

Оценка влияния тяжелого грузового транспорта на конструкцию дороги. Разработка модели, Лапландия

Тимо Сааренкето, доктор наук
Управляющий директор
компания Roadscanners Oy



ПРОЕКТ «УПРАВЛЕНИЕ ДОРОГАМ С НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ДВИЖЕНИЯ В БАРЕНЦ РЕГИОНЕ» – Рабочий пакет, реализованный в ЛАПЛАНДИИ

Модель и план действий по оценке последствий увеличения суммарных нагрузок на сети дорог с низкой интенсивностью движения в Лапландии



Факты:

1. Транспортировка леса переходит на автопоезда весом 90т и длиной 30м
2. Перспектива – рост тяжелых перевозок горной промышленности по автомобильным дорогам
3. Строительство ветряных электростанций. Вес элементов конструкций - 160т
4. Современная логистика не терпит весовых ограничений и закрытия дорог весной



Вопрос к дорожной администрации:

Как можно обеспечить пользователям хорошие дороги круглый год без ограничений веса?



This Project is financed by EU

Цель рабочего пакета, реализуемого в Лапландии:

- ***Создание модели для оценки последствий роста весовых нагрузок на сеть дорог с низкой интенсивностью движения и разработка плана подготовки дорог к росту нагрузок (на примере Лапландии)***





ПРОЕКТ «УПРАВЛЕНИЕ ДОРОГАМ С НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ДВИЖЕНИЯ В БАРЕНЦ РЕГИОНЕ» – ИЗУЧЕНИЕ В ЛАПЛАНДИИ

Состав работ:

- a) ***Разработка модели на основе анализа влияния нагрузок на существующие дороги и подготовка рекомендаций для подготовки дорог к росту суммарных весовых нагрузок на различных участках сети;***
- b) ***Тестирование модели на примере в рамках изучения в Лапландии***



Анализ влияния нагрузок на сеть дорог

Комплекс аспектов:

Какие аспекты требуют принятия в расчет при увеличении суммарных нагрузок?



This Project is financed by EU



ROADEX
Implementing Accessibility

Управление нагрузками на сети дорог

Оценка влияния нагрузок на сеть дорог требует знания ряда факторов (1):

1. Дорожные конструкции и их свойства:

- a) Конструкция, усилия и напряжения
- b) Остаточные деформации и сезонные изменения
- c) Морозное пучение и сезонные изменения
- d) Дорожный водоотвод
- e) Геотехнические сложности

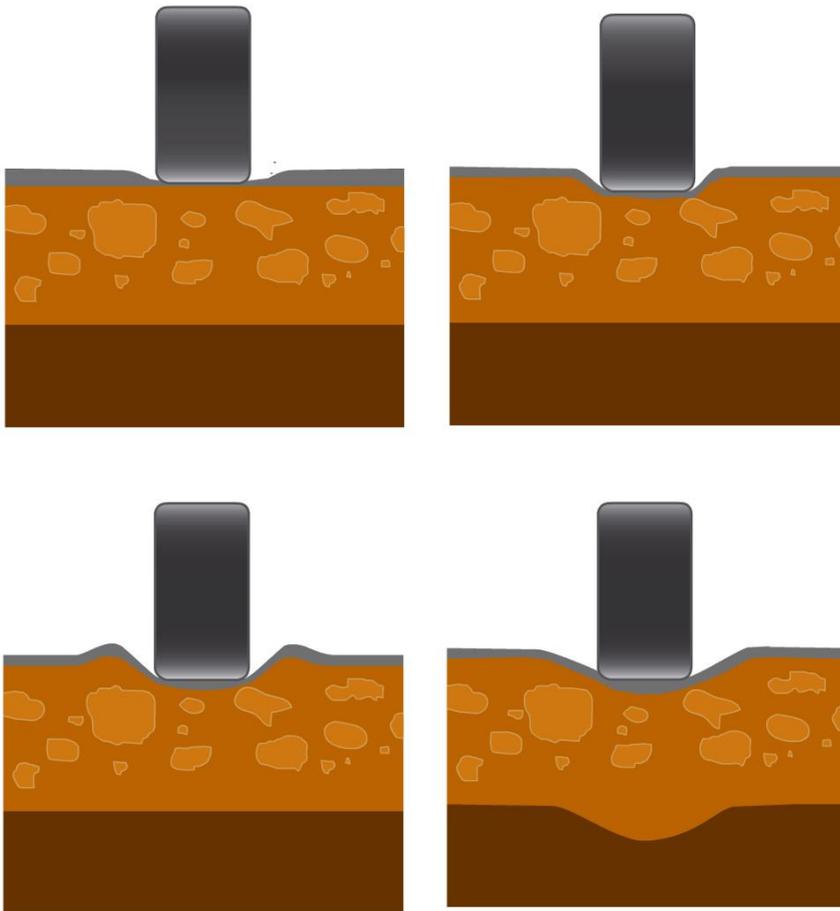
Дорожная конструкция:

- 1. Толщина покрытия и качество материала
- 2. Несвязные слои, толщина и качество
- 3. Грунт в основании дорожной конструкции, свойства



Диагностика:

Какой тип проблем характерен для дорог в составе сети?



Каждая проблема характеризуется:

1. Величиной риска
2. Методами решения
3. Затратами



Управление нагрузками на сети дорог

Оценка влияния нагрузок на сеть дорог требует знания ряда факторов (2):

2. Транспортные нагрузки:

- a) Осевые нагрузки
- b) Тип шин и давление воздуха в шинах
- c) Число осей, расстояние между осями, парные/строенные колеса
- d) Скорость движения
- e) Интенсивность движения грузовых автомобилей/в час/в сутки
- f) Длина автопоездов



Управление нагрузками на сети дорог

Оценка влияния нагрузок на сеть дорог требует знания ряда факторов (3):

3. Прочие факторы:

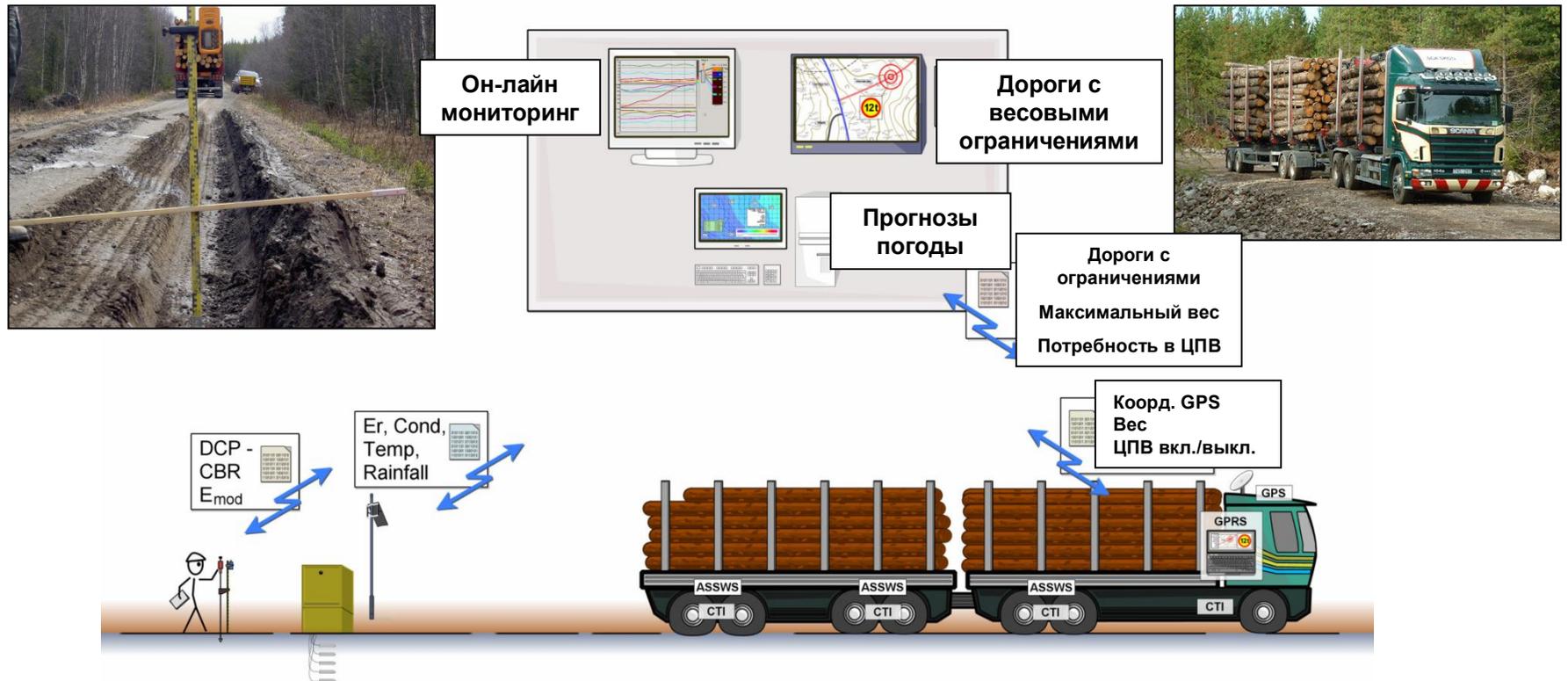
- a) Длинные/сочлененные грузовики и дорожная геометрия**
- b) Длинные/сочлененные грузовики и безопасность движения**
- c) Длинные/сочлененные грузовики и ширина дороги**
- d) Мосты**
- e) Проблемы зимнего содержания**
- f) Воздействие на окружающую среду**



Цель для дорожной отрасли: сократить период действия весовых ограничений

Станции мониторинга – транспортные технологии –
информационные системы

Центр управления движением в весенний период



This Project is financed by EU

ПОЧЕМУ РАСТЕТ ТЯЖЕСТЬ ПЕРЕВОЗОК?

Если груз перевозится транспортом на 50% грузоподъемнее, то:

- a) Сокращение расхода топлива - 20 %
- b) Сокращение выбросов CO₂ - 20 – 25 %
- c) Снижение транспортных затрат - 20 - 30%
- d) Снижение интенсивности тяжелого грузового движения
- e) Снижение воздействия на окружающую среду

=> Повышение конкурентоспособности отраслей и экономики



Принцип "En trave till" (еще один штабель) - шведский лесовоз:

- Суммарный вес автопоезда - 90т
- Длина 30,5м



This Project is financed by EU



ROADEX
Implementing Accessibility



МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ВЕСОВЫЕ НАГРУЗКИ (тонны)

<http://www.internationaltransportforum.org/IntOrg/road/pdf/weights.pdf>

Страна	Вес/ опорная ось	Вес/ ведущая ось	Грузовой 2-х осный	Грузовой 3-х осный	Автопоезд 4-х осный	Автопоезд 5-ти осный +	Сочлененный (седельный тягас с полуприц.)
Финляндия (6)	10	11.5	18	26 (2)	36	44 / 60 (7)	42 / 48
Норвегия	10	11.5	19	26	37	42	44
Россия	10	10	18	25 (2)	36	38	38
Швеция	10	11.5	18	26 (2)	38	48/60 (10)	48/60 (10)

(2). С пневматической подвеской (или аналог)

(6). Для ТС, зарегистрированных в странах членах ЕЭЗ

(7). 5 осей = 44т; 6 осей = 56т; 7 осей = 60т

(10). Для ТС, вовлеченных в комбинированные перевозки



This Project is financed by EU



ROADEX
Implementing Accessibility

Foreign - Thursday 5.9.2002

Agreement on timber truck weight limits reached with Russia

After a long period of negotiations, Finland and Russia have reached an agreement on the weight limits imposed on Finnish timber trucks on Russian roads.

Beginning next week, Russian road authorities will grant overload licences for articulated vehicles carrying a maximum weight of 55 tons. However, these heavy trucks will only be allowed to drive on certain roads. The Ministry of Transport expects to receive a suggestion on the allowed routes next week.

This agreement will be in force until September next year, when a new round of negotiations will most likely be required.

Timber trucks that do not exceed 42 tons in weight require no special permits. Russian trucks typically weigh a maximum of 38 tons with a full load, but Finnish trucks could carry up to 60 tons of timber.

Finnish haulers have deemed transportations with less than full loads unprofitable, which led to a pause in most timber transports once previous overload licences expired in August.

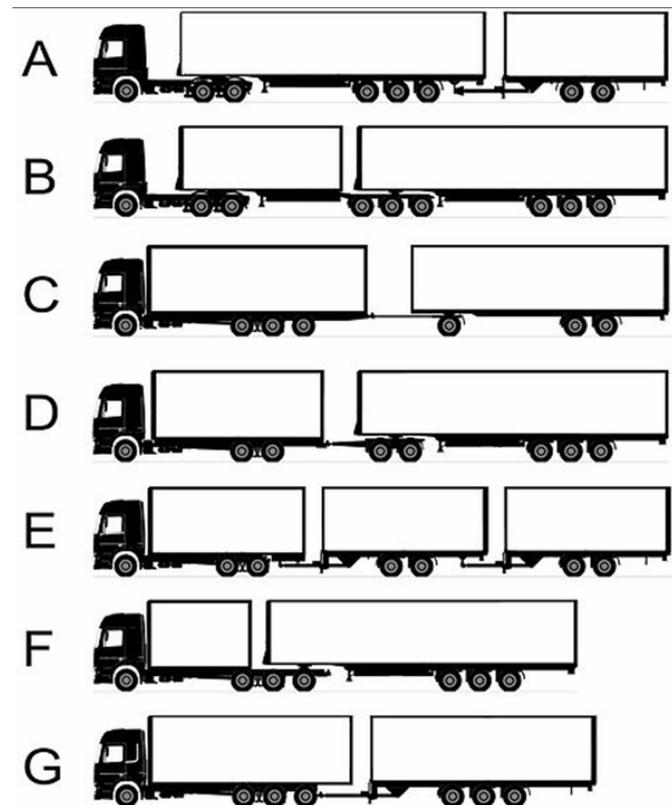


МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМАЯ ДЛИНА АВТОПОЕЗДА

Максимальная суммарная длина
в странах ЕС - 18.75 м при
максимальной массе 40 - 44т.

