sagatavots starpziņojums, dažkārt ar pielikumiem. Šajos starpziņojumos detalizēti ir aprakstīta pētījuma gaita un iegūtie starprezultāti. To uzskaitījums ir VI etapa atskaitē. Beigu atskaitei nav pievienoti visi starpziņojumi un pielikumi. Pievienoti ir tādi dokumenti, kuri ir neatņemama sastāvdaļa gala rezultātam.

## 2. Saistīto LR un ES normatīvu pārskats

### 2.1. Normatīvu uzskaitījums

Saistošie normatīvie dokumenti un to saistošais saturs ir pievienoti pētījuma pielikumā „Ar zinātniskās izpētes darbu saistīto Latvijas un Eiropas Savienības esošo normatīvo aktu regulējuma un ietekmes analīze” (2009.08.20).

Normatīvo aktu regulējuma un ietekmes analīze veikta, identificējot ar izpētes darbu saistošos normatīvos dokumentus un atlasot tajos izvirzītās prasības attiecībā uz kustības ierobežojumu noteikšanu uz ceļiem, ceļu slēgšanu u.c., gan apskatot citu ceļu pārvaldītāju vai personu tiesības noteikt kādus ierobežojumus uz ceļiem, kuru lietotājs ir LVM, gan arī apskatot LVM kā ceļu pārvaldītāja tiesības noteikt kādus ierobežojumus savā ceļu tīklā.

### 2.2. Normatīvo aktu ierobežojumi

- Satiksme pa autoceļiem.

Ceļa lietotājiem ir tiesības transportlīdzekļu satiksmei lietot visus autoceļus uz kuriem neattiecas īpašs aizliegums.

Konkrēto ceļu pārvaldītājs var uz laiku ierobežot vai aizliegt satiksmi, ja radušies nelabvēlīgi laika vai citi apstākļi, kas apdraud satiksmes drošību. Tas nozīmē, ka šādas tiesības var izmantot gan LVM, nepieciešamības gadījumos nosakot kustības ierobežojumus vai aizliegumu savos autoceļos (tas ir jāsaskaņo arī ar attiecīgo vietējo pašvaldību), gan arī ir jārēķinās ar to, ka kustības ierobežošana vai aizliegšana var tikt noteikta valsts vai pašvaldību autoceļos, kurus kokmateriālu transportēšanai izmanto LVM. Līdz ar to ir nepieciešama sadarbība informācijas apmaiņai gan ar Satiksmes ministriju, gan pašvaldībām, lai būtu iespējama operatīva informācijas iegūšana par to noteiktajiem satiksmes ierobežojumiem.

- Pārvaldījumu saskaņošana.

Normatīvajos dokumentos ir noteikti transportlīdzekļu pieļaujamie gabarīti, masa un ass slodzes. Ja transportlīdzeklis pārsniedz noteiktās robežvērtības, tad braukšanai pa autoceļiem ir jāsaņem atļauja no VAS Latvijas valsts ceļi (LVC), kā arī jāsaņem Ceļu Satiksmes Drošības direkcijas (CSDD) sertifikāts. Ar LVC ir jāsaņemas arī šādu smagsvara pārvaldījumu maršruts.

- Maksa par autoceļiem.

Ir noteikta maksa (nodeva) par atsevišķu valsts galveno autoceļu posmu lietošanu transportlīdzekļiem, kuru masa ir lielāka par 12000 kg un kuri paredzēti tikai kravu pārvaldījumiem, bet nodeva nav jāmaksā par transportlīdzekļiem, kurus izmanto kokmateriālu pārvaldījumos.

Maksu var ņemt par tādu autoceļu lietošanu, kas izbūvēti par privātiem līdzekļiem. Ja LVM piederošie meža autoceļi vai daļa no tiem ir kvalificējami kā par privātiem līdzekļiem izbūvēti, tad LVM būtu lietderīgi izvērtēt iespēju ņemt maksu par savu autoceļu izmantošanu no citiem kravu pārvaldītājiem, kas nodrošinātu papildus finansējumu šo autoceļu uzturēšanai un rekonstrukcijai, kā arī paplašinātu iespējas ierobežot vai aizliegt kravas transportlīdzekļu kustību nelabvēlīgu laika apstākļu periodā (šķīdonis, ilgstošas lietavas u.tml.).

- Aizsargjoslas.

Organizējot saimniecisko darbību (kokmateriālu pārvaldāšanu), jāievērtē, ka Aizsargjoslu likumā ir minētas vairākas aizsargjoslas, kurās noteikti aprobežojumi, piemēram, kokmateriālu glabātavu izvietojumam, darbu veikšanai, saimnieciskajai u.c. darbībai, transportlīdzekļu augstumam u.tml.

Līdz ar to pirms kokmateriālu krautņu izvietojuma un pārvaldījumu maršrutu vispārējās plānošanas ir lietderīgi apzināt un identificēt saistošos objektus un to aizsargjoslas, kuru zonā vai tuvumā varētu notikt tuvākā laikā plānotās darbības.

- Izņēmuma stāvoklis.

Izņēmuma stāvokli izsludina Ministru kabinets. Tas ir īpašs gadījums, kas saistīts ar iespējamu karadarbību, nemieriem vai apdraudējumu valsts iekārtai. Tā kā tas ir ļoti specifiski un nav paredzams, kā un, kādā veidā šāda stāvokļa izsludināšana varētu tikt realizēta, tad rīcības algoritmu izstrāde šādām situācijām darba izpildes sfērā netiek iekļauta.

### **3. Latvijā un ārvalstīs veikto saistīto zinātnisko pētījumu un projektu apzināšana un analīze**

#### **3.1. LR veikto līdzīgo pētījumu apzināšana**

Latvijā esošās organizācijas, kas potenciāli varētu veikt šādu pētījumu, ir saistītas ar autoceļu būvniecību un uzturēšanu. Tās ir RTU Būvniecības fakultāte, VAS „Latvijas Valsts ceļi” un VAS „Latvijas Autoceļu uzturētājs”. Aptaujājot šo organizāciju pārstāvjus, tika konstatēts, ka līdzīgi pētījumi Latvijā nav veikti.

Ceļu būvniecības, uzturēšanas un materiālu pētniecība Latvijā ir ļoti vāji attīstīta, jauninājumi tiek aizgūti no citām valstīm.

### 3.2. Citu valstu pētījumu apzināšana

Pasaulē ceļu pētniecību veic gan privātās, gan valsts organizācijas. Privāto organizāciju pētījumi ir orientēti uz jaunu materiālu un tehnoloģiju izstrādi, kuru ieviešana tirgū dotu peļņu uzņēmumiem. Privāto uzņēmumu pētījumi pārsvarā nav saistīti ar infrastruktūras vadības sistēmu pētīšanu. Tādēļ šī sfēras pētījumi nav pielietojami šajā pētnieciskajā darbā.

Valstisko organizāciju veikto pētījumu sfēra nereti ietver sevī ceļu ekspluatācijas pētījumus. Kopš 2000. gada Eiropā ir veikti lieli starptautiski pētījumi. Starptautiskus ceļu būves un ekspluatācijas sfēras pētījumus Eiropā koordinē the Forum of European National Highway Research Laboratories (FEHRL). Daudzus pētījumus finansē Eiropas Savienība. European Cooperation in Science and Technology (COST) programma ir radīta tehnisko pētījumu veikšanai, tajā skaitā arī infrastruktūras pētīšanai.

Ir pārskatītas dažādu Eiropas valstu ceļu pētniecības institūciju interneta lapas. Līdzīgus pētījumus nav izdevies atrast. Ir saistīti pētījumi par mitruma, sala un slodzes ietekmi uz autoceļu konstrukcijas materiāliem, kuros gūtās atziņas daļēji ir pielietojamas šim konkrētajam pētījumam. Arī FEHRL ietvaros nav veikti šādi pētījumi.

Pateicoties sadarbībai ar kolēģiem no VAS "Latvijas Valsts ceļi" Ceļu laboratorijas, tika iegūtas ziņas par Eiropas Savienības finansētu lielu pētniecības projektu ROADDEX. Apakšprojekta „Zemas intensitātes ceļu pavasara šķīdoņa pārvaldība”. Šajā pētījumā tiek analizēta pavasara atkusuma izraisītās nestspējas problēmas uz grants vai bezseguma ceļiem, sniegtas norādes par to identificēšanas un novēršanas metodēm. Daudz noderīgas informācijas no šī pētījuma ir iekļautas arī LVM pētījumā.

### 3.3. Izmantojamā citu pētījumu informācija

Pētījumā „Meža autoceļu izmantošanas lēmuma pieņemšanas rīka izveide” ir izmantota informācija no ES līdzfinansēta pētījuma ROADDEX II. Galvenās sfēras ir:

- Pavasara atkusuma procesi;
  - Nesaistīto ceļa konstrukciju nestspējas izmaiņu mērīšanas metodes;
  - Grants ceļu ekspluatācijas organizēšanas metodes pavasara atkusuma laikā.
- Iegūtā informācija ir iekļauta šīs atskaites sadaļās.

## 4. MAC ekspluatāciju ietekmējošie faktori

### 4.1. Deformāciju veidi

Transporta slodžu izraisītās MAC deformācijas var iedalīt divās lielās grupās: seguma deformācija un visas segas (visas ceļa konstrukcijas) deformācija. Seguma deformācijas veidojas tikai ceļa segas virsējā slānī un ir novēršamas bez jaunu materiālu pievešanas, izlīdzinot deformēto segumu ar autogreideri. Šādas deformācijas samazina ceļa lietošanas ērtumu, bet būtiski neietekmē ekspluatācijas iespējas ilgtermiņā. Segas deformācijas liecina par visas ceļa konstrukcijas sagraušanu. Ceļa konstrukcijas atjaunošanai ir nepieciešams būtisks resursu patēriņš, kas saistīts ar materiālu pievešanu un vērā ņemamiem būvdarbiem. Segas deformāciju likvidēšana ir ievērojami dārgāka nekā seguma deformāciju likvidēšana, tādēļ šī pētījuma ietvaros tām ir pievērsta daudz lielāka nozīme.

Seguma deformācijas izpaužas bedrīšu un nelīdzenuma veidā. Šādas deformācijas parasti rodas pēc intensīva lietus vai pavasara atkusuma sākumposmā. To veidošanās intensitāte ir atkarīga no ceļa seguma materiāla īpašībām, mitruma pakāpes un transporta intensitātes. 1.attēlā redzama tipiska grants seguma deformācija, kuras cēlonis ir pārmitrināta seguma ekspluatācija.



**1.ATTĒLS Tipiska grants seguma deformācija**

Dažkārt seguma deformācijas veidojas arī uz pārmērīgi izžuvušiem segumiem. Seguma materiālam izžūstot zūd saiste un transporta ietekmē veidojas viļņveida deformācijas - „trepe” (2.attēls). Šāda veida deformāciju cēlonis ir seguma materiāla īpašības un mitruma trūkums. Šīs deformācijas ir uzskatāmas par nebūtiskām un pētījuma ietvaros netiek ņemtas vērā.



**2.ATTĒLS Izžuvuša seguma deformācija – „trepe”**

MAC ekspluatācijā būtiski ir nodrošināt, lai kravas transportlīdzekļi neveidotu ceļa segas (visas konstrukcijas) deformācijas un būtiskas seguma deformācijas.

Bezseguma ceļiem, kas ir veidoti uz esošās grunts, visas deformācijas ir uzskatāmas par seguma deformācijām. Dažkārt deformācijas ir tik lielas, ka transportlīdzekļu kustība vairs nav

iespējama, taču šādos gadījumos ceļa līdzenuma atjaunošana neizmaksā dārgi, tādēļ šo deformāciju veidošanās nav uzskatāma par būtisku faktoru ekspluatācijā. Bezseguma ceļu ekspluatācijā ir būtiski, lai pa tiem kokmateriālu transports varētu izbraukt. Šajā gadījumā KoMACir bezseguma ceļiem tiek noteikts ne tik daudz, lai novērstu deformāciju, bet, galvenokārt, lai nodrošinātu drošu kokmateriāla transporta pārvietošanos. Bezseguma ceļiem ir pieļaujama deformāciju veidošanās un šādu ceļu galvenais ekspluatāciju nosakošais parametrs ir nestspēja. Nestspējas prognozēšana arī ir galvenais pētījuma uzdevums bezseguma MAC.

#### **4.2. Vispārējs ietekmējošo faktoru modelis**

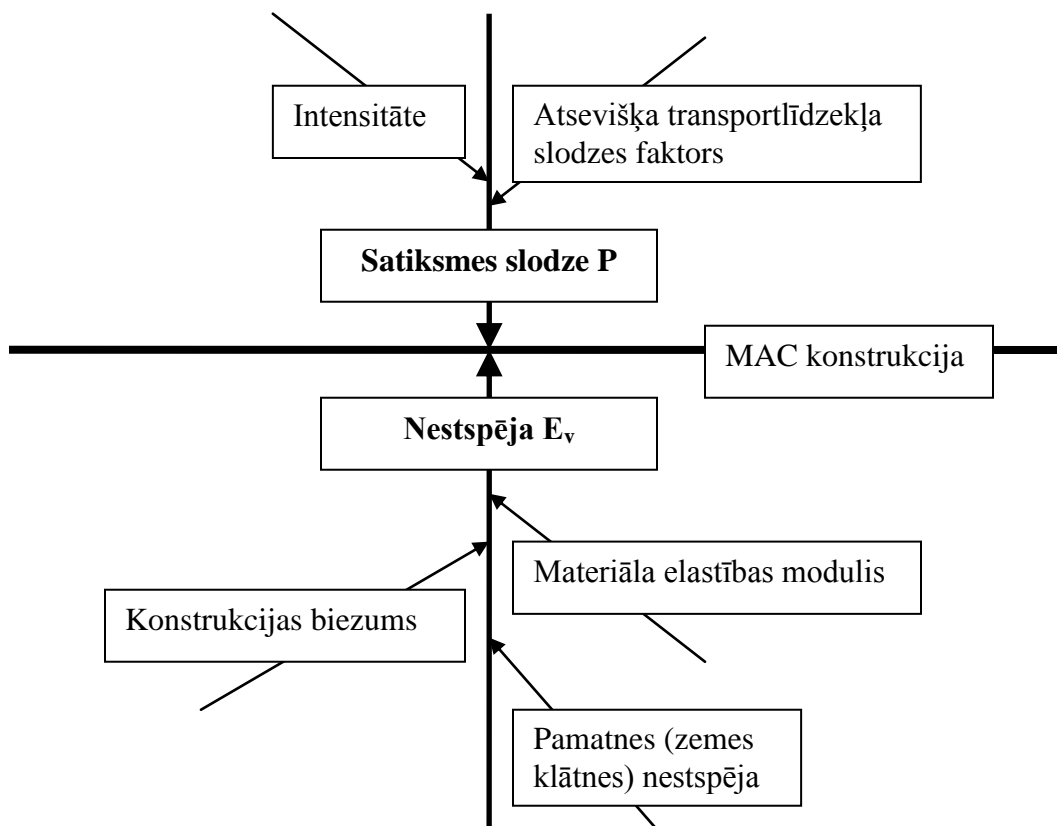
Ceļa konstrukcija tiek slogota ar slodzi, kuru rada autotransporta plūsma pārvietojoties pa ceļa konstrukciju. Kopējais ceļa noslogojums ir atkarīgs no atsevišķa transportlīdzekļa slodzes ietekmes un no intensitātes.

Atsevišķa transportlīdzekļa slodzes ietekmes raksturošanai tiek lietots termins – slodzes faktors – kurš savukārt ir atkarīgs no transportlīdzekļa faktiskās masas, riteņu asu skaita, slodzes sadalījuma uz asīm, spiediena riepās, kustības ātruma u.c. faktoriem. Šo faktoru ietekme tiks analizēta tālākajās nodaļās.

Ceļa konstrukcijai piemīt pretestība slodzēm – nestspēja. Jo lielāka nestspēja jo lielāku transporta slodzi var izturēt konstrukcija.

Nestspēja ir atkarīga no ļoti daudziem faktoriem. Daži galvenie ir – konstrukciju veidojošo materiālu īpašības, nesošo kārtu biezums, zemes klātnes (pamatnes nestspēja), skatīt 3.attēlu.. Katrs no šiem faktoriem savukārt ir atkarīgi no citiem faktoriem.

Galvenā MAC nestspējas īpatnība ir tā, ka nestspēja ir mainīga gada laikā un ir ļoti atkarīga no materiālu piesātinājuma ar ūdeni. Piesātinājuma veidošanos izraisa gan materiāla īpašības, gan ūdens pieplūdes daudzums un intensitāte. Visu šo faktoru analīze dod iespēju prognozēt MAC nestspēju un līdz ar to ekspluatācijas iespējas.



