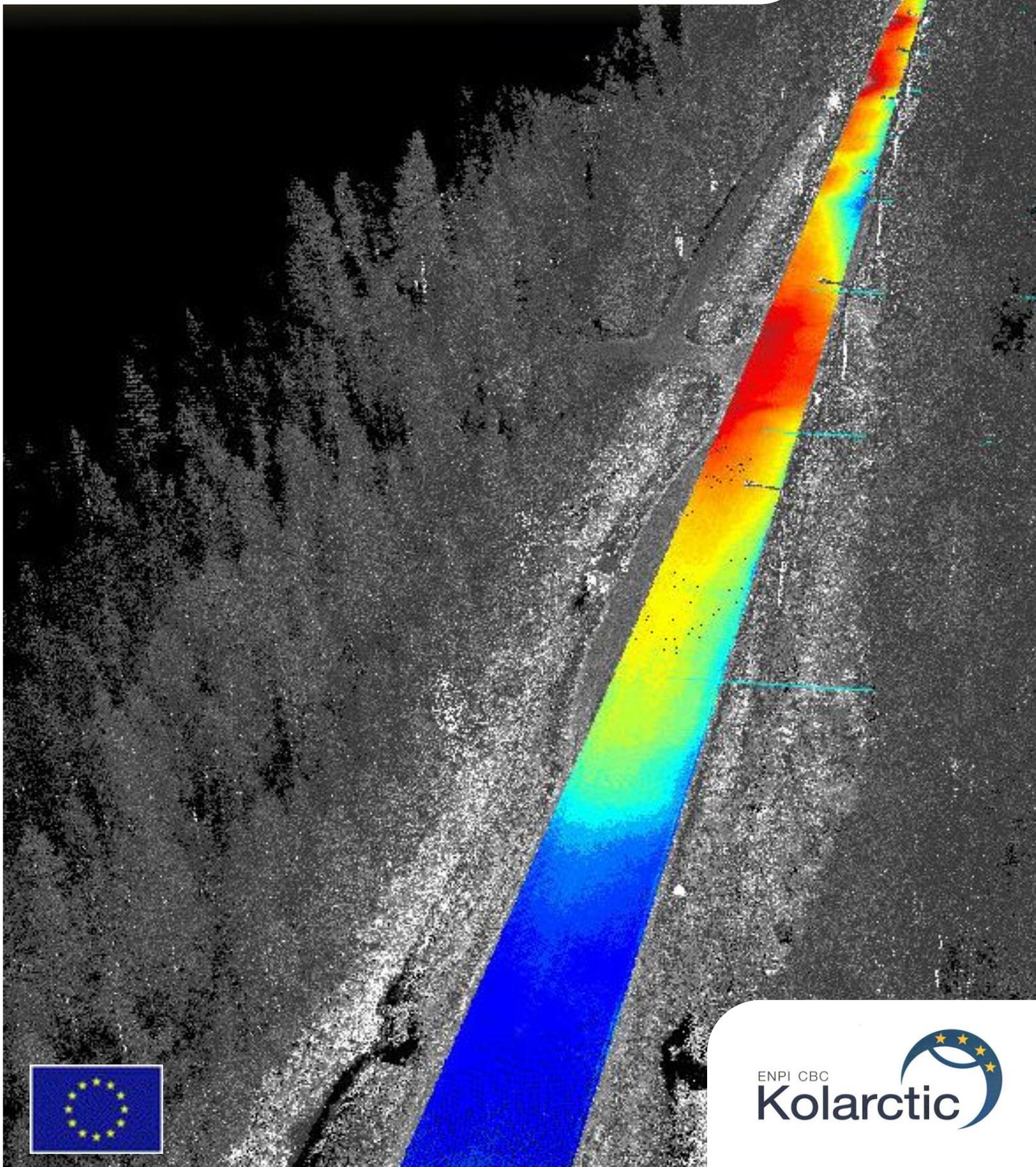


# Оценка влияния тяжелых грузовых автоперевозок на дорожные конструкции



# Оценка влияния тяжелых грузовых автоперевозок на дорожные конструкции

Изучение в Финляндии  
(а/д HW4, Баренц регион, Финляндия)

Тимо Сааренкетто, Томи Херронен, Аннеле Матинтупа,  
Петри Варин, Анне Пелтониemi-Тайвалкоски

2011

Перевод на русский язык выполнен НП «Зеленая Волна» по заказу Лидирующего партнера Проекта Kolarctic ENPI CBC «Управление дорогами с низкой интенсивностью движения в Баренц регионе» - ООО «АвтоДорожный Консалтинг».

Контактные данные:

НП «Зеленая Волна»  
г. Архангельск,  
ул. Смольный Буян, 20

[greenwave29@mail.ru](mailto:greenwave29@mail.ru)

ООО АвтоДорожный Консалтинг»  
г. Архангельск,  
пр. Чумбарова-Лучинского, 23-5

[adc.ltd@mail.ru](mailto:adc.ltd@mail.ru)  
+7 (8182) 655-921

## Резюме

Данный отчет является частью Задачи 3 в рамках проекта Kolarctic ENPI CBC “Управление дорогами с низкой интенсивностью движения в Баренц Регионе”. “Изучения в Лапландии” были сфокусированы на описании и тестировании технологий, которые можно применять при оценке рисков, возникающих в случае увеличения весовых нагрузок от тяжелого грузового автотранспорта с позиции влияния последних на структурные и функциональные характеристики автомобильных дорог. Рассматриваемые технологии были опробованы на двух пилотных участках автомобильной дороги Нw 4, к северу от Рованиеми в финской Лапландии. Для проведения экспериментов использовались следующие основные виды оборудования: лазерный сканер, грунтовой пенетрационный радар (георадар), дефлектометр падающего груза (российский аналог - установка динамического нагружения), а также камера для проведения цифровой видеосъемки.

Собранные данные были проанализированы при помощи различных программных пакетов, диагностика выявленных дорожных проблем позволила классифицировать участки дороги по четырем классам риска. Для каждого класса риска при текущей интенсивности движения и в случае ее увеличения были выполнены расчеты остаточного срока службы дороги. В итоге были выполнены расчеты влияния различных конфигураций тяжелых транспортных нагрузок на дорожные конструкции.

Результаты структурного анализа показали, что дорожные конструкции на обоих пилотных участках а/д Нw 4 оказались в сравнительно хорошем состоянии. Поскольку толщина дорожной одежды была достаточно большой, сдвиги дорожная одежда/земляное полотно оказались незначительными. Срок службы связных слоев дорожной одежды был короче, чем требовалось, однако его возможно было увеличить за счет укладки нового слоя покрытия. Однако, в результате неудовлетворительного функционирования водоотводной системы возникали проблемы дифференциального морозного пучения, приводящие к возникновению остаточных деформаций в период весеннего снижения несущей способности дороги.

Анализ влияния увеличения автотранспортной нагрузки по сравнению со стандартной опцией – 60-тонный грузовой автомобиль – показал, что более длинные и тяжелые грузовые автомобили вызывают большие сдвиги в зоне дорожная одежда/земляное полотно, но напряжения в верхних слоях дорожной одежды при движении 72т и 90-тонных грузовых автомобилей даже ниже по сравнению со стандартным 60-тонным.

## Предисловие

Проект Коларктик «Управление дорогами с низкой интенсивностью движения в Баренц регионе» является техническим международным проектом, реализуемым совместно партнерами - Лапландским Центром экономического развития, транспорта и окружающей среды (Финляндия), Государственным казенным учреждением Архангельской области «Дорожное агентство «Архангельскавтодор»», Государственным областным казенным учреждением по управлению автомобильными дорогами Мурманской области «Мурманскавтодор» (Россия). ФГУ «Управление автомобильной магистрали Санкт-Петербург — Мурманск» (ФГУ Упрдор «Кола») и Министерство строительства республики Карелия являются Ассоциированными Партнерами Проекта. Лидирующим Партнером проекта выступает ООО «Автодорожный консалтинг». Лапландский Центр экономического развития, транспорта и окружающей среды отвечает за проведение данного Лапландского Изучения. Консультантом проекта является консорциум, сформированный компаниями Roadscanners Oy и Pöyry Finland Oy (Финляндия).

Главными целями проекта «Управление дорогами с низкой интенсивностью движения в Баренц регионе» являются:

- Гармонизация территориальных отраслевых практик на основе добровольного профессионального партнерства, а не директив сверху
- Вклад в развитие экономик территорий Баренц Региона посредством улучшения состояния сетей дорог с низкой интенсивностью движения для развития бизнеса и выхода его на региональные, национальные и международные рынки, для повышения уровня социальных услуг для населения

Особые цели проекта включают:

- Гармонизация принципов и технологий содержания дорог с низкой интенсивностью движения в Баренц регионе;
- Повышение устойчивости функционирования сетей дорог и снижение негативного влияния дорожной деятельности на окружающую среду;
- Оптимизация затрат по содержанию сетей дорог с низкой эффективностью при помощи инноваций, адаптированных к местным условиям;
- Вхождение российских дорожников в инновационное пространство транспортного кластера Баренц Региона для ускорения решения общих специфических проблем северных периферийных территорий, что требует лучшей транспортной доступности как основной предпосылки развития бизнеса, повышения занятости и качества жизни местного населения.

Авторы выражают благодарность Лапландскому Центру экономического развития, транспорта и окружающей среды за эффективное клиент-ориентированное отношение, а Руководящей Группе Проекта – за поддержку и руководство деятельностью. Одной из целей Проекта является распространение ноу-хау проектов Северной Периферии «ROADEX I...IV» в России. Авторы также выражают признательность за сотрудничество Лидирующему Партнеру Проекта ROADEX IV – Шведской Транспортной Администрации.

Данный отчет является первым в ряду технических отчетов проекта «Управление дорогами с низкой интенсивностью движения в Баренц регионе», среди которых также:

- Технический отчет 2: Оценка влияния тяжелых грузовых автоперевозок. Описание методологии.
- Технический отчет 3: Изучение в Архангельской области: Оценка влияния тяжелых грузовых автоперевозок – Виртуальное моделирование.
- (Технический отчет 4: Изучение в Мурманской области: Мониторинг состояния автомобильных дорог при помощи георадара, на основании результатов полевых исследований 2008г.)

# Содержание

РЕЗЮМЕ .....	2
ПРЕДИСЛОВИЕ .....	4
СОДЕРЖАНИЕ .....	6
1. ВВЕДЕНИЕ.....	7
2. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОБСЛЕДОВАНИЙ .....	9
2.1 Лазерный сканер.....	9
2.2 Георадарные обследования .....	10
2.3 Измерения несущей способности с применением FWD (дефлектометра падающего груза) .....	10
2.4 Цифровая видеосъемка; анализ состояния водоотвода и разрушений покрытия.....	11
2.5 Анализ данных профилометра.....	11
2.6 Инструменты и программное обеспечение для анализа данных .....	11
3. ОБСЛЕДУЕМЫЕ УЧАСТКИ ДОРОГИ .....	13
4. СТРУКТУРНОЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ДОРОГИ.....	14
4.1 История строительства.....	14
4.2 Дорожная одежда.....	15
4.3 Грунты земляного полотна и их влияние на транспортно-эксплуатационные характеристики дороги .....	15
4.4 Поперечные профили дороги.....	16
4.5 Повреждения покрытия, колейность и ровность.....	18
4.5.1 Общее .....	18
4.5.2 Участок 505 .....	19
4.5.2 Участок 515 .....	20
4.6 Несущая способность и риск колейности 1 и 2 степени .....	23
4.7 Проблемы, вызванные воздействием морозного пучения.....	25
4.8 Анализ состояния водоотвода .....	28
4.8.1 Участок 505 .....	28
4.8.2 Участок 515 .....	29
4.9 Потенциальные геотехнические проблемы .....	32
5. АНАЛИЗ РИСКОВ, СРОК СЛУЖБЫ ПОКРЫТИЙ И ПОТРЕБНОСТЬ В УСИЛЕНИИ.....	33
5.1 Принципы классифицирования и проектирования.....	33
5.2 Классификация рисков .....	34
5.3 Остаточный срок службы дорог.....	35
5.4 Рост интенсивности движения при существующем составе грузового парка (60т грузовые автомобили).....	35
6. АНАЛИЗ РИСКОВ И СТРУКТУРНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ В СЛУЧАЕ УВЕЛИЧЕНИЯ ТЯЖЕСТИ ГРУЗОВЫХ АВТОПЕРЕВОЗОК .....	40
6.1 Общие положения.....	40
6.2 Варианты грузовых автомобилей.....	41
6.3 Структурное влияние различных вариантов транспортировки .....	42
6.4 Периоды восстановления дороги после прохождения тяжелого автотранспорта.....	46
6.5 Оценка затрат.....	48
7. РЕЗЮМЕ И РЕКОМЕНДАЦИИ .....	49
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	51

# 1. Введение

Общей для всех автодорожных сетей Баренц региона характеристикой является значительная протяженность расстояний перевозки, что увеличивает транспортную составляющую в себестоимости продукции. Конкурентоспособность лесной и горной отраслей особенно зависит от транспортных затрат. Одной из альтернатив по снижению транспортной составляющей, а также выбросов, является смещение в сторону более тяжелых/длинных автопоездов для доставки сырья к местам производства продукции и далее на рынки сбыта. Результаты различных пилотных исследований влияния повышения тяжести автоперевозок показывают, что удвоение чистого веса грузового автомобиля позволяет снизить транспортные затраты на 25 – 30%. Одним из примеров такого проекта, реализуемого в настоящее время, является шведский проект ЕТТ (En Trave Till – еще один прицеп), в рамках которого древесина перевозится по специальным главным автодорожным маршрутам при помощи автопоезда (грузовой автомобиль + 2 прицепа) длиной 30,5 м и грузоподъемностью 90т (Рисунок 1).

Перед использованием более тяжелых транспортных конфигураций организации, отвечающие за управление дорожными сетями, должны оценить влияние более тяжелых грузовых автомобилей на состояние и транспортно-эксплуатационные характеристики автомобильных дорог и мостов, окружающую среду и безопасность дорожного движения, т.д. Различные аспекты данного вида анализа влияния приведены на Рисунке 2.



*Рисунок 1. Грузовой 90-тонный автопоезд длиной 30,5м на испытаниях в рамках проекта “En Trave Till” (еще один прицеп) в Северной Швеции.*

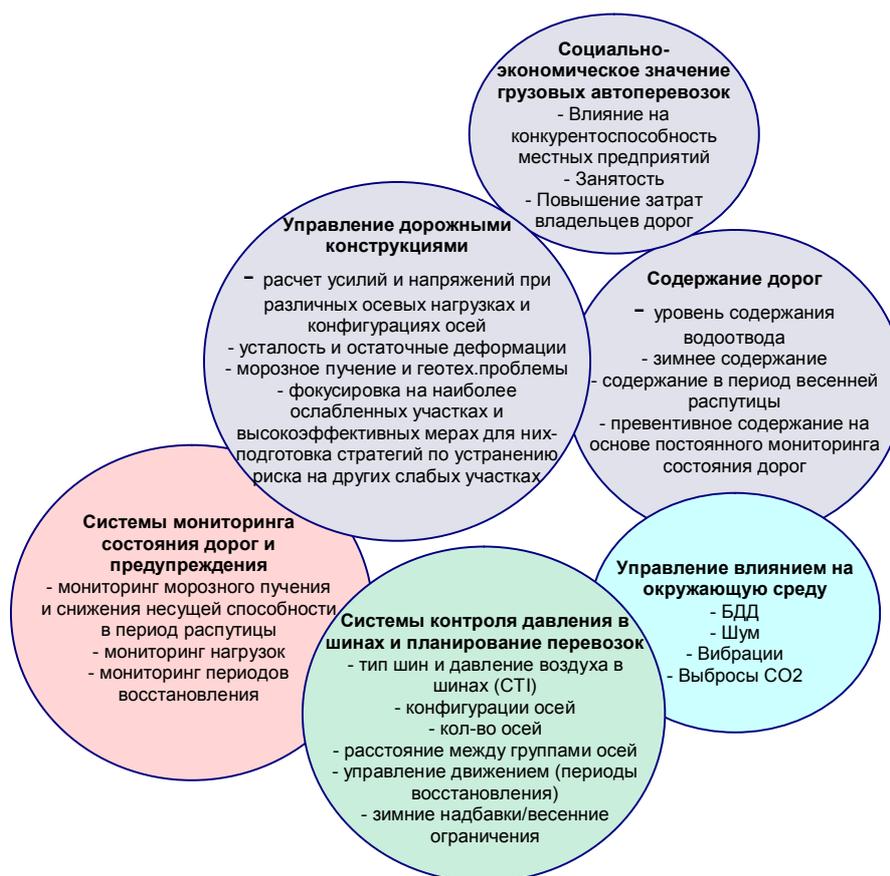


Рисунок 2. Области и особые вопросы, требующие оценки в рамках анализа влияния тяжелых грузовых автоперевозок.

Настоящее изучение в Лапландии сфокусировано на тестировании и описании технологий, которые можно было бы использовать при оценке рисков, создаваемых повышением суммарных весовых нагрузок тяжелого грузового автотранспорта (40т, 60т, 80т, 100т). Данный проект подразделяется на несколько составных частей. Вначале на выбранных пилотных участках дороги были проведены диагностические измерения для оценки общего состояния дороги, «наиболее слабых звеньев» дорожной конструкции и их географического местоположения. По завершению диагностики были выполнены расчеты остаточного срока службы этих участков дороги, а также общих усилий и напряжений на пилотных участках. На основании полученных результатов была выполнена оценка максимальных допустимых нагрузок, конфигураций осей и колес, а также давления воздуха в шинах, применимых для конкретного участка в тот или иной сезон года. В завершении была выполнена общая оценка, а также рекомендованы мероприятия, которые позволят снизить риск серьезного разрушения дорог в результате движения тяжелых грузовых автомобилей.

Отчет приводит ключевые результаты Изучения в Лапландии по двум участкам - км 505 и км 515 а/д HW4 между Рованиеми и Сёданкюля и демонстрирует выполнение оценки влияния тяжелых грузовых автоперевозок на практике.

## 2. Оборудование, применяемое для проведения обследований

Ниже представлено описание оборудования, примененного при проведении обследований в рамках данного проекта.

### 2.1 Лазерный сканер

Обследование методом мобильного лазерного сканирования было проведено на участке а/д 505 компанией GEOVAP Ltd., Чешская Республика, при помощи технологии Quantum 3D. Данное оборудование позволяет получить точные данные «Облака точек» в отношении поверхности дороги и ее окружения для последующего использования при анализе дорожной геометрии, поперечного профиля, водоотвода, морозного пучения. Поскольку одной из целей изучения было измерение морозного пучения дорожной одежды в целом, участок 505 был обследован дважды: сначала в апреле, когда еще стояли морозы и дорожное покрытие было свободно от льда (Рисунок 3), а затем в начале июня после того, как значительная часть конструкции оттаяла, а растительность еще пока не мешает проведений измерений. После этого была определена разница между координатами  $z$  (высотными отметками), полученными по результатам двух этих обследований. Разница в отметках и есть величина морозного пучения. Данные лазерного сканирования Quantum 3D также применялись для построения точного профиля поверхности дороги.



Рисунок 3. Транспортное средство, оснащенное мобильным лазерным сканером GEOVAP Quantum 3D, апрель 2011г.

Кроме высокоточных обследований дороги мобильным лазерным сканером Quantum 3D также было выполнено сканирование с использованием системы RDLS, разработанной компанией Roadscanners Oy. Полученные данные в основном были использованы для анализа состояния водоотвода.

## 2.2 Георадарные обследования

Оба пилотных участка были обследованы при помощи грунтового пенетрационного радара (георадара) в целях создания 3D изображения подповерхностных структур. При обследованиях был использован новый высокоскоростной и высокоточный георадар GSSI SIR-30, позволяющий получить высококачественные данные по всей ширине проезжей части с семи полос измерений (ось дороги, внутренние колеи, середина полос движения, края дороги). Применялись антенны по новейшей технологии GSSI: улучшенная 2.0 ГГц антенна для измерения толщины слоев покрытия и основания и новая 400 МГц антенна для скоростного сбора данных для более глубоких слоев дорожной конструкции.

После предварительного анализа георадарных данных в начале июля при помощи георадаров были также собраны данные по поперечному профилю дороги. Данные собирались по всем 40 поперечникам, представляющим все типичные дорожные конструкции. Для этого применялись система GSSI SIR-3000 и две разных антенны: 1.5 ГГц высокочастотная и высокоточная антенна для верхних слоев дорожной одежды (до 80см вглубь) и 400 МГц антенна для определения толщины всех конструкций, включая данные по грунтам земляного полотна.

Обработка и интерпретация георадарных данных выполнялись при помощи программного обеспечения Road Doctor™ Pro. Программой были интерпретированы следующие структурные слои: покрытие (битумосодержащие слои), верхний слой основания, нижний слой основания, а также определена общая толщина дорожной одежды и высота насыпи. Качество георадарных данных было высоким, что позволяло интерпретировать их с указанием четких границ между слоями. Наилучшее качество расшифровки было обеспечено при определении толщин верхних слоев на участке 515. Однако, в данном проекте бурение для подтверждения точности полученных георадарных данных не допускалось.

## 2.3 Измерения несущей способности с применением FWD (дефлектометра падающего груза)

Измерения несущей способности дороги методом дефлектометра падающего груза выполнялись с применением дефлектометра KUAB компанией Geolab Oy, Оулу. В связи с очевидностью того, что полоса движения в южном направлении от Рованиеми является наиболее ослабленной, измерения проводились в направлении 2 - с севера на юг. Интервал между замерами составил 50м. Измерения осуществлялись в августе.