Правила, ограничивающие длину
полуприцепов до 16.5м и 18.75м,
применимы к грузовикам со
стандартным кузовом 7.82м и
прицепом длиной 7.82м.

С 1996 Швеция и Финляндия
получили разрешение от
Евроэкономической зоны на
комбинацию «60т при длине
25.25м», что дало другим странам
ЕС такие же права.



Рост нагрузок: Анализ рисков

Процесс:

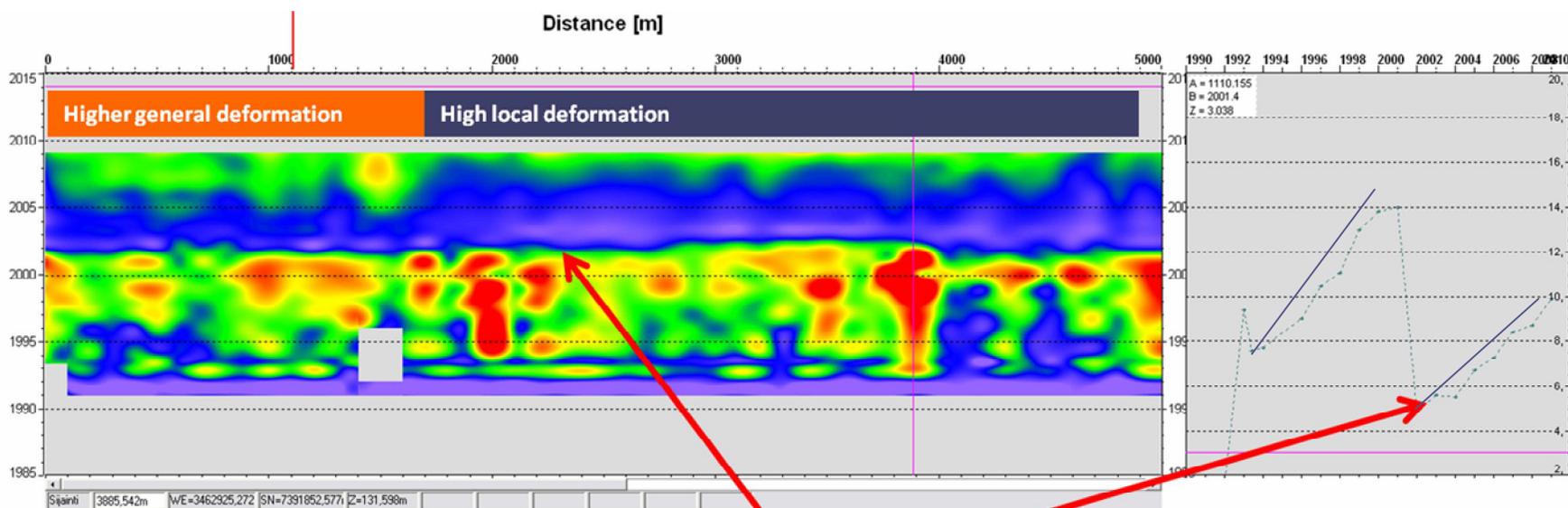
- 1. Сбор данных**
- 2. Анализ данных и диагностика проблемы**
- 3. Классификация рисков**
- 4. Несущая способность существующих дорог и остаточный срок службы конструкций**
- 5. Потребность в усилении конструкции при росте нагрузок (новые стандарты дорог)**
- 6. Анализ разных вариантов роста нагрузок**
- 7. Анализ влияния других факторов**



А. Дорожная диагностика и фазы анализа рисков

1. Общая информация о состоянии дороги

- Интервью с экспертами по содержанию дорог
- Анализ данных профилометра



Укладка нового слоя
а/б



А. Дорожная диагностика и фазы анализа рисков

2. Ширина проезжей части, обочин и т.п., дорожная геометрия, топография, придорожное землепользование

- На основе анализа данных мобильного лазерного сканирования
- Топографическая классификация ROADEX



А. Дорожная диагностика и фазы анализа рисков

3. Дорожная одежда и земляное полотно

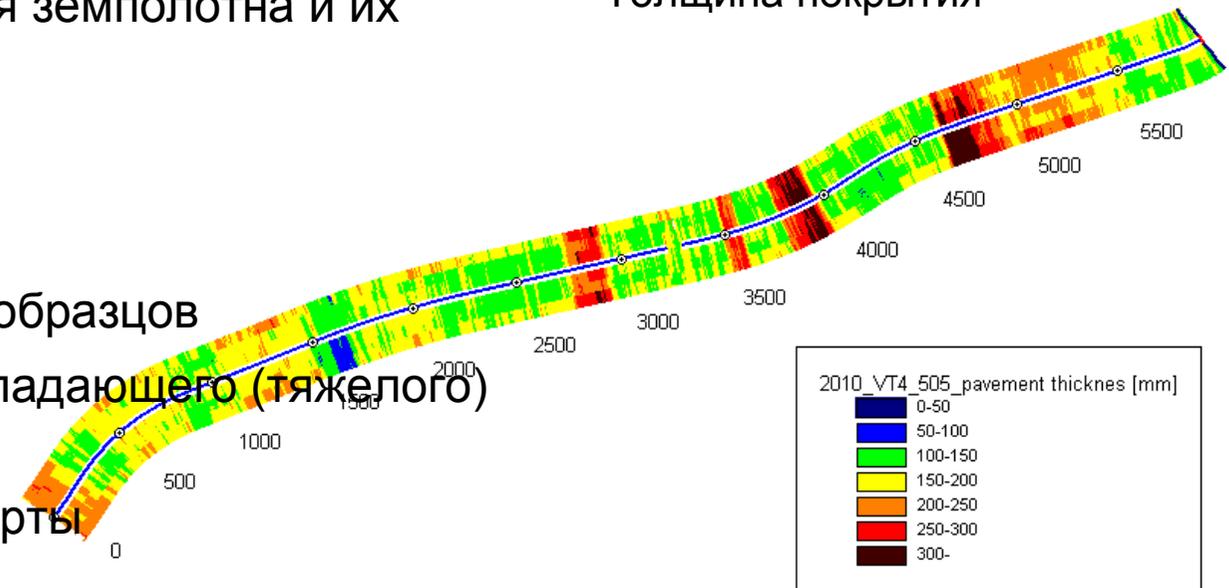
- **Качество материалов дорожной одежды и земляного полотна**

- Толщина связных слоев покрытия и основания и их качество
- Толщина несвязных слоев, материалы и их качество
- Грунты основания земляного полотна и их свойства

- **Технологии**

- георадары (GPR)
- бурение и отбор образцов
- дефлектометры падающего (тяжелого) груза HWD /FWD
- Геологические карты

Автомагистраль 4 участок 505
Толщина покрытия



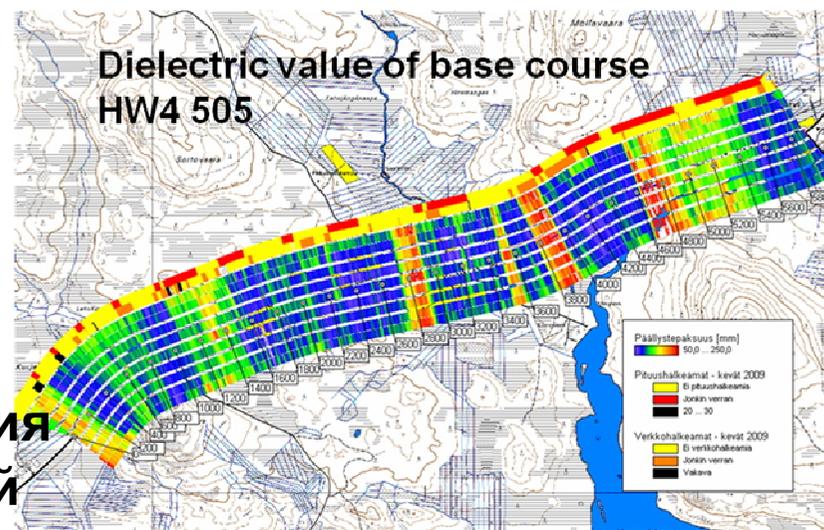
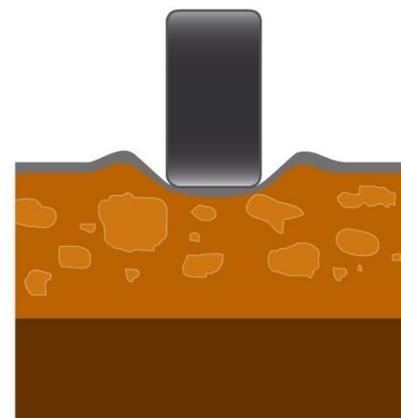
А. Дорожная диагностика и фазы анализа рисков

3. Дорожная одежда и земполотно

• Остаточная деформация и сезонные изменения

• Свойства материалов в сухом, влажном состояниях и после циклов заморзания/оттаивания (риск колейности степени 1)

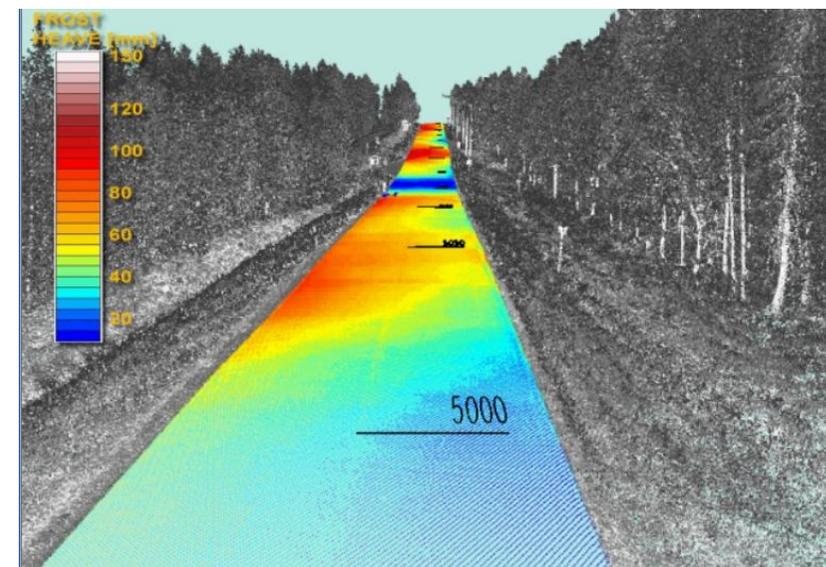
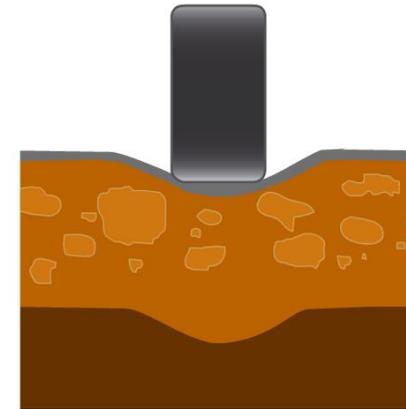
- Анализ данных профилометра
- Анализ данных лазерного сканирования
- Испытания методом всасывающей трубки
- Анализ данных георадара (рупорная антенна)
- Анализ данных HWD
- Анализ разрушения покрытия
- Расчет усилий и напряжений



А. Дорожная диагностика и фазы анализа рисков

3. Дорожная одежда и земполотно

- Воздействие морозного пучения и снижение несущей способности дороги в весной
 - Суммарная величина морозного пучения и риск колейности степени 2
 - Участки с дифференциальным морозным пучением
 - Анализ данных профилометра (IRI)
 - Анализ данных HWD
 - Анализ данных мобильного лазерного сканера



А. Дорожная диагностика и фазы анализа рисков

3. Дорожная одежда и земполотно

- **Возможные геотехнические проблемы**
 - Участки дорог, построенные на слабых грунтах (торфах)
 - Прочие деформирующиеся грунты
 - Проблемы устойчивости откосов
 - Стабильность насыпи
- **Данные:**
 - георадара (спецанализ, спорадическая вечная мерзлота)
 - дефлектометра тяжелого груза (HWD)
 - профилометра
 - термальной камеры





КЛАССИФИКАЦИЯ РИСКОВ:

- **Класс 1:** Участок с высокой несущей способностью. Отсутствие риска внезапного разрушения. Усталость покрытия происходит в соответствии с законами обычных моделей прогнозирования срока службы
- **Класс 2:** Участок с относительно высокой несущей способностью. Разрушение дороги произойдет быстро только в экстремальных условиях или из-за неудовлетворительного состояния водоотвода.
- **Класс 3:** Участок с адекватной несущей способностью. Риск разрушения возможен в период особо неблагоприятных условий весной.
- **Класс 4:** Ослабленный участок дороги. Высокий риск разрушений, особенно в период весеннего снижения несущей способности. Рекомендуется усиление.
- **Класс 5:** Экстремально ослабленный участок дороги. Значительные разрушения прогнозируемы сразу после проезда тяжелого грузовика. Требуется срочное усиление.