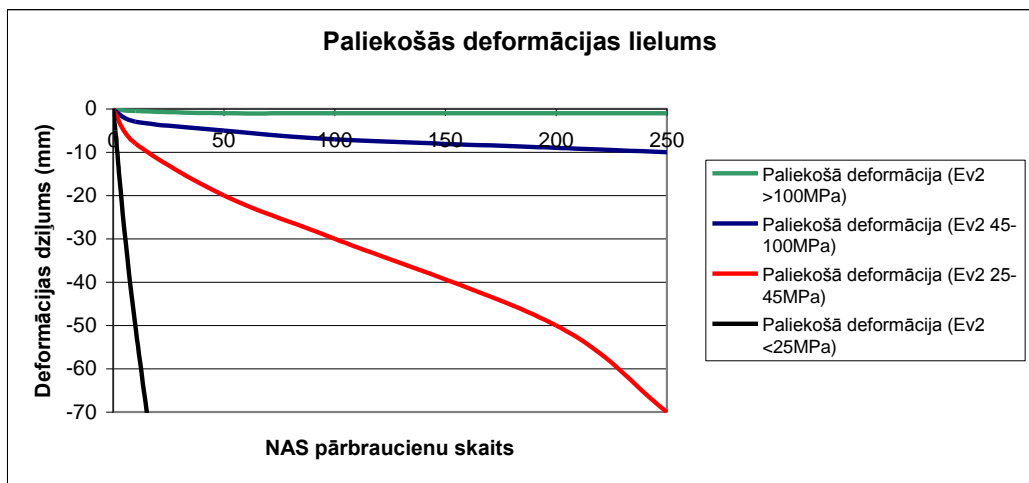
### 3. ATTĒLS Galvenie MAC ekspluatāciju ietekmējošie faktori

#### 4.3. Transporta slodzes

Transporta slodzi veido atsevišķa transportlīdzekļa slodzes faktors un intensitāte, kuru parasti raksturo ar rādītāju - automobiļu skaits diennaktī (A/dienn.). MAC gadījumā vairāk uzmanības tiek pievērsts kokvedēja tipa transportlīdzeklim. Katrs transportlīdzekļa pārbrauciens konstrukcijā rada konstrukcijas ielieci un paliekošu deformāciju. Augstas nestspējas konstrukcijām šādas ielieces un deformācijas ir niecīgas, praktiski tuvinās nullei. Pretējs efekts ir novērojams uz zemas nestspējas konstrukcijām. Kad transportlīdzekļa slodze ir ļoti tuva vai pārsniedz konstrukcijas nestspēju, veidojas liela ieliece un liela paliekošā deformācija. Ļoti lielas ielieces vai paliekošās deformācijas gadījumā var notikt konstrukcijas sabrukums. Sabrūkot konstrukcijai, tās nestspēja ievērojami samazinās un tā vairs nav ekspluatējama.

4.attēlā parādīts piemērs, kā dažādas nestspējas konstrukcijās veidojās paliekošā deformācija transporta slodzes ietekmē atkarībā no normēto ass slodžu (NAS) pārbraucienu skaita.

NAS pārbraucienu skaits	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>250</b>
Paliekošā deformācija (Ev2 >100MPa)	0	-0.1	-0.5	-1	-1	-1	-1
Paliekošā deformācija (Ev2 45-100MPa)	0	-0.5	-3	-5	-7	-9	-10
Paliekošā deformācija (Ev2 25-45MPa)	0	-1	-8	-20	-30	-50	-70
Paliekošā deformācija (Ev2 <25MPa)	0	-5	-50	-200			



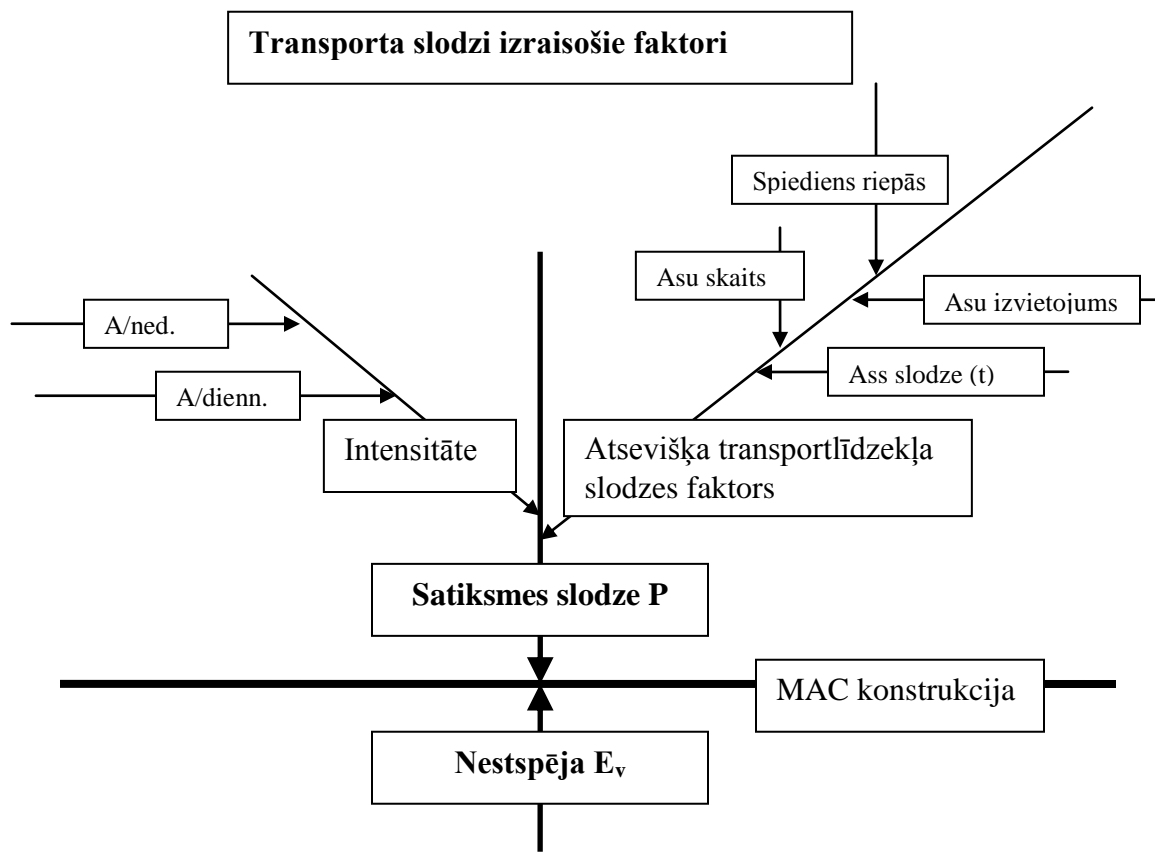
#### 4. ATTĒLS Paliekošo deformāciju veidošanās atkarībā no intensitātes un ceļa nestspējas

Norādītajos grafikos skaitliskās vērtības ir informatīvas, tās nav noteiktas MAC nestspējas mērīšanas rezultātā.

Zemas nestspējas autoceļiem mazs pārbraukušo NAS daudzums rada ļoti lielas paliekošās deformācijas. Augstas nestspējas autoceļiem liels pārbraukušo NAS daudzums deformācija praktiski neveido.

Normētās ass slodzes (NAS) daudzums dažādiem kravas automobiļiem var būt atšķirīgs. Tas ir atkarīgs no riteņu asu skaita, izvietojuma, faktiskās masas un tās izvietojuma pa asīm, spiediena riepās. Viena piekrauta kokvedēja NAS daudzums parasti ir 2-3. Ja slodze uz kādas no asīm ievērojami pārsniedz 10t, tad NAS lielums var būt 3-5 un pat vairāk. Tukšam transportlīdzeklim NAS lielums var būt arī 0,5. Pieminētajām skaitliskajām vērtībām ir tikai informatīvs raksturs.

Satiksmes ietekme ir atkarīga no vairāku faktoru kopuma (5.attēls).



### 5. ATTĒLS Transporta slodzi veidojošie faktori

Visu faktoru kopums rada satiksmes slodzi. Jo lielāka ir satiksmes slodze, jo augstāka nestspēja ir nepieciešama efektīvai MAC ekspluatācijai.

#### 4.3.1. Ass slodzes, asu skaita un izvietojums ietekme uz MAC

Ass slodzes ietekmes noteikšanai ir izmantota Krievijā izstrādāta metodika ODN 218.046-01 (2001. gads). Atskaite ass slodze (normētā ass slodze) ir pieņemta 10t, jo šāda ass slodze līdz šim ir izmantota ceļu konstrukciju projektēšanā un ir arī atļauta saskaņā ar Ceļu Satiksmes noteikumiem (CSN). Šī metodika apskata arī asu skaita un izvietojuma ietekmi uz ceļa konstrukciju.

Ass slodze, asu skaits un izvietojums kopā tiek raksturots ar atsevišķa transportlīdzekļa slodzes redukcijas koeficientu. Zemāk ir noteikti atsevišķa transportlīdzekļa slodzes redukcijas koeficienti dažādiem slogojuma modeļiem. Metode ir domāta redukcijas koeficientu aprēķinam uz asfaltētiem ceļiem. Uz nesaistīta seguma ceļiem redukcijas koeficienti var būt atšķirīgi, taču attēlotie salīdzinājumi dod priekšstatu, cik būtiski transportlīdzekļa ietekme mainās atkarībā no kravas lieluma un izvietojuma.



Piemēri atsevišķa transportlīdzekļa slodzes redukcijas koeficienta noteikšanai attēloti 6.-9.attēlos.

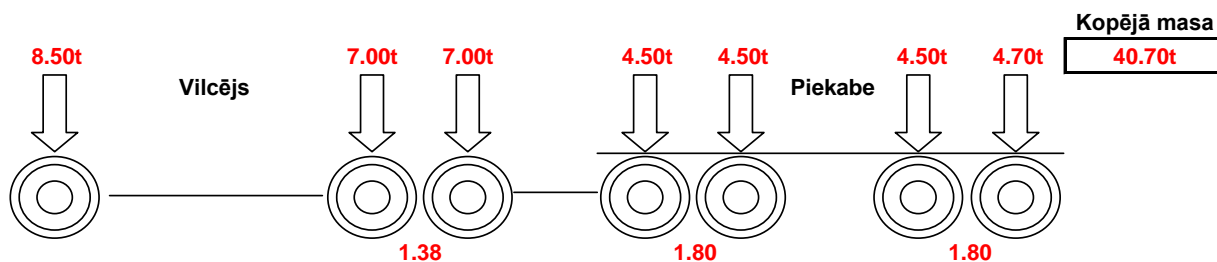
Faktiskā masa 40t

### AUTOMOBĪĻA ASS SLODŽU REDUKCIJAS KOEFICIENTU APRĒĶINA PIEMĒRS (7 ASIS)

Nominālā ass slodze,  $P_n$  (t)

10.00t

Ass slodze,  $P_a$  (t)



Attālums starp ārējām asīm, d (m)

Tuvu stāvošas automašīnu asis ir tās asis, kuru attālums ir mazāks par 2,5m (jāievērtē  $K_{iet}$  koeficients)

Slodžu redukcijas koeficients  $S_n$ ,  
ievērojot tuvu stāvošo asu  
pastiprināto ietekmi uz ceļa segu

$$S_n = \left( \frac{P_a}{P_n} \right)^4 = 0.522$$

$$S_{n,iet} = \left( \frac{P_a}{P_n} \right)^4 K_{iet} = 0.299$$

0.299

0.054

0.054

0.054

0.064

$S_m$

1.35

Ratiņu parametri

Ratiņi	a	b	c
2-asu	1.7	0.43	0.5
3-asu	2	0.46	1

$S_m$  - Summārais ass slodžu redukciju koeficients

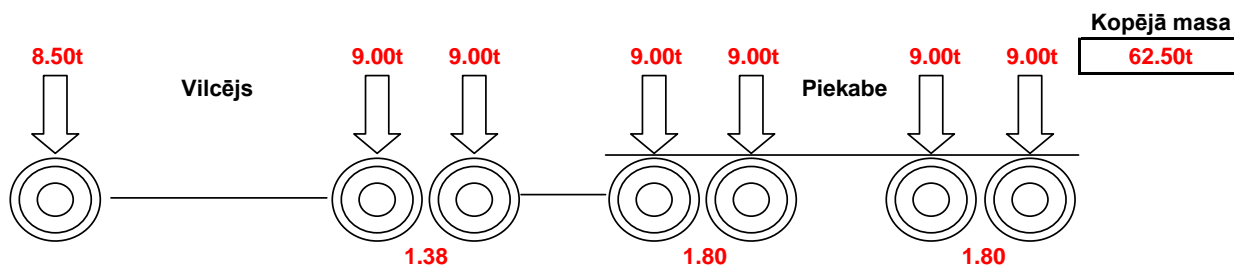
**6.ATTĒLS** Atsevišķa transportlīdzekļa slodzes redukcijas koeficients ir 1,35, ja transportlīdzeklis ir piekrauts atbilstoši CSN un netiek izmantotas speciālas atļaujas.

Faktiskā masa ir 62,5 t

## AUTOMOBĪĻA ASS SLODŽU REDUKCIJAS KOEFICIENTU APRĒĶINA PIEMĒRS (7 ASIS)

Nominālā ass slodze,  $P_n$  (t) **10.00t**

Ass slodze,  $P_a$  (t)



Attālums starp ārējām asīm, d (m)

Tuvu stāvošas automašīnu asis ir tās asis, kuru attālums ir mazāks par 2,5m (jāievērtē  $K_{iet}$  koeficients)

Slodžu redukcijas koeficients  $S_n$ ,  
ievērojot tuvu stāvošo asu  
pastiprināto ietekmi uz ceļa segu

$$S_n = \left( \frac{P_a}{P_n} \right)^4 = 0.522$$

$$S_{n,iet} = \left( \frac{P_a}{P_n} \right)^4 K_{iet} = 0.818 \quad 0.818$$

$$0.865 \quad 0.865 \quad 0.865 \quad 0.865$$

$$S_m = 5.62$$

Ratiņu parametri

Ratiņi	a	b	c
2-asu	1.7	0.43	0.5

$S_m$  - Summārais ass slodžu redukciju koeficients

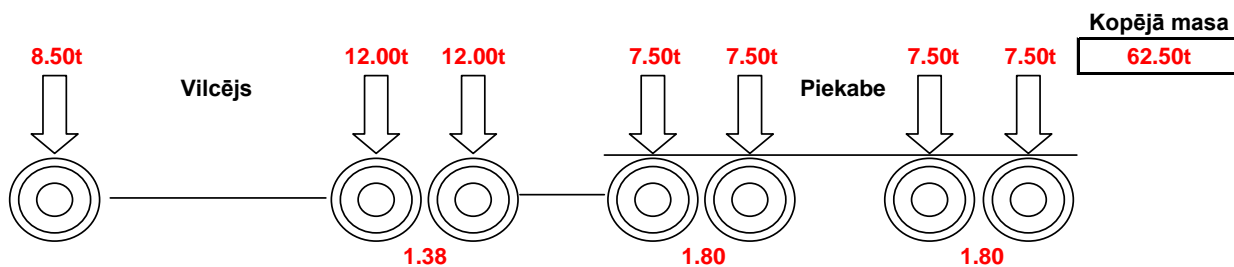
**7.ATTĒLS** Ass slodzes atbilst CSN, nav atbilstoša pilna masa. Slodzes redukcija koeficients šādā gadījumā ir 5,6.

Faktiskā masa tāda pati, tikai kravas novietojums ir atšķirīgs

## AUTOMOBĪĻA ASS SLODŽU REDUKCIJAS KOEFICIENTU APRĒĶINA PIEMĒRS (7 ASIS)

Nominālā ass slodze,  $P_n$  (t) **10.00t**

Ass slodze,  $P_a$  (t)



Attālums starp ārējām asīm, d (m)

Tuvu stāvošas automašīnu asis ir tās asis, kuru attālums ir mazāks par 2,5m (jāievērtē  $K_{iet}$  koeficients)

Slodžu redukcijas koeficients  $S_n$ ,  
ievērojot tuvu stāvošo asu  
pastiprināto ietekmi uz ceļa segu

$$S_n = \left( \frac{P_a}{P_n} \right)^4 = 0.522$$

$$S_{n,iet} = \left( \frac{P_a}{P_n} \right)^4 K_{iet} = 2.586 \quad 2.586$$

$$0.417 \quad 0.417 \quad 0.417 \quad 0.417$$

$$S_m = 7.36$$

Ratiņu parametri

Ratiņi	a	b	c
2-asu	1.7	0.43	0.5
3-asu	2	0.46	1

$S_m$  - Summārais ass slodžu redukciju koeficients

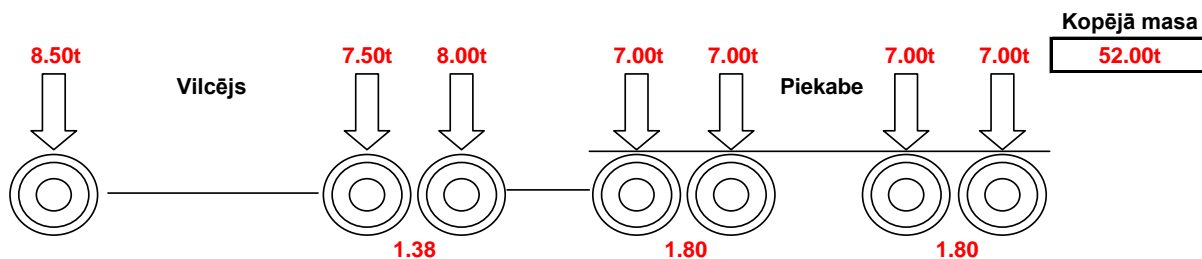
**8.ATTĒLS** CSN neatbilst pilna masa un arī ass masa. Kaut arī pilna masa ir tāda pati kā iepriekšējā piemērā slodzes redukcijas koeficients pieaug no 5,6 uz 7,4. kravas izvietojums nevienmērīgs.

Faktiskā masa 52t. Saskaņā ar LVM sniegto informāciju, lielākā daļa LVM kokmateriālu transportam izmantoto transportlīdzekļu pilna masa ir 52t. Šādu pilno masu pieļauj CSN, ja tiek saņemtas speciālas atļaujas.