Кроме стандартной информации о величине прогиба также регистрировались исторические данные для определения возможных периодов восстановления. Обработка и анализ всех собранных данных выполнялись при помощи программного обеспечения Road Doctor™ Pro.

## 2.4 Цифровая видеосъемка; анализ состояния водоотвода и разрушений покрытия

Для сбора видеоданных применялась система Road Doctor™ CamLink с двумя видеокамерами. Система специально создана для съемки видео, фиксирования аудиокомментариев, инвентаризации состояния водоотвода или разрушений покрытий с указанием координат GPS. В мае был выполнен сбор видеоданных для оценки состояния водоотвода и анализа разрушений покрытия. Видеосъемка велась в обоих направлениях движения, включая запись данных с двух камер, одна из которых была ориентирована на проезжую часть, другая – на боковую канаву.

Анализ состояния водоотвода был выполнен в середине мая, когда снег стаял, а растительность еще не создавала помех для измерений и оценки. Первичная оценка выполнялась непосредственно с транспортного средства в период видеосъемки, окончательная – в офисе с корректировкой ошибок, если таковые имели место. Анализировались состояние правой и левой боковых канав, водоотводных канав, высотные отметки (насыпь, в нулевых отметках, выемка, косогор).

## 2.5 Анализ данных профилометра

Исторические данные профилометрии были предоставлены Лапландским Центром экономического развития, транспорта и окружающей среды. Качественные исторические данные по измерению ровности (дважды в год) и колеяности за период с 2001г. послужили хорошей основой для диагностических расчетов. Более ранние измерения производились только по одной полосе движения в направлении 1, но в 2011г. данные были собраны и в направлении 2.

## 2.6 Инструменты и программное обеспечение для анализа данных

Большая часть собранных данных была обработана и проанализирована при помощи программного обеспечения Road Doctor™ Pro software. Данный программный продукт позволяет комбинировать данные георадаров, дефлектометра тяжелого груза, лазерного сканирования, термальных камер, измерений ровности IRI, колеяности и других с данными видеосъемки и картами. Когда все данные увязаны между собой, выполняется интегрированный анализ данных, включающий выполнение сравнений и установление корреляции между различными факторами, влияющими на поведение дороги. Программное обеспечение Road Doctor™ Pro связано с программным обеспечением для обратного расчета Elmod, модулем прямого расчета на основе формул FHWA (Федеральной Дорожной Администрации США), а также модулем расчета показателей несущей способности дорог по шведскому методу. Для расчета начальной несущей способности применялся встроенный анализ Одемарка - ROADEX Odemark dimensioning analysis.

Шведское программное обеспечение Swedish PMS Objekt (PMS – Система управления покрытиями), основанный на линейной теории упругости, применялся для расчета остаточного срока службы дороги и при проектировании усиления дорожных одежд. Программное обеспечение “Elmod 6”, разработанное Dynatest, послужило для обратного расчета модулей упругости слоев и выполнения анализа

конечных элементов FEM<sup>1</sup> для определения усилий и напряжений в дорожных конструкциях.

В настоящем проекте для выполнения анализа прогибов и оценки осевых нагрузок свыше 10т/ось, а также сравнения различных конфигураций тяжелых грузовых автомобилей применялось программное обеспечение Bisar®, в основе которого также лежит линейная теория упругости. Bisar® рассчитывает горизонтальные и вертикальные усилия и напряжения в разных слоях дорожной конструкции при заданной нагрузке, а также определяет величину горизонтального и вертикального сдвига в выбранных точках земляного полотна и структурных слоях.

---

<sup>1</sup> **Метод конечных элементов (МКЭ)** — численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики. Метод широко используется для решения задач механики деформируемого твёрдого тела (сопромата), теплообмена, гидродинамики и электродинамики. (прим. переводчика)

### 3. Обследуемые участки дороги

Автомобильная дорога HW4 – главная дорога, связывающая юг Финляндии (Хельсинки) с севером (Утсйоки). Участки 505 и 515, выбранные в финской Лапландии в качестве пилотных, расположены на расстоянии соответственно 15 км и 75 км к северу от Рованиеми. Протяженность участка 505 составляет 5,911 км, а участка 515 – 9,642 км. Конечной пилотного участка 515 совпадает с началом аварийной посадочной полосы для воздушных судов.

Пилотный участок 505 начинается малым мостовым сооружением и проходит по мореновым грунтам и горным породам, впоследствии переходя на участки заболоченной и суглинистой местности. Дорожная геометрия в целом адекватна, на участках отсутствуют значительные возвышенности и кривые малого радиуса. На участке имеется один мост протяженностью 15 м (3,240 м). Конец участка приходится на деревню Викаярви в месте примыкания дороги 82. В 2011 г. среднегодовая суточная интенсивность движения составила 3269 авт/сут. при доле грузового движения около 10% (320 авт/сут.). Ширина дороги на рассматриваемом участке согласно базе данных составляет 7,5 м, однако, по данным лазерного сканирования – 8,0 м.

Начало пилотного участка 515 совпадает с началом моста через р. Рауданйоки. Основной отличительной характеристикой участка является наличие протяженных прямых участков. На участке имеется несколько небольших возвышений, однако в основном ландшафт спокойный, кривые – большого радиуса. Конец участка совпадает с концом аварийной посадочной полосы для воздушных судов на 7,090 км. В сравнении с участком 505 среднегодовая суточная интенсивность движения ниже и составляет 1653 авт/сут. при доле грузового движения около 10% (169 авт/сут.). Ширина дороги на участке согласно базе данных составляет 8,5 м.

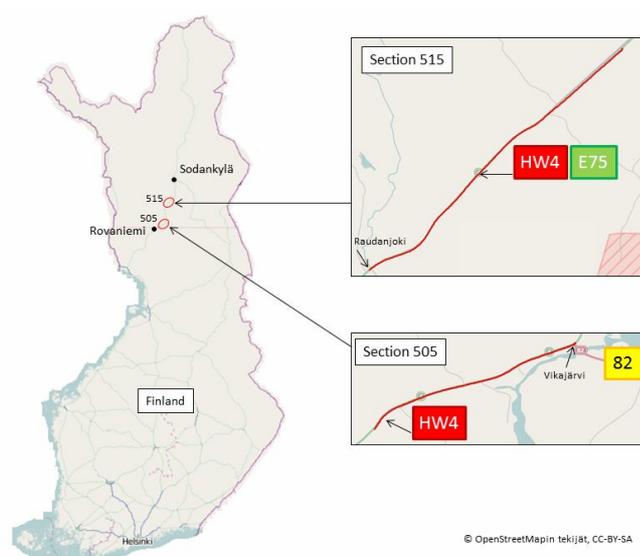


Рисунок 4. Местоположение пилотных участков в рамках Изучения в финской Лапландии

## 4. Структурное и функциональное состояние дороги

### 4.1 История строительства

Автомобильная дорога HW4 имеет долгую историю связывания ряда небольших населенных пунктов, Рованиеми и муниципалитета Сёданкюля. Информация по истории строительства участков дороги была найдена в записях Финского Транспортного Агентства.

Согласно этим записям оба пилотных участка до начала 1960-х годов имели гравийное покрытие. Первое упоминание о покрытии на участке 505 встречается в 1971г. В 1980г. Было устроено новое асфальтобетонное покрытие АС. В 1991г. участки с выраженной колеиностью были восстановлены методом тонкого фрезерования и укладкой нового слоя асфальтобетона. В 2002г. проводились работы при помощи ремиксера. В период 2008-2009гг. основной проблемой на участке стало трещинообразование, развивающееся сверху вниз. Весной при оттаивании дороги вода выжималась из нижних слоев на покрытие (см. Рисунок 5). На основании данных диагностики покрытия на данном участке в 2010г. было проведено небольшое усиление в виде дополнительного слоя асфальтобетона.

На участке 515 первое битумосодержащее покрытие было уложено в 1963г. – нефтегравий (макадам). Укладка нового слоя того же материала последовала в 1979г. В 1986г. на участке были произведены работы по восстановлению и усилению. Старые слои были перераспределены с целью уширения дороги, после чего был уложен новый толстый слой несвязного материала (верхний и нижний слой основания), а поверх - слой асфальтобетона. В 1997г. поверх существующего покрытия был уложен новый слой асфальтобетона.



*Рисунок 5. Цифровые фотографии и изображения с термальной камеры на участке 505 а/д HW 4, весна 2009г. Данные термальной камеры свидетельствуют о наличии проникающих трещин в покрытии. Более холодные зоны по обеим колеям свидетельствуют о выжимании воды через трещины в покрытии.*

## 4.2 Дорожная одежда

Дорожная одежда на участке 505 представлена слоем связных материалов толщиной 200мм и слоем несвязных материалов толщиной 200мм. На некоторых участках было выполнено усиление конструкции в целях предотвращения морозного растрескивания покрытия в виде стальных сеток, уложенных под битумосодержащим слоем. В период производства работ по дальнейшему усилению в 2010г. на участке 1480 – 1630м были уложены новые стальные сетки. На этом участке стальные сетки укладывались внизу битумосодержащих слоев. Толщина слоя основания значительно варьируется по длине участка. Средняя суммарная толщина дорожной конструкции составляет порядка 1,0м.

Георадарные данные показывают, что дорожная конструкция в пределах пилотного участка 515 весьма однородна. Средняя толщина связных слоев составляет 165мм, слоев основания – 300мм. Средняя суммарная толщина дорожной конструкции составляет 1.3м, т.е. больше, чем на участке 505, хотя интенсивность движения на участке 505 выше.

Таблица 1. Толщина слоев дорожной одежды на участках 505 и 515.

Толщина слоев	Связные слои [мм]	Несвязные слои основания [мм]	Прочие несвязные слои [мм]	Вся конструкция [мм]
<b>Участок 505</b>				
<b>Мин.</b>	91	56	151	511
<b>Макс.</b>	343	479	2678	3075
<b>средняя</b>	193	178	582	952
<b>Участок 515</b>				
<b>Мин.</b>	70	50	266	709
<b>Макс.</b>	413	612	2341	3165
<b>средняя</b>	165	319	847	1331

## 4.3 Грунты земляного полотна и их влияние на транспортно-эксплуатационные характеристики дороги

Распределение величин модулей упругости материалов земляного полотна и нижележащих слоев представлено на Рисунке 6 и детальными картами в Приложении 1. На основании результатов анализа данных измерений дефлектометром падающего груза большая часть материалов земляного полотна и нижележащих слоев имеет модуль упругости в пределах 40-80МПа. На участке 505 отсутствуют грунты/материалы с модулем менее 20 МПа и только 1,1% грунтов земляного полотна участка 515 характеризовался модулем упругости 10-20 МПа. Около 5,1%

протяженности участка 505 и 11,9% участка 515 имели модуль упругости свыше 120МПа.

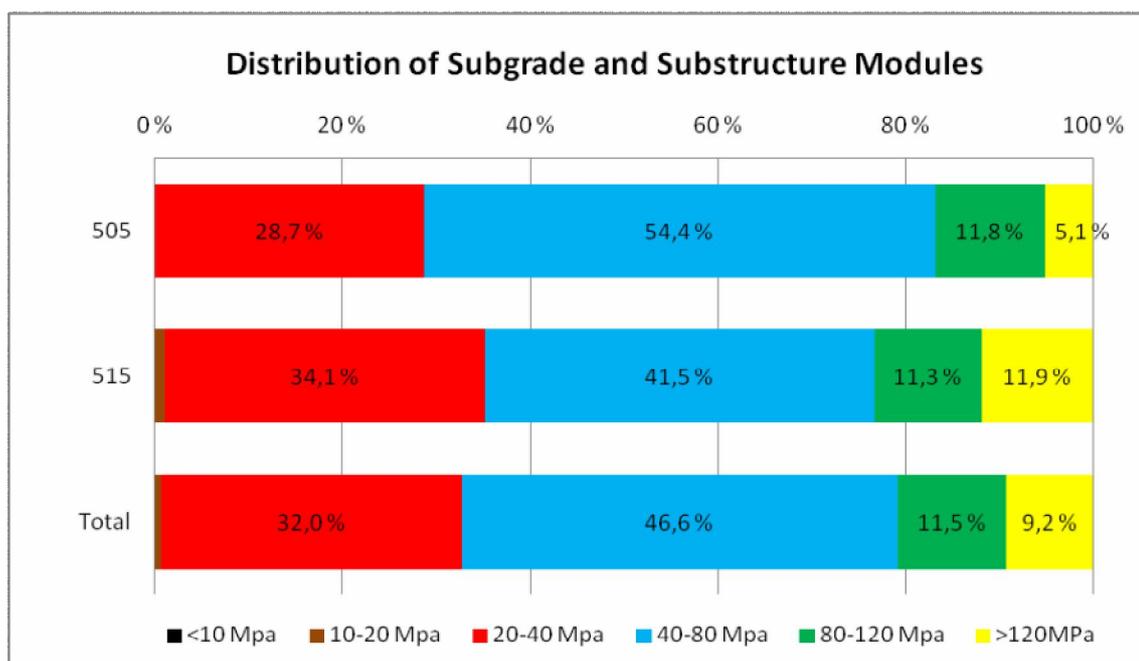


Рисунок 6. Распределение модулей упругости земляного полотна на пилотных участках дороги.

Модуль упругости грунтов земляного полотна и нижележащих слоев свыше 80МПа свидетельствует о том, что данный материал является достаточно прочным и обеспечивает высокую несущую способность (например, гравий, песок или крупнозернистый мореновый). При модулях упругости грунтов менее 10МПа земляное полотно считается слабым (например, торф, суглинистые и илистые грунты) и подверженным колеиности 2 степени. Грунты земляного полотна с модулем упругости 10-20 МПа также характеризуются низкой несущей способностью и могут терять ее в период весенней распутицы (например, глина, суглинок, морена с высоким содержанием пылеватых частиц). На обследованных участках дорог было зафиксировано очень малое количество показателей модуля упругости менее 20МПа.

#### 4.4 Поперечные профили дороги

Поперечные профили большинства участков были обследованы при помощи георадаров. На участке 505 георадарами были обследованы 14 поперечных профилей, на участке 515 – 15 поперечных профилей. Примеры поперечных профилей участка 505 на радарограмме приведены на Рисунках 7, 8 и 9. В целом, все поперечные профили характеризуются однородностью структур в верхней части дорожной одежды. Тем не менее, старая дорожная конструкция имела следы колеиности 2 степени. Наличие сравнительно большого количества стальных сеток свидетельствует о наличии проблем, связанных с морозным пучением.

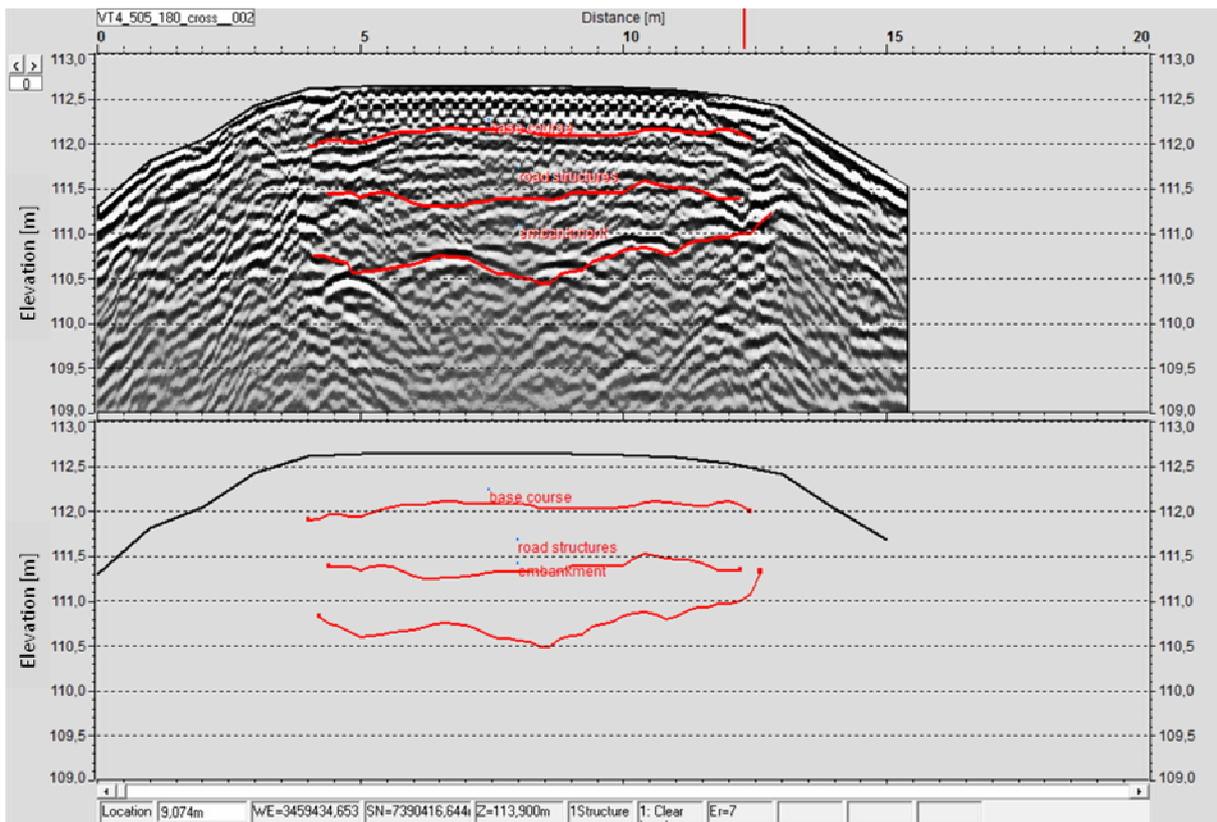


Рисунок 7. Георадарограмма с антенны 400МГц и ее расшифровка, 180м

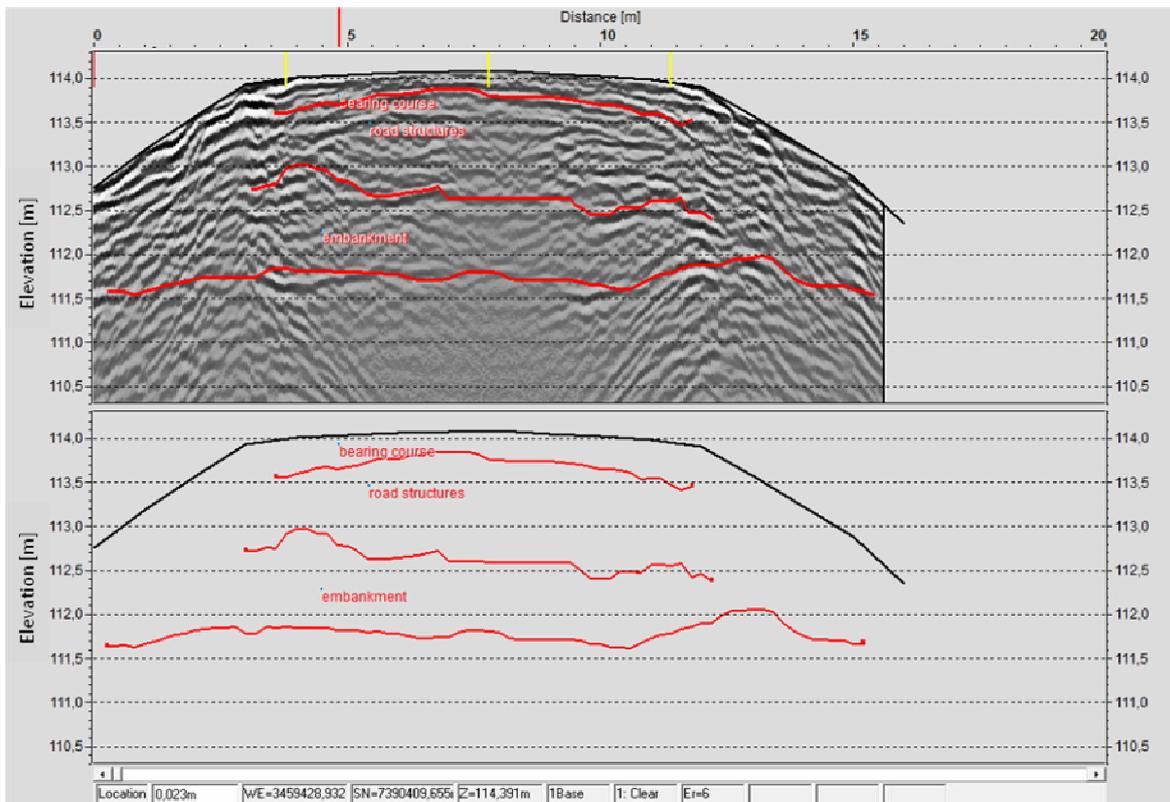


Рисунок 8. Георадарограмма с антенны 400МГц и ее расшифровка, 2540м.