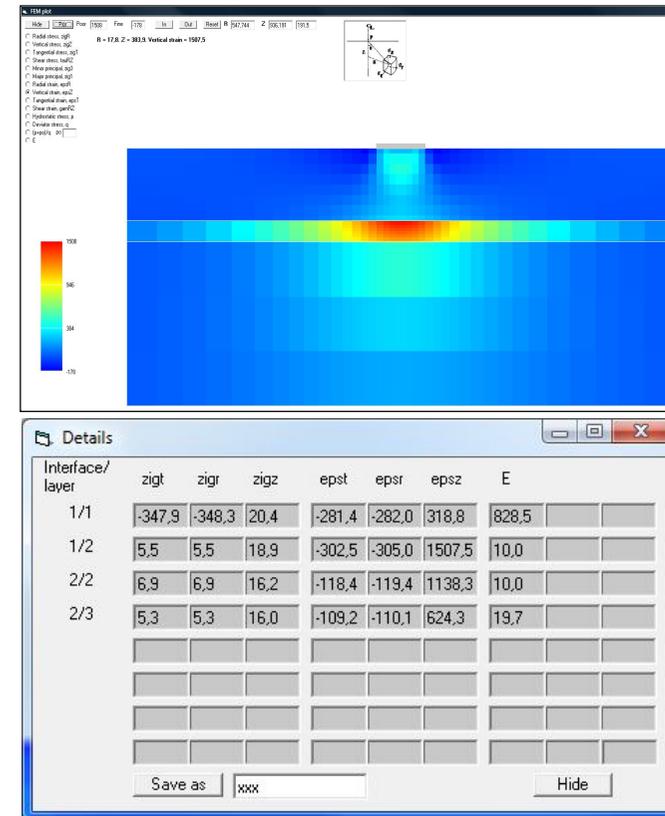
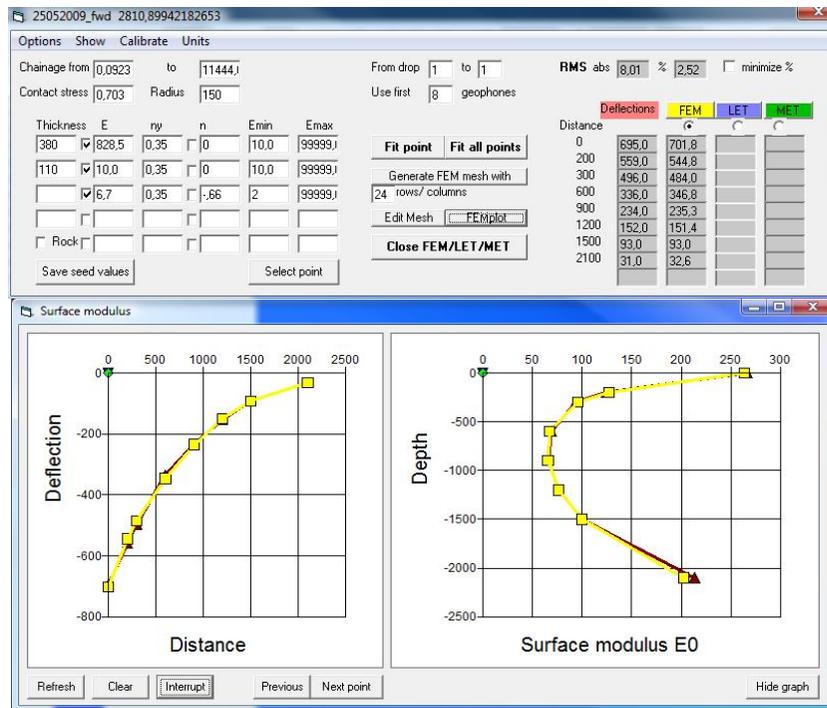


А. Дорожная диагностика и фазы анализа рисков

5. Моделирование усилий и напряжений

• Модифицированная процедура, применяемая при анализе рисков тяжелых перевозок в Шотландии

1. Анализ Elmod FEM (10 кН)



А. Дорожная диагностика и фазы анализа рисков

6. Моделирование усилий и напряжений

- Модифицированная процедура, применяемая при анализе рисков транспортировки частей ветряков в Шотландии

2. Расчет по Бизару (Bisar calculation): риск возрастающих нагрузок

Structure		Loads										
Layer Number	Thickness (m)	Modulus of Elasticity (MPa)	Poisson's Ratio	Load Number	Load (kN)	Vertical Stress (MPa)	Horizontal (Shear) Load (kN)	Horizontal (Shear) Stress (MPa)	Radius (m)	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Shear Angle (Degrees)
1	0,216	1,210E+03	0,38	1	8,428E+01	7,000E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,284E-01	0,000E+00	2,000E-01	0,000E+00
2	0,224	2,960E+01	0,38	2	8,428E+01	7,000E-01	0,000E+00	0,000E+00	1,284E-01	0,000E+00	-2,000E-01	0,000E+00
3	0,224	2,960E+01	0,38									
4	0,900E+00	0,900E+00	0,38									

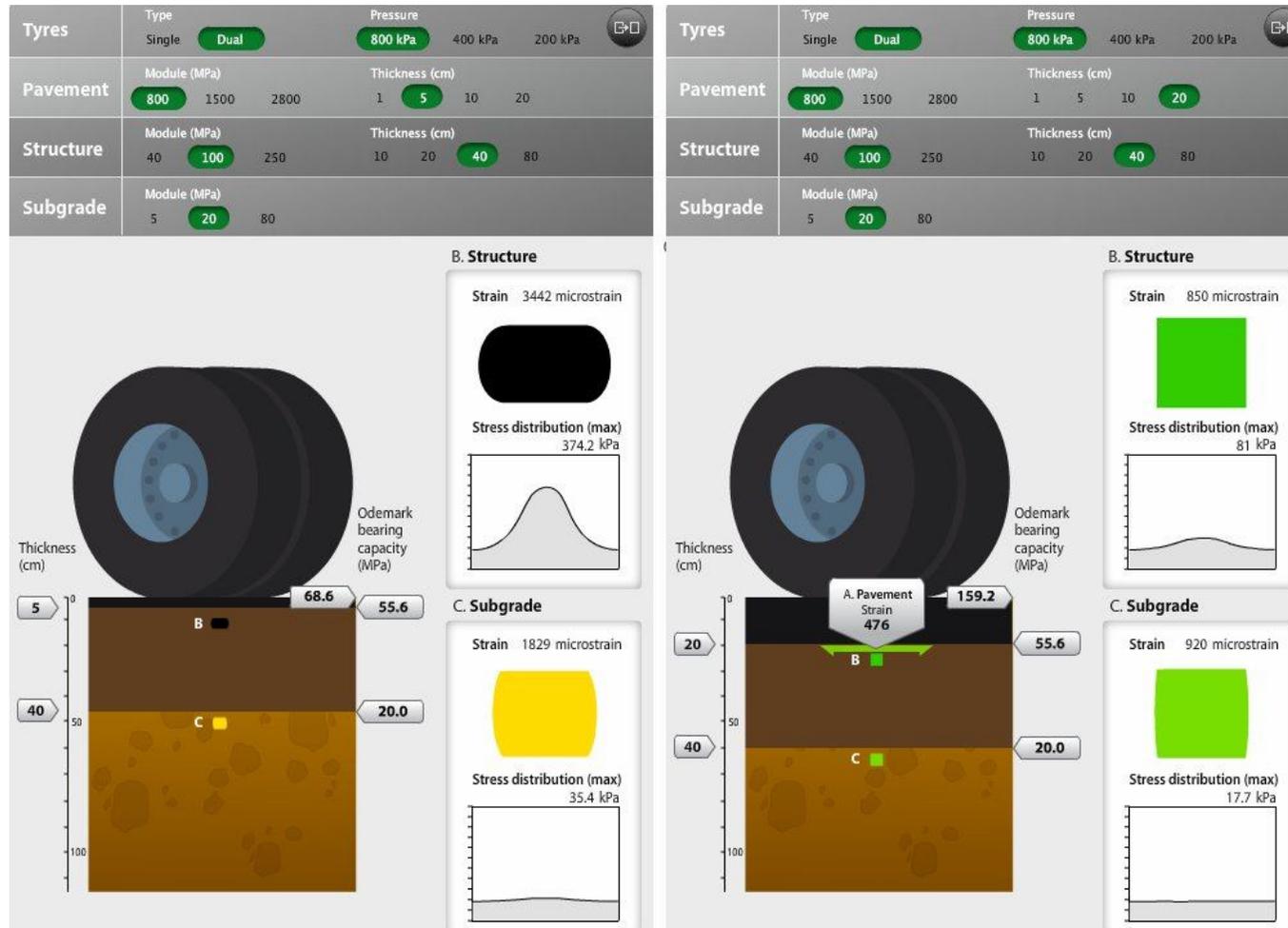
Position Number	Layer Number	X-Coord (m)	Y-Coord (m)	Depth (m)	Stresses (MPa)			Strains (µstrain)			Displacements (µm)		
					XX	YY	ZZ	XX	YY	ZZ	UX	UY	UZ
1	1	0,000E+00	0,000E+00	2,160E-01	1,099E+00	7,649E-01	-5,058E-02	7,000E+02	3,292E+02	-5,805E+02	0,000E+00	0,000E+00	3,370E+03
2	2	0,000E+00	0,000E+00	2,370E-01	2,620E-04	-7,782E-03	-8,942E-02	6,998E+02	3,323E+02	-1,620E+03	0,000E+00	0,000E+00	3,368E+03
3	3	0,000E+00	0,000E+00	6,640E-01	2,869E-02	2,220E-02	-1,678E-02	7,383E+02	6,708E+02	-1,113E+03	0,000E+00	0,000E+00	2,815E+03
4	4	0,000E+00	0,000E+00	6,660E-01	7,235E-04	2,894E-04	-1,678E-02	7,972E+02	6,697E+02	-1,944E+03	0,000E+00	0,000E+00	2,813E+03
5	1	0,000E+00	2,000E-01	2,160E-01	1,544E+00	9,715E-01	-8,270E-02	6,976E+02	4,953E+02	-6,560E+02	0,000E+00	6,795E+01	3,230E+03
6	2	0,000E+00	2,000E-01	2,170E-01	4,892E-04	-3,890E-03	-5,011E-02	6,861E+02	4,841E+02	-1,799E+03	0,000E+00	8,288E+01	3,297E+03
7	3	0,000E+00	2,000E-01	6,660E-01	2,262E-02	2,029E-02	-1,698E-02	7,122E+02	6,102E+02	-1,080E+03	0,000E+00	1,901E+02	2,766E+03
8	4	0,000E+00	2,000E-01	6,660E-01	6,787E-04	1,063E-03	-1,698E-02	7,112E+02	6,595E+02	-1,841E+03	0,000E+00	1,899E+02	2,764E+03

- Связные слои:
 - Безопасный уровень напряжений, низкий риск: < 600 µstrain
 - Умеренный уровень напряжений и умеренный риск: 600 - 1000 µstrain
 - Высокий уровень напряжений и высокий риск: 1000 - 1400 µstrain
 - Быстрый отказ: > 1400 µstrain
- Несвязные слои:
 - Безопасный уровень напряжений, низкий риск: < 1600 µstrain
 - Умеренный уровень напряжений и умеренный риск: 1600 - 2400 µstrain
 - Высокий уровень напряжений и высокий риск: 2400 - 3200 µstrain
 - Быстрый отказ: > 3200 µstrain
- Земляное полотно:
 - Безопасный уровень напряжений, низкий риск: < 1300 µstrain
 - Умеренный уровень напряжений и умеренный риск: 1300 - 2300 µstrain
 - Высокий уровень напряжений и высокий риск: 2300 - 3300 µstrain
 - Быстрый отказ: > 3300 µstrain