### AUTOMOBĪĻA ASS SLODŽU REDUKCIJAS KOEFICIENTU APRĒĶINA PIEMĒRS (7 ASIS)

Nominālā ass slodze,  $P_n$  (t) **10.00t**

Ass slodze,  $P_a$  (t)



Attālums starp ārējām asīm, d (m)

Tuvu stāvošas automašīnu asis ir tās asis, kuru attālums ir mazāks par 2,5m (jāievērtē  $K_{iet}$  koeficients)

Slodžu redukcijas koeficients  $S_n$ ,  
ievērojot tuvu stāvošo asu  
pastiprināto ietekmi uz ceļa segu

$$S_n = \left(\frac{P_a}{P_n}\right)^4 =$$

0.522

$$S_{n,iet} = \left(\frac{P_a}{P_n}\right)^4 K_{iet} =$$

0.395

0.511

0.316

0.316

0.316

0.316

$S_m$

**2.69**

Ratiņu parametri

Ratiņi	a	b	c
2-asu	1.7	0.43	0.5
3-asu	2	0.46	1

$S_m$  - Summārais ass slodžu redukciju koeficients

**9.ATTĒLS** Transportlīdzekļa redukcijas koeficients ir 2,7. Šādi piekrauts transportlīdzeklis atbilst CSN (ja ir saņemta speciāla atļauja) un visbiežāk tiek izmantots kokmateriālu transportam. Pētījuma ietvaros pārsvarā tiks noteikta šāda transportlīdzekļa ietekme uz MAC konstrukciju.

Kopējā kravas transportlīdzekļu ietekme tiek raksturota kā normēto ass slodžu (NAS) pārbraucienu skaits. Automobiļu uzskaitē tiek veikta pa tipiem. Katram tipam tiek noteikts redukcijas koeficients un beigās noteikts summēto NAS pārbraucienu skaits.

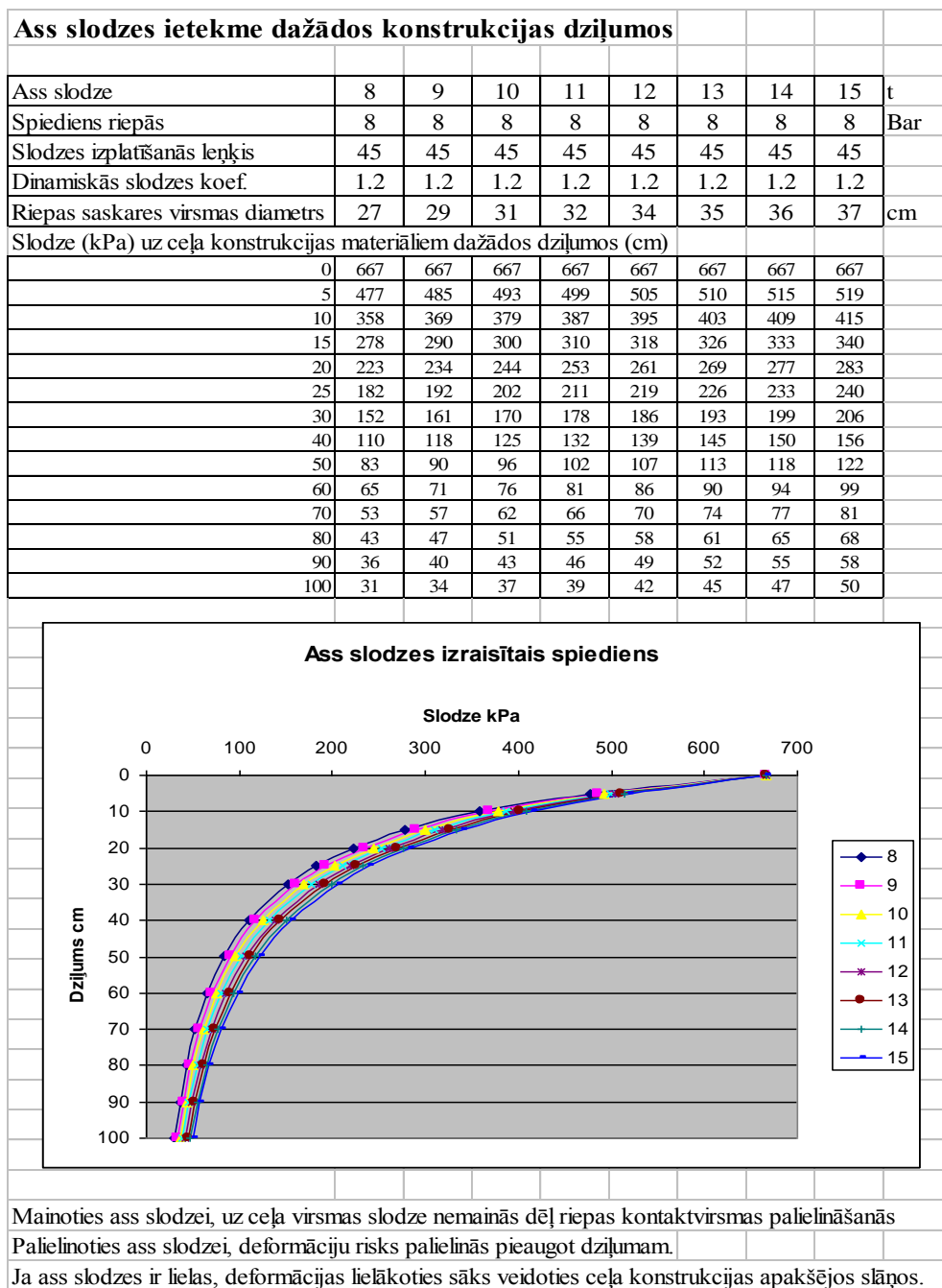
**1.TABULA Kopējās transportlīdzekļu ietekmes (NAS) noteikšanas piemērs**

Transportlīdzekļu tipi									
Asu skaits	Transportlīdzekļa svara sadalījums pa asīm (t)							Transportlīdzekļu skaits	EDTA
	1	2	3	4	5	6	7		
2-asis	6.6	11						0	0.00
3-asis	7.15	11	10.8					0	0.00
4-asis	8	11	10	9				5	17.65
5-asis	7.15	11	10.5	10	9			0	0.00
6-asis	9.85	12.25	11.55	8.4	10.25	6.1		3	20.14
7-asis	7.7	9.55	9.1	6.9	7.2	6.25	7.15	50	138.92
Transportlīdzekļu kopējais skaits								<b>58</b>	<b>176.71</b>

Piezīme: EDTA – katra transportlīdzekļa tipa NAS skaits diennaktī.

1.tabulā ir redzams, ka 58 pārbraukušajiem kravas transportlīdzekļiem kopējais NAS skaits ir 177. Ja ass slodze ievērojami pārsniedz 10t, tad slodzes redukcijas koeficients pieaug ļoti strauji. Šādi apsvērumi ir balstīti uz teorētiskām aprēķina metodēm. Dabā transportlīdzekļu ietekme var būt atšķirīga, taču teorētiskie modeļi vismaz parāda slodžu ietekmes likumsakarības.

Ass slodzes ietekme dažādos konstrukcijas dziļumos ir mainīga. 10.attēlā redzams teorētisks aprēķins, kā dažādas ass slodzes ietekmē ceļa konstrukcijas slāņus, nemainot riepu spiedienu, dinamisko ietekmi un slodzes izplatīšanās leņķi.



## 10.ATTĒLS Ass slodzes ietekme dažādos dziļumos

Ietekmes dziļuma novērtēšanai izmantots princips, ka slodze dziļumā izplatās pa iekšējā berzes leņķa robežu, tādējādi, slogotais laukums dziļumā paliek lielāks. Lielas ass slodzes ir bīstamas ceļa konstrukcijas dziļākiem slāņiem, tādiem, kas atrodas >20cm dziļumā. Tā kā slodze, palielinoties dziļumam, tiek kļiedēta, tad var pieņemt, ka pret ass slodzi jūtīgākā konstrukcijas daļa ir no 20 līdz 80cm dziļumam. Lielākā dziļumā slodze jau ir relatīvi neliela, un būtisku ietekmi neatstāj.

### 4.3.2. Transportlīdzekļu riepu spiediena ietekme

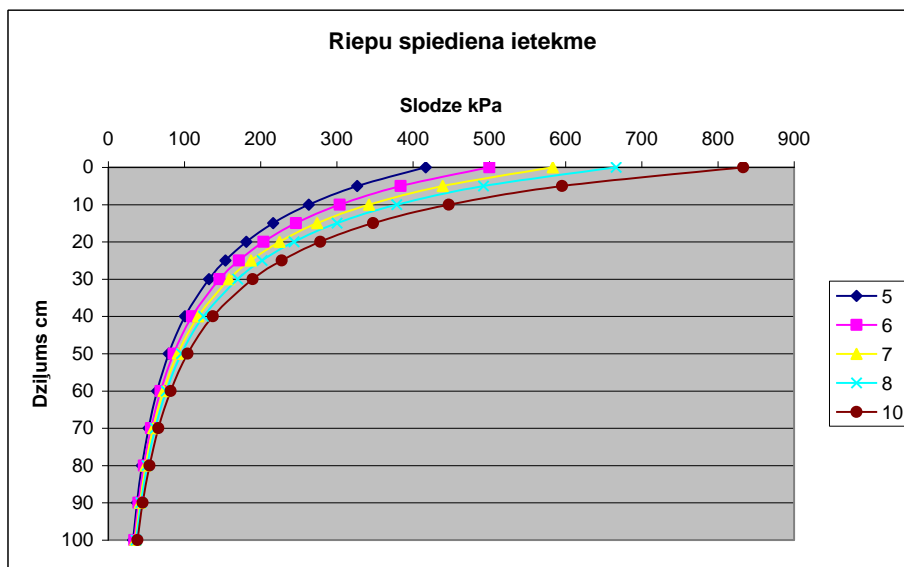
Riepu spiediena ietekmes teorētiskai analīzei ir izmantota Krievijā izstrādāta metodika ODN 218.046-01 (2001. gads). Aprēķina dati ir apkopoti tabulā un attēloti 11.attēlā:

#### Riepu spiediena ietekme dažādos konstrukcijas dziļumos

Ass slodze	10	10	10	10	10	10			t
Spiediens riepās	5	6	7	8	9	10			Bar
Slodzes izplatīšanās leņķis	45	45	45	45	45	45			
Dinamiskās slodzes koef.	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2			
Riepas saskares virsmas diametrs	39	35	33	31	29	27			cm

#### Slodze (kPa) uz ceļa konstrukcijas materiāliem dažādos dziļumos (cm)

0	417	500	583	667	750	833		
5	327	384	439	493	545	596		
10	263	304	342	379	414	447		
15	216	246	274	300	325	348		
20	181	204	225	244	262	278		
25	154	171	187	202	215	228		
30	132	146	159	170	180	190		
40	101	110	118	125	132	137		
50	79	86	91	96	100	104		
60	64	69	73	76	79	82		
70	53	56	59	62	64	66		
80	44	47	49	51	53	54		
90	38	40	41	43	44	45		
100	32	34	35	37	38	38		



Riepu spiedienam vislielākā ietekme ir uz konstrukcijas virsmu.

Riepu spiediens visvairāk ietekmē konstrukcijas segumu.

### 11.ATTĒLS Riepu spiediena ietekme uz ceļa konstrukciju

Palielinot spiedienu riepās, samazinās slogojamais laukums, kaut arī svars saglabājas iepriekšējais. Tas nozīmē, ka, palielinot spiedienu riepās, slodze uz laukuma vienību pieaug. No grafika redzams, ka riepu spiedienam ir ļoti liela ietekme uz MAC seguma virsmu. Ietekme samazinās

konstrukcijas dziļumā. 30-40cm dziļumā riepu spiediena izmaiņas būtiski nemaina ietekmi uz ceļa konstrukciju.

Riepu spiediena samazināšana palielina riepas kontakvirsmas laukumu, līdz ar to tā pati slodze tiek pielikta uz lielāku laukumu. Šis faktors ievērojami palielina automobiļu iespēju pārvietoties pa vājas nestspējas autoceļiem, it sevišķi uz bezseguma ceļiem. Riepu spiediena ietekme ir arī pētīta praktiski ROADEX II ietvaros. Novērojumi apstiprina, ka samazināts spiediens kravas automobiļu riepās izraisa mazākas segas deformācijas.

#### **4.3.3. Materiāla iekšējā berzes leņķa ietekme**

Materiāla iekšējais berzes leņķis ir uzskatāms par slodzes izplatīšanās leņķi ceļa konstrukcijā. Jo lielāks iekšējās berzes leņķis, jo uz lielāku laukumu izkliedējas slodze. Rupjiem, akmeņainiem materiāliem (akmeņaina grants vai šķembas) šis leņķis ir samērā liels 40-45<sup>0</sup>. Mālainām gruntīm iekšējās berzes leņķis var būt arī <20<sup>0</sup>. Materiāla iekšējās berzes leņķim ir vistiešākā saistība ar nestspēju.

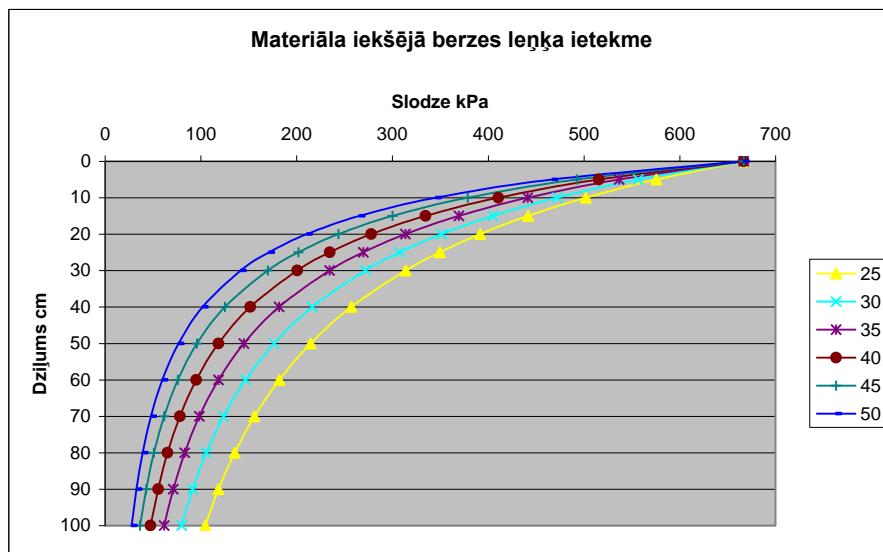
ROADEX II veiktajā pētījumā, izdarot secinājumus no praktiskiem novērojumiem, rekomendē ceļa virsējās kārtas būvēt no tīriem, „laba sastāva” materiāliem t.i., tādiem, kuru granulometriskais sastāvs veido noturīgu minerālo karkasu.

12.attēlā redzamajā grafikā ir attēlots slodzes lielums ceļa konstrukcijā dažādos dziļumos atkarībā no iekšējā berzes leņķa.



### Materiālu iekšējā berzes leņķa ietekme dažādos konstrukcijas dziļumos

Ass slodze			10	10	10	10	10	10	t
Spiediens riepās			8	8	8	8	8	8	Bar
Slodzes izplatīšanās leņķis			25	30	35	40	45	50	
Dinamiskās slodzes koef.			1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	
Riepas saskares virsmas diametrs			31	31	31	31	31	31	cm
Slodze (kPa) uz ceļa konstrukcijas materiāliem dažādos dziļumos (cm)									
0			667	667	667	667	667	667	
5			576	557	537	516	493	467	
10			502	472	441	411	379	345	
15			442	405	369	335	300	266	
20			392	351	314	278	244	211	
25			350	308	270	235	202	171	
30			314	272	234	201	170	142	
40			257	216	182	152	125	102	
50			215	176	145	119	96	77	
60			182	147	118	95	76	60	
70			156	124	98	78	62	48	
80			135	106	83	65	51	39	
90			119	92	71	55	43	33	
100			105	80	62	48	37	28	



Iekšējais berzes leņķis neietekmē spiedienu uz konstrukcijas virsmas

Iekšējā berzes leņķa ietekme ievērojami pieaug dziļumā.

Iekšējā berzes leņķa ietekme ir ļoti liela jau 10cm dziļumā

### 12.ATTĒLS Materiāla iekšējā berzes leņķa ietekme uz ceļa nestspēju

Iekšējās berzes leņķis ietekmē slodzei pakļauto laukumu dziļākos konstrukcijas slāņos. Jo lielāks leņķis, jo ātrāk pieaug slogojamais laukums, mainoties dziļumam. Jo biezāks materiāla slānis, jo nozīmīgāks ir tā iekšējais berzes leņķis. Ir svarīgi, lai ceļa konstrukcijas virskārtā būtu materiāli ar lielu iekšējās berzes leņķi.

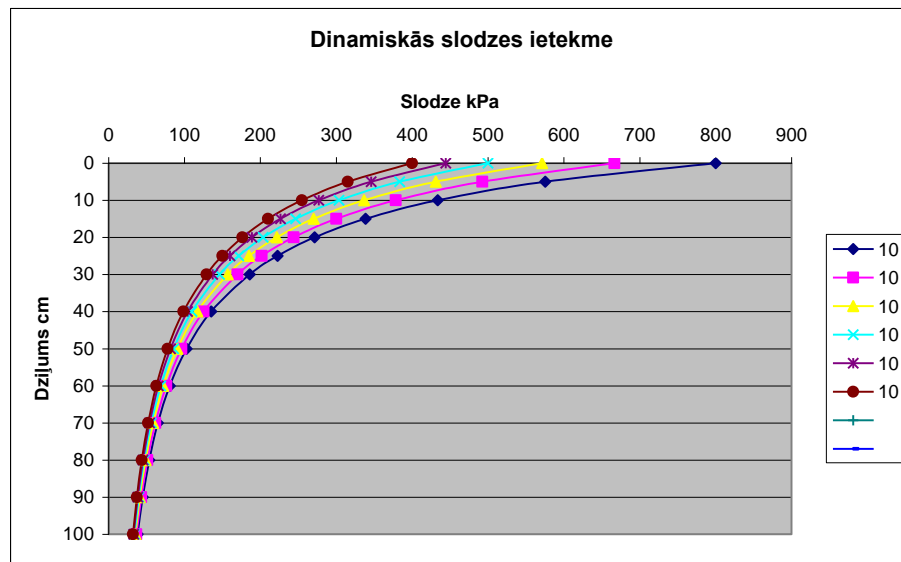
Iekšējās berzes leņķis lielā mērā ir atkarīgs no materiāla granulometrijas. Vienmērīgas granulometrijas materiāliem šis leņķis vienmēr ir lielāks.