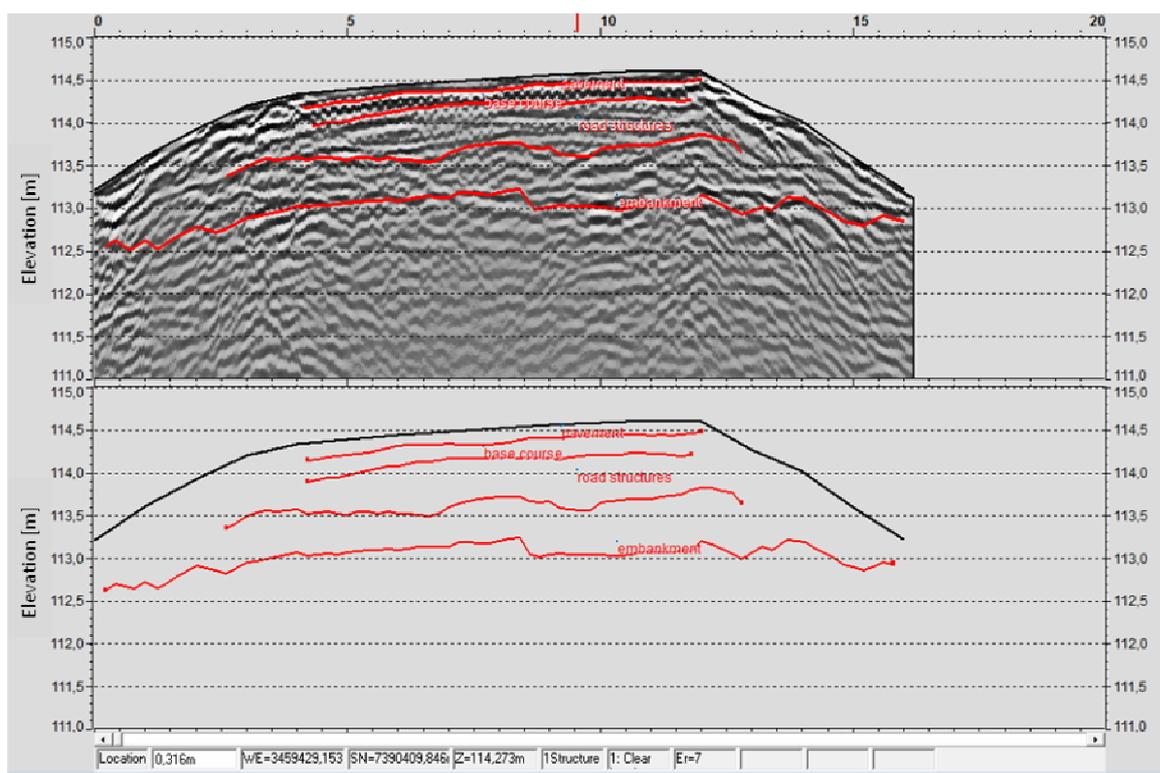


Рисунок 9. Георадарограмма с антенны 400МГц и ее расшифровка, 3770м.

## 4.5 Повреждения покрытия, колеиность и ровность

### 4.5.1 Общее

Типы повреждений покрытия в данном проекте классифицировались по следующим 9 классам: деформация, продольные трещины, поперечные трещины, разрушения кромки покрытия (левой и правой), сетка крокодиловых трещин, выбоины, расслоение покрытия, пэтки (заделанные выбоины). Выбоины и расслоение покрытия на данных участках выявлены не были. Инвентаризация выполнялась визуально из движущегося транспортного средства путем ввода в компьютер всех видов повреждений с их адресной привязкой.

В Таблице 2 приводится суммарная статистика инвентаризации повреждений покрытия в процентном соотношении к протяженности участков. На участке 515 инвентаризация покрытия проводилась вплоть до начала аварийной посадочной полосы для воздушных судов на 7120м.

Таблица 2. Результаты инвентаризации повреждений покрытия

Участок	Деформации, %	Продольные трещины, %	Поперечные трещины, %	Сетка крокодиловых трещин, %	Разрушения правой кромки, %	Разрушения левой кромки, %	Пэтки, %
505	0,4	4,2	2,1	0,5	1,7	0	0
515	0,4	12,1	4,1	28,4	4,4	9,3	0,06

#### 4.5.2 Участок 505

Как уже упоминалось ранее, в 2010г. На участке 505 было уложен новый слой покрытия, т.е. на момент проведения анализа возраст покрытия составлял год. Несмотря на это практически на всем протяжении участка были обнаружены новые узкие, главным образом вызванные воздействием морозного пучения, трещины (Рисунок 10). В конце участка были обнаружены одиночные продольные трещины (Рисунок 10).



*Рисунок 10. Участок 505, направление 1: Фото слева: 350 м. Поперечные трещины, вызванные дифференциальным морозным пучением, на участке косогора. Фото справа: 3200 м. Вызванная воздействием мороза продольная трещина перед мостом.*

Поскольку покрытие на участке 505 было новым, международный показатель ровности (IRI, 10 м) на правой колее был низким в обоих направлениях, в среднем составляя менее 3 мм/м. Высокие показатели встречались в тех же местах, где были обнаружены поперечные трещины. При сравнении показателей ровности в направлении 1, измеренные в 2011г., с данными 2008-2009гг., оказалось, что несмотря на то, что показатели 2011г. ниже, пики наиболее высоких значений одинаковы.

На Рисунке 11 приведены данные по глубине колеи, измеренные летом 2011г. В двух направлениях на участке 505. Максимальная глубина колеи составила менее 10мм на правой полосе и 10,2 мм на левой полосе. Средняя глубина правой колеи составила 2,9 мм, левой – 4.3мм. Значительная разница по направлениям может быть объяснена различиями в интенсивности движения тяжелого грузового транспорта. Незначительное увеличение имеет место в начале и в конце участка. На левой полосе имеется несколько участков с глубиной колеи 5-10мм. На правой полосе глубина колеи менее 5 мм. В начале и конце участка, на участках косогора и в насыпи имеется пара коротких участков с глубиной колеи 5 – 10 мм.

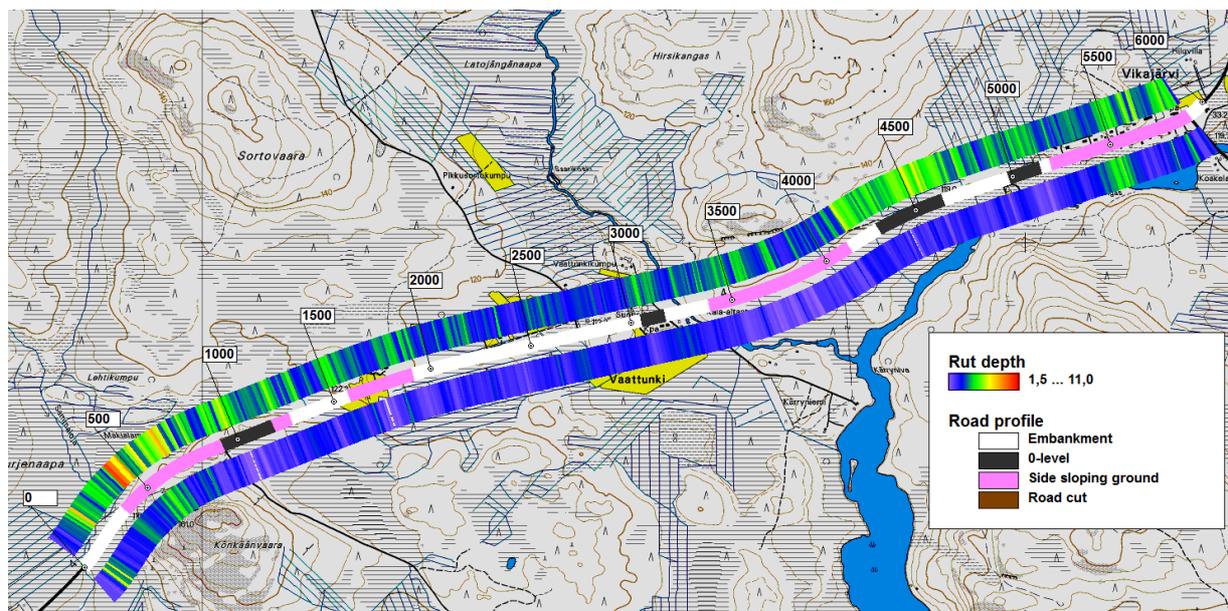


Рисунок 11. Глубина колеи на правой полосе (направление 1, справа) и на левой полосе (направление 2, слева) на участке 505. В центре указан дорожный профиль.

#### 4.5.2 Участок 515

Количество повреждений покрытия на участке 515 больше, чем на участке 505. Виды выявленных повреждений, в основном, - сетка крокодиловых трещин, поперечны и продольные трещины (Таблица 2, Рисунки 12 и 13). Наиболее поврежденными участками являются 1000 – 2500м, 3000 - 5000 м и от столба 6000м до конца рассматриваемого участка (Рисунок 13).



Рисунок 12. Участок 515, направление 1: фото слева: 4000 м. Продольные, поперечные трещины и сетка крокодиловых трещин. Фото справа: 4460 м. Продольные, поперечные трещины и сетка крокодиловых трещин.



Рисунок 13. Участок 515, направление 2: Фото слева: 7000 м. Пятч (заделанная выбоина) посередине проезжей части. Фото справа: 4360 м. Поперечная трещина и разрушение левой кромки.

Исторические данные ровности (IRI, 10 м) по правой колее показывают, что в период 2008-2011гг. какого-либо ухудшения показателей не наблюдалось. Показатели ровности на правой полосе, в основном, меньше 3. Летом 2011г. Показатели ровности (IRI, 10м) также измерялись и на левой полосе. Ониб как правило, составляли менее 4 мм, однако имели место и пики выше этого показателя. В конце участка (5900 – 7120 м), показатели ровности IRI несколько возросли на левой полосе (Рисунок 14). На этом же участке было обнаружено самое количество продольных трещин, указывающих на то, что проблемы ровности связаны с воздействием морозного пучения.

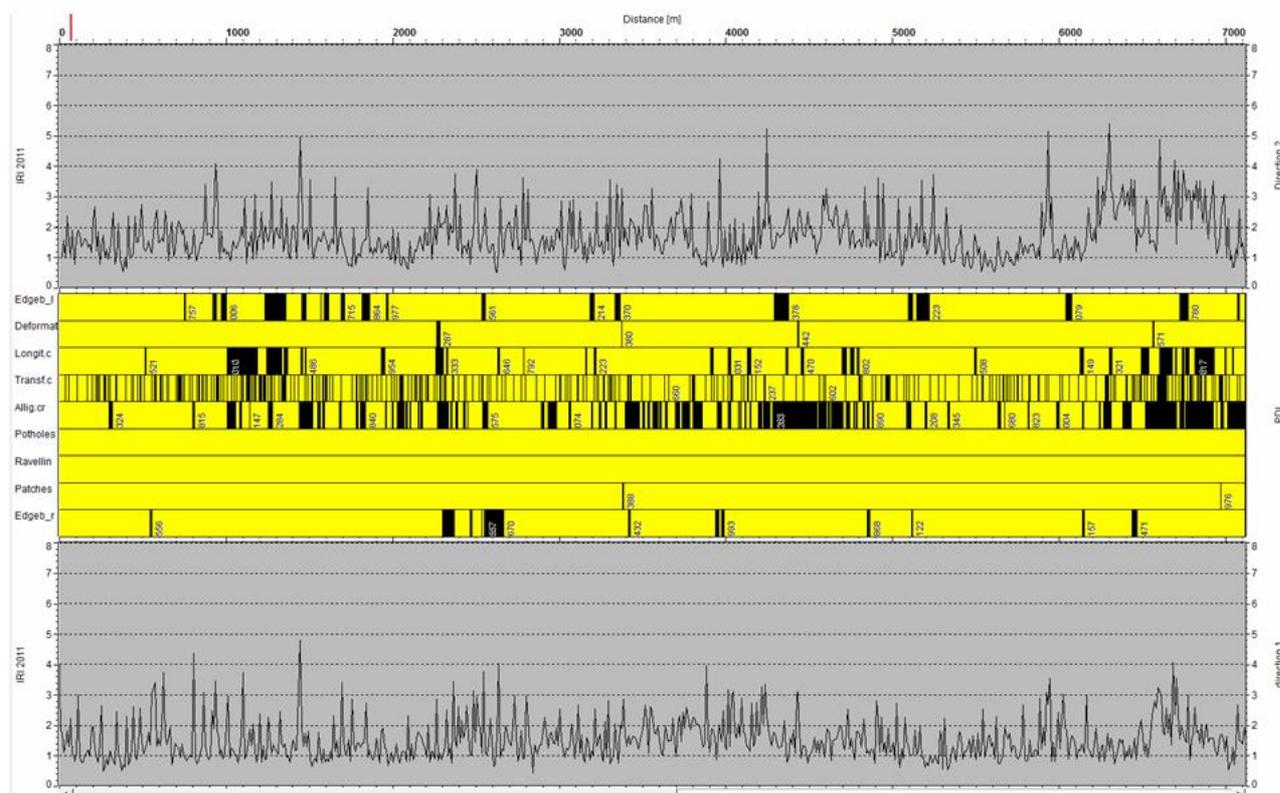


Рисунок 14. Показатели ровности (IRI, 10м) минимальны на правой полосе и максимальны на левой. В середине показаны данные инвентаризации покрытия.

При сравнении глубины колеи по данным 2011г. (направление 1) с результатами измерений 2008 – 2010г. есть ощущение, что имеет место рост показателей. При этом глубина колеи все же меньше 10мм. На правой полосе движения глубина колеи в среднем составляет 5,9мм, на левой - 6,7мм. Имеется две зоны в середине и в конце пилотного участка, где максимальная глубина колеи выше, чем на остальном протяжении (Рисунок 15). Увеличение глубины колеи на левой полосе происходит на тех же участках, что и на правой, но есть несколько зон с глубиной колеи более 10мм. В середине и в конце участка имеется ряд повреждений покрытия, состояние водоотвода варьируется от неудовлетворительного до приемлемого.

На правой полосе увеличение показателей колеиности было определено, исходя из максимальных показателей 2008-2011гг. Увеличение на всем протяжении участка составило менее 1мм. Только в середине участка, где глубина колеи была максимальна, ухудшение этого показателя составило более 1 мм. Это свидетельствует о том, что на данном участке дороги отсутствуют серьезные остаточные деформации. В целом, похоже, что рост показателей колеиности на участке 515 стабилизировался.

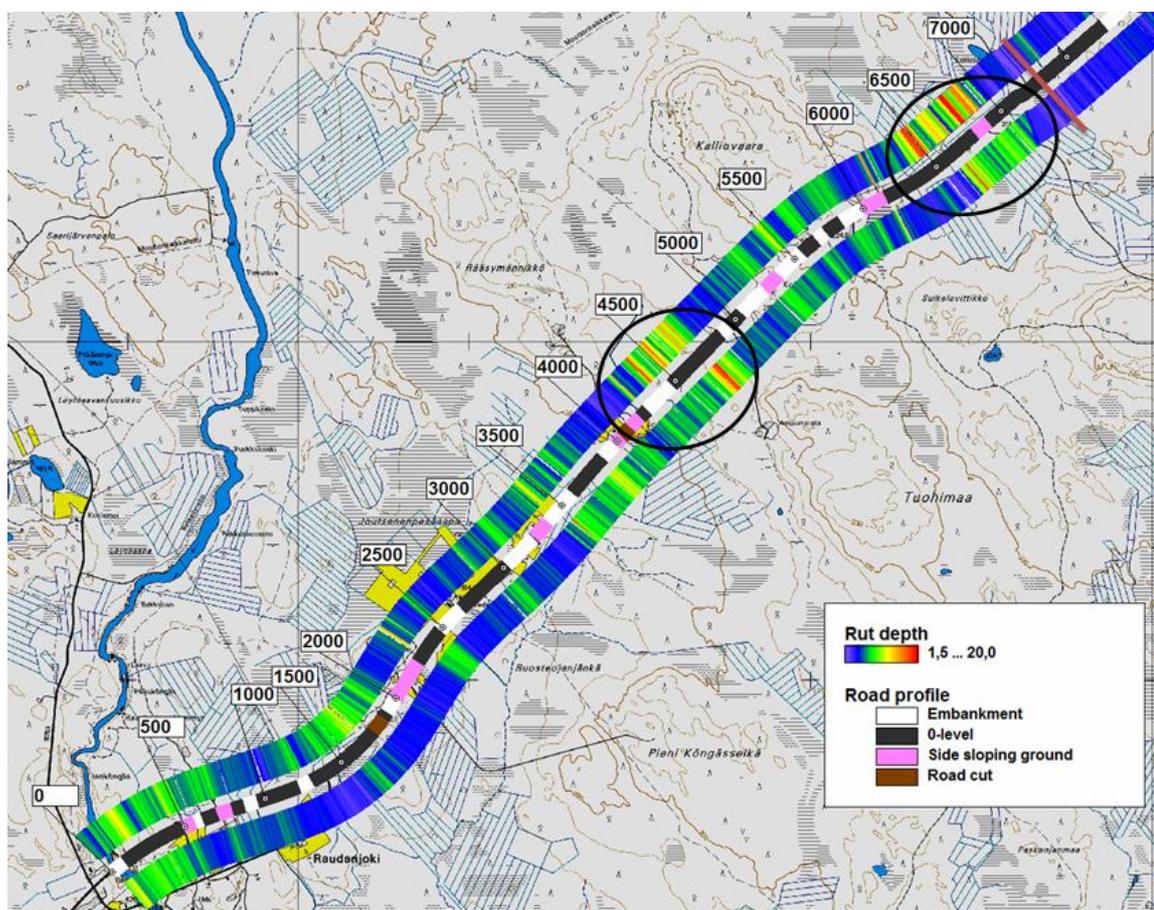


Рисунок 15. Глубина колеи на правой полосе (направление 1, справа) и левой полосе (направление 2, слева) на участке 515. В середине показан тип поперечного профиля дороги (насыпь -в нулевых отметках –косогор -выемка). Зоны с худшими показателями обведены кружком. Аварийный аэродром начинается в месте, обозначенном красной линией.

#### 4.6 Несущая способность и риск колейности 1 и 2 степени

Несущая способность по Одemarkу определялась по методу Одemark ROADEX. Показатели несущей способности на обоих участках были достаточно высокие. Значительная часть показателей была выше 400 МПа: 68,1% на участке 505 и 84,6% - на участке 515. Ослабленной зоной на участке 505 являлся участок 4000-5700м, где несущая способность составила 300 – 400 МПа. Минимальные показатели несущей способности на участке 505 (200-300МПа) были зафиксированы на участке 900-1100м. На участке 515 было выявлено лишь несколько коротких зон с несущей способностью 200-300 МПа, в основном же она составляла свыше 400 МПа. Распределение участков по показателям несущей способности представлено на Рисунке 16 и детальными картах в Приложении 2.

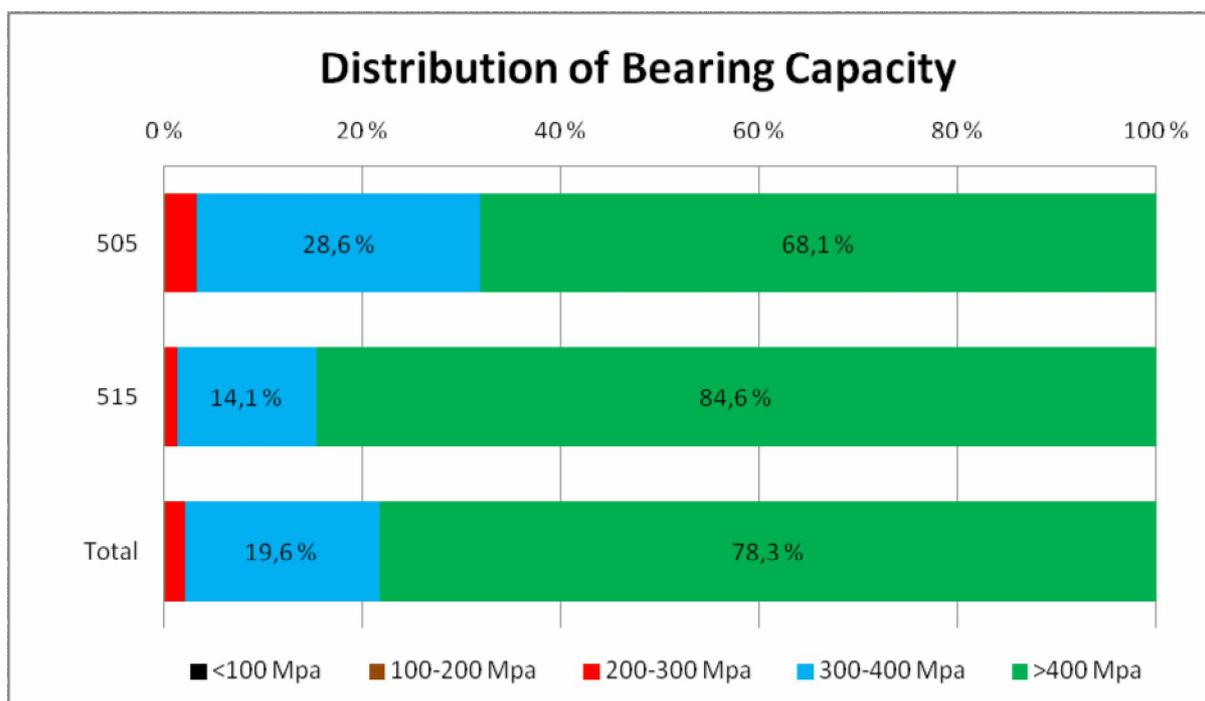


Рисунок 16. Распределение несущей способности на пилотных участках.

Также в рамках данного анализа влияний и рисков были определены усилия и напряжения в покрытии. Рассчитанные для нижележащих под слоями связных материалов слоев, они использовались в качестве индикатора риска колейности 1 степени. Деформации на обоих пилотных участках низкие, что свидетельствует о том, что риск колейности 1 степени минимален. 67,2% показателей напряжений на участке 505 и 54,9 % на участке 515 составляют менее 200. Распределение показателей приводится на Рисунке 17 и детальными картах в Приложении 3. Еще одним индикатором наличия колейности 1 степени является показатель SCI (индекс кривизны покрытия), который согласно расчетом также минимален. Распределение показателей усилий на обоих пилотных участках приведено на Рисунке 18.