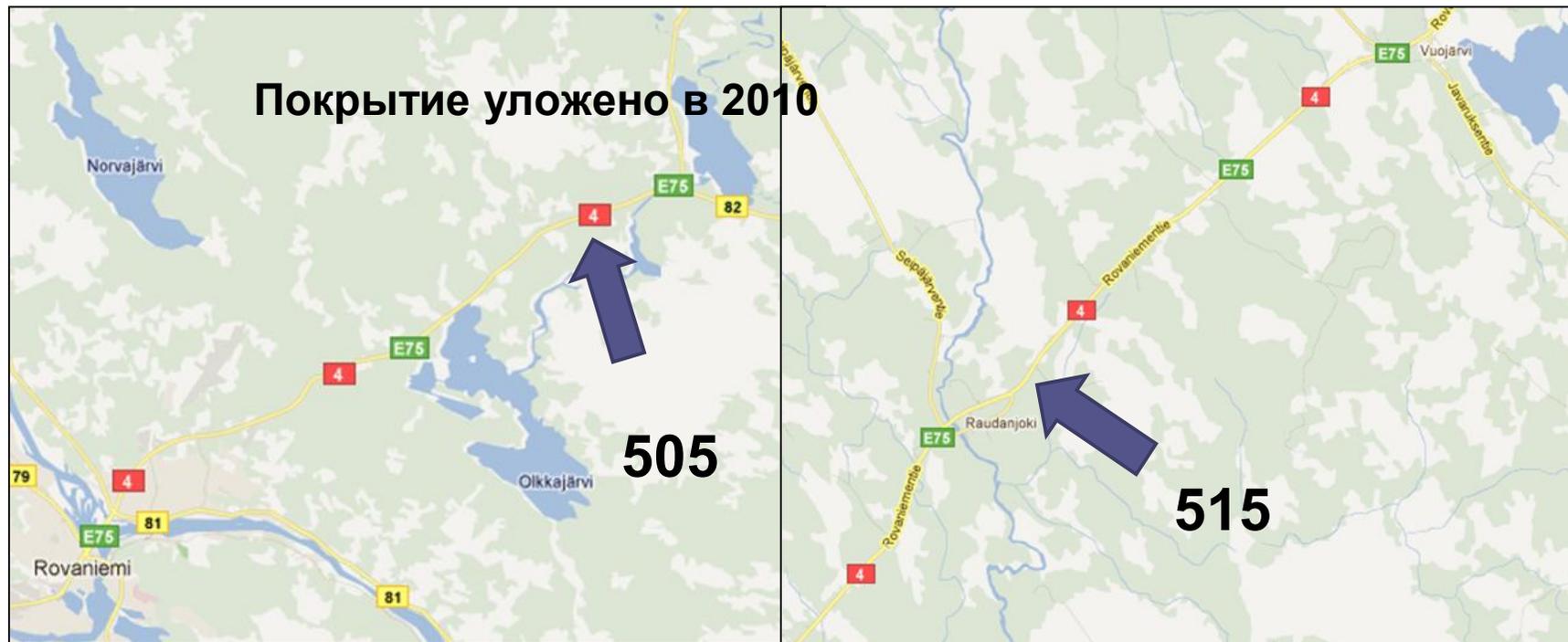


This Project is financed by EU

Расчет усилий и напряжений для различных сценариев



Пилотные участки дороги НW4 – Рованиеми - Сёданкюля

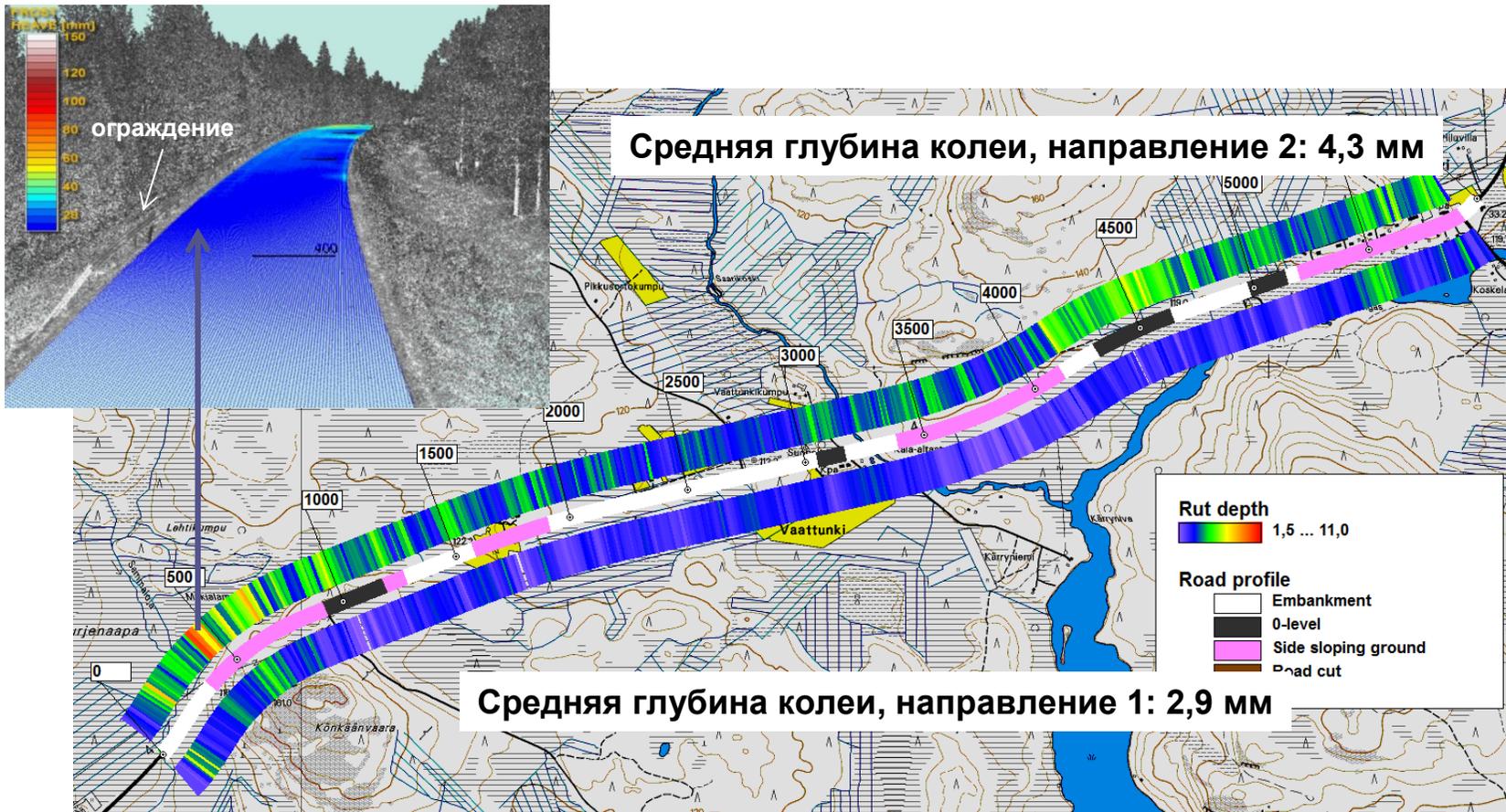


Статистика по толщине слоев дорожной одежды

	Покрытие [мм]	Основание [мм]	Нижележащие слои из несвязных материалов [мм]	Итого, конструкция [мм]
Участок 505				
Мин.	91	56	151	511
Макс.	343	479	2678	3075
Среднее	193	178	582	952
Участок 515				
Мин.	70	50	266	709
Макс.	413	612	2341	3165
Среднее	165	319	847	1331



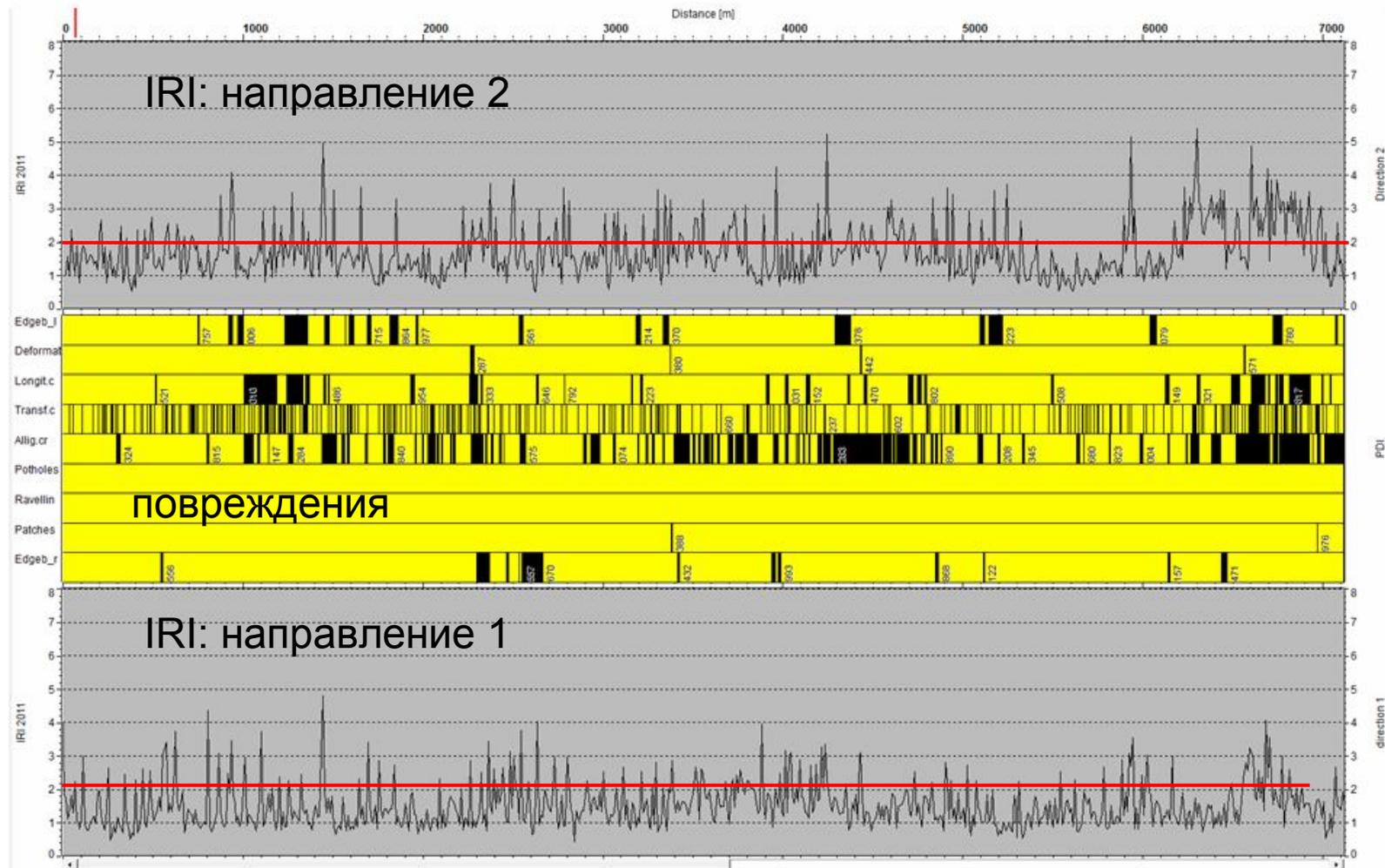
Анализ данных профилометра, глубина колеи - участок 505



Анализ данных профилометра, глубина колеи - участок 515



Анализ данных профилометра, ровность IRI – участок 515



Анализ разрушений покрытия 505

Участок	Деформация, %	Продольные трещины, %	Поперечные трещины, %	Сетка крокодиловых трещин, %	Разрушение кромки справа, %	Разрушение кромки слева, %	Выбои, %
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



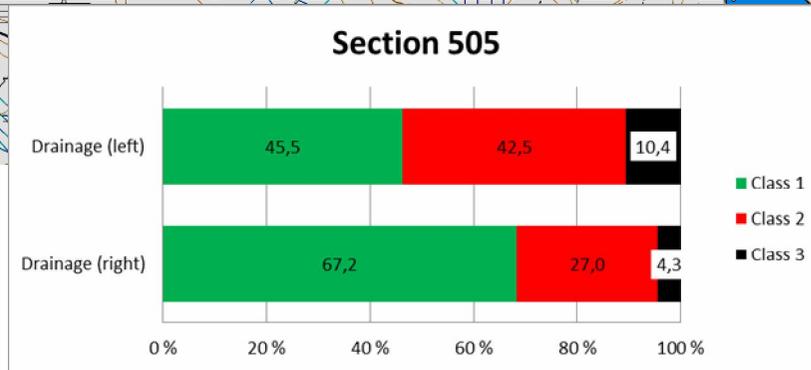
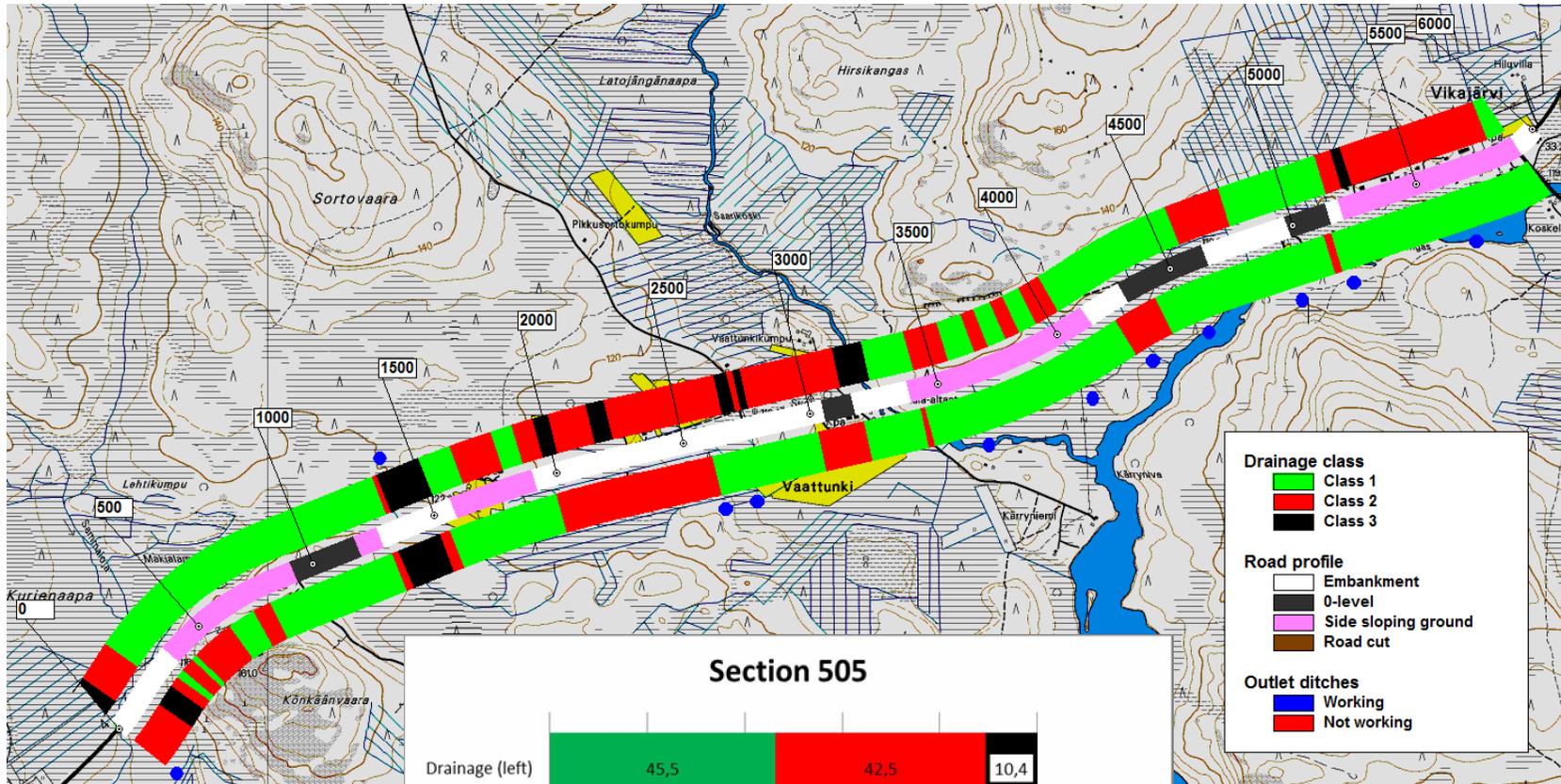
Анализ разрушений покрытия 515

Участок	Деформация, %	Продольные трещины, %	Поперечные трещины, %	Сетка крокодиловых трещин, %	Разрушение кромки справа, %	Разрушение кромки слева, %	Выбоины, %
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