#### 4.3.4. Braukšanas ātruma ietekme uz ceļa konstrukciju

Kravas transportlīdzeklim pārvietojoties, ceļa virsmas nelīdzenums izraisa transportlīdzekļa svārstības un līdz ar to izsauc slodzes iedarbības dinamisku raksturu. Šī iedarbība tiek izteikta ar slodzes dinamiskuma koeficientu. Jo nelīdzenāks ceļš, jo lielākas svārstības, jo lielāka slodzes ietekme. Tādu pašu efektu izsauc arī ātrums – jo lielāks kustības ātrums, jo lielākas svārstības, jo lielāka slodzes ietekme. Praktiskos apstākļos transportlīdzekļu slodzei vienmēr ir dinamisks raksturs. Teorētiski dinamiskuma koeficienta ietekme ir attēlota 13.attēlā:

##### Dinamiskās slodzes ietekme

Ass slodze	10	10	10	10	10	10			t
Spiediens riepās	8	8	8	8	8	8			Bar
Slodzes izplatīšanās leņķis	45	45	45	45	45	45			
Dinamiskās slodzes koef.	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2			
Riepas saskares virsmas diametrs	28	31	33	35	37	39			cm
Slodze (kPa) uz ceļa konstrukcijas materiāliem dažādos dziļumos (cm)									
0	800	667	571	500	444	400			
5	575	493	431	384	346	315			
10	434	379	337	304	277	255			
15	339	300	270	246	227	210			
20	272	244	222	204	189	176			
25	223	202	185	171	160	150			
30	186	170	157	146	137	129			
40	135	125	117	110	104	99			
50	103	96	90	86	82	78			
60	81	76	72	69	66	63			
70	65	62	59	56	54	52			
80	54	51	49	47	45	44			
90	45	43	41	40	38	37			
100	38	37	35	34	33	32			



Slodzes dinamiskās īpašības visvairāk ietekmē seguma virsmu.

Slodzes dinamiskuma ietekme samazinās dziļumā.

Jau 30cm dziļumā slodzes dinamiskuma ietekme ir neliela.

#### 13.ATTĒLS Dinamiskās slodzes ietekme uz ceļa konstrukciju

Palielinoties braukšanas ātrumam, palielinās slodzes ietekmes dinamiskais koeficients. Stāvošai mašīnai šis koeficients ir 1,0. Jo lielāks kustības ātrums, jo spēcīgāku ietekmi rada automobiļa svārstības kustības gaitā. Slodzes dinamiskai iedarbībai vislielākā ietekme ir uz seguma virsmu. Ja seguma materiālam ir maza bīdes pretestība (mitras, mālaines gruntis vai sausa smilts), dinamiskai slodzei ir liela nozīme. Tas nozīmē, ka šādi ceļi ir jāuztur līdzīgi un transportlīdzekļu pārvietošanās ātrums nedrīkst būt liels.

#### **4.3.5. Satiksmes intensitātes ietekme**

Vispārīgi var uzskatīt, ka katrs transportlīdzekļa pābrauciens atstāj paliekošu deformāciju ceļa konstrukcijā. Visas deformācijas summējas. Kopējā deformācija ir visu pābraucienu izraisīto deformāciju summa. Katra ceļa konstrukcija ir piemērota noteikta daudzuma normēto ass slodžu (NAS) pārlaišanai. Teorētiski pābraucot 1000 NAS vienā dienā vai 1000 NAS viena gada laikā, paliekošās deformācijas lielums ir vienāds.

Praktiski novērojumi liecina, ka, lai pēc automobiļa pābrauciena atjaunotos elastīgā deformācija, ir nepieciešams laiks. Tā neatjaunojas momentāni pēc slodzes noņemšanas. Šis elastīgās deformācijas laiks dažādiem materiāliem var būt dažāds. Jebkurā gadījumā ir vēlams laika intervāls starp kravas transportlīdzekļu pābraucieniem. Praktiski šim laikam vajadzētu būt >1min.

ROADEX II pētījumā minēts eksperiments, kad uzreiz piekrauts kravas transportlīdzeklis pābrauc 10 reizes pār vienu ceļa posmu, kura segums ir nesen atkūsis un ir pārmitrināts. Straujš sabrukums iestājas pie pēdējiem pābraucieniem. Ūdens tiek uzsūknēts no dziļākiem konstrukcijas slāņiem virspusē, segums zaudē nestspēju. Veicot grunts spriegumu mērījumus, tika konstatēts, ka deformācijas atjaunošanās laiks ir 18s pēc transportlīdzekļa pārbraukšanas. Ja netiek ļauta deformācijas atjaunošanās, notiek ūdens uzsūkšanās un ievērojams nestspējas zudums. Rekomendācija: transportlīdzekļiem jābrauc ar laika intervālu.

#### **4.3.6. LVM lietoto kravas transportlīdzekļu raksturojums**

LVM kokmateriālu transportēšanu veic līgumorganizācijas, kuru transportlīdzekļi tipi ir dažādi. LVM nav statistikas par izmantojamo transporta tehniskajiem parametriem. Kamēr nav precīzāku datu par kravas transportlīdzekļu tipiem, tos var iedalīt 2 veidos – kravas transportlīdzeklis ar kravu un bez tās. Praktiski, kā slodzi izraisošs faktors tika lietots tikai kokvedējs ar kravu, kas atbilst normatīvo aktu prasībām.

Paralēli šim pētījumam tiek veikts pētījums, kurā tiek pētīts riepu spiediena samazināšanas ietekme uz ceļa konstrukciju. Atskaides sagatavošanas brīdī – 2014. gada jūlijā, vēl nav iegūti dati, kas būtu izmantojami, nosakot MAC komplekso izmantošanas rādītāju.

#### **4.3.7. Transporta slodzes ietekmes mērīšana**

Transportlīdzekļu ietekmes sekas ir paliekošās deformācijas ceļa konstrukcijā. Ceļa nestspēja ir galvenais faktors, kas nosaka deformāciju veidošanos. Lai novērtētu transportlīdzekļu izraisīto ietekmi uz dažādiem MAC, dažādos apstākļos, tika veikti nestspējas mērījumi un defektu novērtējumi kokmateriālu izvešanas laikā vai īsi pēc izvešanas. Precīza un ilgstoša kokmateriālu transporta ietekmes novērtēšana kokmateriālu izvešanas laikā dažādos laikapstākļos ir ļoti laikietilpīga un grūti noorganizējama. Tādēļ dažkārt defekti tika novērtēti un nestspēja uz MAC tika mērīta īsi pēc kokmateriālu izvešanas. Pārbraukušo transportlīdzekļu daudzums tika novērtēts aptuveni.

Ņemot vērā vispārīgus novērojumus, kas veikti eksperimentālo MAC apsekošanas laikā, ir noteiktas nestspējas robežvērtības un transporta izraisītās deformācijas. Rezultāti apkopoti 2.tabulā.

**2.TABULA      Transporta slodzes ietekme**

<b>Ekspluatācijas klase</b>	<b>KoMACir</b>	<b>Ekspluatācijas nosacījumi</b>	<b>Iespējamie defekti</b>
A	>300	Ceļš lietojams bez ierobežojumiem. Šādi ceļi jācenšas maksimāli izmantot	Praktiski nav
B	220-300	Ceļš lietojams bez ierobežojumiem	Neliels seguma nodilums, rodas sīki virsmas defekti
C	160-220	Pārsvarā ceļš lietojams bez ierobežojumiem. Ja segums ir pārmitrināts vai slapjš, satiksmi vēlams ierobežot	Segumā veidojas defekti, kas jānovērš ar periodiskiem uzturēšanas darbiem
D	110-160	Pārlaižamais transportlīdzekļu skaits ir ierobežots. Ekspluatācijas laikā periodiski jāveic seguma uzturēšana	Katrs automobiļa pārbrauciens rada nelielu paliekošu deformāciju
E	70-110	Ekspluatācija ir ierobežota. Seguma pielīdzināšana nepieciešama ik pēc apm.10 pārbraucieniem	Katrs pārbrauciens rada ievērojamu paliekošu deformāciju
F	25-70	Ekspluatācija nav pieļaujama. Var pārbraukt daži kravas automobiļi	Ceļš tiek sagrauts pilnībā
G	<25	Visdrīzāk kravas automobilis pa šādu ceļu neizbrauks	Ceļš tiek sagrauts pilnībā

G kategorija pagaidām netiek lietota, taču šāda iespēja tiek atstāta. Uzkrājot pieredzi par piekrautu kokvedēju ietekmi uz MAC, robežvērtības var tikt mainītas.

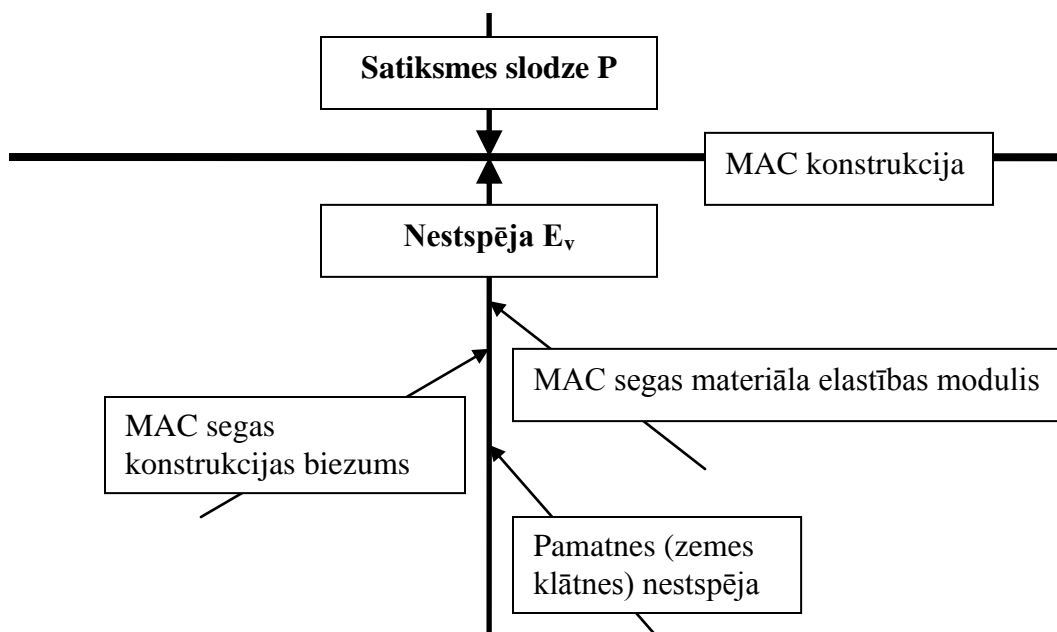
#### **4.4.      Ceļa konstrukcijas nestspēja**

##### **4.4.1.    Nestspējas nozīme**

Ceļa konstrukcijas nestspēja ir lielums, kas raksturo spēju izturēt slodzes. Šī pētījuma ietvaros nestspēja tiek apzīmēta ar lielumu  $E_v$ . Šāds apzīmējums tiek ļoti plaši lietots Eiropā.  $E_v$  noteikšanai būvlaukumā ir izveidotas gan standartmetodes, gan operatīvās testēšanas metodes.

Konstrukcijas nestspēju ietekmē pielietojamo materiālu elastības modulis, nesošo konstruktīvo kārtu biezums un pamatnes (zemes klātnes) nestspēja, skatīt 14.attēlu. Katru no šiem faktoriem savukārt ietekmē virkne citu faktoru, piemēram, elastības modulis ir atkarīgs no materiāla sablīvējuma pakāpes, granulometriskā sastāva, mitruma pakāpes u.c.

Nosakot visus nestspēju ietekmējošos faktorus un analizējot to ietekmi, var noteikt ceļa konstrukcijas nestspēju arī neveicot tiešus mērījumus uz vietas. Šādai netiešai nestspējas noteikšanas metodei ir ierobežota precizitāte, taču daudzos gadījumos šī precizitāte var būt pietiekoša.



#### 14.ATTĒLS Galvenie MAC nestspēju ietekmējošie faktori

Katru no galvenajiem faktoriem savukārt ietekmē virkne citu faktoru. Turklāt šo faktoru ietekme ir atkarīga arī no gadalaika un seguma materiāla veida. Lai attēlotu nestspēju ietekmējošos faktorus, būtu jāveido trīsdimensiju tabula, kurā uz vienas ass būtu segumu veidi, uz otras ass – gadalaiki, uz trešās ass – ietekmējošie faktori. Tad tabulā varētu attēlot katra faktora ietekmes lielumu, uz ceļa konstrukciju noteiktā gadalaikā. Taču arī šajā gadījumā ietekmes lielums noteiktā gadalaikā noteiktam seguma ir mainīgs, atkarībā no nokrišņu daudzuma un temperatūras. Vienkāršots nestspēju ietekmējošo faktoru uzskaitījums ceļiem ar segumu ir attēlots 3.tabulā.

### 3.TABULA Nestspēju ietekmējošo faktoru nozīme

Nestspēju ietekmējošais faktors	Gadalaiks							
	Ziema	Atkusnis	Pav.šķīd.	Pavasaris	Vasara	Rudens	Rud.šķīd	Sasalums
Seguma materiāla granulometrija	-	0,76-1,11	0,76-1,11	0,78-1,11	0,78-1,11	0,78-1,11	0,54-1,0	0,54-1,0
Seguma materiāla tīrība	-	0,65-1,0	0,65-1,0	-	-	-	-	-
Seguma materiāla biezums	-	0,56-1,0	0,56-1,0	0,72-1,0	0,72-1,0	0,72-1,0	0,56-1,0	0,56-1,0
Drenējošā slāņa biezums un zemes klātnes materiāla veids	-	-	-	0,75-1,0	-	-	-	-
Ūdens novades sistēmas kvalitāte	-	-	0,61-1,45	-	-	-	-	-
Nokrišņu daudzums	-	-	-	0,76-1,0	0,76-1,0	0,76-1,0	0,76-1,0	0,76-1,0
1. PIEZĪME: Seguma materiāla granulometrijas ietekmes robežas ir uzrādītas <u>tikai 20cm</u> biežam slānim. 2. PIEZĪME: Seguma kārtas biezuma ietekme norādīta salīdzinoši <u>dabīgas akmeņainas grants</u> kārtai 10-30cm biežumā, beznokrišņu periodā								

#### 4.4.2. Nesošo kārtu materiāla granulometrijas un biezuma ietekme

Galvenais parametrs, kas raksturo ceļa pamata un seguma materiālu, ir elastības modulis. Elastības moduli pastarpināti var raksturot ar tādiem parametriem kā filtrācija, granulometriskais sastāvs, smalko daļiņu saturs u.c.

Optimālas granulometrijas minerālmateriālu maisījumiem elastības modulis ir augstāks, nekā vienādgraudu materiāliem. Augsta filtrācija un zems smalko daļiņu saturs samazina elastības moduļa samazināšanos mitruma ietekmē.

Pētījuma ietvaros tika noteikta materiāla īpašību ietekme uz ceļa nestspēju. Detāla informācija par metodiku un sākotnējie rezultāti atrodama pētījuma pielikumā „Eksperimentālo MAC mērījumu un novērojumu vērtējums” (2.pielikums).

Pētījuma gaitā materiāla ietekme tika precizēta. Tika izdalītas 7 seguma materiāla pamatgrupas. Dolomīta šķembu un asfaltbetona segums pētījuma gaitā ir maz pētīts, jo, uzsākot pētījumu, šādu ceļu bija maz. Dolomīta šķembu seguma aprēķins ir iekļauts, taču nav detāli pārbaudīts.

Salīdzināšanai ir izveidota maksimālās nestspējas tabula ar dažādiem materiālu veidiem dažādu biezuma slāņos (5.tabula). Salīdzinājums derīgs sekojošiem nosacījumiem: gadalaiks – vasara vai rudens; vienāds kārtas biezums; vismaz 10 dienu beznokrišņu periods; ar drenējošo slāni vai smilšainu zemes klātni, vienādi mitrumapstākļi. Par atskaites materiālu un biežumu pieņemts tipisks MAC segums, kas atbilsts specifikācijām – akmeņaina grants, 20cm bieža kārta. Aprēķina metodika (formulas, koeficienti) ir pielikumā .xls failā Nestspējas algoritmi 2014.02.05 (3.pielikums).

Aprēķinā tiek izmantots trešās pakāpes polinoms:

$$E_{\max} = a_{\max} \times h^3 + b_{\max} \times h^2 + c_{\max} \times h + k_{\max}$$

Kur h=biezums, a,b,c,k – koeficienti.