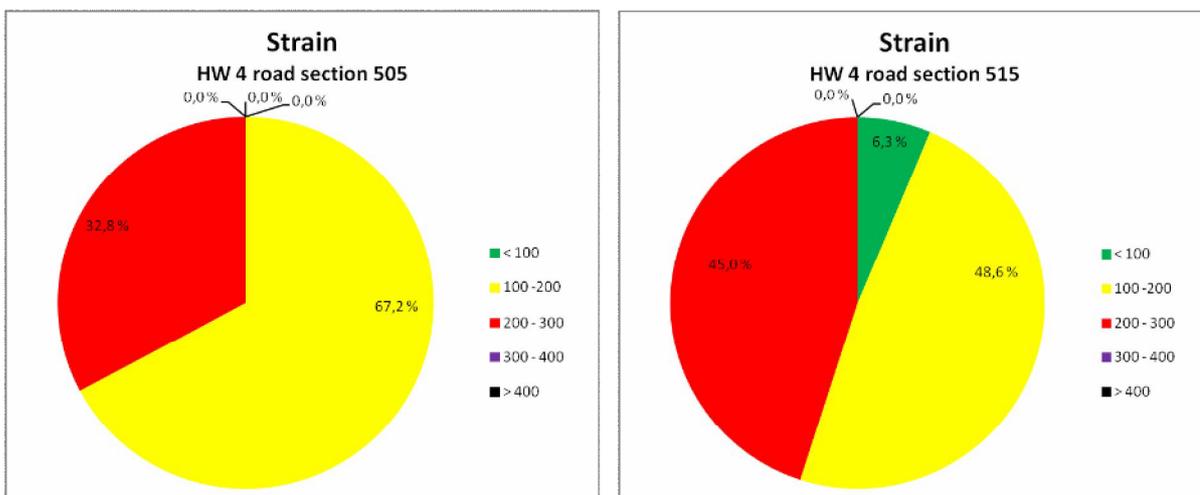


Рисунок 17. Распределение показателей усилий на пилотных участках

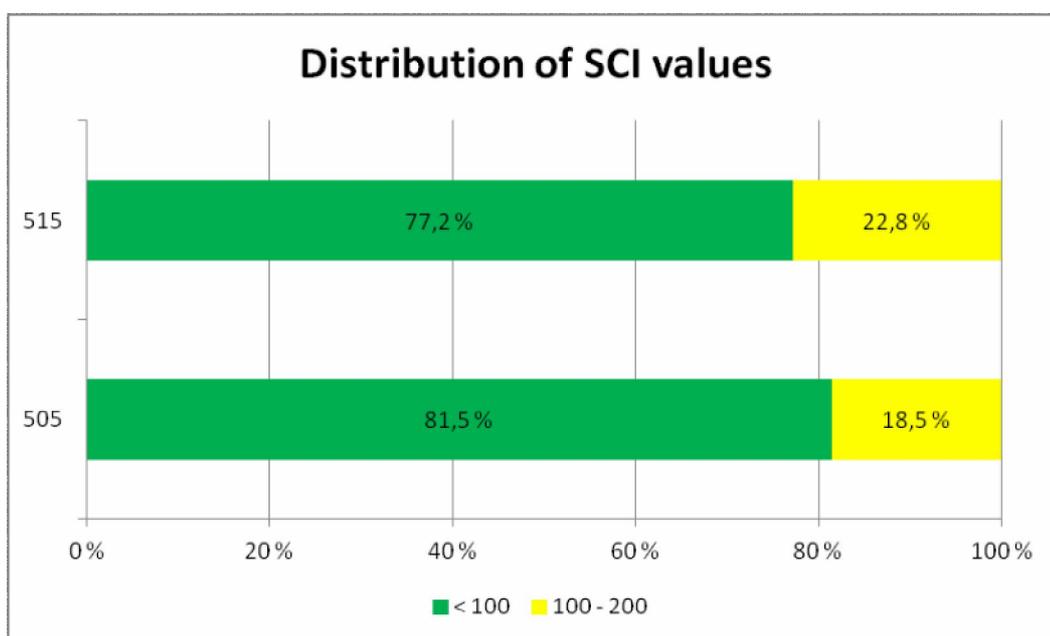


Рисунок 18. Распределение величин SCI (индекс кривизны покрытия) на обоих пилотных участках.

Индикатором колейности 2 степени является индекс кривизны основания (BCI). В целом показатели BCI – достаточно низкие. Есть лишь несколько коротких участков с высокими (>40) индексами BCI. Распределение величин BCI на обоих пилотных участках приводится на Рисунке 19.

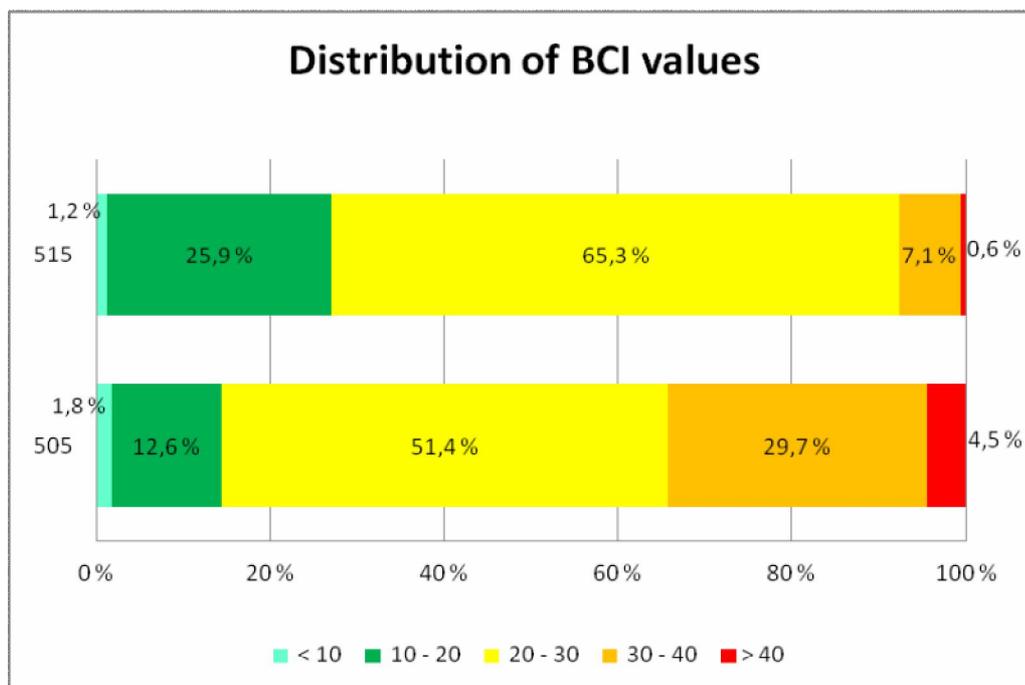


Рисунок 19. Распределение величин BCI (индекса кривизны основания) на обеих пилотных участках.

#### 4.7 Проблемы, вызванные воздействием морозного пучения

По участку 505 имелись данные по величине морозного пучения, а также данные видео «облако точек» показывало глубину морозного пучения в покрытии. По видео можно также было определить участки, подверженные морозному пучению. Данные лазерного сканирования, глубины боковых канав и расшифровки георадарограмм сопоставлялись друг с другом в целях определения причины морозного пучения.

Одной из основных причин морозного пучения на участке 505 являлось наличие примыкания к частным владениям, блокирующего отвод вод. Такой тип проблем был зафиксирован, например, на частных подъездах, расположенных на 950 м и 1750 м (см. Рисунок 20), а также в деревне Викаярви. Первопричиной возникновения морозного пучения на этих участках стало размещение уровня боковой канавы выше, чем подошвы дорожной одежды (см. Рисунки 21 и 22).

Анализ морозного пучения также показывает, что наиболее высокие показатели ровности IRI на левой полосе не могут быть полностью отнесены на счет высокой доли тяжелого грузового транспорта в направлении Рованиеми. Величина морозного пучения была также выше на левой полосе, поскольку дорога в основном проходит по участкам косогора (уклон слева направо). В результате данного анализа также был сделан вывод о том, что повышение качества содержания водоотвода могло бы оказать значительное влияние на снижение величины морозного пучения, повышение несущей способности и срока службы дорожной одежды. Эти меры по содержанию также были бы весьма выгодны для владельца дороги.

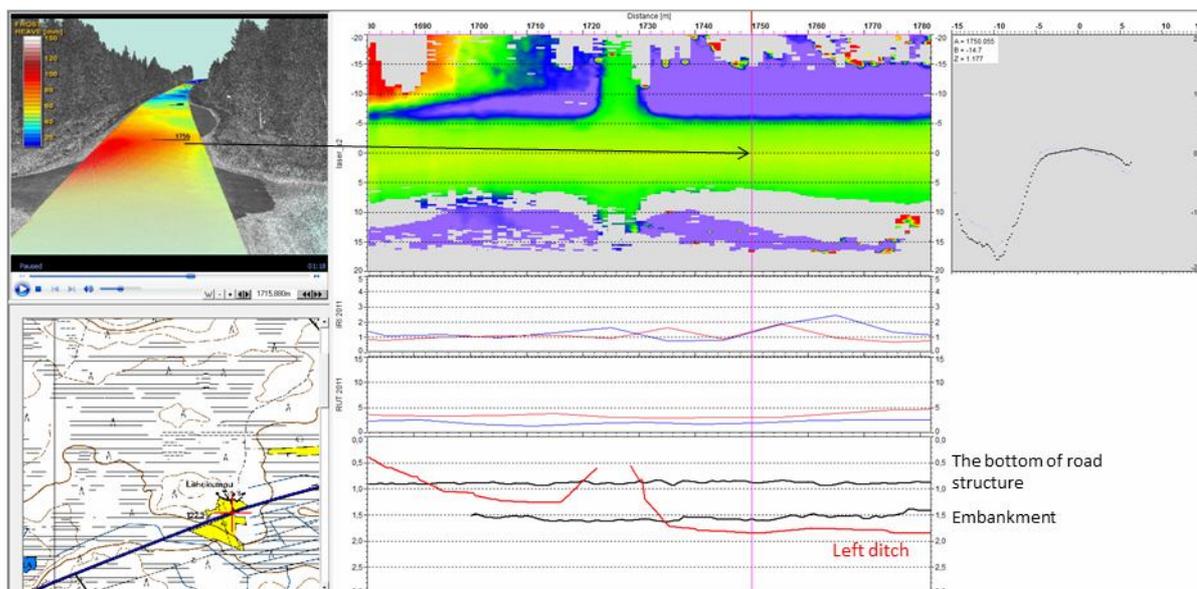


Рисунок 20. Анализ морозного пучения на участке 1750м. вверху слева показаны результаты видеосъемки методом «облако точек», внизу слева – карта местности. В окне справа сверху вниз соответственно: данные лазерного сканирования для покрытия на левой полосе дороги (направление 2, цветная картинка), показатели ровности (IRI) по правой полосе (синяя линия) и левой полосе (красная линия), глубина колеи по правой полосе (синяя линия) и левой полосе (красная линия), в четвертом окне – глубина канавы в метрах (красная линия – левая боковая канава), подошва дорожной одежды (верхняя черная линия), подошва насыпи (нижняя черная линия). В окне справа – поперечный профиль левой боковой канавы в точке, отмеченной красной линией. Анализ показывает, что левая боковая канава глубже, чем низ насыпи, результаты лазерного сканирования показывают, что ничто не блокирует свободный отвод воды. Поэтому причина проблем морозного пучения на участке заключается в засорении/промерзании в зимний период водопропускной трубы, расположенной в месте примыкания дороги к частному владению к рассматриваемой дороге общего пользования. Показатели ровности IRI возрастают на обеих полосах.

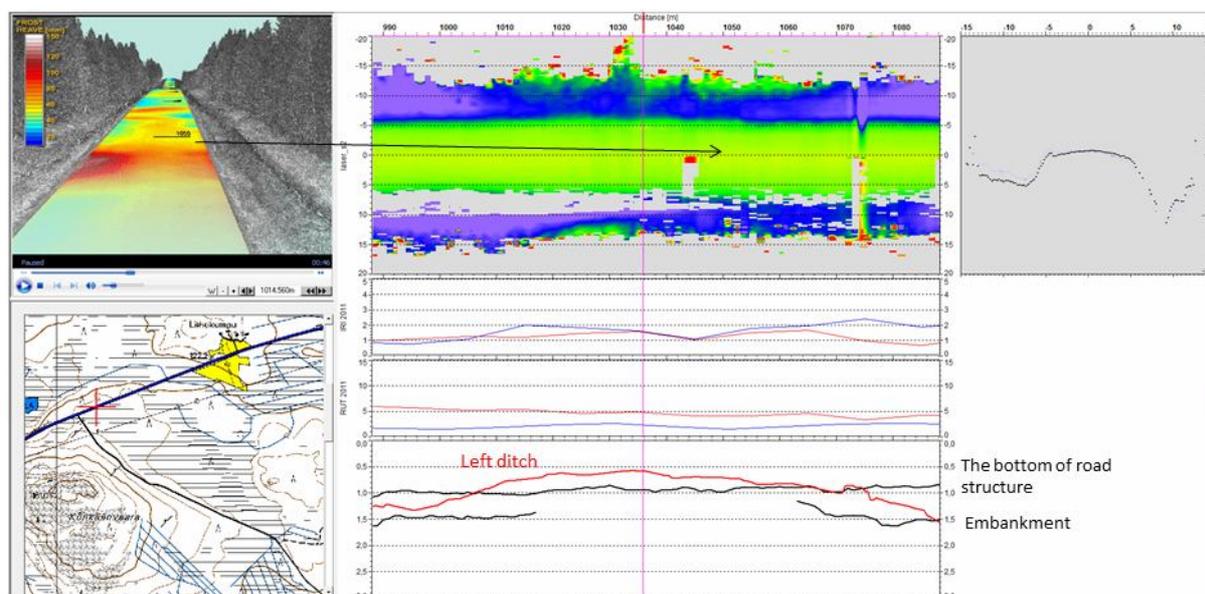


Рисунок 21. 1050 м. Слишком мелкая левая боковая канава блокирует поток воды, что вызывает морозное пучение и формирование поперечных трещин. Дно канавы выше подошвы дорожной одежды, поэтому вода проникает в дорожную конструкции. Показатели ровности увеличиваются на правой полосе, колеиность возрастает на левой полосе. Объяснение аналогично данным к Рисунку 20.

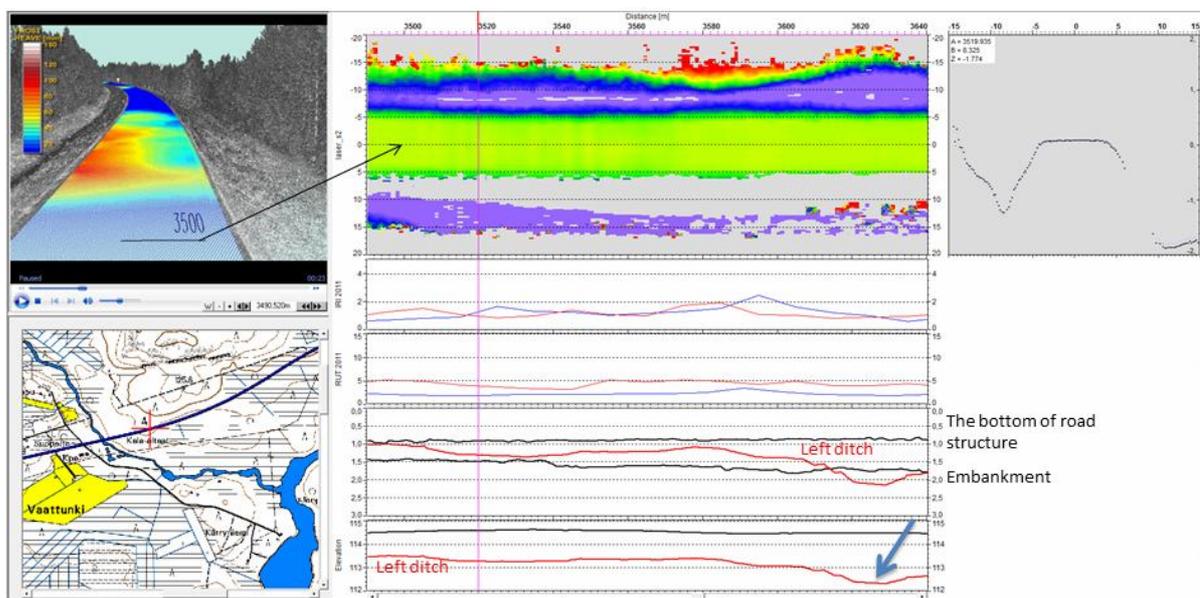


Рисунок 22. На участке косогора морозное пучение отмечено на 3500м, где также ухудшаются показатели ровности на обеих полосах и глубина колеи на левой полосе. Дно канавы расположено достаточно глубоко относительно подошвы дорожной одежды. В пятом окне посередине диаграммы показаны отметки дороги (черная линия) и левой боковой канавы (красная линия). На 3520м (отмечено красной вертикальной линией) имеется яма (провал) в дне канавы, и поток воды блокируется, вызывая морозное пучение. На 3610м расположена водопропускная труба (отмечена синей стрелкой), через которую должна проходить вода. Объяснения по данному участку аналогичны данным для Рисунка 20.

## 4.8 Анализ состояния водоотвода

### 4.8.1 Участок 505

В рамках анализа водоотвода состояние водоотводной системы классифицировалось по трем разным классам: класс 1 – хорошее состояние, класс 2 – допустимое состояние, класс 3 – неудовлетворительное состояние. Суммарно статистика обследований на участке 505 представлена на Рисунке 23. Результаты показывают, что левая сторона дороги более проблематична, чем правая.

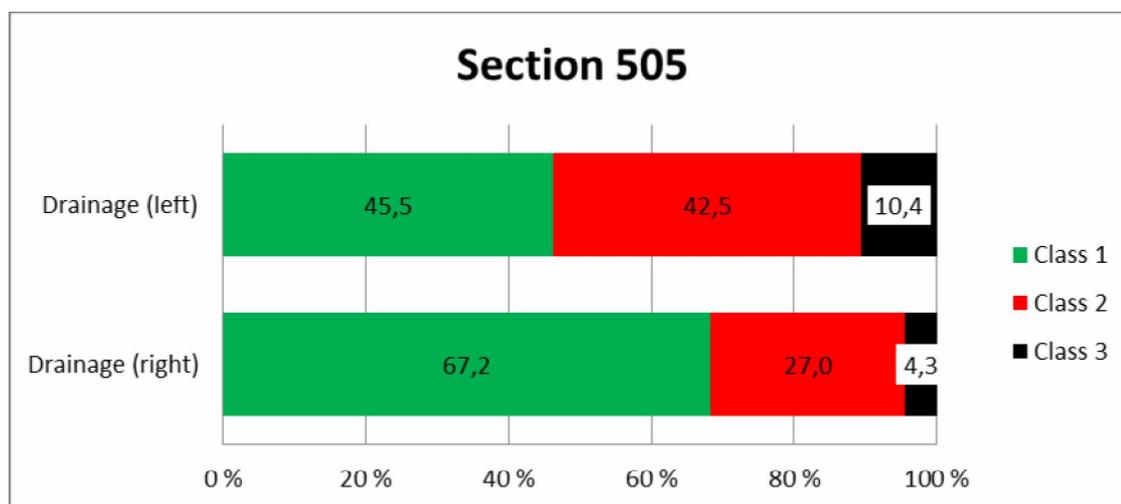


Рисунок 23. Распределение по классам водоотвода по обеим канавам на участке 505 а/д НН4.

Одной из причин того, что водоотвод на участке 505 был классифицирован как допустимый и неудовлетворительный, являлась блокировка канав растительностью. В начале и конце участка на косогоре имелись участки, где глубина канавы была недостаточной или частный подъезд блокировал поток воды. Некоторые канавы недавно были отремонтированы (например, 4200 – 5000м, слева), однако оползни блокировали часть из них. Участки, где водоотвод был классифицирован как неудовлетворительный, главным образом проходили в низких насыпях (Рисунок 24). На участке 505 все водоотводные канавы функционировали хорошо.

Наихудшее состояние водоотвода отмечалось на участках насыпей в обоих направлениях (Рисунок 25), средний показатель менее класса 2. На участках насыпей, проходящих в нулевых отметках состояние водоотвода в обоих направлениях хорошее, а на косогорах в направлении 2 состояние водоотвода хуже, чем в направлении 1.