This Project is financed by EU

Анализ водоотвода – а/д HW4 участок 505

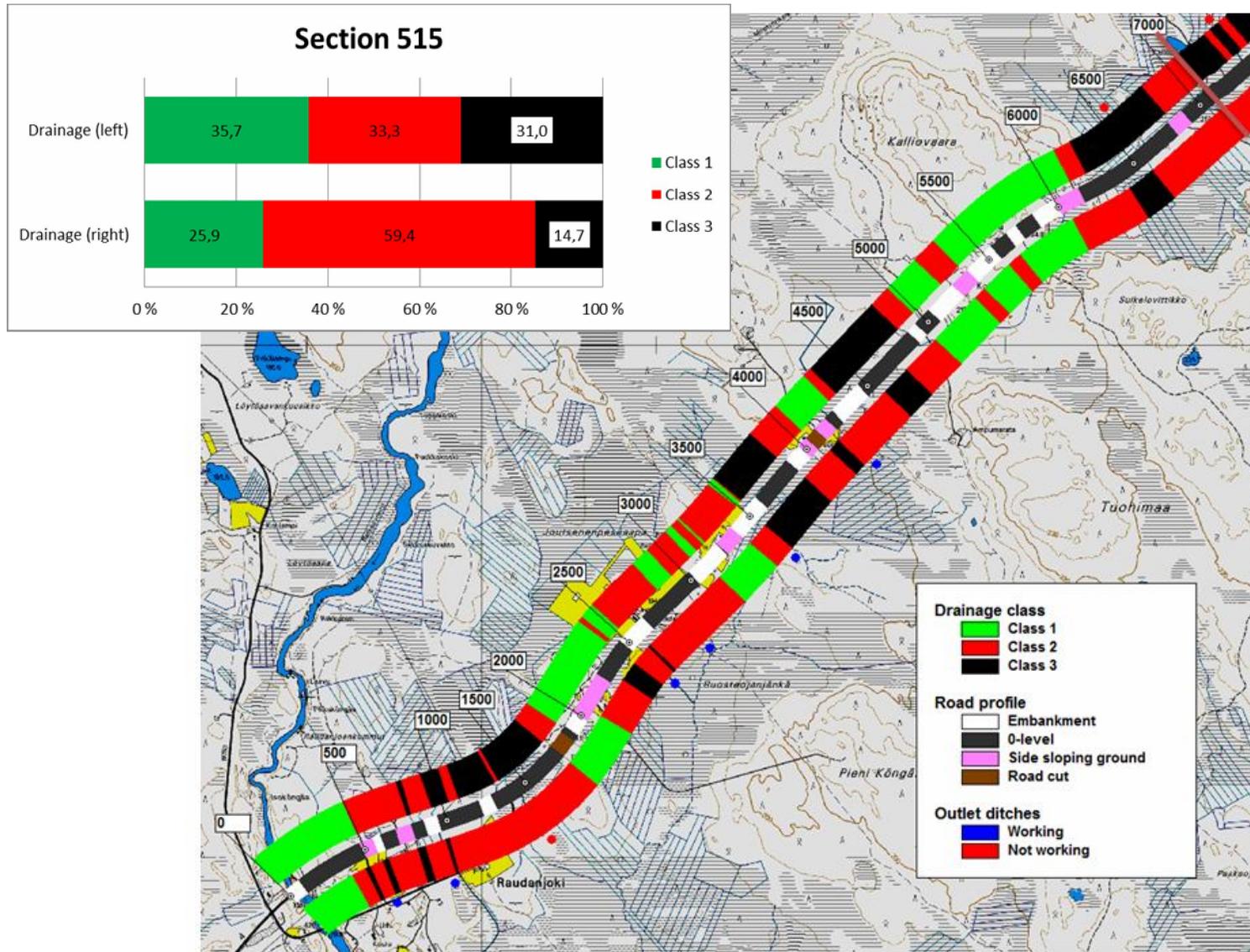


This Project is financed by EU



ROADEX
Implementing Accessibility

Анализ водоотвода – а/д HW4 участок 515

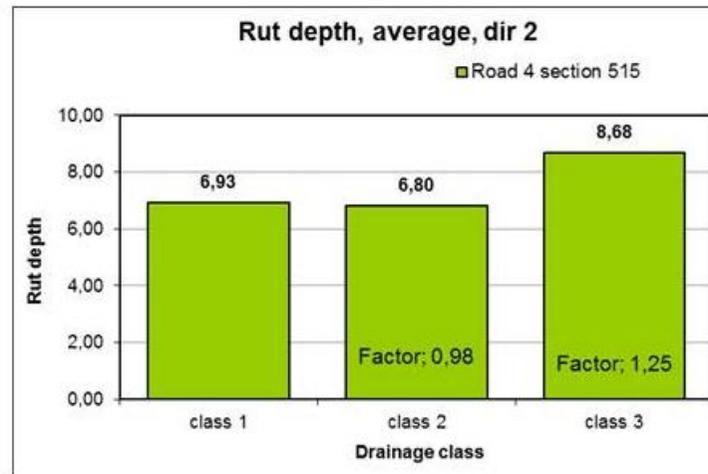
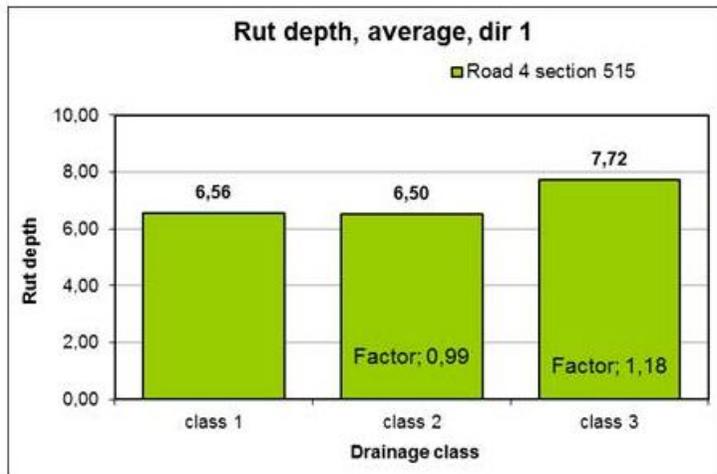
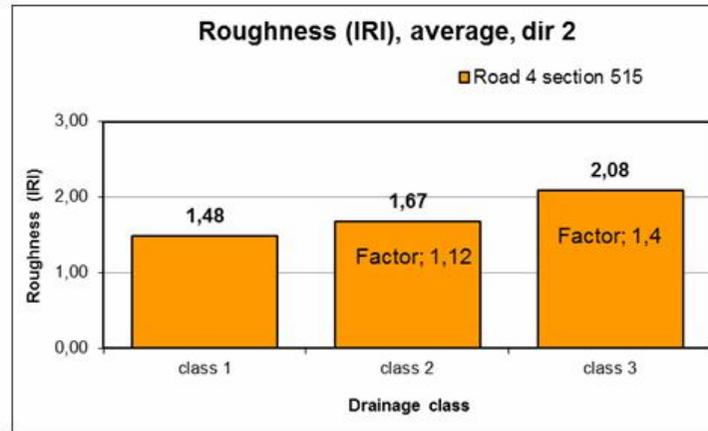
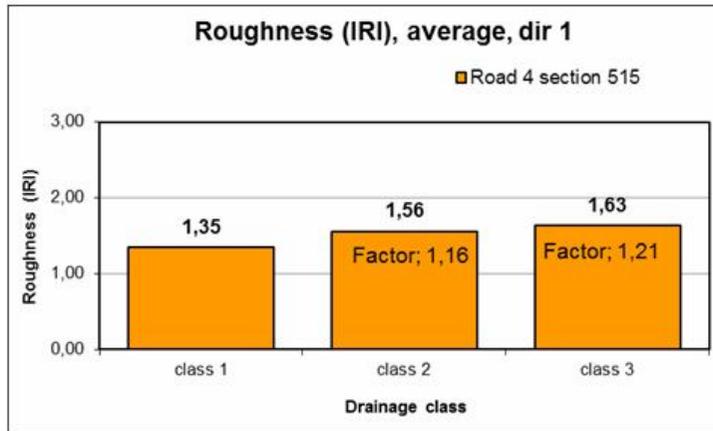


This Project is financed by EU



ROADEX
Implementing Accessibility

Анализ водоотвода – а/д HW4 участок 515

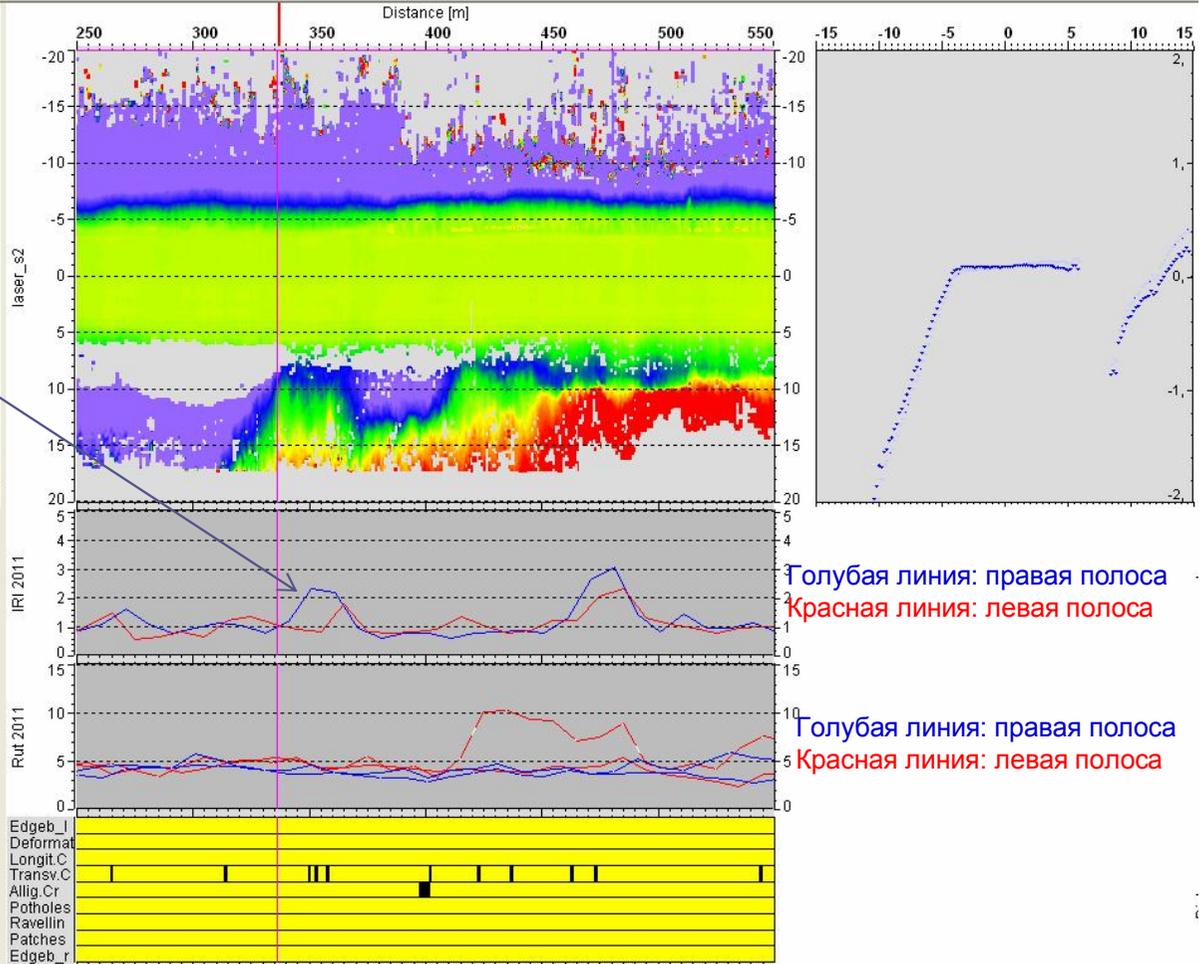
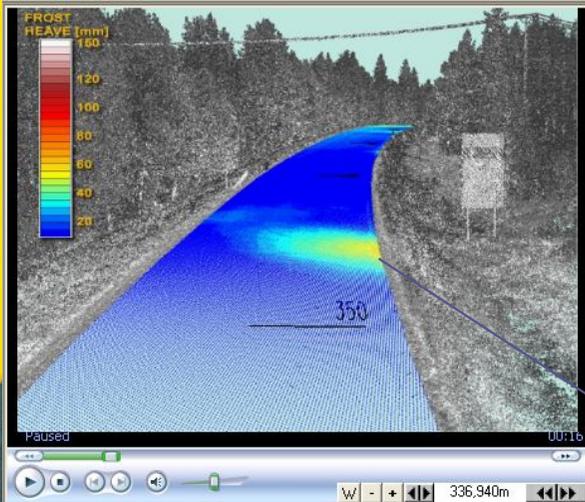