Piemēram (4.tabula), akmeņainas grants segumam ir sekojoši koeficienti:

**4.TABULA Maksimālās nestspējas aprēķina koeficienti (piemērs)**

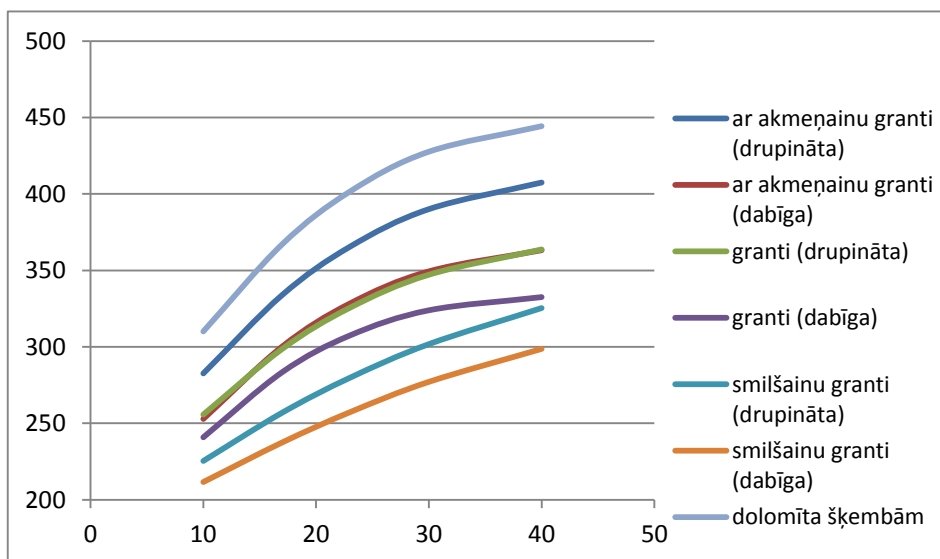
Nemainīgie ceļa parametru raksturotāji		Maksimālā nestspēja			
Ceļa tips	Apakšt.	a <sub>max</sub>	b <sub>max</sub>	c <sub>max</sub>	k <sub>max</sub>
Ar segumu	ar akmeņainu granti (drupināta)	0.001	-0.23	12.68	177
Ar segumu	ar akmeņainu granti (dabīga)	0.002	-0.23	12.26	152.2

Piezīme: Nav redzami visi skaitļi aiz komata.

**5.TABULA Seguma materiāla un biezuma ietekmes salīdzinājums**

biezums	E <sub>v</sub> MPa					% salīdzinoši ar akm.gran.				
	30	25	20	15	10	30	25	20	15	10
ar akmeņainu granti (drupināta)	390	374	351	321	283	124	118	111	102	90
ar akmeņainu granti (dabīga)	349	336	<b>316</b>	288	253	111	106	<b>100</b>	91	80
granti (drupināta)	347	333	313	288	256	110	105	99	91	81
granti (dabīga)	324	313	297	273	241	103	99	94	87	76
smilšainu granti (drupināta)	302	287	269	249	225	96	91	85	79	71
smilšainu granti (dabīga)	277	263	248	230	212	88	83	78	73	67
dolomīta šķembām	428	410	386	353	310	135	130	122	112	98

No tabulas redzams, ka pie noteiktos apstākļos, piemēram, 20 cm drupinātas akmeņainas grants segums nodrošina to pašu nestspēju, ko nodrošina 30 cm dabīgas akmeņainas grants segums. Vai 10 cm dolomīta šķembu segums nodrošina aptuveni tādu pašu nestspēju kā 20 cm dabīgas akmeņainas grants segums. Iegūtie rezultāti attēloti arī 15.attēlā.



**15.ATTĒLS Nestspējas atkarība no seguma materiāla un biezuma**

Piezīme: x ass – biezums (cm); y ass nestspēja (MPa), kas noteikta ar LFWD

Faktiski pārbaudot teorētisko aprēķinu, tika konstatētas novirzes, taču vidējie rezultāti atbilst šīm likumsakarībām. Precizitātes novērtējums dažādos gadalaikos, un dažādiem ceļa segumu veidiem ir iekļauts pielikumā „Meža autoceļu izmantošanas lēmuma pieņemšanas rīka izveide (kompleksais meža autoceļu izmantošanas rādītājs)” 7.etapa atskaite.

Salīdzinot minimālo nestspēju (pie maksimāli nelabvēlīgākā nokrišņu daudzuma) situācija ir nedaudz atšķirīga (6.tabula):

**6.TABULA Seguma materiāla un biezuma ietekmes salīdzinājums**

	E <sub>v</sub> MPa					% salīdzinoši ar akm.gran.				
	40	30	20	15	10	40	30	20	15	10
ar akmeņainu granti (drupināta)	258	241	206	180	147	139	130	111	97	79
ar akmeņainu granti (dabīga)	255	227	<b>185</b>	159	127	137	122	<b>100</b>	85	68
granti (drupināta)	236	216	182	159	131	127	116	98	86	71
granti (dabīga)	240	203	159	134	106	129	110	86	72	57
smilšainu granti (drupināta)	221	196	162	140	116	119	106	87	76	63
smilšainu granti (dabīga)	208	178	142	121	99	112	96	76	65	53
dolomīta šķembām	258	241	206	180	147	139	130	111	97	79



20 cm drupinātas akmeņainas grants segums nodrošina to pašu nestspēju ko nodrošina 25 cm dabīgas akmeņainas grants segums (vislabvēlīgākos apstākļos bija 30 cm). Vai 16 cm dolomīta šķembu segums (vislabvēlīgākos apstākļos 10cm) nodrošina aptuveni tādu pašu nestspēju kā 20 cm dabīgas akmeņainas grants segums.

Citos gadalaikos šīs atšķirības ir savādākas, kā arī ietekmējošie faktori pa gadalaikiem ir atšķirīgi.

Tā kā metodika paredz grants veidu (akmeņaina grants, grants vai smilšaina grants) noteikt vizuāli, tad gadījumos, kad faktiskais rezultāts ir tuvu robežai, vizuāli vērtējot ir iespējams kļūdīties. Kļūdoties, nosakot 20 cm bieza slāņa „grants” vietā „akmeņaina grants”, maksimālās nestspējas aprēķina kļūda veidojas aptuveni 6%, savukārt minimālās nestspējas kļūda veidojas jau 14%.

#### 4.4.3. Seguma materiāla tīrības ietekme

Seguma materiāla tīrībai ir būtiska nozīme atkusnī un pavasara šķīdonī. Māla/putekļu daļiņas seguma materiālā rudenī un ziemā, segas sasalšanas laikā piesaista mitrumu. Segumam atkūstot, palielinātais mitrums samazina segas nestspēju. Analizējot visus rezultātus, tika ieviestas trīs seguma materiāla tīrības klases ar sekojošiem koeficientiem (7.tabula).

**7.TABULA Seguma tīrības ietekmes koeficienti**

Seguma materiāla tīrība	$K_{\text{seg.tir.}}$
tīrs	1
vidēji tīrs	0.85
mālains	0.65

Klasificēšanas kritēriji ir iekļauti pielikumā „Eksperimentālo MAC mērījumu un novērojumu vērtējums” (2.pielikums). Pēc pēdējām ieviestajām korekcijām var secināt, ka visiem tīrības veidiem izkliede ir līdzīga un samērā liela (8.tabula).

**8.TABULA Seguma tīrības ietekmes koeficienti**

		-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	Klase	./-1 klase
Tīrs	116		1	9	16	39	32	15	2	2	Tīrs	75
Vidēji tīrs	93			4	13	25	36	13	2		Vidēji tīrs	80
Mālains	25			1	6	7	5	4	2		Mālains	72

Vidēji tīram segumam faktiskā nestspēja ir nedaudz labāka par aprēķināto.

#### 4.4.4. Drenējošā slāņa ietekme

Sākotnēji, ņemot vērā nestspējas mērījumu datus līdz 2013. gada jūnijam, tika salīdzinātas faktisko mērījumu novirzes no teorētiskajām aprēķina vērtībām dažādos gadalaikos. Salīdzinājums tika veikts starp visiem mērījumiem un mērījumiem, kuri tika iegūti punktos, kur drenējošā slāņa biezums >20cm. Tika konstatēts, ka drenējošais slānis atstāj iespaidu uz nestspēju tikai atkusnī un pavasara šķīdonī. Šis faktors arī tika iekļauts aprēķinā. 2014. gada jūnijā tika veikta atkārtota drenējošā slāņa ietekmes pārbaude iekļaujot jau ievērojami lielāku mērījumu skaitu (1410).

**9.TABULA Izkliedes rādītāji visiem ceļiem**

	Skaits	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	Vid svērtais
Ziema	32					32						0.0
Atkusnis	31			3	6	4	9	5	3	1		0.6
Pavasara šķīdonis	256		1	14	35	78	79	34	8	3	4	0.5
Pavasaris	214		2	13	48	105	37	5	3	1		-0.1
Vasara	417	1	6	31	139	180	54	5	1			-0.4
Rudens	203	1	3	23	74	83	15	3	1			-0.5
Rudens šķīdonis	257		2	11	63	102	53	18	4	3	1	0.1
Sasalums												

**10.TABULA Izkliedes rādītāji vietās, kur drenējošais slānis ir 20cm un vairāk.**

	Skaits	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	Vid svērtais
Ziema	11					11					0.0
Atkusnis	6				2		4				0.3
Pavasara šķīdonis	64			5	12	13	21	9	4		0.5
Pavasaris	59			2	17	35	5				-0.3
Vasara	84			4	25	39	16				-0.2
Rudens	45			4	18	22	1				-0.6
Rudens šķīdonis	70		1	2	17	34	14	2			-0.1
Sasalums											

Salīdzinot vidējo rādītāju novirzes abās tabulās, var secināt, ka tie ir līdzīgi, t.i. pavasarī, vasarā rudenī un rudens šķīdonī drenējošais slānis neatstāj iespaidu uz nestspēju. Atkusnī un pavasara šķīdonī tika iekļauta drenējošā slāņa ietekme. Salīdzinot abu tabulu vidējo svērto novirzi pavasara šķīdonī, var secināt, ka tās ir vienādas. Vidējais svērtais „0,5” liecina, ka attiecīgajā gadalaikā vidēji faktiski izmērītā ekspluatācijas klase ir par 0,5 augstāka nekā aprēķinātā. Pielietojot pieņemtos koeficientus netika konstatētas atšķirīgas ekspluatācijas klašu nobīdes pavasara šķīdonī salīdzinot tos punktus, kur drenējošais slānis ir >20cm, ar visu rezultātu vidējo klases nobīdi pavasara šķīdonī.

Tas apliecina, ka pieņemtie empīriskie drenējošā slāņa ietekmes koeficienti (11.tabula) ir piemēroti.

**11.TABULA Izkliedes rādītāji vietās, kur drenējošais slānis ir 20cm un vairāk.**

Zemes klātnes grunts	Pamatnes ietekmes koeficients $K_{pam}$		
	ar drenējošo slāni >20 cm	Ar drenējošo slāni 10-20cm	Ar drenējošo slāni <10cm
Drenējoša smiltis	1	0.95	0.9
Smiltis	1	0.92	0.85
Mālsmitis	0.98	0.9	0.8
Smilšmāls, organiska grunts	0.9	0.85	0.75

Papildus tika konstatēts, ka vietās kur ceļa konstrukcijai ir drenējošais slānis >20cm, teorētiskais nestspējas aprēķins darbojas precīzāk, t.i. faktiskie rezultāti no teorētiskā aprēķina atšķiras mazāk.

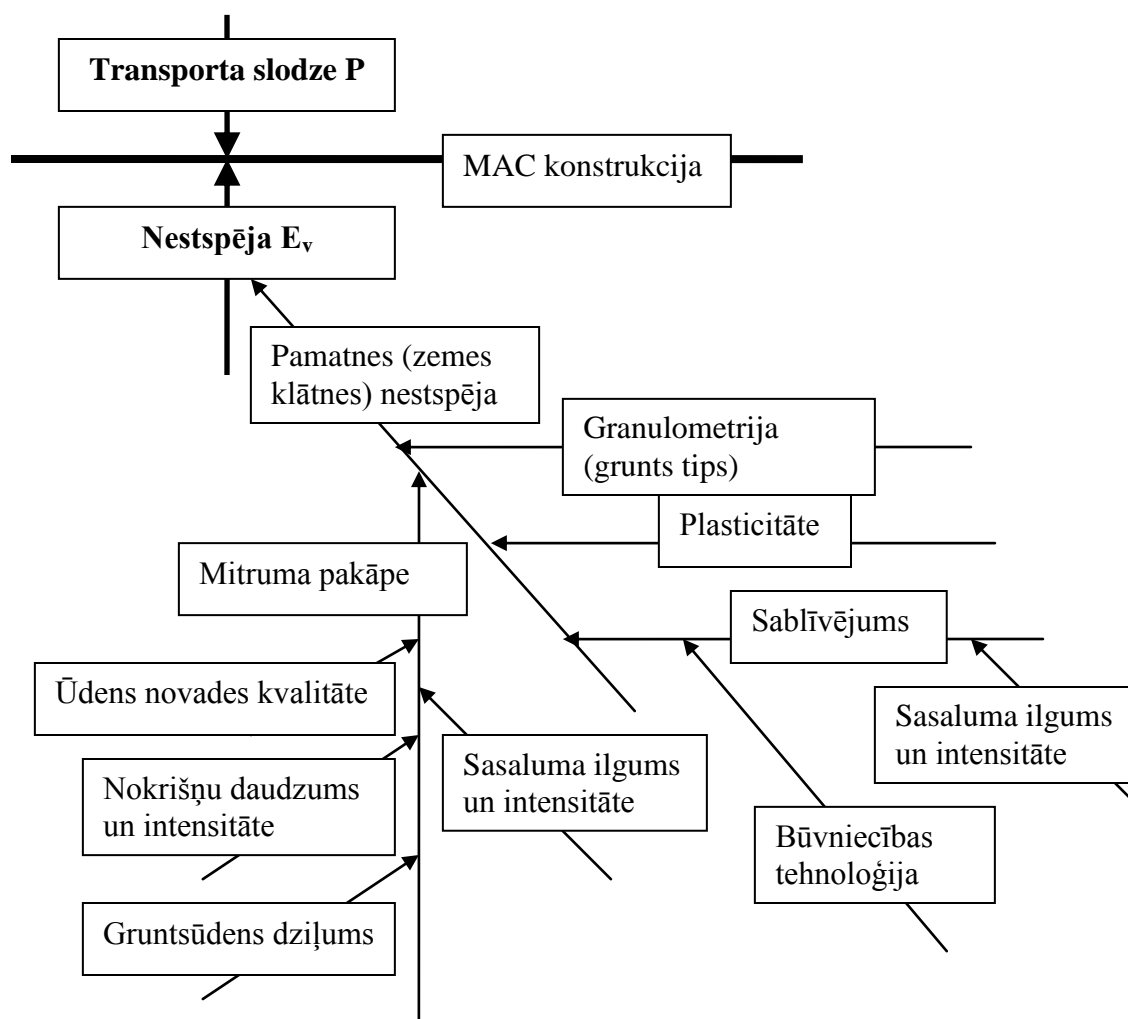
**12.TABULA Drenējošā slāņa ietekmes vērtējums %**

	Visi punkti	Ar dren 20cm un vairāk
Klase	./+/-1 klase	./+/-1 klase
Ziema	100	100
Atkusnis	61	100
Pavasara šķīdonis	75	72
Pavasaris	89	97
Vasara	89	95
Rudens	85	91
Rudens šķīdonis	85	93

Atkušņa datu vērtējums nav objektīvs, jo ir mazs mērījumu skaits.

#### 4.4.5. Zemes klātnes ietekme

Viens no svarīgākajiem elementiem MAC nestspējas nodrošināšanai ir zemes klātne. Zemes ceļiem viens un tas pats materiāls kalpo gan kā zemes klātne, pamats un segums. Zemes klātne lielākoties ir veidota no esošajām gruntīm. Grunšu veidi ir samērā daudz, ar ļoti atšķirīgām ekspluatācijas īpašībām. Tāpat kā nesaistītiem pamatu un seguma materiāliem, zemes klātnes galvenais raksturotājs ir nestspēja. Nestspēja ir mainīgs lielums, un tas ir atkarīgs no materiāla mitruma pakāpes. Jo mitrāks materiāls, jo nestspēja ir mazāka. Nestspējas lielums ir atkarīgs no grunts fizikāli mehāniskām īpašībām, sablīvējuma, mitruma pakāpes. Grunts deformatīvo īpašību raksturošanai tiek lietoti tādi raksturlielumi kā Kalifornijas nestspējas rādītājs (CBR) rādītājs, plasticitātes parametri, iekšējās berzes leņķis, granulometrija u.c. Dažādi ietekmējošie faktori ir attēloti 16.attēlā.



## 16.ATTĒLS Zemes klātnes nestspēju ietekmējošie faktori

Praktiskos apstākļos visu faktoru noteikšana ir ļoti darbietilpīga vai pat neiespējama, tādēļ zemes klātnes raksturošanai tika izmantoti ārējie mitruma pakāpi ietekmējošie faktori un pašas zemes klātnes materiāla tips. Detalizētu tipu raksturojumu skatīt pielikumā „Eksperimentālo MAC mērījumu un novērojumu vērtējums” (2.pielikums).

Būtiskāka zemes klātnes materiāla tipa ietekme ir pavasarī. Šajā periodā zemes klātne ir pilnībā atkususi un vēl ir mitra pēc ziemas sasaluma, arī sala izcilāta. Tiek izdalīti sekojoši zemes klātnes materiālu tipi ar sekojošiem koeficientiem (13.tabula):

**13.TABULA Zemes klātnes un drenējošā slāņa ietekmes koeficienti**

Zemes klātnes grunts	Pamatnes ietekmes koeficients $K_{pam}$		
	ar drenējošo slāni >20 cm	Ar drenējošo slāni 10-20cm	Ar drenējošo slāni <10cm
Drenējoša smiltis	1	0.95	0.9
Smiltis	1	0.92	0.85
Mālsmitis	0.98	0.9	0.8

Smilšmāls, organiska grunts	0.9	0.85	0.75
-----------------------------	-----	------	------

Koeficienti lielā mērā ir pieņemti empīriski, jo sākotnēji bija maz mērījumu datu, lai pieņemtu precīzākus koeficientus. Pēc pēdējās datu apstrādes, tika pārbaudīti pieņemtie koeficienti (14.tabula):

#### 14.TABULA

##### Zemes klātnes materiāla ietekme pavasara šķīdonī (24.jūn.)

	Skaits	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	./-1 klase	Vid svērtais
Smilts	93			3	7	28	40	14	1		81	0.6
Māls	37			6	5	12	9	4	1		70	0.1
Smilšmāls	81		1	2	17	25	23	9	4		80	0.4
Organiska grunts	19			3	6	6		4			63	-0.2

##### Zemes klātnes materiāla ietekme vasarā un rudenī (24.jūn.)

	Skaits	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	./-1 klase	Vid svērtais
Smilts	326		1	16	106	157	42	4			94	-0.3
Māls	87		1	11	28	41	6				86	-0.5
Smilšmāls	113	2	7	8	48	43	5				85	-0.8
Organiska grunts	29			6	13	6	4				79	-0.7

Pavasara šķīdonī pieņemtie koeficienti ar smilts un smilšmāla zemes klātni uzrāda lielākas novirzes, faktiskā nestspēja ir augstāka par aprēķināto. Ieteicams veikt papildus zemes klātnes materiāla ietekmes novērtēšanu pavasara šķīdonī un nepieciešamības gadījumā koriģēt ietekmes koeficientus. Ir novērota arī samērā liela rezultātu izkliede.