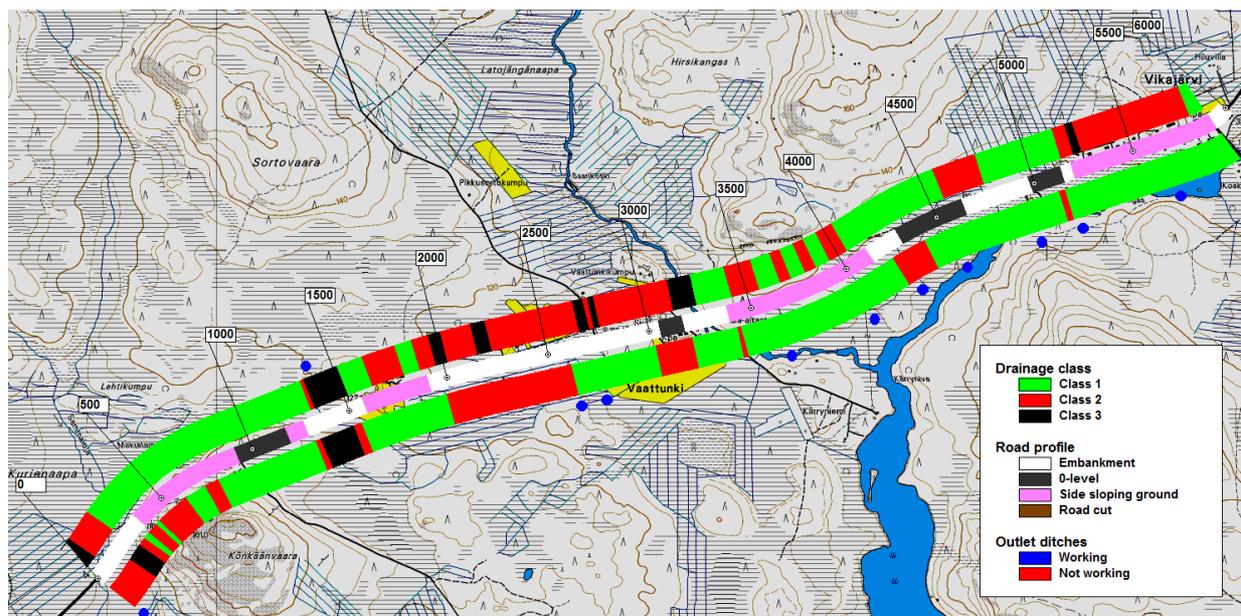


Рисунок 24. Распределение по классам состояния водоотвода на участке 505. Слева показано состояние водоотвода по левой боковой канаве, справа – по правой. Водоотводные каналы помечены точками. В середине показан профиль дороги.

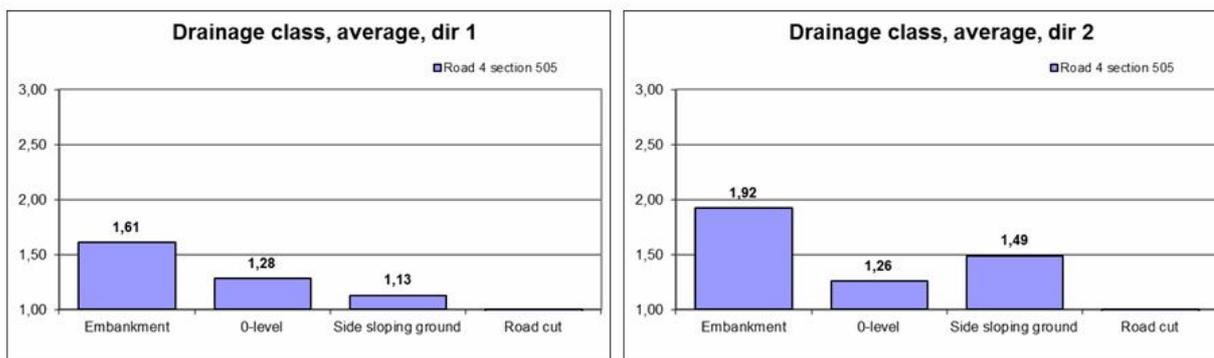
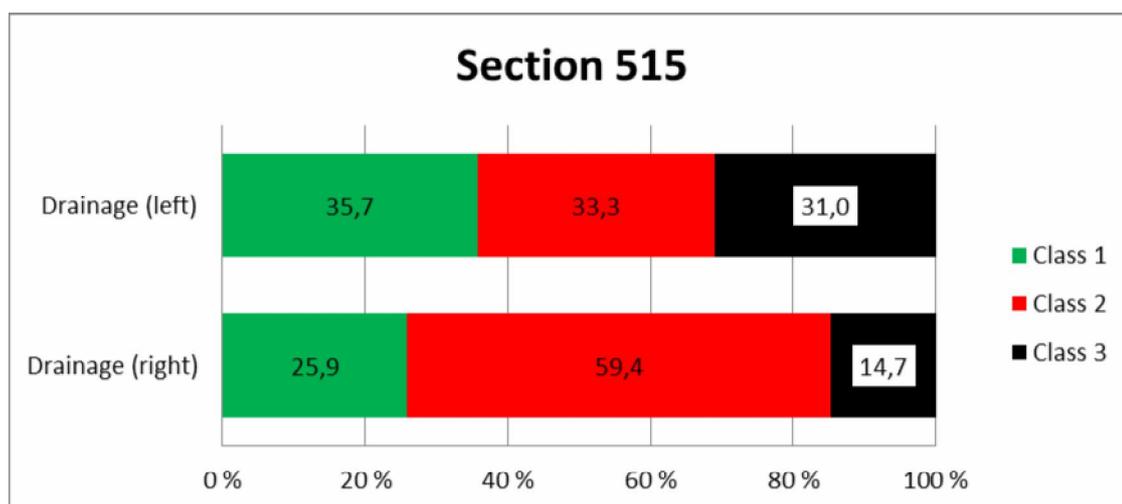


Рисунок 25. Средний показатель состояния водоотвода для каждого типа поперечного профиля в направлении 1 (слева) и 2 (справа). На участке 505 выемки отсутствуют.

Особых различий в средних показателях ровности (IRI) или глубины колеи при разных типах поперечных профилей и направлений движения выявлено не было. Средняя глубина колеи на участках насыпи и косогора одинаковы в направлении 1, но в направлении 2 средняя глубина колеи чуть выше на участках косогора.

#### 4.8.2 Участок 515

Суммарно статистика обследований на участке 515 представлена на Рисунке 26. Рисунок показывает, что состояние водоотвода на данном участке гораздо хуже, чем на участке 505.



*Рисунок 26. Распределение по классам состояния водоотвода по обеим боковым канавам на участке 515 а/д НW4.*

На участке 515 состояние водоотвода хуже на участках прохождения дороги по заболоченной местности и в нулевых отметках (Рисунок 27). При сравнении результатов инвентаризации покрытия и водоотвода следует отметить, что наиболее разрушенные участки на участке 515 – это те, где состояние водоотвода неудовлетворительно. На этих участках показатели колеи также самые высокие. Состояние водоотвода по левой стороне участка 515 хуже. Боковые канавы, находившиеся в неудовлетворительном состоянии, имели недостаточный уклон и заросли.

В направлении 1 лишь одна из семи боковых канав (1440 м) не функционировала (Рисунок 27). По левой стороне дороги также лишь одна канава не функционировала.

Большая часть (54,6 %) дороги на участке 515 проходила в нулевых отметках, и только 2,5% - в выемке. В обоих направлениях водоотвод находился в наихудшем состоянии там, где насыпь проходила в нулевых отметках (Рисунок 28).

Показатели ровности (IRI) и колеи также сравнивались с учетом данных о поперечных профилях по обе стороны дороги. Значительной разницы выявлено не было. Максимальные средние показатели ровности были зафиксированы в выемках. В обоих направлениях средняя глубина колеи была максимальна для участков, проходящих в нулевых отметках и минимальна – в выемках (Рисунок 29).

Рисунок 30 иллюстрирует, что средние показатели ровности по обе стороны дороги ухудшаются одновременно в ухудшении состояния водоотвода. Это свидетельствует о том, что неудовлетворительный водоотвод оказывает значительное влияние на дифференциальное морозное пучение также и на участке 515. Тем не менее, средняя глубина колеи (Рисунок 31) не коррелирует также хорошо с состоянием водоотвода, как ровность, однако, все же, глубина колеи на участках с классом состояния водоотвода 3 однозначно больше, чем при классе 1 и 2.

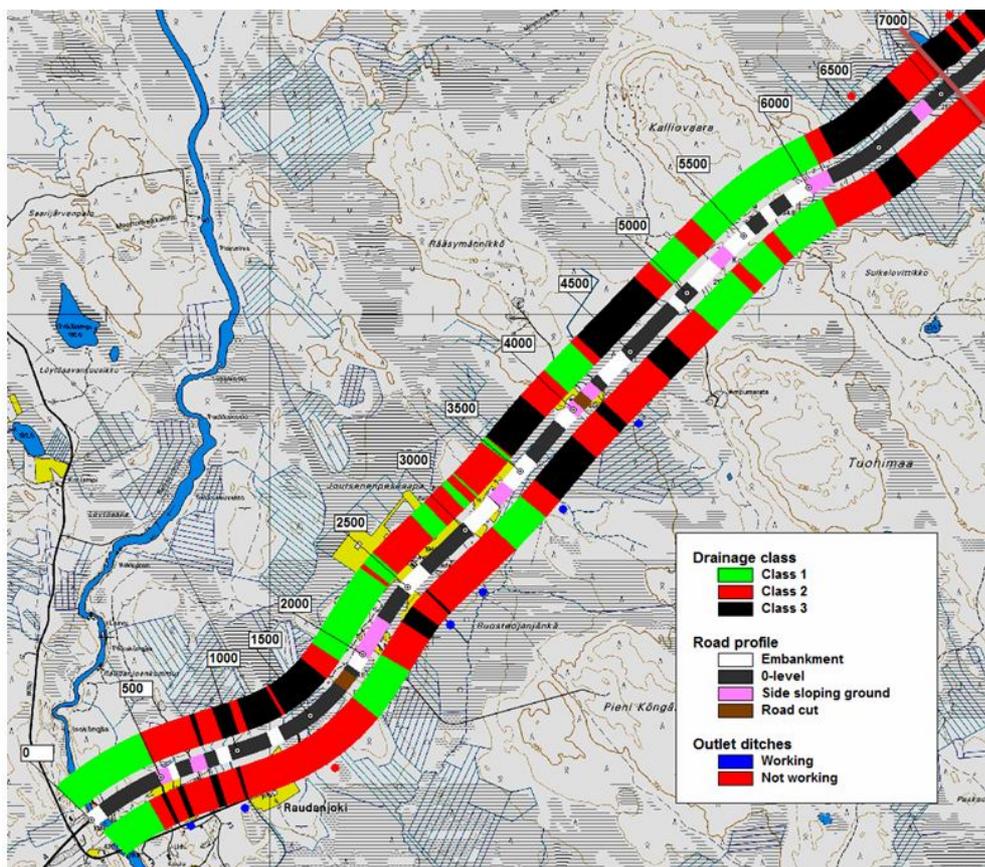


Рисунок 27. Распределение по классам состояния водоотвода на участке 515. Слева: состояние левой боковой канавы, справа – правой. Дорожный поперечный профиль показан в середине диаграммы. Водоотводные канавы помечены точками. Вспомогательный аэродром начинается от красной линии в сторону севера.

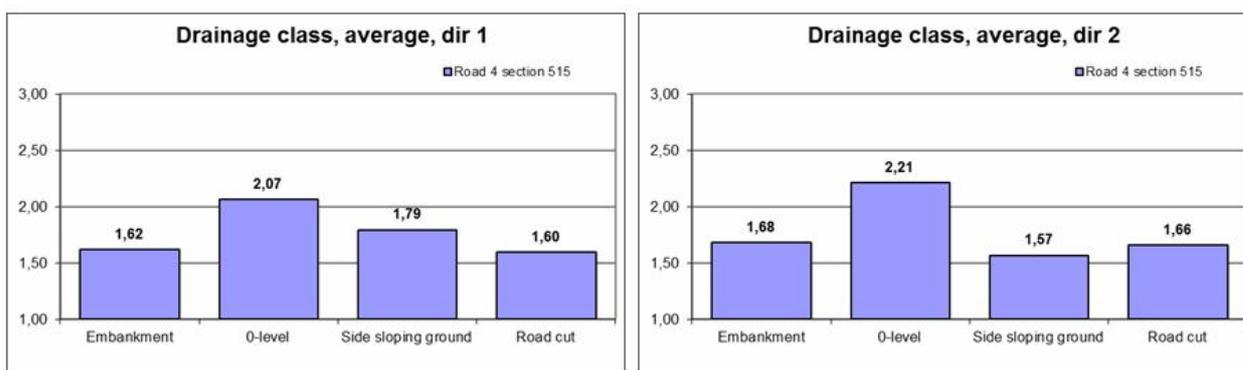


Рисунок 28. Усредненный класс водоотвода для каждого типа поперечного профиля в направлении 1 (слева) и 2 (справа).

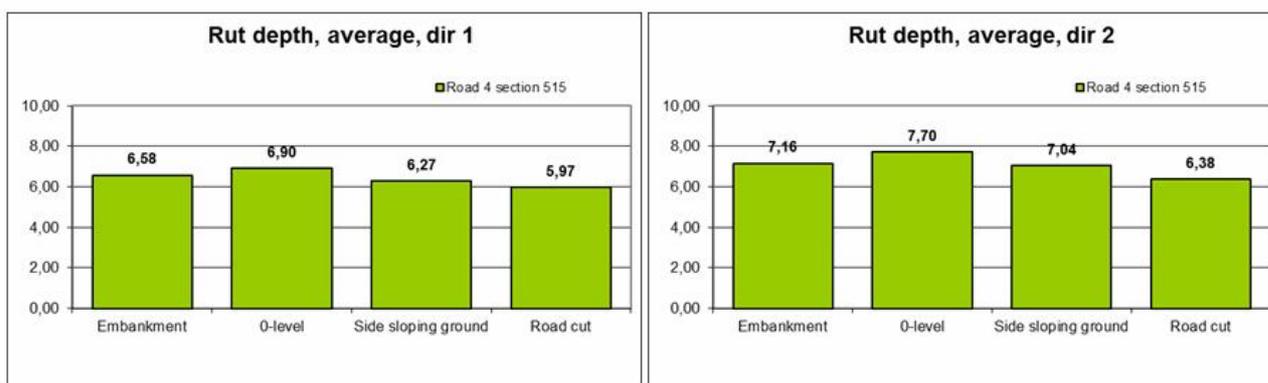


Рисунок 29. Средняя глубина колеи для каждого типа поперечного профиля в направлении 1 (слева) и 2 (справа).

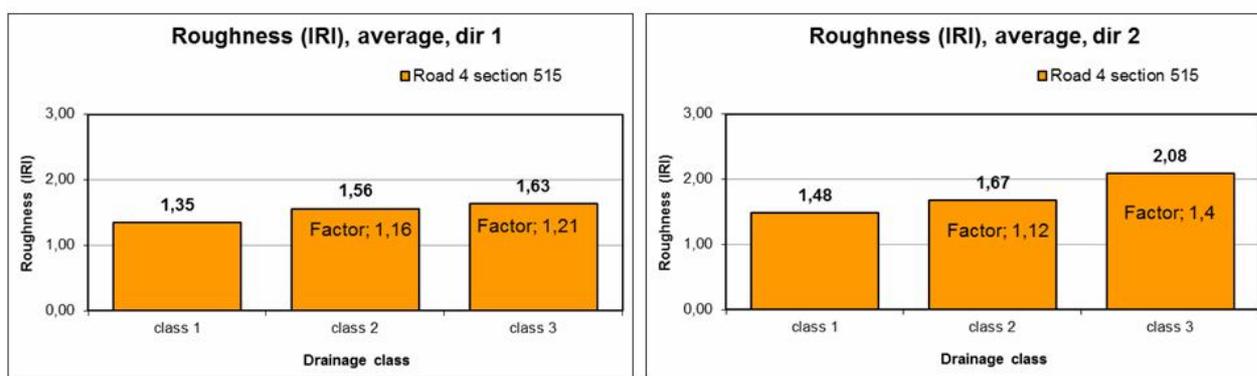


Рисунок 30. Средние показатели ровности IRI для направления 1 (слева) и 2 (справа) по каждому классу водоотвода. Указанный внутри столбцов коэффициент (factor) показывает, насколько значения выше, чем у класса 1.



Рисунок 31. Средняя глубина колеи для направления 1 (слева) и 2 (справа) по каждому классу состояния водоотвода.

#### 4.9 Потенциальные геотехнические проблемы

Оба обследованных пилотных участка находились во вполне хорошем состоянии. Участков с потенциальными геотехническими проблемами выявлено не было.

## 5. Анализ рисков, срок службы покрытий и потребность в усилении

### 5.1 Принципы классифицирования и проектирования

В процессе первого проектирования оба пилотных участка были сгруппированы по классам риска в соответствии с оценкой состояния дороги, основанной среди прочего на данных георадара и дефлектометра падающего груза.

Классификация по степени риска выполнялась в соответствии со следующими принципами:

- Класс риска 1: Участок дороги с достаточной прочностью, риск отказов/серьезных разрушений отсутствует. Усталость дорожной конструкции описывается стандартными моделями прогнозирования срока службы дорожной одежды.
- Класс риска 2: Участок дороги с относительно высокой прочностью. Мгновенные разрушения дороги возможны только при воздействии экстремальных нагрузок/условий или по причине нефункционирующего водоотвода, т.д. Для данного класса может быть рекомендовано усиление.
- Класс риска 3: Адекватная прочность. Риск в основном характерен для периодов снижения несущей способности в распутицу. Для данного класса может быть рекомендовано усиление.
- 
- Класс риска 4: Низкая несущая способность. Высокий риск разрушений, особенно в период весенней распутицы. Настоятельно рекомендуется усиление.
- Класс риска 5: Экстремально низкая несущая способность. Значительные разрушения на участке прогнозируемы сразу после прохода тяжелого грузового транспорта. Требуется немедленного усиления.

Толщина слоев измерялась через каждые 5м, участки с разными конструкциями тщательно изучались. Для анализа в программе PMS Objekt дорожные конструкции определялись на основе наихудшего 25% лимита (т.е. наихудшее значение, при котором толщина уменьшалась до минимальных 25%). Толщины слоев определялись при помощи георадара по левой полосе ближайшей к колее, оставляемой правыми колесами автомобиля.

Программное обеспечение PMS-objekt® применялось для расчета несущей способности и остаточного срока службы первоначальной конструкции. Кроме этого, расчеты производились для определения усиленной конструкции, которая бы позволила достичь теоретических 20 лет службы как под связными слоями (Степень 1 колеяности), так и на границе дорожная одежда /земляное полотно (Степень 2 колеяности). Расчеты выполнялись для существующей и прогнозируемой интенсивности движения при текущей нагрузке тяжелого транспорта (60т автомобиля).

После проектирования усиления конструкции до достижения теоретического срока службы 20 лет с применением программы PMS Objekt®, с помощью программы

BISAR® выполнялись расчеты, необходимые для анализа влияния увеличения тяжести грузовых автоперевозок (72т и 90-тонные грузовые автомобили) на наиболее ослабленные конструкции на обоих пилотных участках.

Программа BISAR® позволила определить усилия, напряжения и деформации в дорожных конструкциях в следующих наиболее критических точках для оценки повреждений и остаточных деформаций:

1. Горизонтальные деформации растяжения под связными слоями
  - Высокие напряжения указывают на риск разрушений покрытия.
2. Вертикальные напряжения сжатия в верхней части несвязных слоев
  - Напряжения и деформации в данной точке наиболее критичны с точки зрения развития колейности 1 степени, т.е. колееобразования в слое основания.
3. Вертикальные напряжения сжатия на поверхности земляного полотна
  - Напряжения и деформации в данной точке наиболее критичны с точки зрения развития колейности 2 степени, т.е. колееобразования в земляном полотне.

Особый интерес был связан со смещением/осадкой ослабленного земляного полотна при различных конфигурациях грузовых автомобилей. Этот параметр был рассчитан при помощи программного обеспечения BISAR® для наиболее тяжелой осевой группы каждого из видов грузовых автомобилей. Для каждого вида также был определен кумулятивный эффект следующих друг за другом осей или групп осей на осадку/смещение земляного полотна.

Влияние более тяжелых видов грузовых автомобилей на транспортно-эксплуатационные характеристики покрытия оценивались при помощи расчета по «правилу четвертой степени» ("fourth power rule") и по результатам расчета напряжений при помощи программы BISAR®.

В заключении на основании анализа влияния была выполнена оценка того, потребуется ли усиление дорожной одежды в случае увеличения весовых нагрузок на сети.

## 5.2 Классификация рисков

Анализ показывает, что большая часть пилотных участков 505 и 515 относится к классу риска 3 ((52,0% участка 505 и 44,2% участка 515 соответственно). Класс риска 5 на пилотных участках выявлен не был. Распределение участков по классам рисков приведено на Рисунке 32 и детальных картах в Приложении 4.

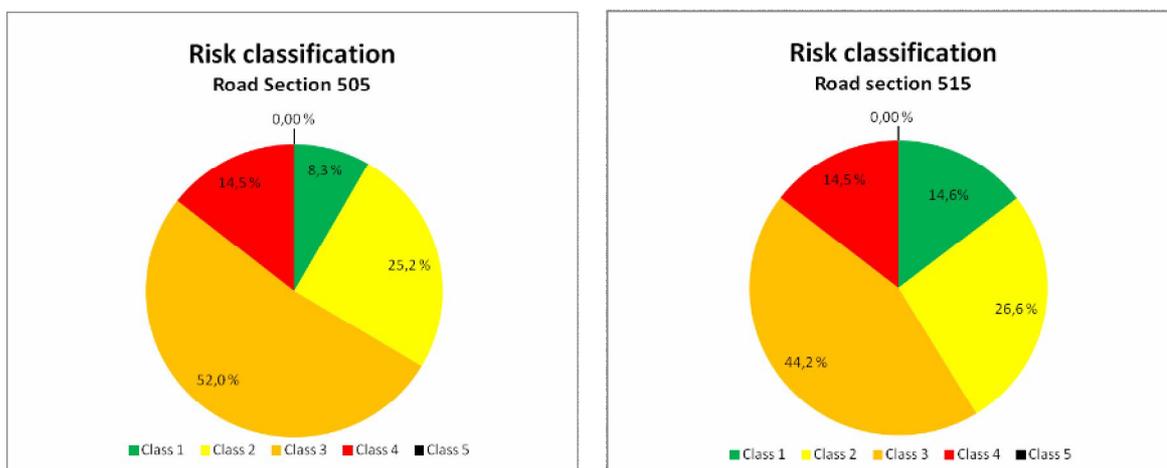


Рисунок 32. Распределение по классам риска пилотных участков 505 и 515

### 5.3 Остаточный срок службы дорог

Расчеты остаточного срока службы существующих дорожных конструкций производились при помощи шведского программного обеспечения PMS Objekt. В расчетах дорога была разделена на участки на основе данных измерений дефлектометром падающего груза и данных георадарных обследований. Толщины слоев для применения в расчетах PMS Objekt определялись согласно лимиту третьей четверти (т.е. толщина, соответствующая лимиту для наиболее тонкослойных 25%) по данным георадарных измерений на колее от правого колеса.