This Project is financed by EU

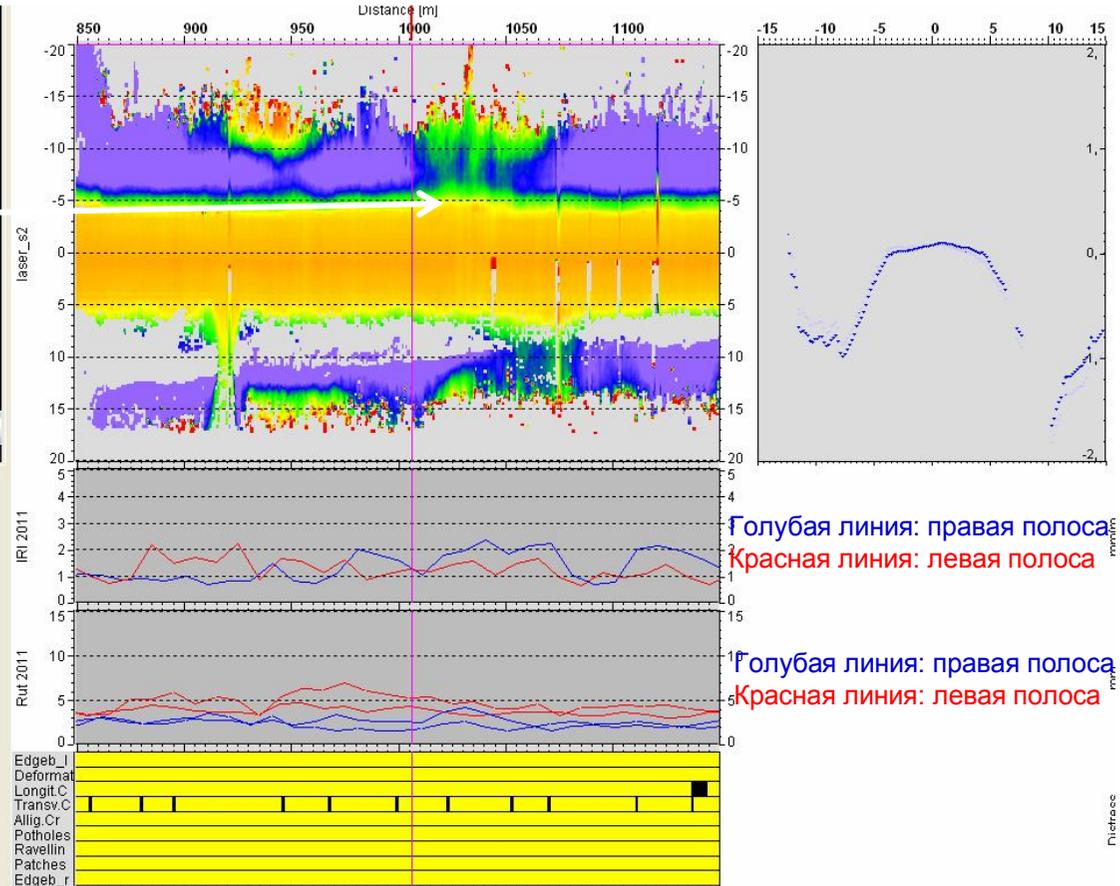
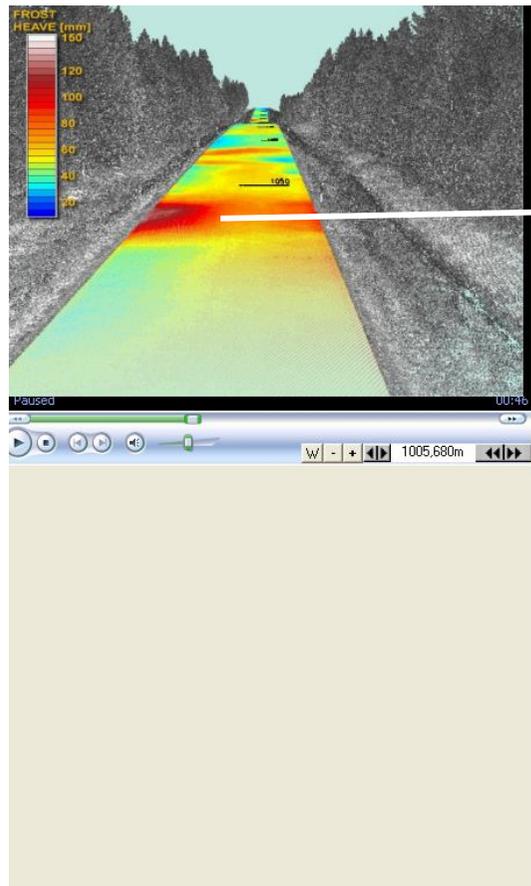


ROADEX
Implementing Accessibility

Анализ влияния морозного пучения на участке 505 а/д HW4

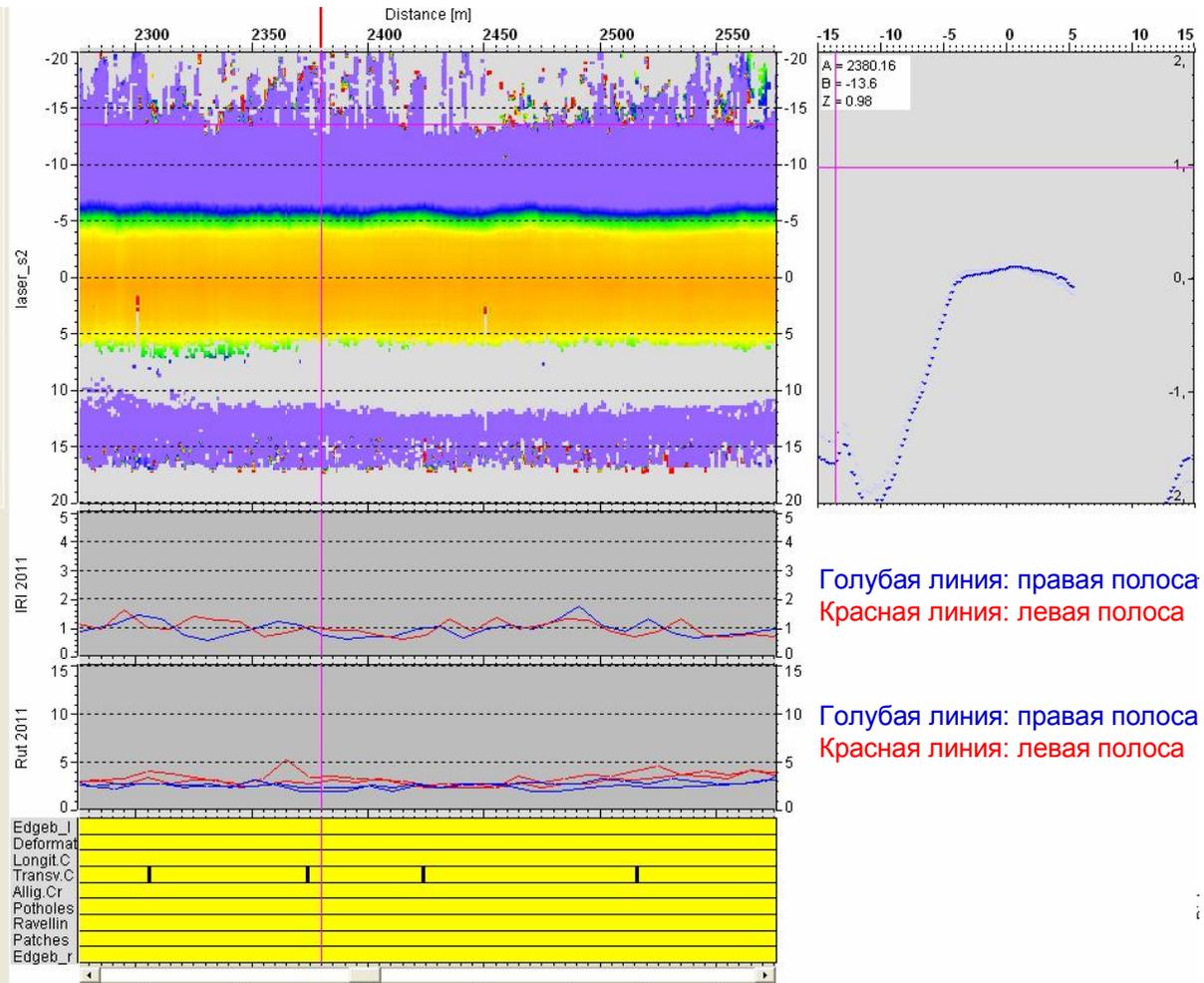


Анализ влияния морозного пучения на участке 505 а/д HW4



This Project is financed by EU

Анализ влияния морозного пучения на участке 505 а/д НW4



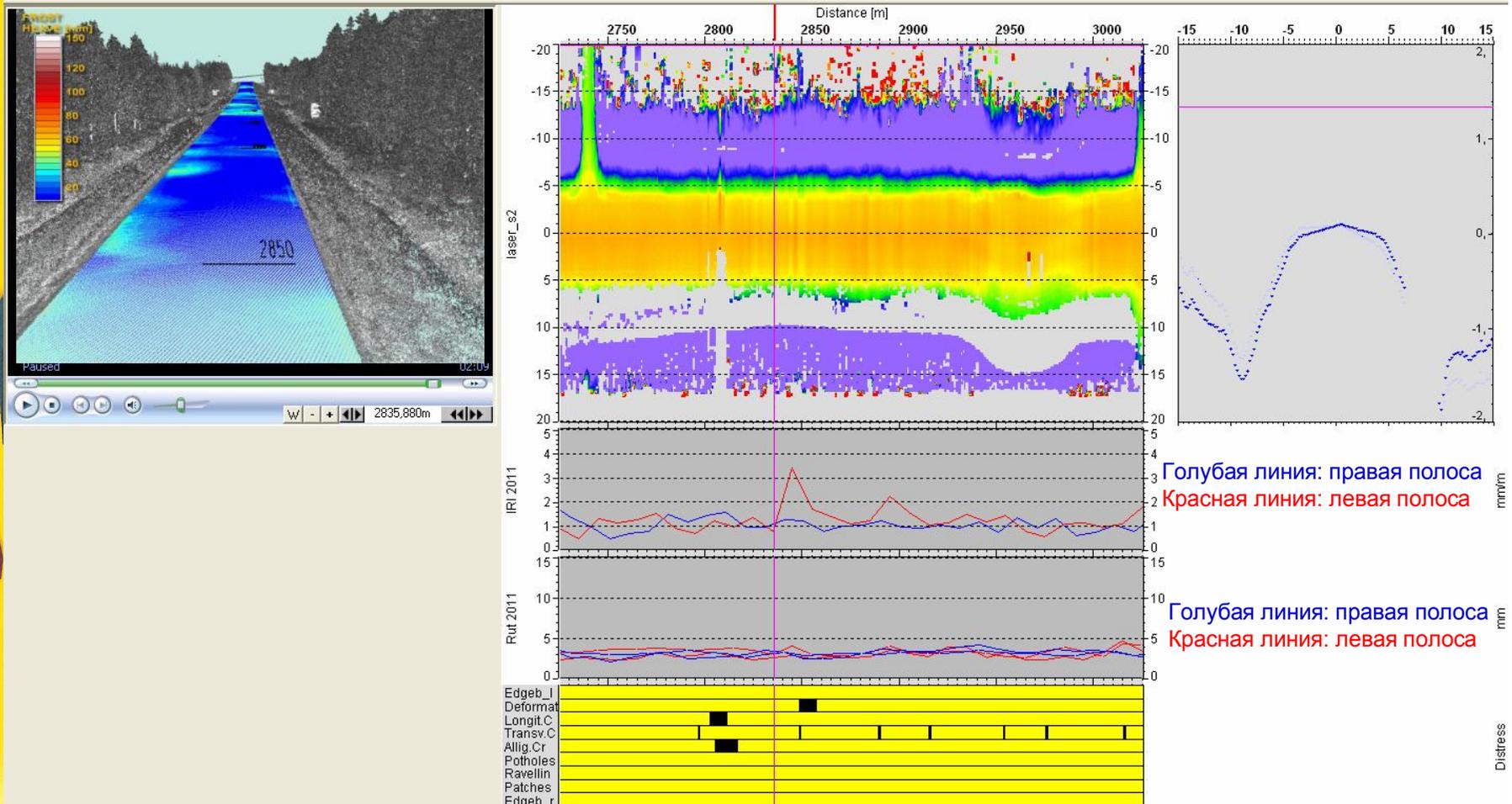
Голубая линия: правая полоса
Красная линия: левая полоса

Голубая линия: правая полоса
Красная линия: левая полоса



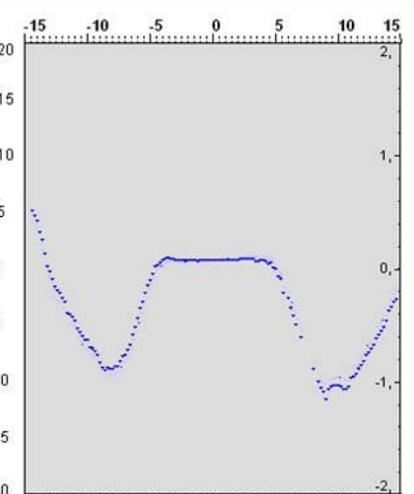
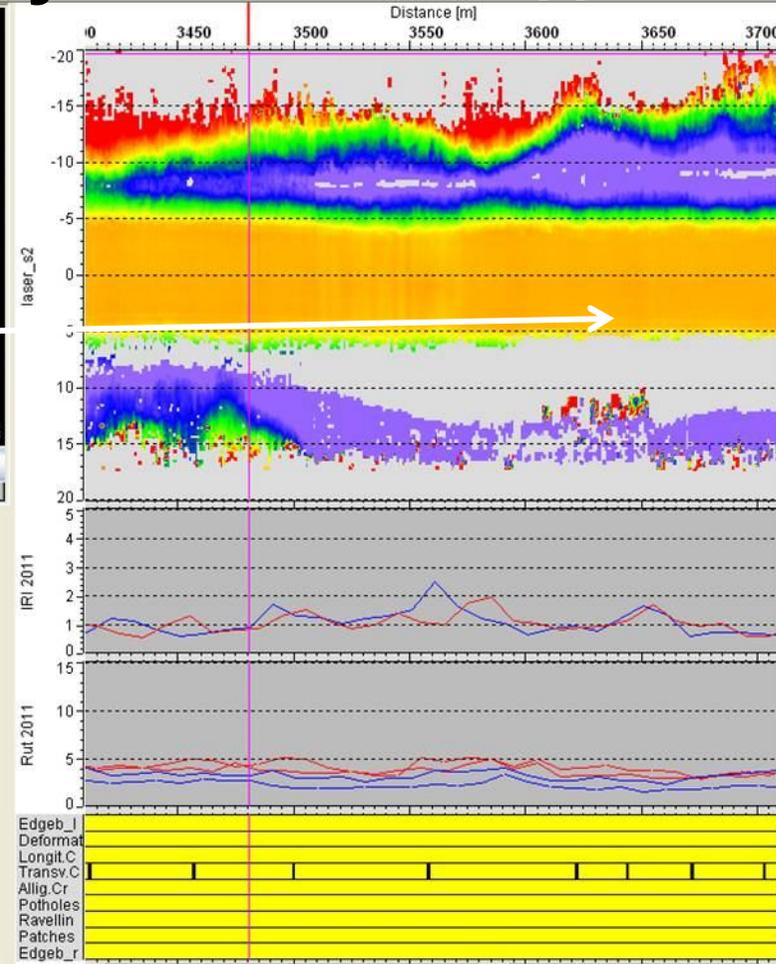
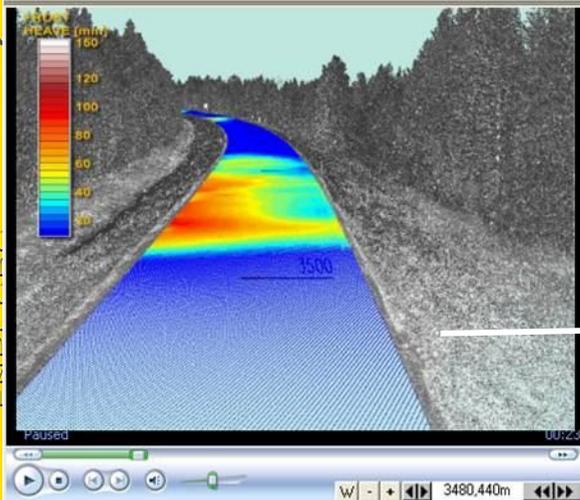
This Project is financed by EU