Arī vasarā un rudenī ir novērojama mainīga zemes klātnes materiāla ietekme. Visos gadījumos faktiskā nestspēja ir zemāka par aprēķināto. Ieteicams veikt padziļinātu zemes klātnes materiāla ietekmi arī citos gadalaikos.

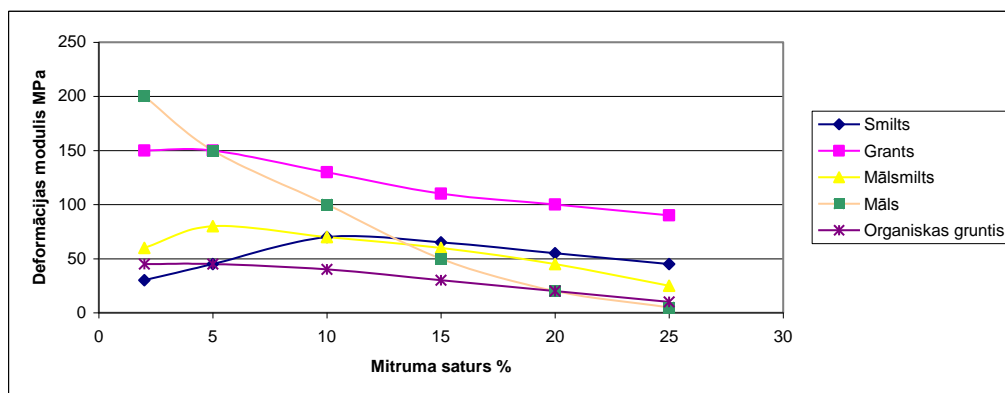
#### 4.4.6. Nesaistīto materiālu mitruma pakāpe

Daudzi pētījumi ir pierādījuši, ka mitruma pakāpei ir liela ietekme uz nesaistīto materiālu deformatīvajām īpašībām. Vislielākā pretestība slodzēm materiālam ir tad, kad materiāls ir sablīvēts mitrumā, kas ir tuvu optimālajam. Palielinoties mitruma saturam, deformācijas moduļa vērtība samazinās. Dažādiem materiāliem šis samazinājums ir atšķirīgs, smilšainiem un akmeņainiem, labi drenējošiem materiāliem šis samazinājums ir relatīvi neliels, taču mālainiem, putekļainiem, ar organiku samaisītiem materiāliem šis samazinājums ir ļoti būtisks.

17.attēlā parādīts piemērs, kas attēlo deformatīvo īpašību pasliktināšanos atkarībā no mitruma satura materiālā. Skaitliskās vērtības ir informatīvas. Tās nav iegūtas pētījuma rezultātā, bet aptuveni pieņemtas, lai izveidotu grafisku attēlu.

Nesaistīto materiālu deformācijas moduļa izmaiņas atkarībā no mitruma

Mitrums %	2	5	10	15	20	25
Deformācijas modulis MPa						
Smilts	30	45	70	65	55	45
Grants	150	150	130	110	100	90
Māls	200	150	100	50	20	5
Māls	60	80	70	60	45	25
Organiskas grunts	45	45	40	30	20	10



## 17.ATTĒLS Mitruma ietekme uz dažādu materiālu deformatīvām īpašībām

Mitruma uzkrāšanos nesaistītājās materiālu kārtās ietekmē vairāki faktori: paša materiāla īpašības, materiāla atrašanās vieta dabā (gruntsūdens dziļums, ūdens novades sistēma), laika apstākļu faktori (nokrišņu daudzums un intensitāte, ziemas sasaluma ilgums un intensitāte u.c.). Šī parametra ietekme tiešā veidā netiek vērtēta, jo mitruma izmaiņu mērīšana gruntī katrā punktā ir ļoti darbietilpīga. Mitruma ietekme no nokrišņiem tiek ievērtēta kā nokrišņu daudzums (apskatīts tālākajās nodaļās). Mitruma ietekme no gruntsūdeņiem tiek ievērtēta netieši, vērtējot ūdens novades sistēmu, zemes klātnes materiālu un drenējošā slāņa īpašības (aprakstīts tālākajās nodaļās).

### 4.4.7. Ūdens novades vērtējums

Ūdens novades sistēmas kvalitāte ietekmē zemes klātnes un ceļa segas mitruma pakāpi, līdz ar to arī nestspēju. Līdz šim veiktie novērojumi liecina, ka ūdens novades sistēmas kvalitāte lielāko iespaidu uz ceļa konstrukcijas nestspēju atstāj pavasara šķīdonī. Faktiski ietekme sākas rudens šķīdonī un turpinās ziemas sasalumā, bet sekas parādās pavasara šķīdonī.

Ūdens novades sistēma tiek vērtēta saskaņā ar metodiskajiem norādījumiem „MAC ūdens novades sistēmas novērtēšana” (5.pielikums).

Ūdens novades sistēma raksturojas ar trim galvenajiem parametriem – mitrumtipu, ūdens novades sistēmas veidu un teknes raksturojumu. Katram parametra raksturojumam tika pieņemti koeficienti (15.tabula), kuri ietekmē nestspēju. Koeficienti pieņemti salīdzinot faktiskās nestspējas datus ar teorētiski aprēķināto nestspēju atsevišķi pa ietekmējošiem faktoriem. Daļēji koeficienti pieņemti interpolējot.

**15.TABULA Īdens novades ietekmes koeficienti**

Mitrumtips	$K_{mitr.t}$	Īdens novades sistēmas veids	$K_{ūd.atv.v}$	Teknes raksturojums	$K_{tekne}$
Sauss	1.1	1	1.1	0-0.2m	0.85
Mitrs	1	2	1	0.2-0.5m	0.9
Slapjš	0.8	3	0.9	0.5-1m	1
				1-2m	1.1
				>2m	1.2

Visi koeficienti kopā veido ūdens novades ietekmes koeficientu.

$$K_{ūd.atv.} = K_{mitr.t.} \times K_{ūd.atv.v} \times K_{tekne}$$

Piemēram, sliktākajā gadījumā, kad ceļš atrodas slapjā mitrumtipā, bez grāvjiem, samazinošais koeficients var būt pat 0,61. Šādā situācijā ceļš pavasara šķīdonī praktiski atrodas ūdenī.

#### 4.4.8. Nenovērtētie ietekmējošie faktori

Pirms eksperimentālo MAC punktu novērtēšanas bija zināmi, kā arī pētījuma gaitā tika noteikti vairāki faktori, kas nav ņemti vērā, veicot teorētiskos aprēķinus. Identificētie vērā neņemtie faktori ir sekojoši:

- Smilšainu bezseguma ceļu nestspējas (saistes) zudums sausā laikā;  
Sausā, karstā laikā smilšainas grunts bezseguma ceļu virsējā kārtā, apmēram 5cm, izžūst. Transportlīdzekļiem braucot pa šādu segumu, izžuvusī kārtā tiek deformēta – viegli veidojas rīses pat pēc dažiem pārbraucieniem. Arī, mērot nestspēju uz virsmas, uzrādās nestspējas zudums. Šis faktors algoritmā nav iekļauts, jo izžūšanu izraisa grūti novērtējami faktori, piemēram, ceļa apēnojums, vēja piekļuve ceļam, vēja intensitāte u.c.
- Vēja ietekme uz žūšanu;  
Mitruma samazināšanos ceļa segumā (žūšanu) bez temperatūras un nokrišņiem ietekmē arī vēja ātrums. Vējš veicina mitruma samazināšanos. Praktiskos apstākļos vēja ietekmi nevar izmērīt.
- Drenējošas smilts segumu ietekme;  
Dažkārt bezsegumu ceļiem virsmu veido drenējoša smiltis. Šādi ceļi sastopami reti. Pētījuma gaitā regulāri tika apsekots viens šāds ceļš. Tika konstatēts, ka šādiem ceļiem nestspēja atjaunojas ļoti ātri (vienas dienas laikā) pat pēc intensīvām lietūs gāzēm. Arī pavasara šķīdonī un pavasarī tie iegūst relatīvi augstu nestspēju uzreiz pēc pilnīgas atkuššanas un ūdens aizsūkšanās. Taču šādiem ceļiem ir samazināta maksimālā nestspēja. Parasti to nestspēja nekad nav lielāka par 110-120 MPa, savukārt mālsmilts un smilšmāla ceļiem maksimālā nestspēja var sasniegt 160 MPa.

Pētījuma ietvaros pagaidām šāda ceļa grupa nav izdalīta, dēļ tā, ka pētījuma ietvaros šāds ceļš bija tikai viens. Līdz ar to bija pārāk maz mērījumu datu, lai izdarītu vispārīgus secinājumus.

- Ceļa apēnojums;  
Ceļa apēnojums visvairāk ietekmē sniega kušanas un ceļa atkusuma ātrumu atkusumā un pavasara šķīdonī. Apēnojumu ietekmē ceļa novietojums attiecībā pret debespūsēm, ceļa trases platums, koku augstums blakus ceļam, izcirtumu esamība. Apēnojums rada situāciju, ka uz viena ceļa atšķirīgās vietās var būt atšķirīgi gadalaiki. Turklāt ir novērots, ka nobīde starp šiem gadalaikiem var būt 2 nedēļas un vairāk. Gadalaiku maiņu algoritmos ir iekļauts nelabvēlīgākais variants, t.i. aprēķinā parādīsies, ka ceļš darbojas atkusuma vai šķīdoņa režīmā, kaut arī lieli ceļa posmi var būt ekspluatējami pavasara režīmā. Šo faktoru novērtēšana un iekļaušana aprēķinos ir sarežģīta. Faktors

netiek iekļauts aprēķinā, jo var uzskatīt, ka praktiski jebkuram ceļam būs posmi, kas būs apēnoti, līdz ar to uz ceļa noteikti būs vāji posmi, kuru ekspluatācijas iespējas ir samazinātas.

- Sasaluma ilgums un sala pacēlums;

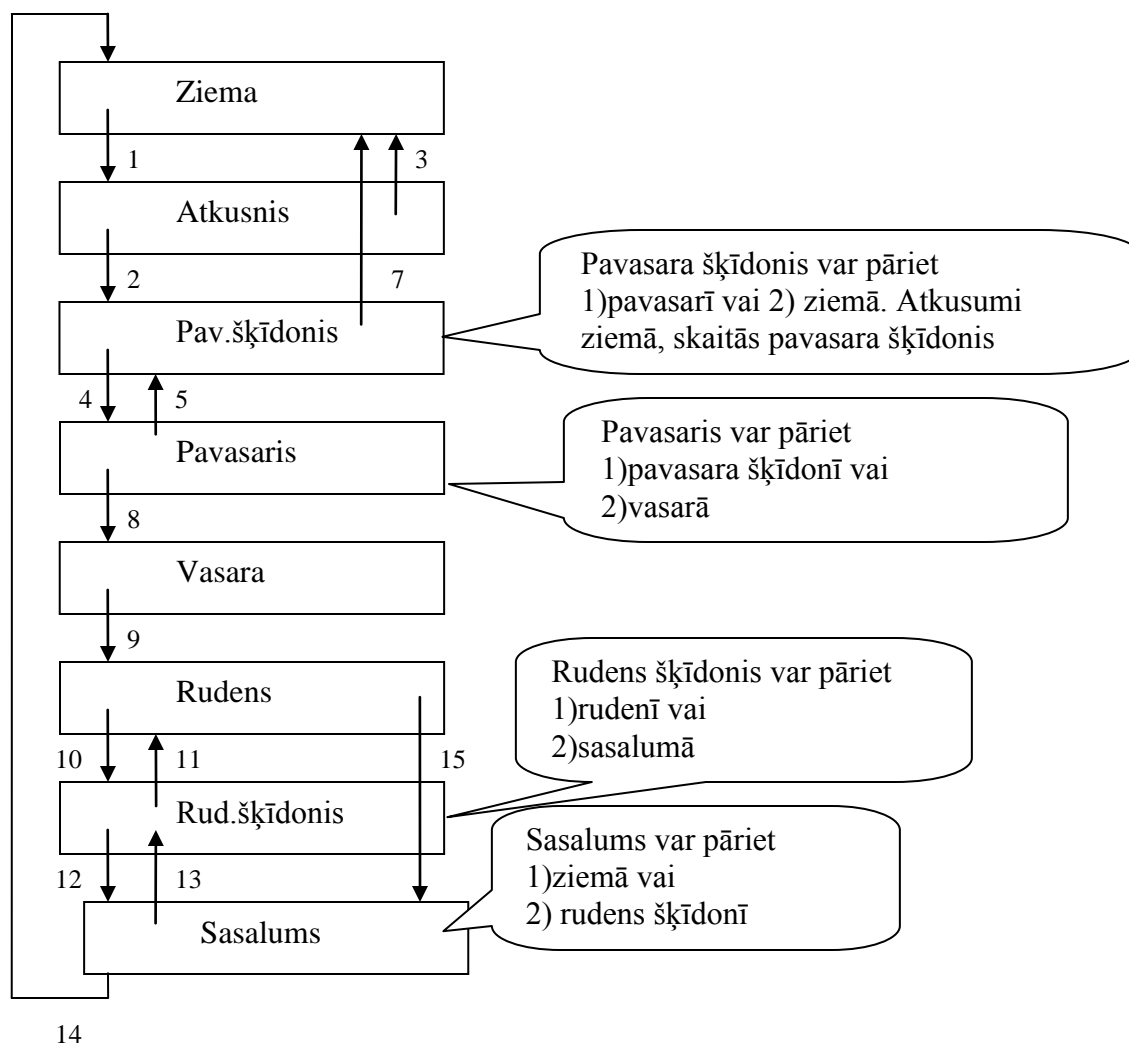
Sasaluma ilgums un sala intensitāte veicina mitruma uzkrāšanos ceļa konstrukcijā. Mitrums savukārt izraisa sala pacēlumu. Jo ilgāks un spēcīgāks sals, jo lielāks veidosies sala pacēlums. Atkūstot konstrukcijai, atkusumā un pavasara šķīdonī sala pacēlums ievērojami mazina ceļa nestspēju. Jo lielāks sala pacēlums, jo lielāks nestspējas kritums pēc atkusuma. Sala pacēlums ir ļoti komplicēta parādība, kuru ietekmē ne tikai sala intensitāte, bet arī uzbēruma grunts īpašības, grunts mitruma avotu atrašanās dziļums, nokrišņu daudzums pirms sasaluma, sniega tīrīšana ziemā u.c. Praktiski šo faktoru mērīšana un iekļaušana aprēķinā prasītu ārkārtīgi daudz resursus.

## **4.5. Meteoroloģisko faktoru ietekme**

### **4.5.1. Gadalaiki**

Dažādos laika apstākļos MAC nestspējas izmaiņu likumsakarības ir atšķirīgas, mainās arī ietekmējošie faktori. Piemēram, ūdens novadei būtiska ietekme uz ceļa nestspēju ir pavasara šķīdonī, savukārt maza ietekme vasarā. Ziemā nokrišņu ietekme nav būtiska utml. Atkarībā no laika apstākļiem, tika izdalīti astoņi MAC ekspluatācijas gadalaiki. Šo gadalaiku maiņas nosacījumi ir atšķirīgi no tiem kādi pieņemti sadzīvē. Galvenie faktori, kas ietekmē gadalaiku maiņas ir temperatūra un nokrišņi. Gadalaiku algoritmi pētījuma gaitā ir mainīti 7 reizes. Robežas ir noteiktas, balstoties uz nestspējas izmaiņām, kā arī novērojumiem dabā. Šādai pieejai tomēr ir zināma nepilnība, jo aprēķina rezultātā gadalaiks mainās vienā brīdī, taču faktiski dabā tas tā nav. Gadalaiku pāreja ilgst kādu laika brīdi. Piemēram, pāreja no rudens un rudens šķīdoni reāli var notikt pat nedēļu. Vispārīgi gadalaiku maiņas nosacījumi ir attēloti 18.attēlā.





## 18.ATTĒLS Gadalaiku maiņu nosacījumi

Precīzāk gadalaiku maiņas nosacījumi ir aprakstīti elektroniskā pielikumā „Gadalaiku algoritmu pārbaude 2012.03.01” (6.pielikums)

### 4.5.2. Lietus ietekme

Laika apstākļu ietekmi uz meža ceļa nestspēju var iedalīt divās grupās – pavasara atkusuma ietekme un lietus nokrišņu ietekme. Pavasara atkusuma ietekme aprakstīta 11.pielikumā „Nestspējas izmaiņas pavasara periodā”. Pētījuma ietvaros uzmanība ir pievērsta lietus nokrišņu ietekmei uz meža ceļu ekspluatācijas iespējām. Sen ir zināma patiesība, ka nesaistītajām ceļa konstrukcijām samitrinoties, samazinās konstrukcijas nestspēja. Lielākoties konstrukciju samitrināšanos izraisa nokrišņi lietus veidā. Nokrišņu daudzums un intensitāte gada garumā ir ļoti mainīgi, līdz ar to meža ceļu seguma samitrināšanās un tai sekojošais nestspējas zudums arī ir mainīgi.