Результаты расчетов показали, что остаточный срок службы существующей дорожной конструкции достаточный на уровне основания насыпи (таблица 3). На участках с классом риска 1,2, 3 (оба пилотных участка) срок службы на уровне основания насыпи составит более 20 лет. На участке 505 в зонах с классом риска 1 срок службы связных слоев также составит более 20 лет. Для других классов риска остаточный срок службы связных слоев варьируется от 4 до 19 лет. Остаточный срок службы дорожных конструкций на участке 515 короче, чем на участке 505, что объясняется недавней укладкой нового покрытия на последнем.

Таблица 3. Остаточные сроки службы дорожных конструкций для каждого класса риска при существующей интенсивности движения

505	Существующая интенсивность движения		515	Существующая интенсивность движения	
	Связные	Уровень основания насыпи		Связные	Уровень основания насыпи
1	>20	>20	1	5	>20
2	18	>20	2	4	>20
3	19	>20	3	14	>20
4	7	7	4	9	13

### 5.4 Рост интенсивности движения при существующем составе грузового парка (60т грузовые автомобили)

Варианты увеличения интенсивности движения были основаны на гипотетической ситуации, когда интенсивность движения возрастет на 50%, 100% или 200% (Таблица 4) при текущем грузовом автопарке (60-тонные грузовые ТС). Для

сравнения следует отметить, что в сценарии, в котором все грузовые автомобили идут груженными, если перевозки возрастут на 1 млн. т в год, это будет означать, что объем грузового движения увеличится на 72 автомобиля (суммарная интенсивность грузовых ТС составит 392 на участке 505 и 241 – на участке 515). Если объем перевозок возрастет на 5 млн. т в год, то объем тяжелого движения увеличится на 361 ТС (суммарная интенсивность грузовых ТС составит 681 на участке 505 и 530 – на участке 515).

*Таблица 4. Суммарная интенсивность движения и доля тяжелого грузового движения при различных вариантах*

Участок	Существующая инт-ть движения		Тяжелый транспорт +50 %		Тяжелый транспорт +100 %		Тяжелый транспорт +200 %	
	Всего	Тяжелые ТС	Всего	Тяжелые ТС	Всего	Тяжелые ТС	Всего	Тяжелые ТС
		ТС		ТС		ТС		ТС
<b>505</b>	7960	320	8120	480	8280	640	8600	960
<b>515</b>	1653	169	1738	254	1822	338	1991	507

Расчеты остаточного срока службы при росте объема тяжелого грузового движения (60-т грузовые ТС) также выполнялись при помощи программы PMS Objekt в соответствии с теми же принципами, что были изложены в предыдущих главах. Результаты (Таблица 5) показали, что на участке 505 остаточный срок службы для классов риска 1, 2 и 3 на уровне основания насыпи составит более 20 лет при любом сценарии. Наиболее критическими являются участки, отнесенные к классу риска 4.

*Таблица 5. Остаточный срок службы по каждому классу риска для пилотного участка 505 при различных объемах тяжелого движения*

505	Тяжелый транспорт +50%		505	Тяжелый транспорт +100%		505	Тяжелый транспорт +200%	
	Класс риска	Связные		Класс риска	Связные		Класс риска	Связные
<b>1</b>	17	>20	<b>1</b>	13	>20	<b>1</b>	8	>20
<b>2</b>	12	>20	<b>2</b>	9	>20	<b>2</b>	5	>20
<b>3</b>	14	>20	<b>3</b>	10	>20	<b>3</b>	7	>20
<b>4</b>	5	5	<b>4</b>	4	4	<b>4</b>	3	2

Результаты расчетов по участку 515 (Таблица 6) показывают, что остаточный срок службы для классов риска 1, 2 и 3 на уровне основания насыпи составит более 20 лет несмотря на рост интенсивности движения. Наиболее критическими являются участки, отнесенные к классу риска 4.

Таблица 6. Остаточный срок службы по каждому классу риска для пилотного участка 515 при различных объемах тяжелого движения

515 Класс риска	Тяжелый транспорт +50%		515 Класс риска	Тяжелый транспорт +100%		515 Класс риска	Тяжелый транспорт +200%	
	Связные	Основание насыпи		Связные	Основание насыпи		Связные	Основание насыпи
1	3	>20	1	2	>20	1	2	>20
2	3	>20	2	2	>20	2	1	>20
3	9	>20	3	7	>20	3	5	>20
4	6	9	4	5	7	4	3	4

Структурные решения были разработаны и опробованы на основе программного обеспечения PMS-Objekt с целью спроектировать дорожную конструкцию со сроком службы 20 лет. На участке 505 укладка нового слоя покрытия на участках риска 1, 2 и 3 – адекватное решение как для изначальной ситуации, так и в случае роста интенсивности движения. При текущей интенсивности движения на участка с классом риска 1 особых мер не требуется. Для участков с классом риска 2 и 3 необходимо устройство нового слоя покрытия (Таблица 7 и Рисунок 33). Наиболее серьезные меры потребуются для участков с классом риска 4: снятие старого слоя покрытия и устройство на его месте слоя основания толщиной 1200-300мм, связного слоя толщиной 100-125 мм и покрытия толщиной 100мм (Таблица 7 и Рисунок 34).

На участке 515 достаточно укладки нового слоя покрытия для повышения срока службы при любом классе риска. Требования по толщине нового покрытия варьируется от 30 до 100мм (Таблица 8 и Рисунок 35).

Таблица 7. Рекомендации по восстановлению для участка 505.

505 Класс риска	Существующая инт-ть движения			Тяжелый транспорт +50%		
	Покрытие	Связное основание	Несвязное основание	Покрытие	Связное основание	Несвязное основание
1	-			30 мм	-	-
2	30 мм			40 мм	-	-
3	30 мм			40 мм	-	-
4	100 мм	100 мм	100 мм	100 мм	100 мм	100 мм

505 Risk class	Тяжелый транспорт +100%			Тяжелый транспорт +200%		
	Покрытие	Связное основание	Несвязное основание	Покрытие	Связное основание	Несвязное основание
1	40 мм			50 мм	-	-
2	50 мм			65 мм	-	-
3	50 мм			65 мм	-	-
4	100 мм	125 мм	100 мм	100 мм	125 мм	300 мм

Таблица 8. Рекомендации по восстановлению для участка 515.

515	Существующая инт-ть движения	Тяжелый транспорт +50%	Тяжелый транспорт +100%	Тяжелый транспорт +200%
Класс риска	Покрытие	Покрытие	Покрытие	Покрытие
1	50 мм	65 мм	75 мм	90 мм
2	50 мм	65 мм	75 мм	100 мм
3	30 мм	40 мм	50 мм	60 мм
4	40 мм	50 мм	65 мм	80 мм

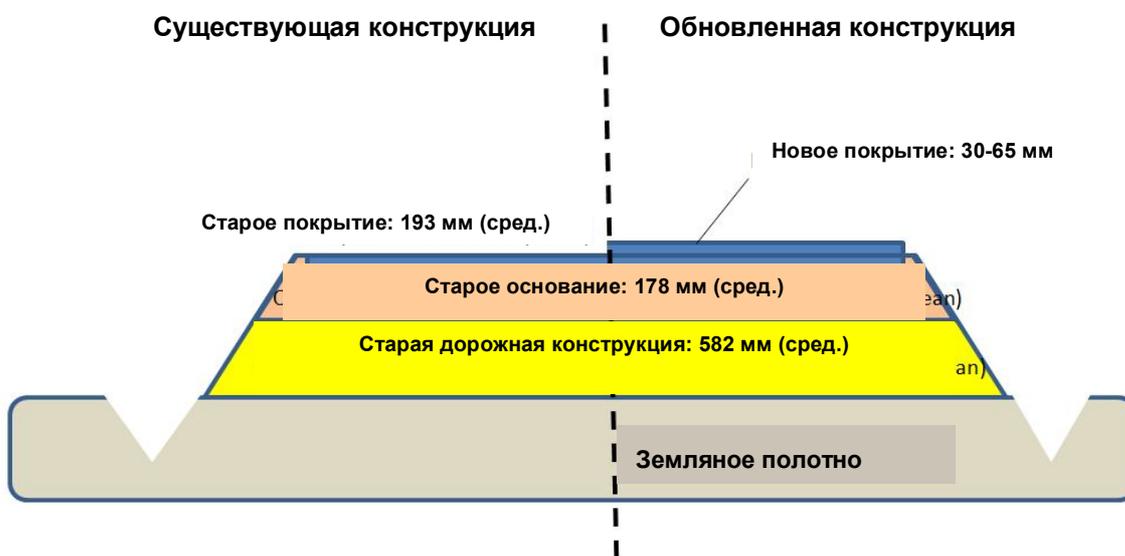


Рисунок 33. Усиление дорожной конструкции для участков с классом риска 1, 2 и 3 на пилотном участке 505.

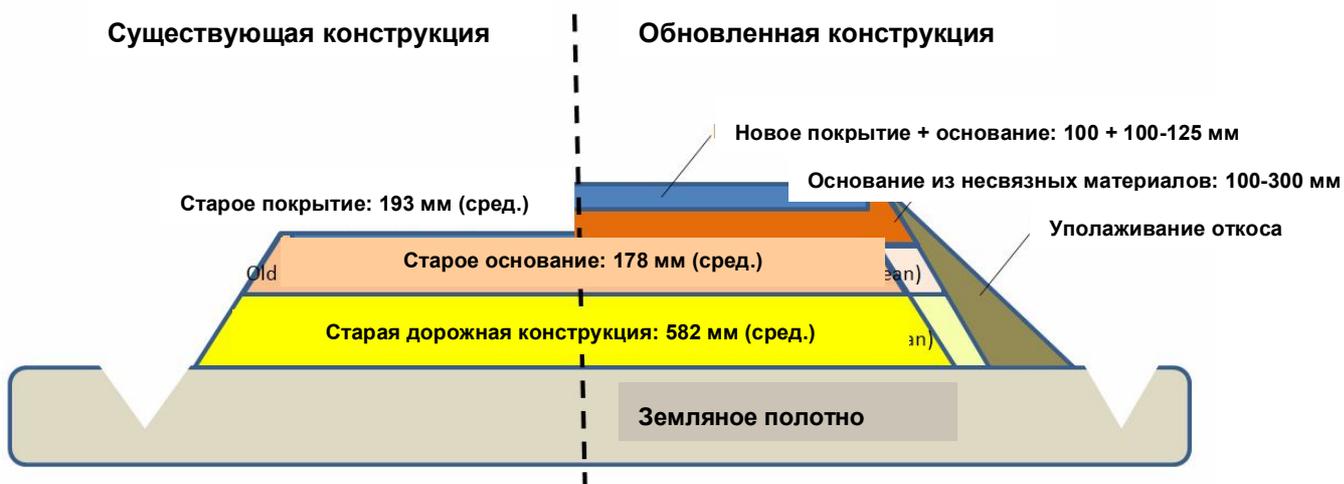


Рисунок 34. Усиление дорожной конструкции для участков с классом риска 4 на пилотном участке 505.

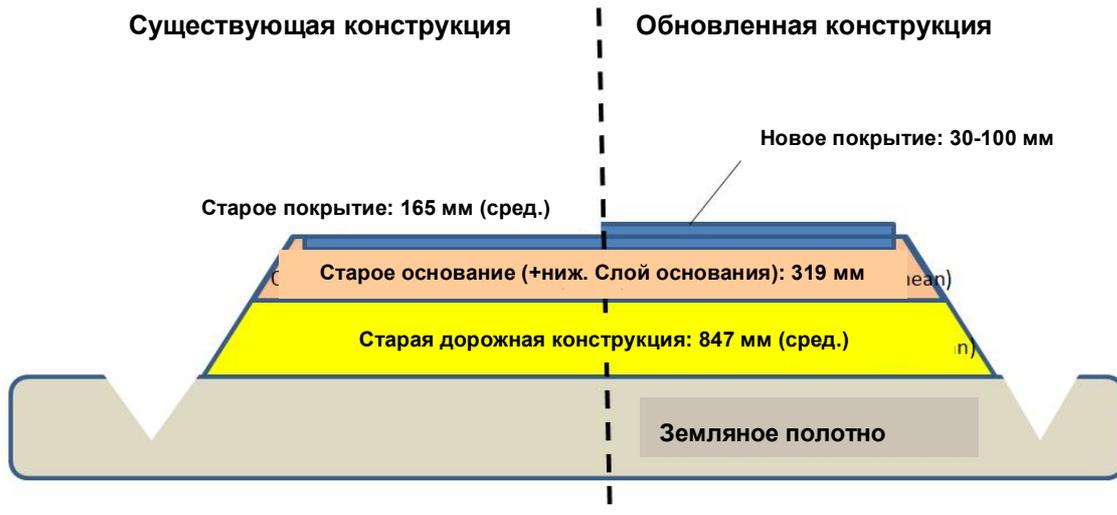


Рисунок 35. Усиление дорожной конструкции для участков с классом риска 1-4 на пилотном участке 515.

## 6. Анализ рисков и структурные требования в случае увеличения тяжести грузовых автоперевозок

### 6.1 Общие положения

Преыдушие оценки транспортно-эксплуатационных характеристик существующих дорог как для существующей, так и прогнозируемой интенсивности движения грузового транспорта выполнялись для стандартных 60-тонных грузовых автомобилей. На следующем этапе оценивалось влияние на дорожную сеть более тяжелых грузовых автомобилей (72т и 90т) в сравнении со стандартным 60-тонным. В Таблице 9 приводятся данные по массе нетто каждого из трех рассматриваемых видов грузовых автомобилей, а также увеличение интенсивности движения грузовых автомобилей в сутки в случае ежегодного роста объемов грузоперевозок на 1 или 5 млн. т.

*Таблица 9. Масса нетто для каждого вида грузовых автомобилей и рост интенсивности движения грузовых автомобилей в случае роста объемов грузоперевозок на 1 или 5 млн.т. в год*

Грузовое ТС (т)	Масса нетто (т)	+1 млн.т./год	+5 млн.т./год
		Дополнит. кол-во грузовых ТС/сутки	Дополнит. кол-во грузовых ТС/сутки
60	38	72	361
72	49	56	280
90	60	46	228

Анализ реакции дорожной одежды на различные варианты приложения нагрузок проводился при помощи многослойной модели линейной упругости программного обеспечения BISAR®. Данный подход является общепринятым в мировом дорожном сообществе при анализе механического поведения различного типа дорожных конструкций. При многослойном линейном моделировании дорожная конструкция описывается как множество слоев, располагающихся один на поверхности другого, и лежащих на гибком полупространстве, представляющим собой земляное полотно. В модели толщина и прочность каждого слоя может свободно задаваться оператором для обеспечения максимального соответствия реальной конструкции. Тем временем, колесные нагрузки, воздействующие на поверхности дороги, также могут моделироваться при помощи зон сферического контакта, на которые равномерно распределяется вертикальное давление, соответствующие давлению воздуха в шинах.

На выходе программа BISAR® обеспечивает результаты анализа усилий, напряжений и деформаций в различных направлениях в выбранных точках дорожной одежды и земляного полотна. Для целей настоящего изучения наиболее интересным результатом оказалось вертикальное смещение на поверхности земляного полотна, что могло быть использовано в качестве индикатора общего воздействия нагрузки от транспортных средств.

Ограничением подхода многослойного моделирования упругости является то, что нагрузки от транспортных средств не являются динамическими, а статическими (прилагаются к одной точке). Поэтому модель не может непосредственно применяться при оценке вязкоупругого поведения мягких и влажных материалов земляного полотна, в которых под воздействием повторяющихся нагрузок может развиваться избыточное поровое давление. Еще одно известное ограничение применения данного метода связано с тонкослойными дорожными конструкциями, типичными для дорог с низкой интенсивностью движения, для которых характерно наличие тонкого битумосодержащего слоя в качестве слоя износа. Что касается анализа, представленного далее, эти ограничения не столь важны, поскольку как толщина связных слоев, так и суммарная толщина слоев анализируемой дорожной одежды достаточная.

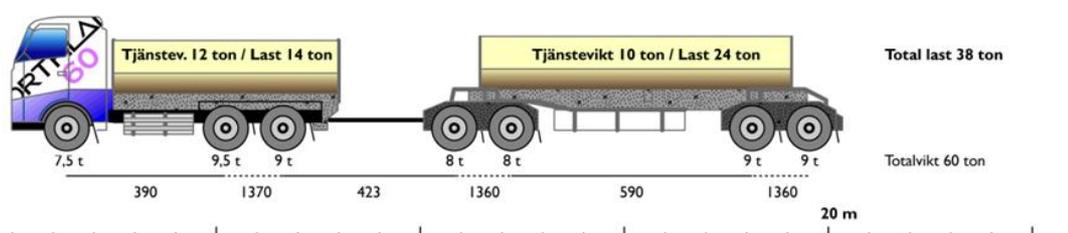
Для целей оценки был выбран тип шин – сдвоенные, поскольку опыт проектов ROADEX и ряда более ранних видов анализа показал, что именно этот тип шин наиболее толерантен к дороге. Напряжения и деформации в верхней части дорожной конструкции, скорее всего, будут слишком высокими в случае использования одинарных шин «супер сингл». Таким образом, окончательный выбор типа шин для использования в расчетах состоялся в пользу сдвоенных шин со стандартным (800 кПа) давлением воздуха в шинах.

## 6.2 Варианты грузовых автомобилей

В качестве более тяжелых грузовых автомобилей для расчетов были выбраны 72-тонный "Boliden" и 90-тонный грузовой автомобиль, участвовавший в эксперименте "En trave till" (еще один прицеп). Выбор этих грузовых автомобилей обоснован наличием опыта их использования в экспериментах в Швеции, а также тем, что они являются наиболее реальными альтернативами стандартным грузовым автомобилям. Стандартный 60-тонный грузовой автомобиль также был проанализирован.

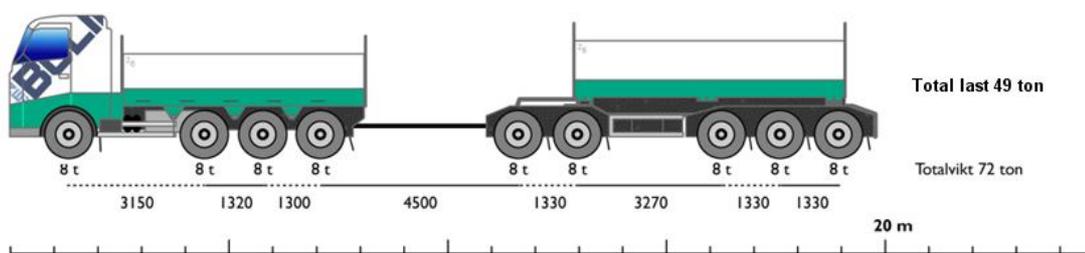
### Стандартный 60-тонный грузовой автомобиль

Комбинация – 7 осей: 3 на грузовом автомобиле и 4 на прицепе. Расчетная (критическая) нагрузка, принимаемая для расчетов, - 9,5 + 9 т. Суммарный вес – 60т, чистый вес – 38т. Суммарная длина автопоезда – 20м.



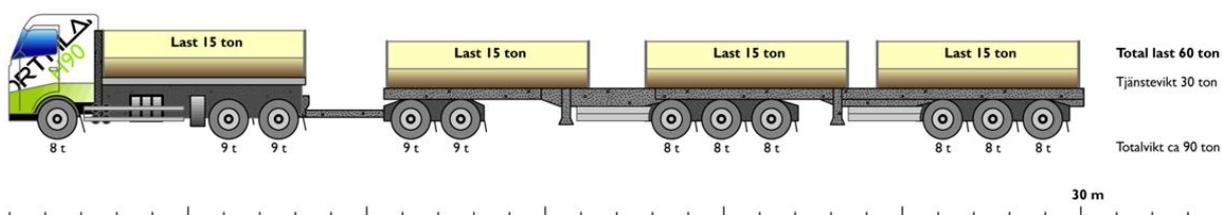
### 72-тонный грузовой автомобиль "Boliden".

Комбинация – 9 осей: 4 на грузовом автомобиле и 5 на прицепе. Расчетная (критическая) нагрузка, принимаемая для расчетов, - 3 x 8 т. Суммарный вес – 72т, чистый вес – 49т. Суммарная длина автопоезда – 20м.



### 90-тонный грузовой автомобиль "En trave till" (еще один прицеп)

Комбинация- тягач-связка-прицеп – 11 осей. Расчетная (критическая) нагрузка, принимаемая для расчетов, - 3 x 8 т. Суммарный вес – 90т, чистый вес – 60т. Суммарная длина автопоезда – 30м.



### 6.3 Структурное влияние различных вариантов транспортировки

Воздействие на дорожную конструкцию определялось для каждого типа грузового автомобиля. Расчеты выполнялись независимо для двух пилотных участков 505 и 515. Толщины конструкций были выбраны по результатам замеров на наихудших участках (класс риска 4). Результаты расчетов приведены в Таблице 10.

Таблица 10. Дорожные конструкции, примененные при расчетах влияния увеличения тяжести грузовых автоперевозок.