Анализ влияния морозного пучения на участке 505 а/д HW4



This Project is financed by EU

Анализ влияния морозного пучения на участке 505 а/д НW4



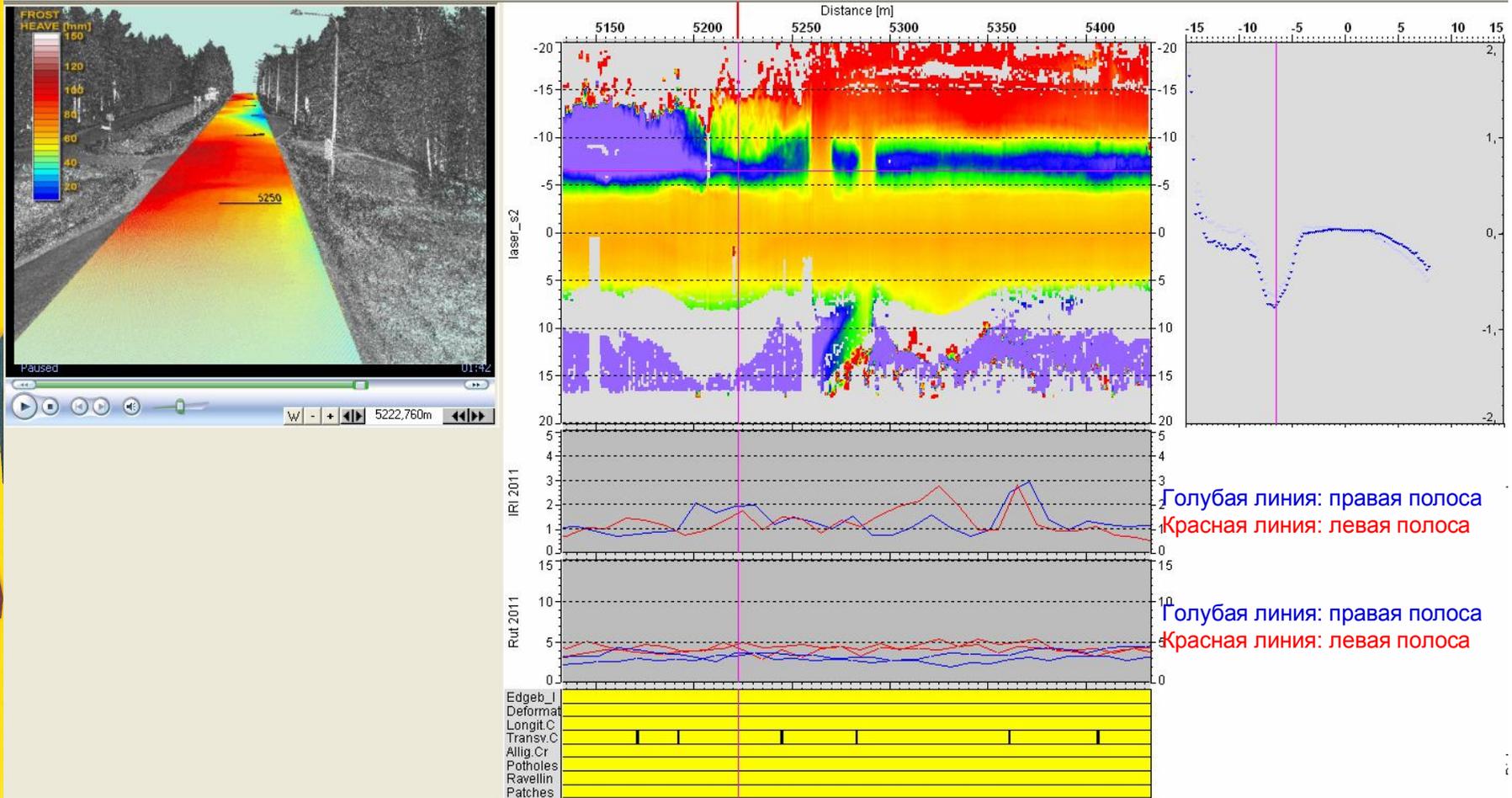
Голубая линия: правая полоса
 Красная линия: левая полоса