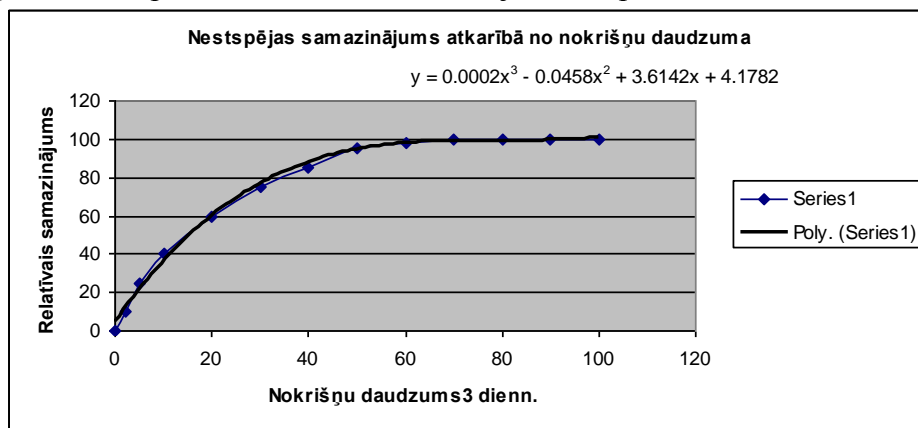
Nokrišņu daudzums un intensitāte tiek raksturoti ar diennakts laikā nolijušā lietus daudzumu milimetros (mm/dienn.). Svarīgs faktors ir arī nolijušā lietus daudzums pēdējā laika periodā, piemēram, vidējais lietus daudzums pēdējo 3 dienu laikā (mm/3 dienn), pēdējo 6 dienu laikā (mm/6 dienn.) un pēdējo 10 dienu laikā (mm/10 dienn.).

Lietus laikā ceļa konstrukcija samitrinās. Turpinoties lietum, mitrums sūcas arvien dziļāk. Seguma samaisīšanās ar ūdeni sekmē arī transportlīdzekļu kustību. Jo ilgāk lietus līst, jo konstrukcija vairāk piesātinās ar mitrumu, arvien vairāk samazinās nestspēja. Lietum izbeidzoties, konstrukcija sāk žūt un nestspēja atjaunojas. Tas nozīmē, ka ceļa konstrukcijas nestspēju ietekmē ne tikai lietus daudzums, kas nolijis pēdējās diennakts laikā, bet arī daudzums, kas nolijis vairāku pēdējo diennakšu laikā.

Lietus daudzuma mērīšanai tiek izmantoti faktisko nokrišņu dati no "Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs" meteostacijām. Šajās stacijās katru dienu tika noteikts faktiski nolijušā lietus daudzums milimetros stacijas atrašanās vietā. Eksperimentālie mērījumu punkti ir novietoti līdz 40 km attālumam no šīm stacijām. Tas, protams, negarantē vienādu lietus daudzumu meteostacijā un eksperimentālo mērījumu punktā, taču sākotnēji tiek pieņemts, ka atšķirības nebūs lielas. Jo tuvāk eksperimentālo mērījumu punkts atrodas meteostacijai, jo ticamāki rezultāti. Darba gaitā tika novērtētas atšķirības starp metostaciju datiem.

Eksperimentālajos punktos tika noteikta nestspēja sausā laikā un pēc dažādas intensitātes lietus. Šādi ir iespējams novērtēt nokrišņu ietekmi uz nestspēju dažādām konstrukcijām dažādos apstākļos.

Nokrišņu ietekmi apraksta matemātiska funkcija, kuras piemērs redzams 19.attēlā.



**19.ATTĒLS** Nestspējas samazinājums nokrišņu ietekmē

Attēlā redzama funkcija, kas raksturo nestspējas kritumu MAC atkarībā no nokrišņu daudzuma vasaras un rudens periodā. Precīzāk un vairāk par lietus ietekmi uz nestspēju ir 7.pielikumā „Nokrišņu ietekmes algoritms” un .xls failā „Nestspējas algoritmi 2014.02.05” (3.pielikums).

#### 4.5.3. Meteoroloģisko apstākļu datu iegūšana Latvijā

Meteoroloģiskie dati nepieciešami, lai noteiktu (aprēķinātu) MAC nestspēju, neveicot tiešus nestspējas mērījumus. Pagaidām par būtiskākajiem datiem ir pieņemti nokrišņu daudzums un gaisa temperatūra.

Latvijā meteoroloģisko datu reģistrēšanu un prognozi visai Latvijas teritorijai veic divi uzņēmumi – Latvijas Vides, Ģeoloģijas un Meteoroloģijas aģentūra (19 novērojumu stacijas) SIA Integrētās audzēšanas skola (5 novērojumu stacijas). Pētījuma vajadzībām tika uzstādīta un izmantota arī viena LVM stacija. Meteoroloģisko prognozi ir iespējams iegūt arī no citiem avotiem, piemēram, [www.gismeteo.ru](http://www.gismeteo.ru) vai [www.windguru.cz](http://www.windguru.cz) u.c., taču šie pakalpojumu sniedzēji neveic faktiskās meteoroinformācijas fiksēšanu, kā arī prognoze ir vispārīgāka, domāta plašākai teritorijai.

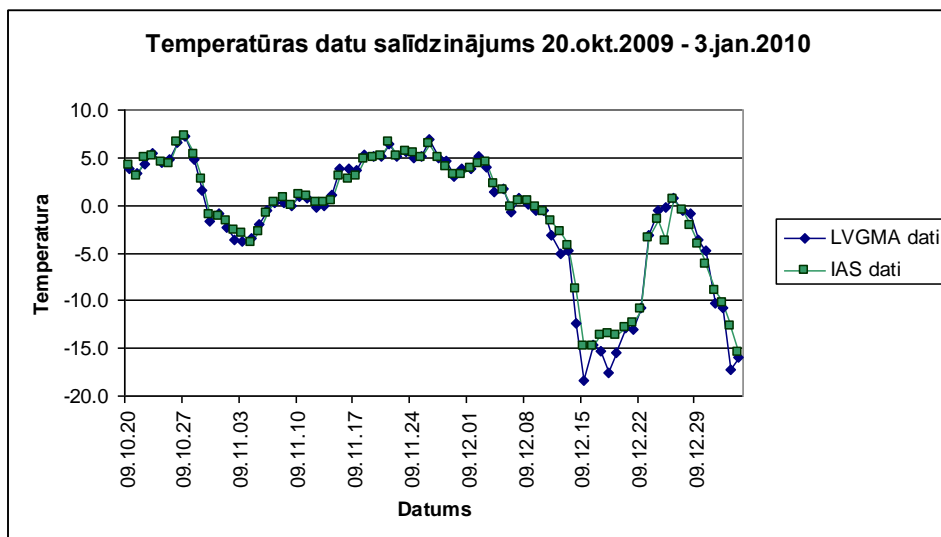
Ir iespējams arī uzstādīt privātas meteostacijas, kas aprīkotas ar datu raidītāju. Ir svarīgi, lai meteodati tiktu saņemti operatīvi.

#### 4.5.4. Meteoroloģiskās informācijas piegādātāju novērtējums

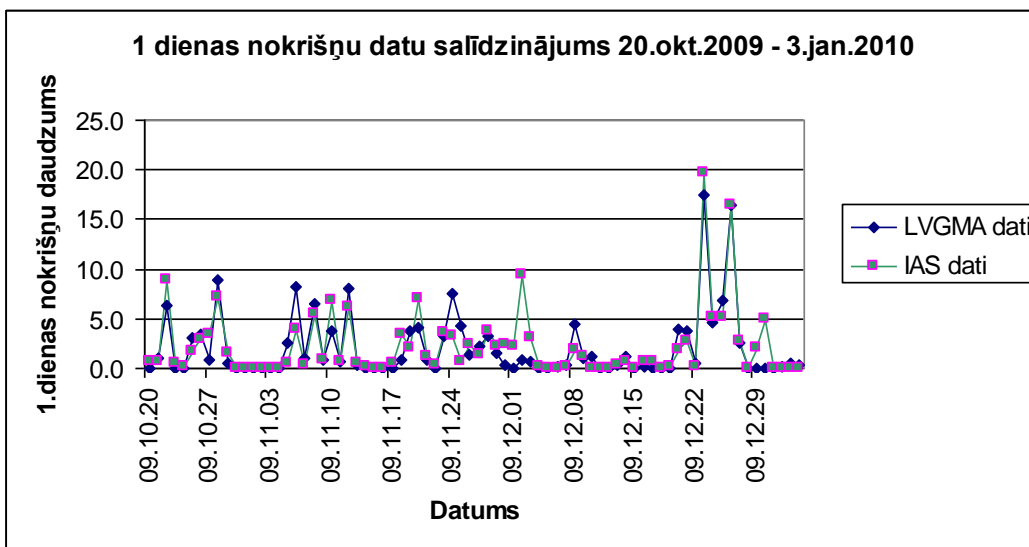
Pētījuma ietvaros tika veikta dažādu meteoroloģiskās informācijas piegādātāju informācijas novērtējums. Tika izvēlēti divi, jau augstāk pieminētie uzņēmumi, kuru rīcībā ir meteostacijas. Šīs abas organizācijas piegādāja gaisa temperatūras un nokrišņu daudzuma rādījumus diviem punktiem, no kuriem viens atrodas Stendē, otrs – Gulbenē. No LVGMA tika saņemta faktiskā informācija, no SIA IAS prognožu dati par šiem punktiem. Laika periodā no 2009.10.20 – 2010.01.03 tika apkopoti un salīdzināti sekojoši dati:

- Diennakts vidējā temperatūra
- Diennakts vidējais nokrišņu daudzums
- Kopējais nokrišņu daudzums pēdējās trīs diennaktīs.

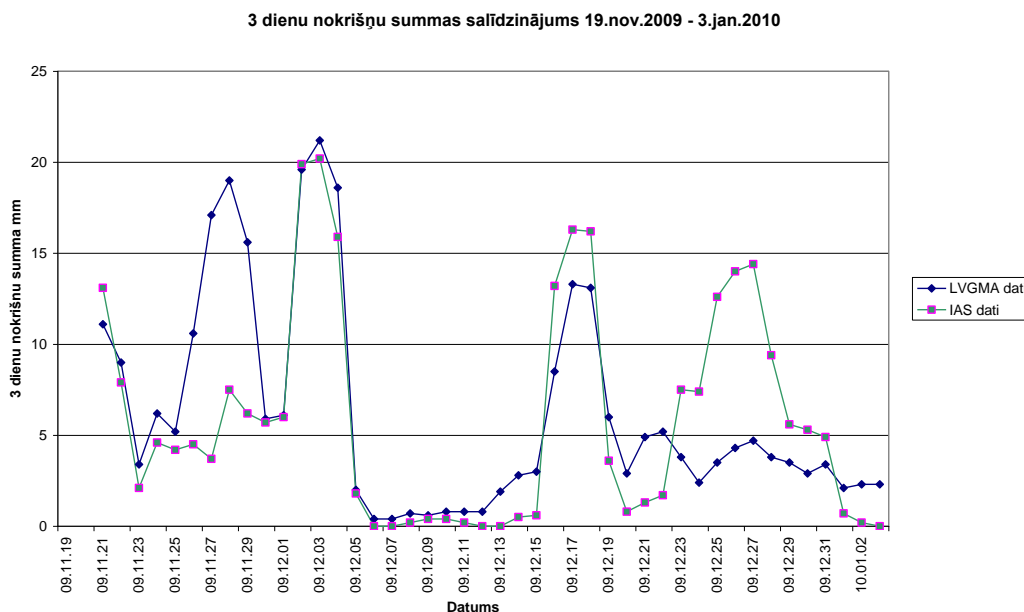
Rezultāti ir apkopoti grafikos 20., 21. un 22.attēlā. Plašāku informāciju skatīt .xls failā „Meteodatu salīdzinājums” (13.pielikums)



**20.ATTĒLS** LVGMA un IAS temperatūras salīdzinājums Gulbenē



## 21.ATTĒLS    Nokrišņu salīdzinājums Gulbenē



## 22.ATTĒLS    3 dienu nokrišņu summas salīdzinājums Stendē

Ir salīdzināti arī nokrišņu dati starp vairākām meteostacijām. Tika konstatēts, ka arī 70 km lielā attālumā nokrišņu atšķirības ir būtiskas. Šādi gadījumi nav bieži, <10%. Meteodatu informācija tika uzkrāta un to atšķirības precizētas. Rezultāti iekļauti elektroniskā pielikumā „Nokrišņu ietekmes algoritms” (7.pielikums).

Vieni un tie paši vides faktori atstāj atšķirīgu iespaidu uz dažādu seguma tipu ceļiem. 20mm/diennaktī liels nokrišņu daudzums meža ceļiem ar grants segumu neizraisa lielu nestspējas zudumu. Tāds pats nokrišņu daudzums var padarīt neizbraucamu meža ceļu ar dabīgas grunts (smilts, mālsmilts) segumu. Tas nozīmē, ka vides faktoru ietekme ir jāapskata kopā ar citiem meža ceļu raksturojošiem parametriem.

#### 4.6. Citu speciālistu vērtējums

II etapa starpziņojums tika iedots recenzēšanai trijiem ceļu būves nozares speciālistiem Jānim Barbaram (Latvijas valsts ceļi), Artūram Naktinim (SIA CBF Binders) un Atim Zariņam (RTU). Recenzijas ir pieejamas 14, 15. un 16.pielikumos. Šajā nodaļā ir iekļauts īss recenziju ieteikumu pārskats.

No J.Barbara recenzijas piezīmēm:

- Ieteikums MAC novērtēšanā iekļaut papildus faktoru vērtēšanu, lai uzlabotu precizitāti. Piemēram, ceļa apēnojumu. Ieteikums pagaidām nav ņemts vērā balstoties uz pieņēmumu, ka praktiski visiem ceļiem būs posmi, kuri ir apēnoti un kuriem saule piekļūst vairāk. Gadalaiku maiņas algoritmi ir pielāgoti sliktākajam gadījumam. Attiecībā uz MAC trases platumu varētu lietot datus par ceļiem, kas būvēti pēc 2004. gada, kad tika izmantoti tipveida projekti ar noteiktu trases platumu.
- Ieteikums izstrādāt pašapmācošu mākslīgā intelekta programmu, kas pati veiktu algoritmu precizēšanu. Pagaidām nav ņemts vērā, taču šādu risinājumu, iespējams, varēs izmantot nākotnē.
- Ieteikums precizēt autotransporta ietekmes aprēķināšanu. Ietekmes aprēķins praktiskā satiksmes ievērtēšanā netiks lietots. Kā slodzes vienība tiek izmantots piekrauts kokvedējs.
- Ieteikumus pētījumā pielietot pētījumu COST 351 „Watmove” atziņas. Pētījumu atskaites ir pārskatītas, atsevišķas atziņas ir ņemtas vērā.

No A.Naktiņa piezīmēm:

- Nav precīzi skaidrots, kā tiks ievērtēta riteņu izvietojuma ietekme. Šis bija tikai sākotnējais teorētiskais slodžu ietekmes pārskats. Reāli pētījumā šis parametrs netiek lietots.
- Ieteikums pārliecināties par iekārtas datu objektivitāti un salīdzināmību ar citiem līdzīgiem mērinstrumentiem. Ņemts vērā. Konkrētā ierīce Inspector 2 tiek plaši lietota Igaunijā, mazāk arī Latvijā. Lai mērījumu rezultātus varētu savstarpēji salīdzināt, visos mērījumos ir lietota viena tipa iekārta. Arī KoMACir skaitliskās robežvērtības ir tādas, kas pārbaudāmas ar pieminēto iekārtu.

No A.Zariņa ieteikumiem:

- Starpziņojuma struktūra un noformējums neļauj pārliecināties par pētījuma mērķu sasniegšanu. Beigu redakcijā struktūra un noformējums ir atbilstoši. Tas ir ņemts vērā arī citās starpatskaitēs.
- Nav precīzi definēta kokvedēju NAS (normēto ass slodžu) ietekme. Ir apšaubīta satiksmes plūsmas modeļa piemērotība. Ir ņemts vērā. Satiksmes ietekmei tiek lietots piekrautu kokvedēju pārbraucienu skaits, NAS nav aktuāls.
- Nepieciešami skaidrojumi par grafikiem, kuros attēloti dažādu transportlīdzekļu faktoru ietekme. Ir pievienoti papildus skaidrojumi. Aprēķina formulas ir pieejamas elektroniskos dokumentos.
- Nepieciešami papildus skaidrojumi par ekspluatācijas klasēm, eksperimentāliem mērījumu punktiem, meteodatu salīdzināšanu u.c. Daļēji ņemts vērā. Ir papildus skaidrojumi. Daži no pieminētajiem neskaidrajiem jautājumiem vairs nav aktuāli.
- Ieteikums precizēt terminu „caurbraucamība” un tam pievērst vairāk uzmanības. Termins ir likvidēts, bet tā nozīme un ietekme ir izpētīta, nosakot nestspēju ar reāliem mērījumiem, ceļam, kurš uzskatāms par necaurbraucamu. Šī nestspēja ir ap 20MPa, mērot ar Inspector 2.

- Ieteikums darba grupā iesaistīt kompetentu meteorologu. Ar meteorologu bija pārrunas, un dažas atziņas tika izmantotas pētījumā. Tika noskaidrotas meteoeprognožu iespējas un precizitāte.
- Ieteikums ieviest labāku atskaites struktūru ar skaidrāku pamatojumu. Autors (Jānis Kivilands) uzskata, ka struktūra ir atkarīga no atskaites pielietojuma un lietotājiem. Iespējams, ka tā neatbilst zinātniska darba struktūrai, taču tā ir veidota, lai būtu vieglāk lietojama speciālistiem un praktiķiem. Beigu atskaite noformēta ar izvērstu, konsolidētu saturu un struktūru, saistītajiem pielikumiem un norādītām atsaucēm. Viegli uztveramu to praktiski nav iespējams izveidot. Iespēju robežās ir paskaidrota aprēķinu gaita.