Дорожная конструкция	Слой	Толщина слоя, мм	Модуль упругости, МПа
Участок дороги 505, класс риска 4	Связный слой (покрытие)	162	3000
	Верхний слой основания	129	200
	Нижний слой основания	482	100
	Земляное полотно		10
Участок дороги 515, класс риска 4	Связный слой (покрытие)	127	3000
	Верхний слой основания	403	200
	Нижний слой основания	590	100
	Земляное полотно		10

Особое внимание было уделено осадке/смещению в ослабленном земляном полотне (модуль упругости 10МПа) при различных конфигурациях грузовых автомобилей. Также критической частью конструкции является покрытие, для оценки которого применялся иной подход, основанный на правиле «четвертой степени». Дополнительно оценивались транспортно-эксплуатационные характеристики верхнего основания на основе определения горизонтальных деформаций при растяжении под слоем связных материалов и вертикальных деформаций при сжатии на поверхности несвязного слоя основания.

### Осадка/смещение земляного полотна

Вначале осадка рассчитывалась для наиболее тяжелой осевой группы каждого типа грузовых автомобилей. Для стандартного 60-тонного грузового автомобиля 9,5+9т является наиболее тяжелой группой. Для 72-тонного "Boliden" и 90-тонного "En travé till" наиболее тяжелой является группа осей 3\*8.

Сравнение влияния типов грузовых автомобилей на ослабленное земляное полотно (модуль упругости 10 МПа) от наиболее тяжелой группы осей приведено на Рисунке 36. Минимальная осадка земляного полотна характерна для 60-тонного грузового автомобиля, для 72т и 90т она незначительно больше. Осадка на участке 515 чуть ниже, чем на участке 505, что объясняется большей толщиной слоя основания на участке 515.

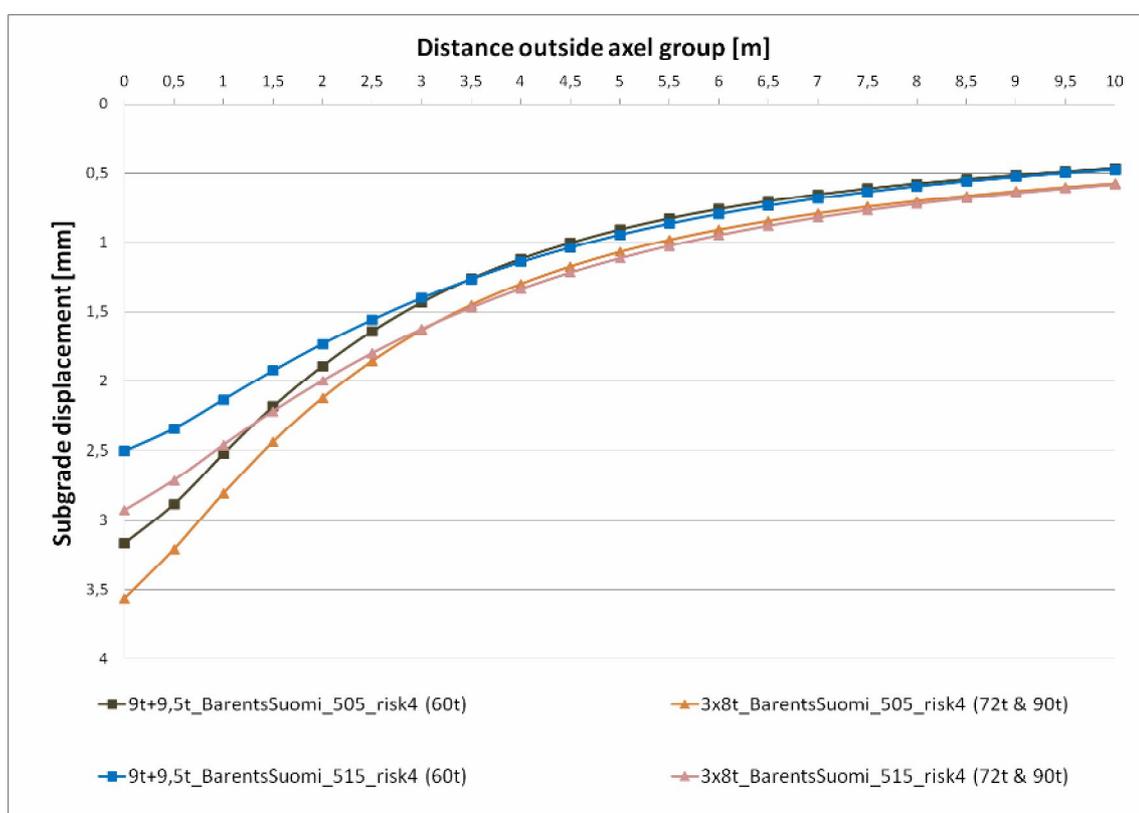


Рисунок 36. Сравнение влияния различных типов грузовых автомобилей на ослабленное земляное полотно (модуль упругости 10МПа) по наиболее тяжелым группам осей

На следующем этапе было определено кумулятивное влияние следующих друг за другом осей или групп осей на комбинацию грузового автомобиля. Другими словами, каждая ось или группа осей увеличивает осадку, если недостаточно времени, необходимого для восстановления дорожной конструкции после прохода этих осей/групп осей. На Рисунке 37 показана кумулятивная осадка ослабленного земляного полотна (модуль упругости 10МПа) для каждого типа грузового автомобиля и каждого пилотного участка. В этом сравнении 60-тонный грузовой автомобиль вновь является наилучшим вариантом. Результаты по 72т и 90т грузовым автомобилям чуть хуже, но между собой примерно одинаковы.

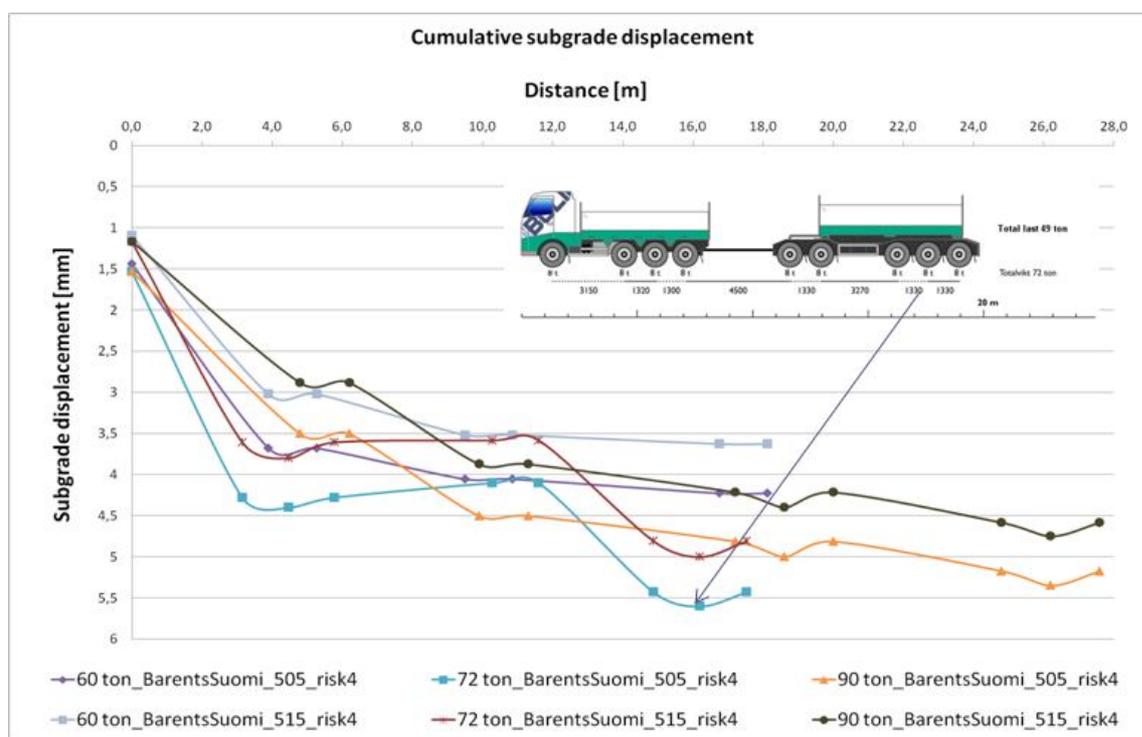


Рисунок 37. Кумулятивная осадка ослабленного земляного полотна (модуль упругости 10 МПа) по результатам расчетов для каждого типа грузового автомобиля и обоих пилотных участков. По горизонтали – расстояние от первой оси грузового автомобиля. В точке ноль – первая ось, далее точками обозначаются следующие оси транспортного средства. По вертикали – кумулятивная осадка/смещение земляного полотна, рассчитанное в одной точке.

Рисунок 37 показывает, что кумулятивная осадка земляного полотна примерно на 30-40% выше для 72т и 90-тонного грузовых автомобилей по сравнению с 50-тонным стандартным грузовым автомобилем, при этом разница составляет максимум 2мм. Также следует отметить, что рассчитанная кумулятивная осадка земляного полотна представляет собой оптимистично-консервативный сценарий, поскольку известно, что восстановление земляного полотна в реальности происходит не немедленно, как это показано в программе BISAR®, например из-за повышения порового давления воды. В реальных условиях при неблагоприятном стечении обстоятельств кумулятивное воздействие может быть больше.

### Покрытие

Еще одним вызовом данного сравнения вариантов грузовых автомобилей явилось их влияние на транспортно-эксплуатационные характеристики покрытия. Это связано с тем, что расчеты в программе PMS объект были основаны на стандартных осевых нагрузках. Поэтому кроме расчетов осадки при помощи программы BISAR® также выполнялось отдельное сравнение для разных типов грузовых автомобилей на основе правила четвертой степени, применяемого в инжиниринге дорожных покрытий. В данном правиле несколько занижается колеиность и завышаются разрушения покрытия, но в целом этот метод достаточно достоверен при оценке транспортно-эксплуатационных показателей покрытия при различных нагрузках.

Правило четвертой степени описывается как  $EKV = (p/p_{ref})^4$ . Показатель эквивалентной нагрузки был рассчитан для каждого типа грузового автомобиля.

После этого расчетный годовой объем грузоперевозок 4,4 млн.т. (теоретический показатель, определенный исходя из предположения, что тяжелый грузовой транспорт представлен полностью груженными 60-т грузовыми ТС) был поделен на чистый вес каждого грузового автомобиля для определения количества грузовых нагрузок. В заключении путем умножения количества грузовых нагрузок на соответствующий грузовой эквивалент был определен эффект нагрузки для каждого типа грузового автомобиля.

Результаты расчетов по правилу четвертой степени приведены в Таблице 11. Величина в последнем столбце - показатель сравнения относительно стандартного 60-тонного грузового автомобиля, который показывает, что по результатам оценки более тяжелые грузовые автомобили обеспечивают лучшие результаты по сравнению со стандартным. 72-тонный грузовой автомобиль обеспечивает на 27% лучшие показатели, 90-тонный – на 11,2% в сравнении с 60-тонным грузовым автомобилем.

*Таблица 11. Результаты расчетов по правилу четвертой степени для определения влияния различных типов грузовых автомобилей на транспортно-эксплуатационные характеристики дорог.*

Тип ТС и общий вес	Осевые нагрузки					Показатель эквивалент. Нагрузки EKV	Чистый вес, т	Транспортные нагрузки	Эффект нагрузки	Сравнение с 60-тонным грузовым ТС
	7,5т	8т	8,5т	9т	9,5т					
Стандарт. 60т	1	2	0	3	1	3,918	38	116800	457671	1
Boliden 72т	0	9	0	0	0	3,686	49	90580	333913	0,730
En tave till 90т	0	7	0	4	0	5,492	60	73973	406232	0,888
Грузоперевозки в год (т) = 365 сут.*320 груз. ТС (60 т грузовых ТС) / сут.* 38т/ТС = 4438400										
Нагруз. Экспонента, использованная в расчетах = 4										

Транспортно-эксплуатационные характеристики покрытия и верхней части слоя основания оценивались на основе горизонтальных напряжений при растяжении под слоем связных материалов и вертикальных напряжений сжатия на поверхности слоя несвязных материалов. Результаты расчетов представлены в Таблице 12. Они показывают, что напряжения в дорожных конструкциях под воздействием более тяжелых грузовых автомобилей даже ниже, чем от стандартного 60-тонного грузового автомобиля. Соответственно, на основе этих расчетов можно сделать вывод о том, что более тяжелые грузовые автомобили являются лучшими альтернативами по сравнению со стандартным 60-тонным грузовым автомобилем. Напряжения во всех вариантах относительно небольшие, ниже критического предела, следовательно незамедлительного появления риска колейности<sup>1</sup> степени нет.

Таблица 12. Результаты расчетов напряжений под связными и на поверхности несвязных слоев основания. Положительные величины показывают напряжения растяжения, отрицательные – сжатия. Единица измерения - микрострейн.

Участок	Макс. горизонтальные напряжения в покрытии		Макс. вертикальные напряжения на поверхности несвязного слоя	
	60т	72т и 90т	60т	72т и 90т
<b>505, класс риска 4</b>	229,8	193,3	-501,2	-453,3
<b>515, класс риска 4</b>	249,4	219,1	-697,1	-611,0

На основе анализа влияния различных видов грузоперевозок можно утверждать, что 72т и 90т грузовые автопоезда лишь немногим хуже в сравнении с 60-тонным грузовым автомобилем, когда оценка касается величины осадки земляного полотна под тяжестью нагрузок. При изучении же влияния этих более тяжеловесных альтернатив на показатели покрытий они оказываются даже более дружественными к дороге по сравнению со стандартным 60-тонным грузовым автомобилем. Поэтому можно сделать вывод о том, что «традиционное» восстановление дороги, спроектированное с учетом движения 60-тонных грузовых автомобилей, также будет достаточным и для 72т и 90т альтернатив.

#### 6.4 Периоды восстановления дороги после прохождения тяжелого автотранспорта

В случае повышения весовых нагрузок критическим вопросом станут периоды восстановления, поскольку если они будут слишком длительными, существует риск возрастания порового давления воды, что может привести к разрушениям дороги. Периоды восстановления определялись по времени задержки при измерениях дефлектометром падающего груза KUAB FWD, взятому из исторических данных. Время задержки считается минимальным периодом восстановления, а не максимальным. На Рисунке 38 и 39 приведены результаты анализа данных, показывающие, что реакция дорожной конструкции на нагрузку 50кН происходит по законам линейной упругости на участках с любым классом риска, поэтому периоды восстановления не столь критичны с позиции, если суммарные весовые нагрузки на дорожной сети будут увеличены.

Однако, результаты анализа влияния показывают, что оба пилотных участка характеризуются чувствительностью к морозному пучению, а также наличием на таких участках глубоких колеи. Поэтому в случае увеличения тяжести грузоперевозок следует избегать движения грузовых автомобилей по типу колонны, особенно в период снижения несущей способности автомобильных дорог весной.

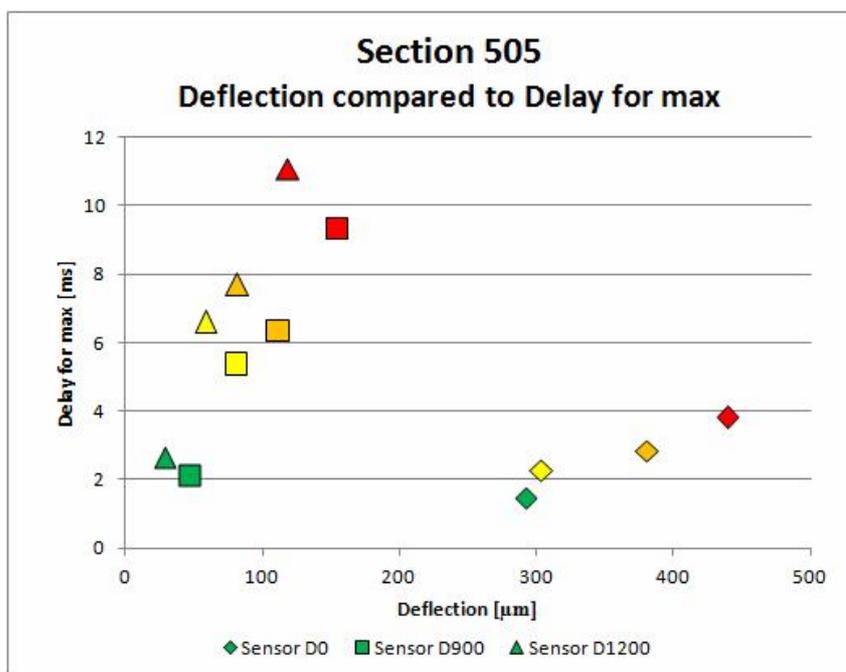


Рисунок 38. Максимальные величины прогиба в сравнении с временем задержки для максимальных значений участка 505. Зелеными точками обозначены участки с классом риска 1, желтыми – с классом риска 2, оранжевые – с классом риска 3, красными – 4.

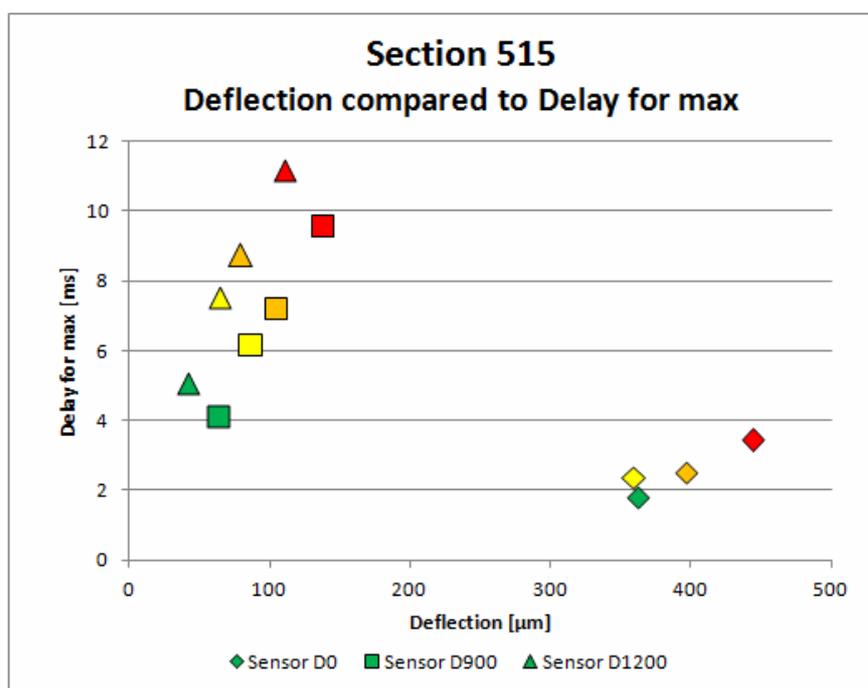


Рисунок 39. Максимальные величины прогиба в сравнении с временем задержки для максимальных значений участка 515. Зелеными точками обозначены участки с классом риска 1, желтыми – с классом риска 2, оранжевые – с классом риска 3, красными – 4.

## 6.5 Оценка затрат

В соответствии с принципами, изложенными в предыдущих главах, была выполнена оценка затрат, связанных с восстановительными мерами на дороге. Расчет затрат включал только затраты на материалы и работы по усилению (покрытие, основание из связных и несвязных материалов). На участке 515 из расчетов исключена аварийная посадочная полоса для воздушных судов.

При существующей интенсивности движения средние затраты составят 14140 €/км для участка 505 и 10103 €/км для участка 515. Если интенсивность движения тяжелого грузового транспорта увеличится на 50%, средние затраты на км увеличатся на 10,7% для участка 505 и на 20,5% для участка 515 в сравнении с изначальной ситуацией. В случае увеличения интенсивности движения тяжелого грузового транспорта на 100%, средние затраты на км увеличатся на 19,4% для участка 505 и на 39,8% для участка 515, в случае роста до 200% - средние затраты на км увеличатся на 77,4% для участка 505 и на 42,7% для участка 515 в сравнении с изначальной ситуацией. Максимальные затраты характерны для участка 505 и составляют 25090 €/км, а для 515 - 18456 €/км, т.е. затраты являются относительно небольшими.

Таблица 13. Затраты по различным сценариям развития для пилотных участков 505 и 515

Участок	Существующая инт-ть движения		Тяжелый транспорт +50%	
	Суммарные затраты [€]	Средние затраты/км [€]	Суммарные затраты [€]	Средние затраты/км [€]
505	83582	14140	92560	15659
515	71802	10103	86551	12178

Участок	Тяжелый транспорт +100%		Тяжелый транспорт +200%	
	Суммарные затраты [€]	Средние затраты/км [€]	Суммарные затраты [€]	Средние затраты/км [€]
505	99757	16877	148305	25090
515	100399	14127	131167	18456

## 7. Резюме и рекомендации

В связи с все возрастающим значением транспортно-экономических и вопросов окружающей среды, все большее внимание в Северной Европе будет уделяться альтернативе увеличения тяжести грузовых автоперевозок со стандартных 60т. Автомобильная магистраль HW4 Сёданкюля-Рованиеми является одной из трасс, обладающих потенциалом транспортного обеспечения разнообразных промышленных проектов, выгода которых будет связана с увеличением весовых нагрузок. Один из проектов мог бы сосредоточиться на лесоперевозках из района Сёданкюля/Ивало в Рованиеми, в то время как транспортировка древесной щепы для производства энергии на новой электростанции в Рованиеми и перевозка руды из новых шахт из района Сёданкюля по железной дороге в Рованиеми – также могут стать потенциальными проектами дальнейшего развития.