## 5. MAC parametru mērīšanas metodika

### 5.1. Galvenie mērāmie parametri

Vispirms tika noteikti kādi parametri ir jāmēra un tad attiecīgi ar kādām metodēm mērījumi jāveic. Galvenais MAC ekspluatāciju ietekmējošais faktors ir ceļa nestspēja. Nestspēja savukārt ir atkarīga no konstrukciju veidojošo materiālu īpašībām un konstruktīvo slāņu biezumiem. Pētījuma gaitā ir noteikts šo parametru ietekme uz nestspēju.

Ceļa konstrukcijas nestspēja ir mainīga, atkarībā no materiālu mitruma pakāpes. Materiālu samitrināšanos vai žūšanu ietekmē meteoroloģiskie faktori – temperatūra, nokrišņi, vēja ātrums, saules intensitāte, gaisa mitrums u.c. Lai paredzētu MAC nestspējas izmaiņas, ir noteikta galveno faktoru ietekmes likumsakarības.

Samazinoties mitrumam ceļa konstrukcijā, MAC nestspēja atjaunojas. Mitruma aizplūšanu ietekmē ūdens novades sistēma – ceļa virsmas šķērsslīpums, grāvju dziļums un to ūdens novades efektivitāte.

Pētījuma ietvaros MAC nestspēju ietekmējošie faktori ir iedalīti trijās grupās – ceļa konstrukcijas parametri, ūdens novades sistēmas raksturotāji un meteoroloģiskie faktori.

### 5.2. Eksperimentālo mērījumu punkti

4.nodaļā tika identificēti galvenie faktori, kas nosaka MAC ekspluatācijas iespējas. Pētījuma ietvaros tika noteikta nestspēju ietekmējošo faktoru ietekme reālos apstākļos uz esošiem meža autoceļiem. Sākotnēji tika atlasīti divdesmit 3-4 km gari eksperimentālie meža ceļi, uz katra eksperimentālā ceļa tika ierīkoti 2-5 eksperimentālie punkti. Pavisam tika izveidoti 66 eksperimentālie punkti Gulbenes un Talsu rajonos, kuri aptver gandrīz visu ekspluatāciju ietekmējošo faktoru spektru. Ceļa konstrukcijas eksperimentālajos punktos ir ar atšķirīgu biezumu, atšķirīgu seguma materiālu, tie novietoti dažādos hidroģeoloģiskos apstākļos.

Šajos punktos tika mērīti nestspēju ietekmējošo faktoru lielumi un tika noteikta arī nestspēja ar viegla krītošā svara deflektometru INSPECTOR 2.. Šī iekārta ir viegli lietojama. Tās mērīšanas diapazons ir no 25-500 MPa. Mērījumi tika veikti laika periodā no 2009.gada oktobra līdz 2011.gada jūnijam.

Papildus 2011.gadā tika novērtēti MAC Akmensraga un Ābeļu iecirkņos. Pavisam tika veikti ap 1200 mērījumiem dažādos laikos un dažādās vietās. Papildpunktos tika lietotas vienkāršotas MAC konstrukcijas novērtēšanas metodes.

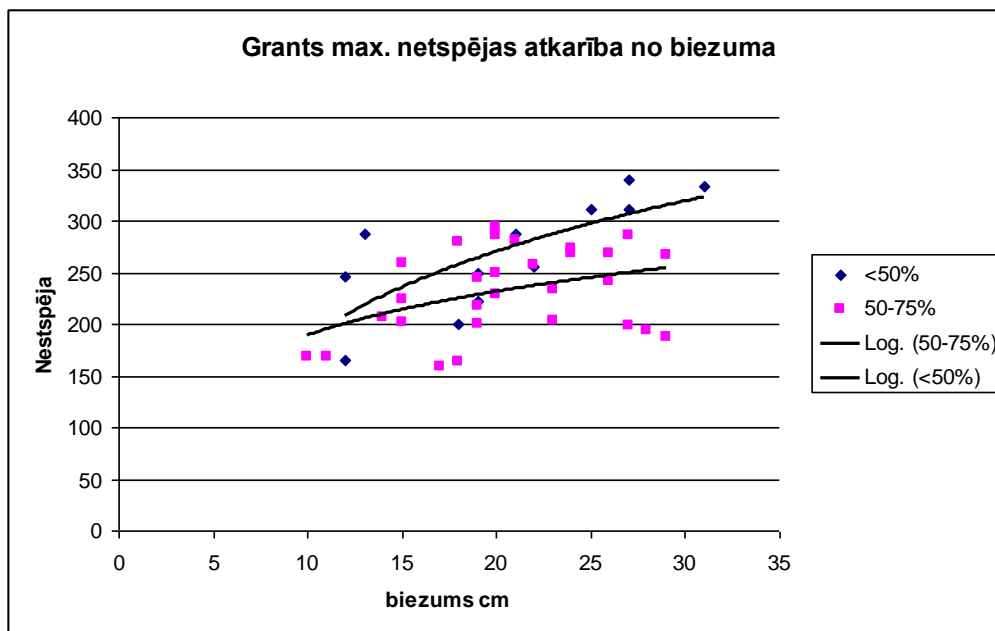
### 5.3. Ceļa konstrukcijas parametru mērīšana

Eksperimentālos punktos Gulbenes un Stendes reģionu punktos ar viegla krītošā svara deflektometru tika noteikta nestspēja, atrakta konstrukcija, izmērīti slāņu biezumi. Noteikts virsējās kārtas materiāla granulometriskais sastāvs un esošais mitrums mērīšanas brīdī. Konstrukcijas biezuma mērīšanai ir izmantota metodiskie norādījumi „MAC konstruktīvo slāņu biezuma noteikšana” (8.pielikums). Slāņu biezumi un materiālu granulometriskais sastāvs (laboratoriski) tika noteikti pētījuma sākumā – 2009.gada oktobrī un atkārtoti 2010.gada oktobrī. Nestspējas mērījumi tika veikti dažādos laikos, katrā punktā 5-12 reizes. Mērījumu dati ir apkopoti mērījumu protokolos.



#### 23.ATTĒLS $E_v$ noteikšana un konstrukcijas atrakšana eksperimentālajos punktos

Visi iegūtie dati ir apkopoti tabulās. Iegūstot pietiekoši lielu mērījumu skaitu, var analizēt atsevišķu faktoru ietekmi uz nestspēju. Piemēram, var noteikt, kā grants seguma biezums ietekmē konstrukcijas nestspēju (24.attēls).



**24.ATTĒLS Grants slāņa biezuma ietekme uz nestspēju (piemērs)**

Akmensraga un Ābeļu iecirkņos izveidotos punktos seguma, drenējošā slāņa un zemes klātnes materiāls tika vērtēti vizuāli saskaņā ar metodiku „Vizuālā MAC būvmateriālu novērtēšana” (9. pielikums).

#### **5.4. MAC seguma materiāla īpašību mērīšana un klasifikācija**

Gulbenes un Stendes eksperimentālajos punktos ar grants segumu tika ņemti seguma materiāla paraugi. Ja segums uz viena MAC vairākiem eksperimentālajiem punktiem bija līdzīgs, tad tika ņemts viens apvienotais paraugs no vairākiem punktiem, kas atrodas uz viena MAC. Bezseguma ceļiem konstrukciju veidojošais materiāls tika raksturots vizuāli. Visiem paraugiem tika noteikts granulometriskais sastāvs un māla/putekļu daļiņu saturs. Testēšanas rezultāti ir apkopoti failā „Eksperimentālo MAC materiālu testēšanas rezultāti”. Akmensraga un Ābeļu iecirkņos materiālu īpašības tika noteiktas vizuāli.

Materiāli tika klasificēti pēc granulometriskā sastāva un māla/putekļu daļiņu satura. Klasifikācija ir noteikta pielikumā „Eksperimentālo MAC mērījumu un novērojumu vērtējums” (2.pielikums). Šajā pielikumā ir novērtēta arī šo parametru ietekme uz MAC nestspēju.

#### **5.5. Hidroģeoloģisko apstākļu mērīšana**

Šajā pētījumā ar jēdzienu “hidroģeoloģiskie apstākļi” ir domāti mitruma apstākļi, kuros pastāvīgi atrodas meža ceļš – ūdens novades sistēmas veids un kvalitāte, gruntsūdens līmeņa augstums, apvidus mitrumtips, reljefs, apkārtnes grunts tips.

Hidroģeoloģiskie apstākļi ir mitruma ietekmes pastiprinātājs vai samazinātājs. Hidroģeoloģija ietekmē arī laika apstākļu ietekmes ilgumu. Pateicoties labai ūdens novadei (grāvju sistēmai, reljefam) lietus ūdens tiek aizvadīts prom no ceļa konstrukcijas, līdz ar to ceļa nestspēja atjaunojas ātrāk, nekā ceļiem ar sliktu ūdens novades sistēmu. Gruntsūdens līmenis un apkārtnes grunts tips ļoti ietekmē mitruma uzkrāšanos ceļa konstrukcijā ziemas sasalšanas laikā. Reģionos, kur ceļa pamatni veido



smalkgraudainas gruntis un gruntsūdens līmenis ir augsts, pavasaros ir novērojams liels ceļa nestspējas zudums.

Hidroģeoloģisko apstākļu ietekmes raksturošanai ir izmantoti divi rādītāji – apvidus mitrumtips un ūdens novades sistēmas kvalitāte. Apvidus mitrumtips tiek dalīts trīs klasēs;

- sauss apvidus,
- mitrs apvidus, kur pavasaros un pēc ilgstoša lietus ir novērojams paliekošs virszemes ūdens,
- pārmitrināts apvidus, kur ir novērojams pastāvīgs virszemes ūdens. Tās parasti ir purvainas vietas.

Ūdens novades sistēmas kvalitāte tiek novērtēta piecu baļļu sistēmā, atkarībā no ceļa grāvju dziļuma.

Katram meža ceļam šie faktori tiek noteikti un reģistrēti datu bāzē. Iegūstot nestspējas mērījumu rezultātus pēc dažādas intensitātes lietus, var noteikt cik liela nozīme ir ūdens novades sistēmai un apvidus mitrumtipam. Hidroģeoloģiskie apstākļi tiek klasificēti saskaņā ar metodiskajiem norādījumiem MAC ūdens novades sistēmas novērtēšana (5.pielikums).

## **6. Rezultātu apkopojums, secinājumi**

### **6.1. Iegūtie rezultāti**

Pētījuma rezultātā ir iegūts sekojošais:

- Izstrādāti un pārbaudīti MAC nestspējas izmaiņu algoritmi atkarībā no vides un laika apstākļiem;
- KoMACir aprēķināšanai ir izveidota datorizēta aprēķina forma;
- Ir izstrādātas vairākas metodikas, kas ļauj novērtēt MAC ekspluatāciju ietekmējošos faktorus;
- LVM darbinieki ir apmācīti MAC novērtēšanā;
- Pētījuma rezultāti ir izmantojami turpmākai saistītu jautājumu risināšanai. Piemēram, MAC izmantošanas izmaksu aprēķiniem dažādiem kokmateriālu transporta maršrutiem;
- Ir iegūtas atziņas par dažādu MAC faktoru nozīmi. Šīs atziņas var lietot projektējot vai paredzot uzturēšanas darbus konkrētiem ekspluatācijas apstākļiem. Piemēram, ceļa konstrukcijā var neparedzēt drenējošo slāni, ja zināms, ka ceļa konstrukcijas ekspluatācija nenotiks atkusnī.
- Pētījuma rezultāti (sākuma stadijā) ir prezentēti starptautiskā konferencē „Low volume roads” Orlando, ASV 2011.gadā.

### **6.2. KoMACir precizitātes vērtējums**

Pēc pēdējās KoMACir algoritmu un koeficientu korekcijas tika salīdzināta faktiskā nestspēja ar aprēķināto un veikts precizitātes vērtējums kopumā un atsevišķi pa ietekmējošiem faktoriem. Lai vienkāršotu datu apstrādi un rezultātu pārskatāmību, tika salīdzinātas teorētiskās un faktiskās ekspluatācijas klases (nestspējas diapazons). Precizitātes novērtēšanas metodikas apraksts un detāli rezultāti ir iekļauti 4.pielikumā „Meža autoceļu izmantošanas lēmuma pieņemšanas rīka izveide (kompleksais meža autoceļu izmantošanas rādītājs)” 7.etapa atskaite. Precizitātes vērtējums. Aprēķini ir pievienoti elektroniskā 17.piel komacir\_dati\_apstrādāti 2014.06.24

Kopējais precizitātes vērtējums, iekļaujot visus 1410 mērījumus, tajā, skaitā visa veidu ceļus visos gadalaikos, ir 16.tabulā:

**16.TABULA Precizitātes vērtējums visiem ceļiem**

Kopējais vērtējums		Ekspluatācijas klašu atšķirība										
		-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
Mērījumu skaits (gab)	1410	2	14	95	365	584	247	70	20	8	5	0
Novirze % gadījumā	100.0	0.1	1.0	6.7	25.9	41.4	17.5	5.0	1.4	0.6	0.4	0.0

Piezīme: Ja mērījums atrodas kolonnā „-1”, tas nozīmē, ka tajā gadījumā faktiskā klase ir par vienu zemāka, nekā aprēķinātā.

Izmērītā ekspluatācijas klase sakrīt ar faktisko 41,4% gadījumu. 85% gadījumu atšķirība nav lielāka par vienu klasi. Jāpiebilst, ka nav veikta kļūdaino datu atmešana.

Papildus rezultātu precizitāte ir analizēta dažādos griezumos – pa ceļa segumu veidiem, gadalaikiem u.c. Precizitātes novērtējumā tika konstatēts, ka, piemēram, ka vasarā precizitāte ir augstāka kā pavasara šķīdonī vai atkustnī. Ceļiem ar akmeņainas grants segumu precizitāte ir augstāka nekā ceļiem bez seguma. Visi vērtējumi ir izteikti skaitliskos lielumos.

### 6.3. Galvenie secinājumi

Šajā sadaļā iekļautie secinājumi ir vispārīgi. Detalizētāki secinājumi par dažādu faktoru ietekmi to aprēķināšanu, laika apstākļu ietekmi u.c. atrodami šīs atskaites nodaļās, kā arī pētījuma etapu starpatskaitēs.

- MAC nestspēju var teorētiski aprēķināt, zinot ietekmējošos parametrus.
- MAC nestspēju aptuveni var noteikt arī operatīvi, ekspluatācijas vietā veicot vienkāršus mērījumus un fiksējot esošo ceļa stāvokli, tieši nemērot ceļa nestspēju
- KoMACir precizitāti vēl ir iespējams uzlabot pēc papildus datu apstrādes (1410), un neatbilstību izpētes dabā, apsekojot konkrētus neatbilstošu punktus un nosakot neatbilstību cēloni. Pēc tam koriģējot (labojot algoritmus un izslēdzot neatbilstoši vērtētos vai mērītos punktus) veicot jaunu pārbaudi un precizējumus.
- KoMACir precizitāti ietekmē arī faktoru novērtēšanas metodes. Piemēram seguma materiāla granulometrijas noteikšana vizuāli ir neprecīzāka, kā laboratoriska pārbaude.
- KoMACir ieviešanas gadījumā vēl jāatrisina jautājumi:
  - jānovērtē, vai aprēķinu precizitāte ir pietiekoša KoMACir praktiskai pielietošanai,
  - kā KoMACir tehniski iespējams integrēt esošajā loģistikas vadības sistēmā,
  - kā nodrošināt MAC konstrukciju izmaiņu iekļaušanu aprēķiniem izmantotajā datu bāzē,
  - kā efektīvāk iegūt meteorodatus,

### **Bibliogrāfija**

1. ROADEX II pētījums par ceļu tīkla izmantošanu Eiropas ziemeļu teritorijās (2004)
2. VAS LVM izdotie dokumenti: MAC būvniecības specifikācijas, ceļu klasifikācija, kārtība MAC pārraudzībai u.c.
3. COST 351 Water Movement in Road Pavements and Embankments

### **Pielikumi**

1. pielikums „Ar zinātniskās izpētes darbu saistīto Latvijas un Eiropas Savienības esošo normatīvo aktu regulējuma un ietekmes analīze”. (2009.08.20)
2. pielikums „Eksperimentālo MAC mērījumu un novērojumu vērtējums” (2010.11.29)
3. pielikums (elektronisks) „Nestspējas algoritmi 2014.02.05”
4. pielikums „Meža autoceļu izmantošanas lēmuma pieņemšanas rīka izveide (kompleksais meža autoceļu izmantošanas rādītājs)” 7.etapa atskaite
5. pielikums Metodiskie norādījumi „MAC ūdens novades sistēmas novērtēšana”
6. pielikums (elektronisks) „Gadalaiku algoritmu pārbaude”
7. pielikums (elektronisks) „Nokrišņu ietekmes algoritms”
8. pielikums „MAC konstruktīvo slāņu biezuma noteikšana”
9. pielikums „Vizuālā MAC būvmateriālu novērtēšana”
10. pielikums „Eksperimentālo MAC mērījumu un novērojumu vērtējums”.
11. Pielikums „Nestspējas izmaiņas pavasara periodā” (2011.06.10)
12. Metodiskie norādījumi „Operatīvā MAC ekspluatācijas iespēju novērtēšana” (2011.gada 30.maijs)
13. Pielikums. Meteodatu salīdzinājums (elektroniski .xls fails)
14. Pielikums Recenzija J.Barbars
15. Pielikums Recenzija A.Naktinis
16. Pielikums Recenzija A.Zariņš
17. Pielikums (elektronisks) komacir\_dati\_apstrādāti 2014.06.24

**Sagatavoja: Jānis Kivilands**