Влияние различных вариантов увеличения тяжести грузовых автоперевозок – грузовые автомобили грузоподъемностью 60, 72 и 90т, было определено для двух пилотных участков с применением текущих показателей интенсивности движения и последовательного их увеличения до 200%. В данной работе участки 505 и 515 были вначале обследованы детально в целях сбора информации о текущем структурном и функциональном состоянии дороги. Основными инструментами обследования были лазерный сканер, георадары, дефлектометр падающего груза, а также цифровое видео. Затем выполнялся анализ рисков и структурный анализ в целях определения влияния различных вариантов весовых нагрузок на транспортно-эксплуатационные показатели и срок службы пилотных участков дороги.

Результаты структурного анализа показали, что дорожные одежды на обоих участках находятся в относительно хорошем состоянии и, благодаря достаточной толщине слоев дорожной одежды осадка/смещение на границе дорожная одежда/земляное полотно даже на наиболее ослабленных участках относительно минимальны. Наиболее критическим вопросом является неудовлетворительное функционирование дорожного водоотвода, что создает проблемы дифференциального морозного пучения, вызывает остаточные деформации и колееобразование в период весеннего снижения несущей способности. По этой причине в случае увеличения тяжести грузоперевозок следует избегать движения тяжелых грузовых автомобилей в колонне в период весенней распутицы. Одним из интересных моментов, выявленных в ходе анализа морозного пучения, оказался тот факт, что необеспеченный водоотвод в непосредственной близости к примыканиям к частным владениям с дороги общего пользования создает наиболее значительные проблемы.

Расчеты в рамках анализа влияния увеличения тяжести грузоперевозок (свыше стандартного 60-тонного грузового автомобиля) показали, что осадка/смещение на границе дорожная одежда/земляное полотно под воздействием движения более тяжелых и длинных автомобилей несколько выше в сравнении с влиянием от прохода стандартного 60-тонного грузового автомобиля. С другой стороны, более тяжелые автомобили более дружелюбны по отношению к верхней части дорожной одежды, особенно если расчеты основаны на тоннаже. Грузовые автомобили,

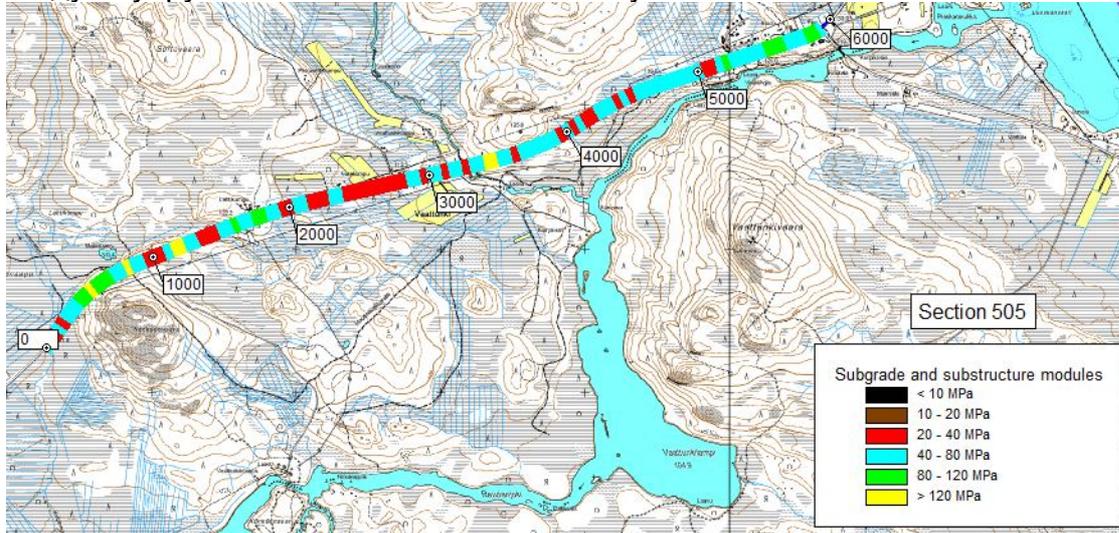
оснащенные системой центральной подкачки шин (СТІ), дополнительных выгод не обеспечивают, поскольку толщина слоев связанных материалов на рассматриваемых участках дороги достаточно большая, и к тому же грузовые автомобили, в основном, пользуются только дорогами общего пользования (основными). Для других дорог применение системы СТІ настоятельно рекомендуется во избежания возникновения колейности 1 степени.

Тем не менее, перед тем, как делать окончательные выводы о выгодах увеличения тяжести грузовых автоперевозок (смещения в сторону 72т и 90т грузовых ТС) следует учитывать, что данный анализ был сосредоточен только на структурной оценке участков дорог. Для полноты оценки следует учесть участки мостовых переходов – проинспектировать и выполнить необходимые детальные расчеты по оценке влияния тяжелых грузовых автоперевозок на мосты. Еще одной важной областью является влияние более тяжелых грузовых автомобилей на уровень шума и транспортных вибраций в населенных пунктах.

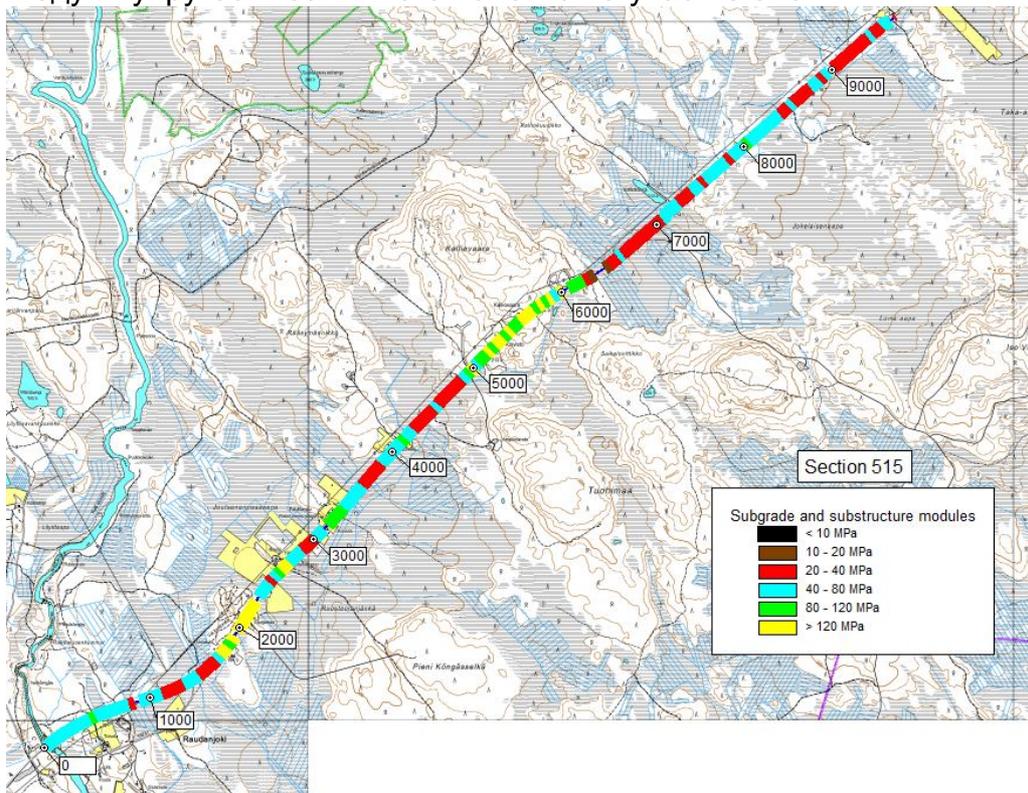
# Приложения

## Приложение 1

### Модули упругости земляного полотна на участке 505

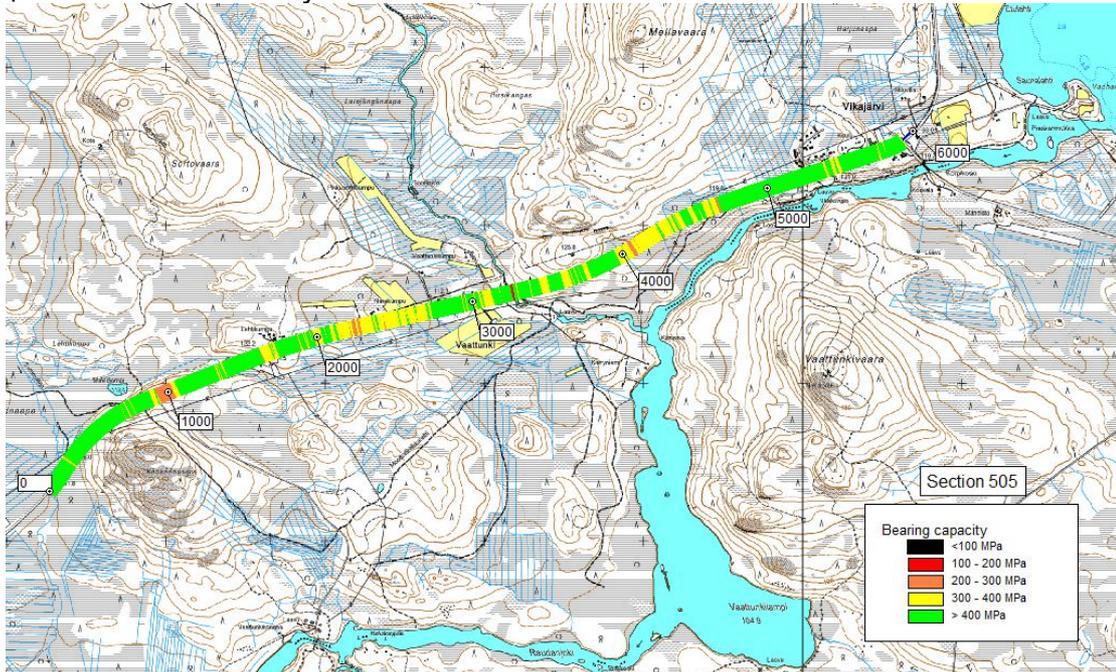


### Модули упругости земляного полотна на участке 515

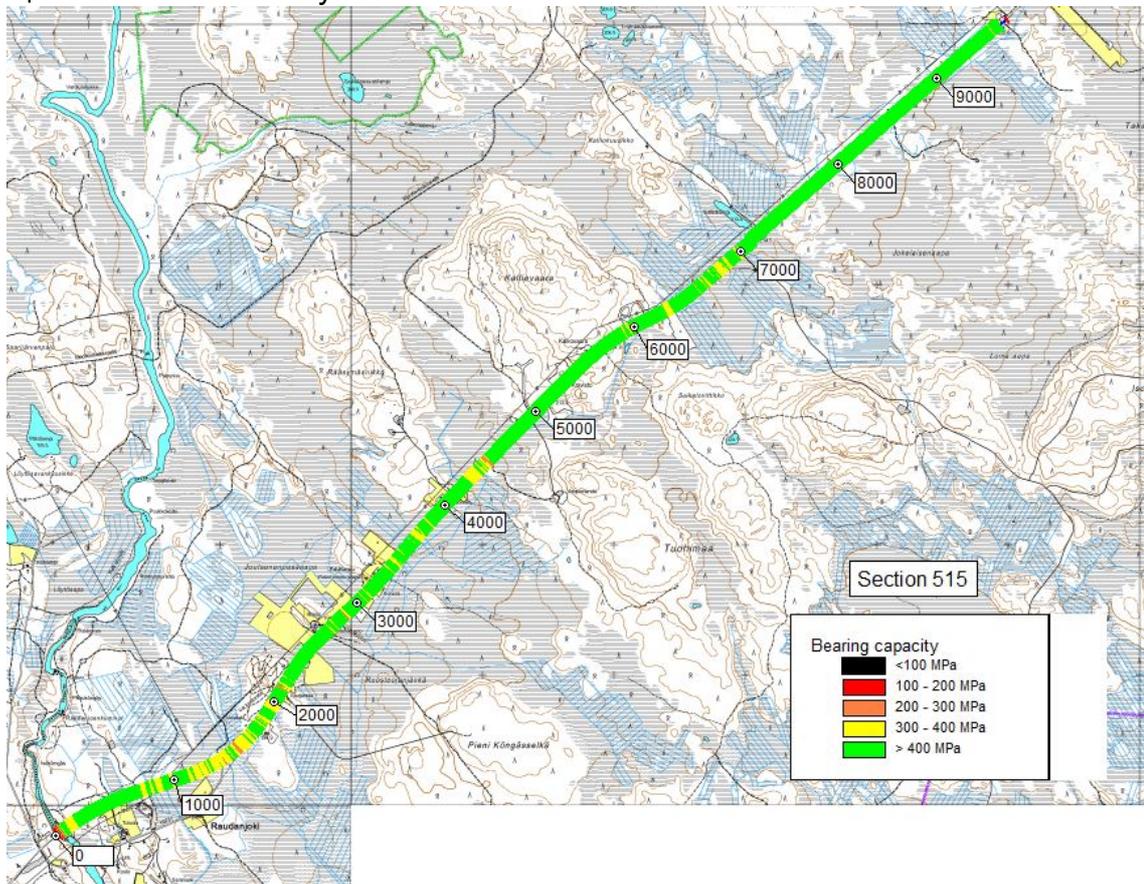


## Приложение 2

### Несущая способность на участке 505

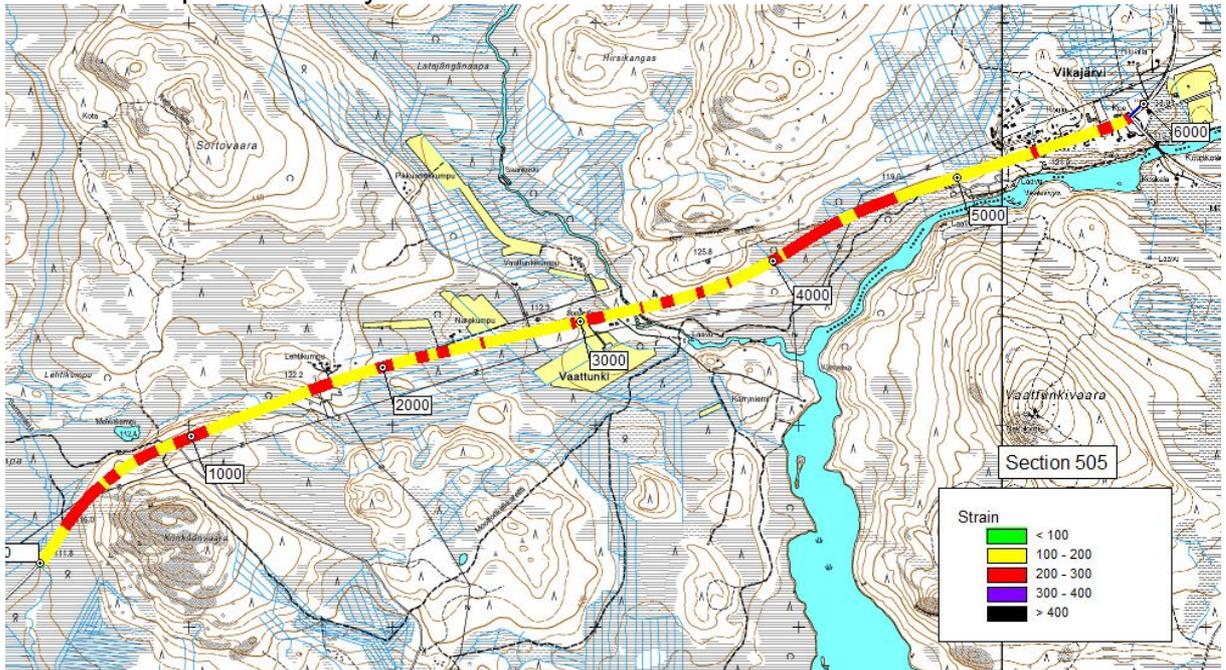


### Несущая способность на участке 515

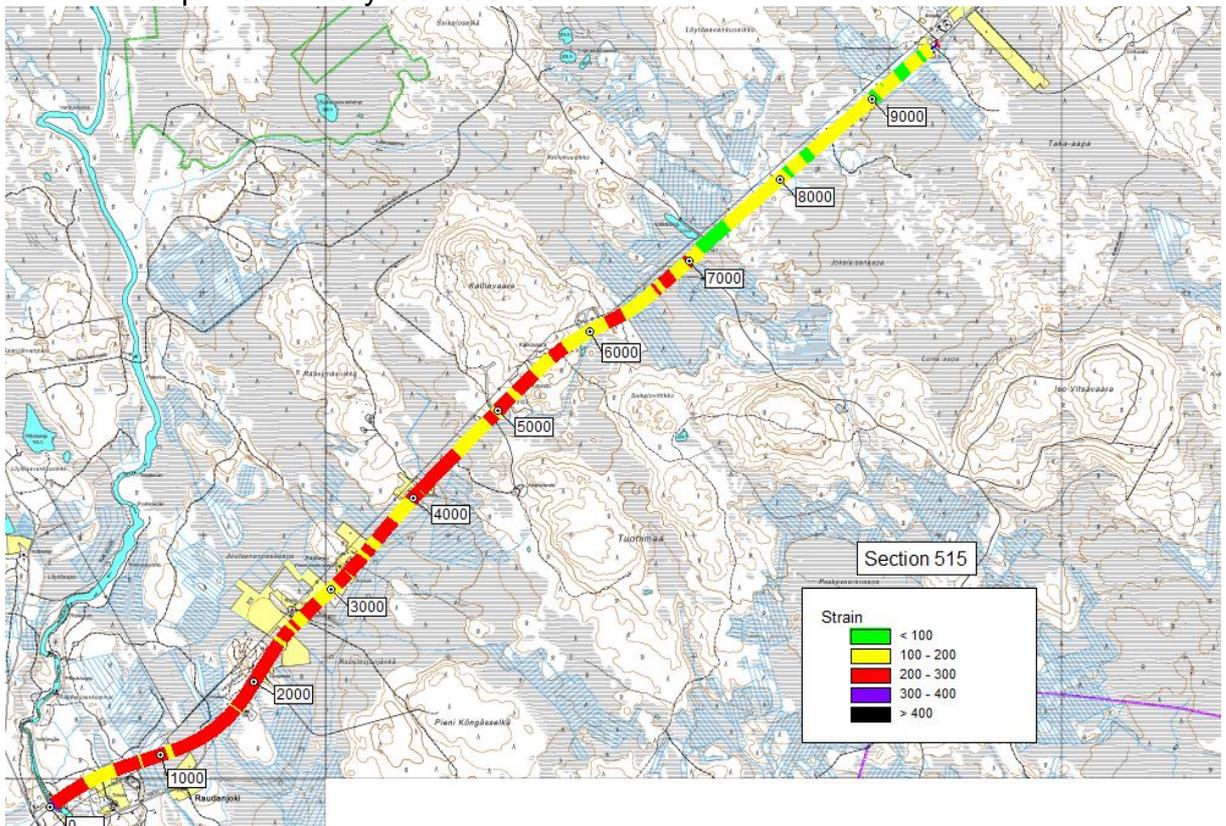


Приложение 3

Величины напряжений на участке 505

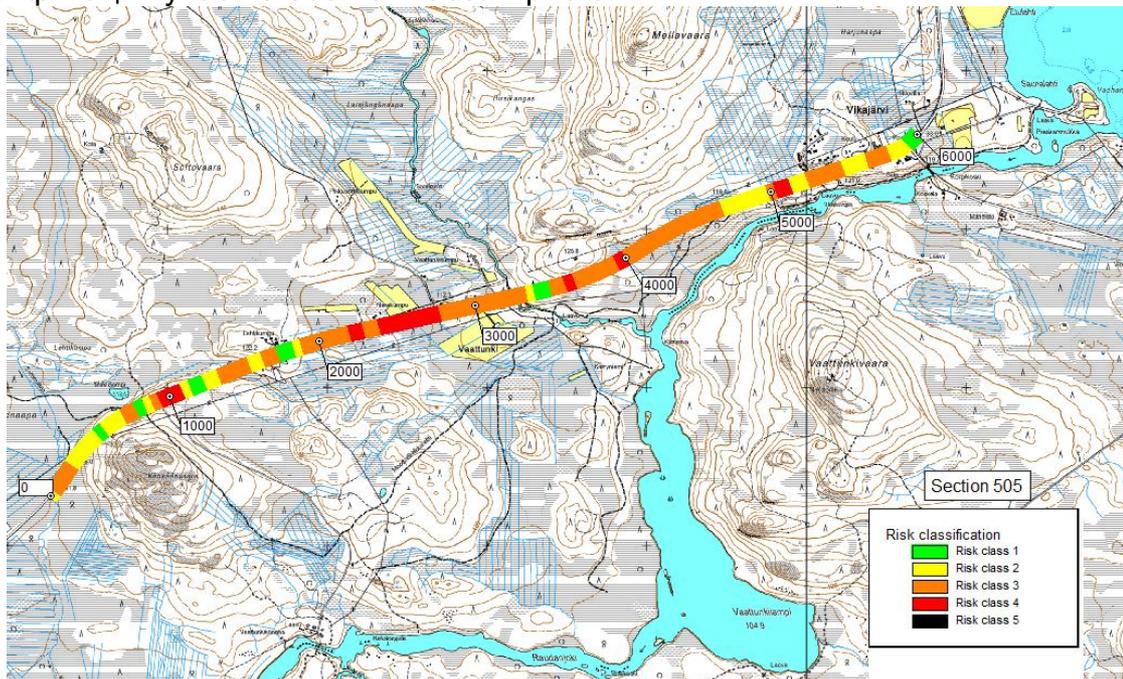


Величины напряжений на участке 515



## Приложение 4

### Классификация участка 505 по классам риска



### Классификация участка 515 по классам риска