Голубая линия: правая полоса
 Красная линия: левая полоса

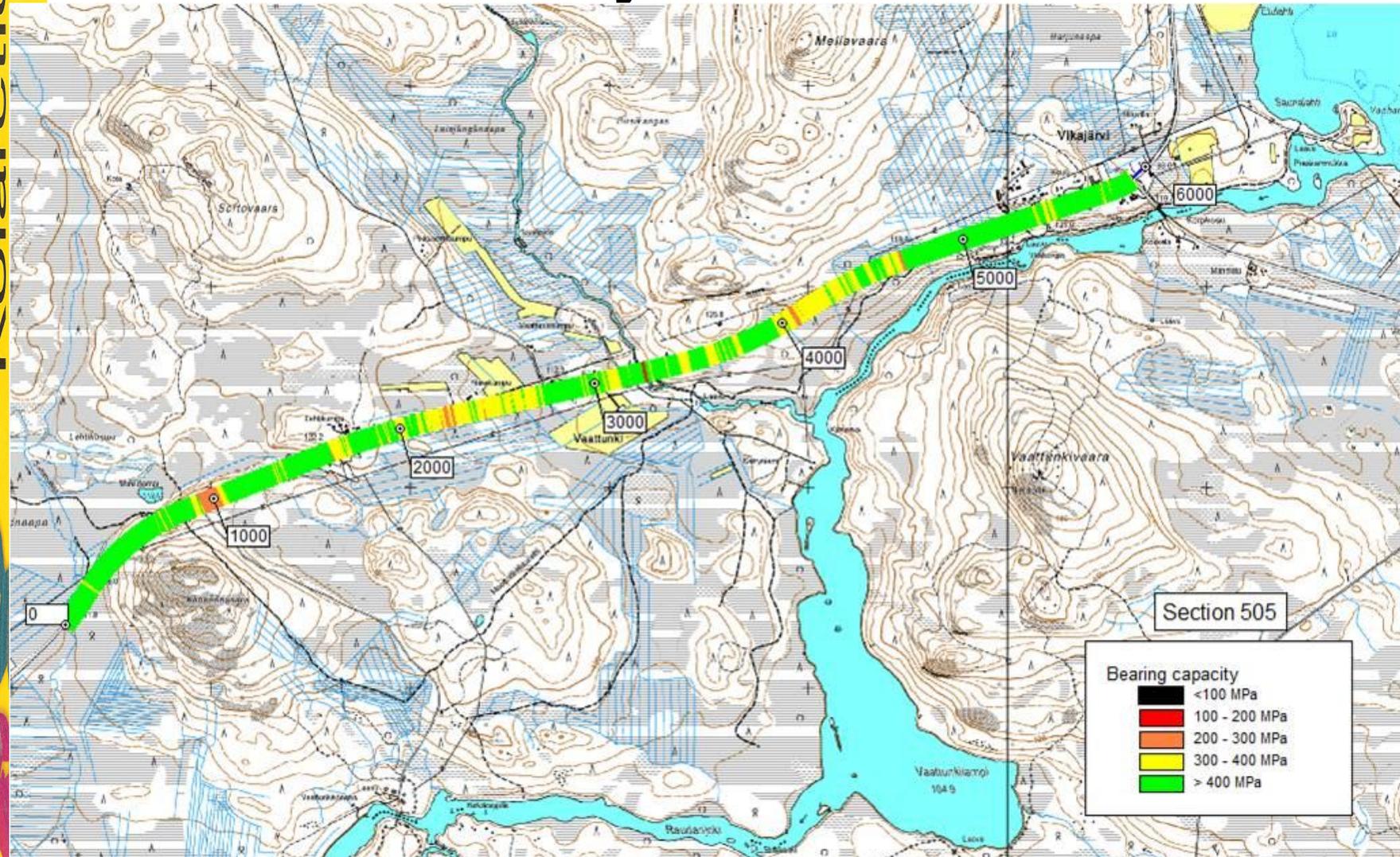


This Project is financed by EU

Анализ влияния морозного пучения на участке 505 а/д НВ4

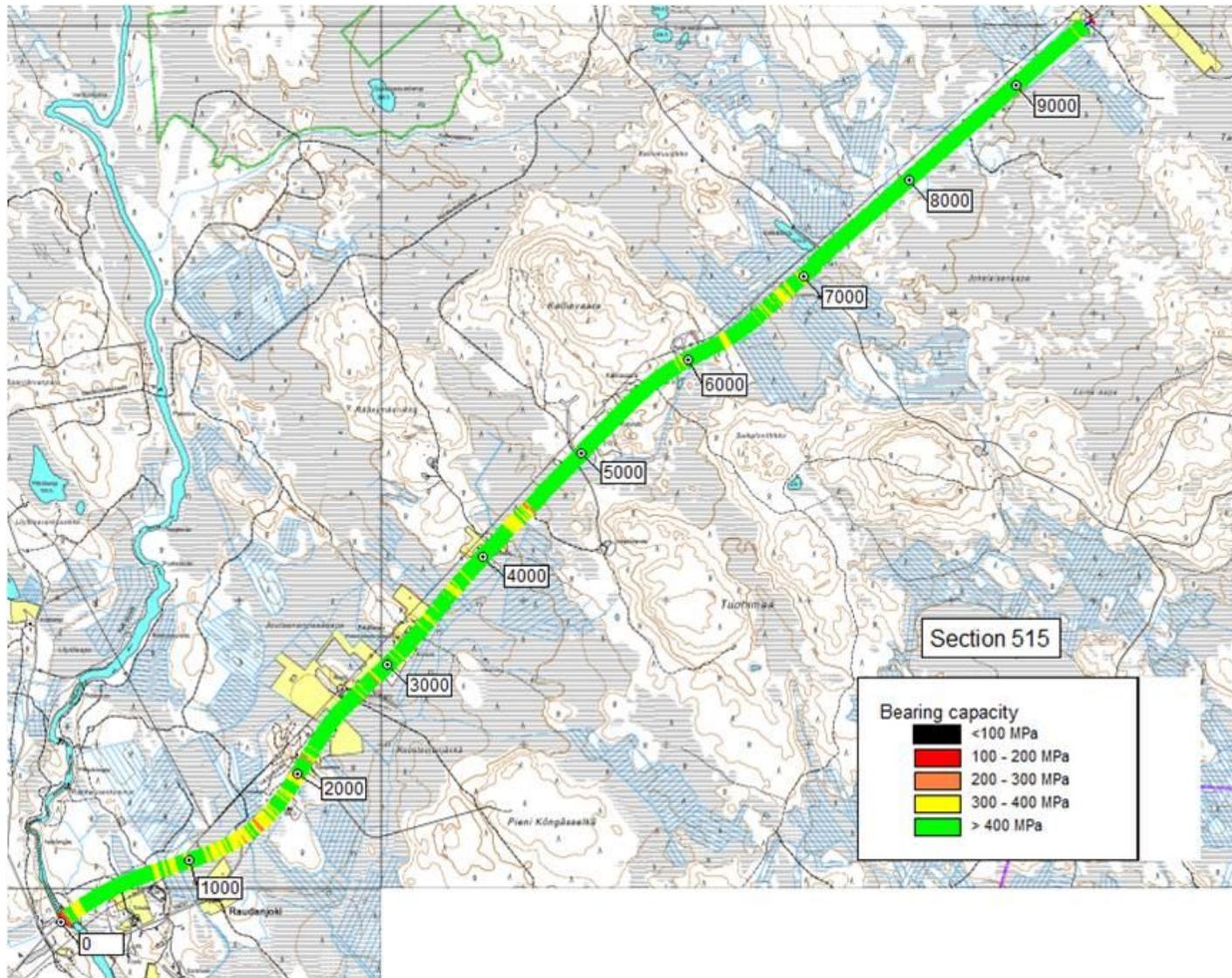


Несущая способность по Одемарку (ROADDEX) – участок 505



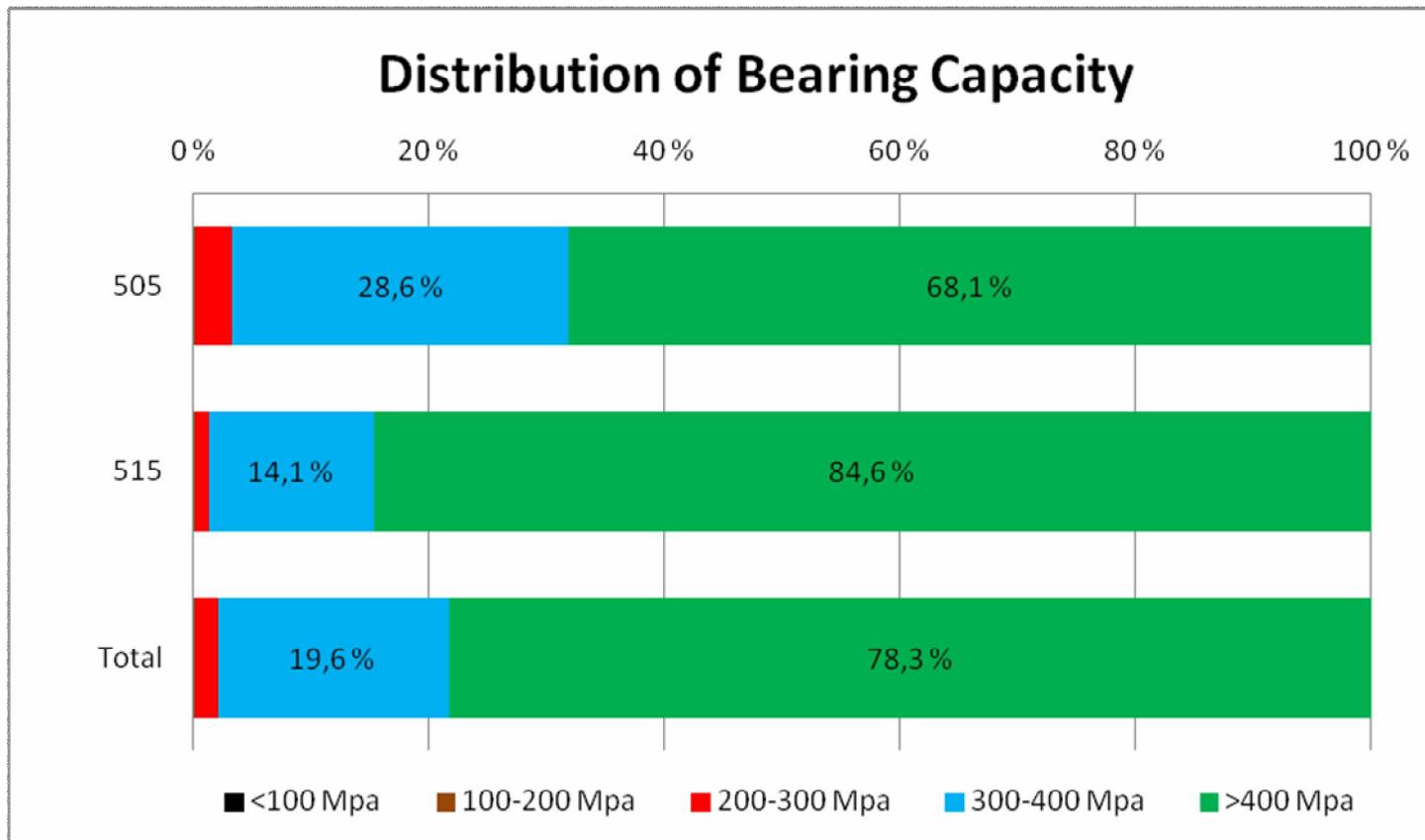
This Project is financed by EU

Несущая способность по Одемарку (ROADEX) – участок 515



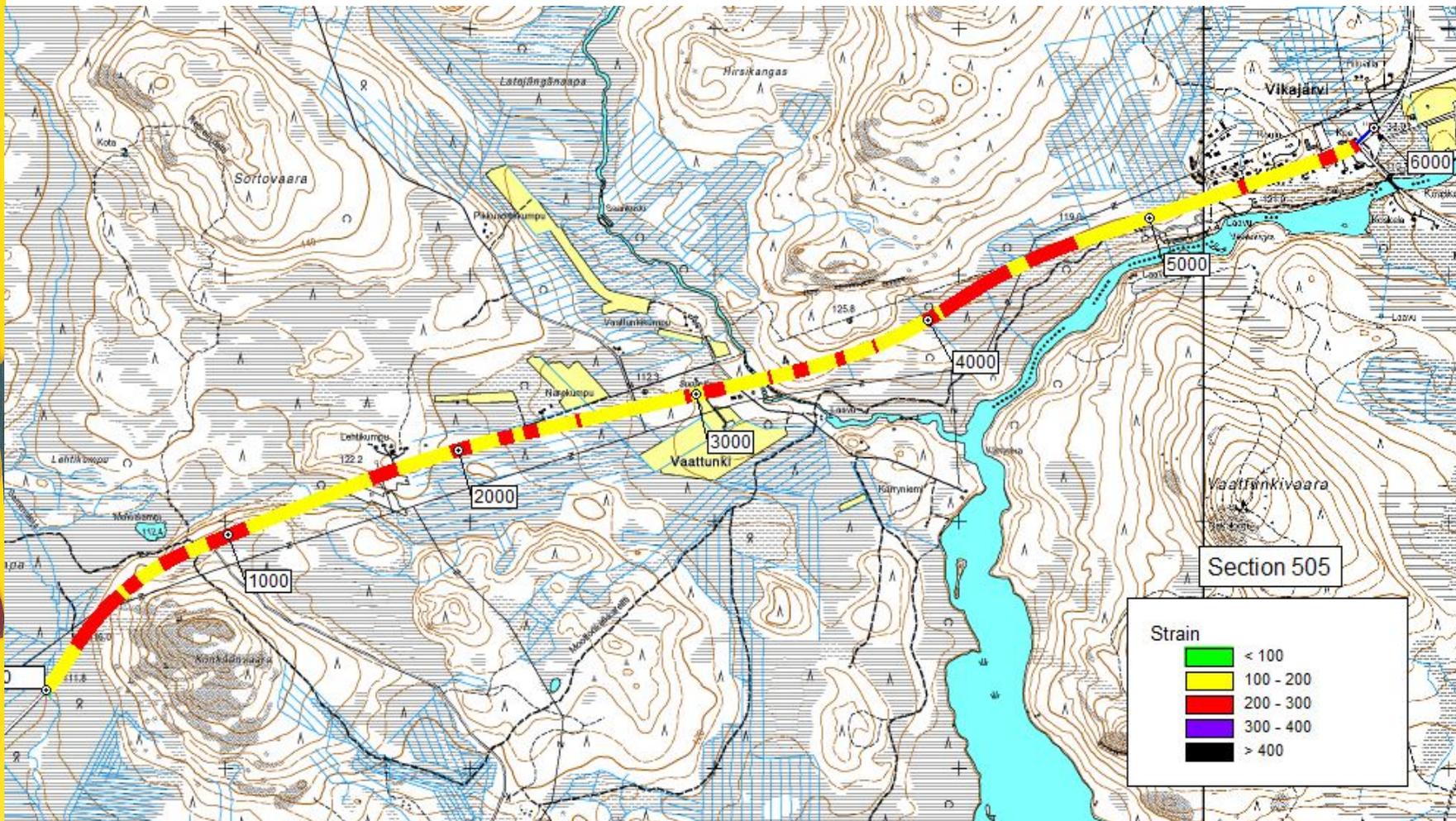
This Project is financed by EU

Распределение показателей несущей способности по Одемарку (ROADEX) (упругая характеристика)



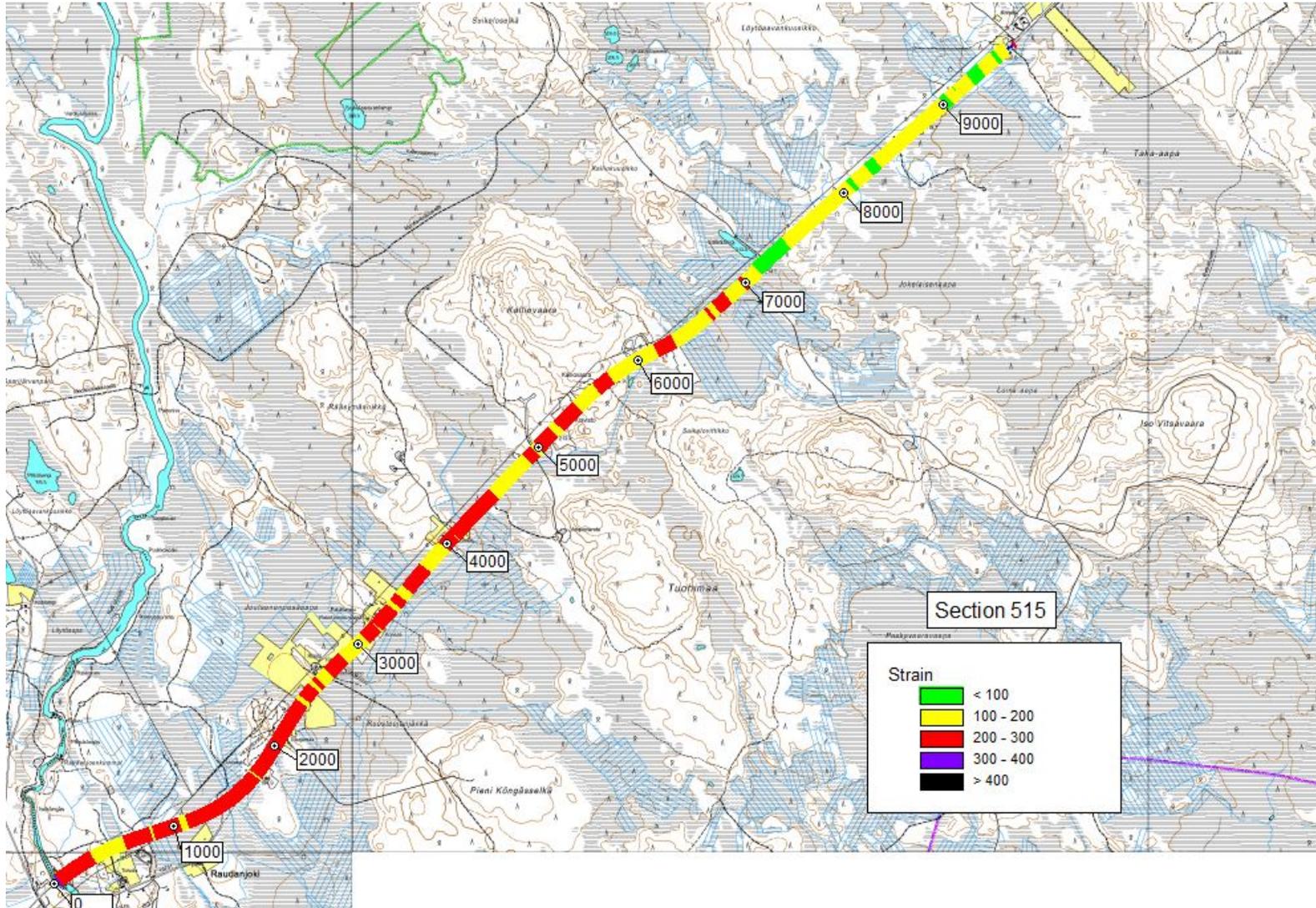
This Project is financed by EU

Напряжения в покрытии – участок 505



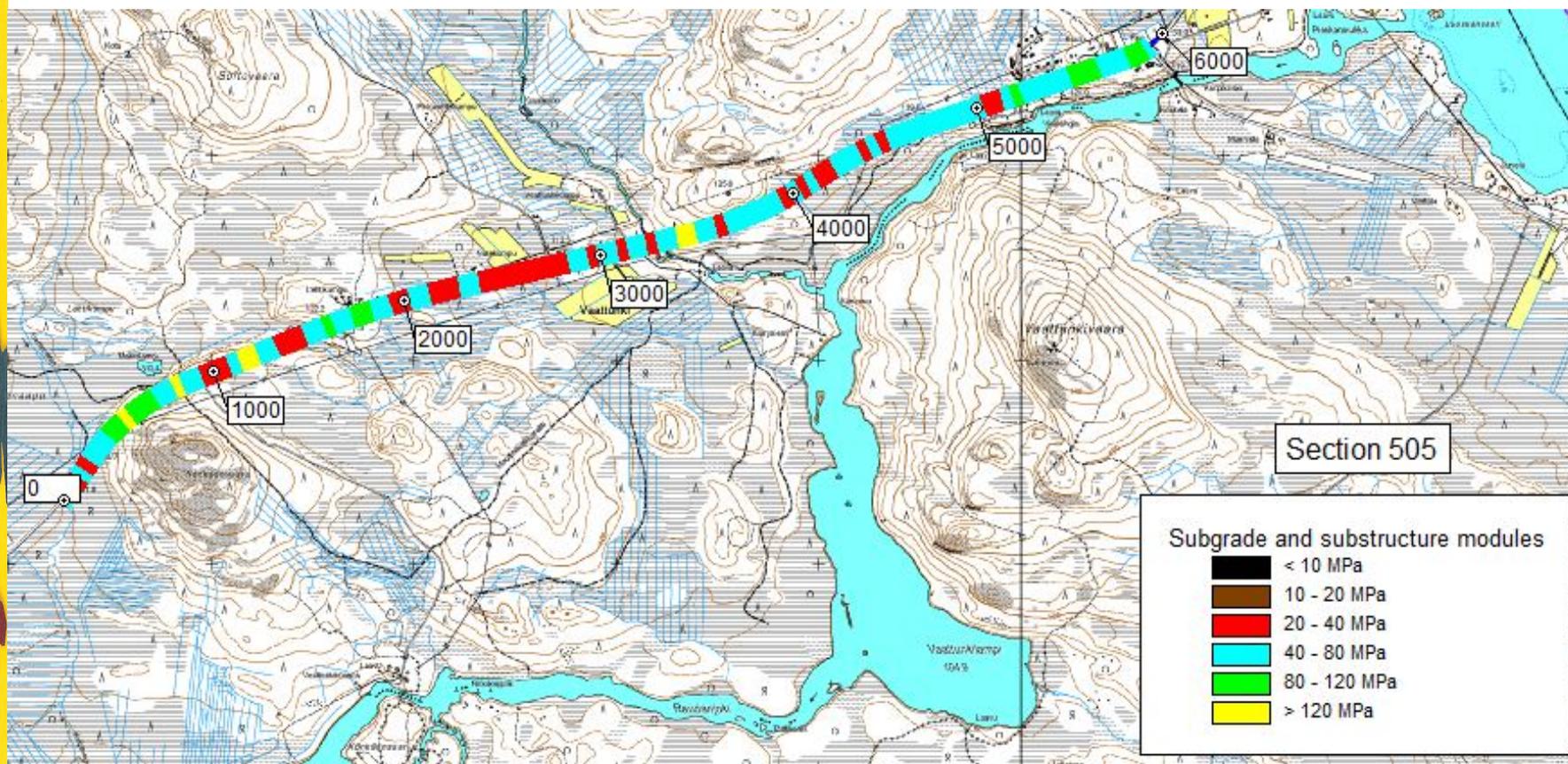
This Project is financed by EU

Напряжения в покрытии – участок 515



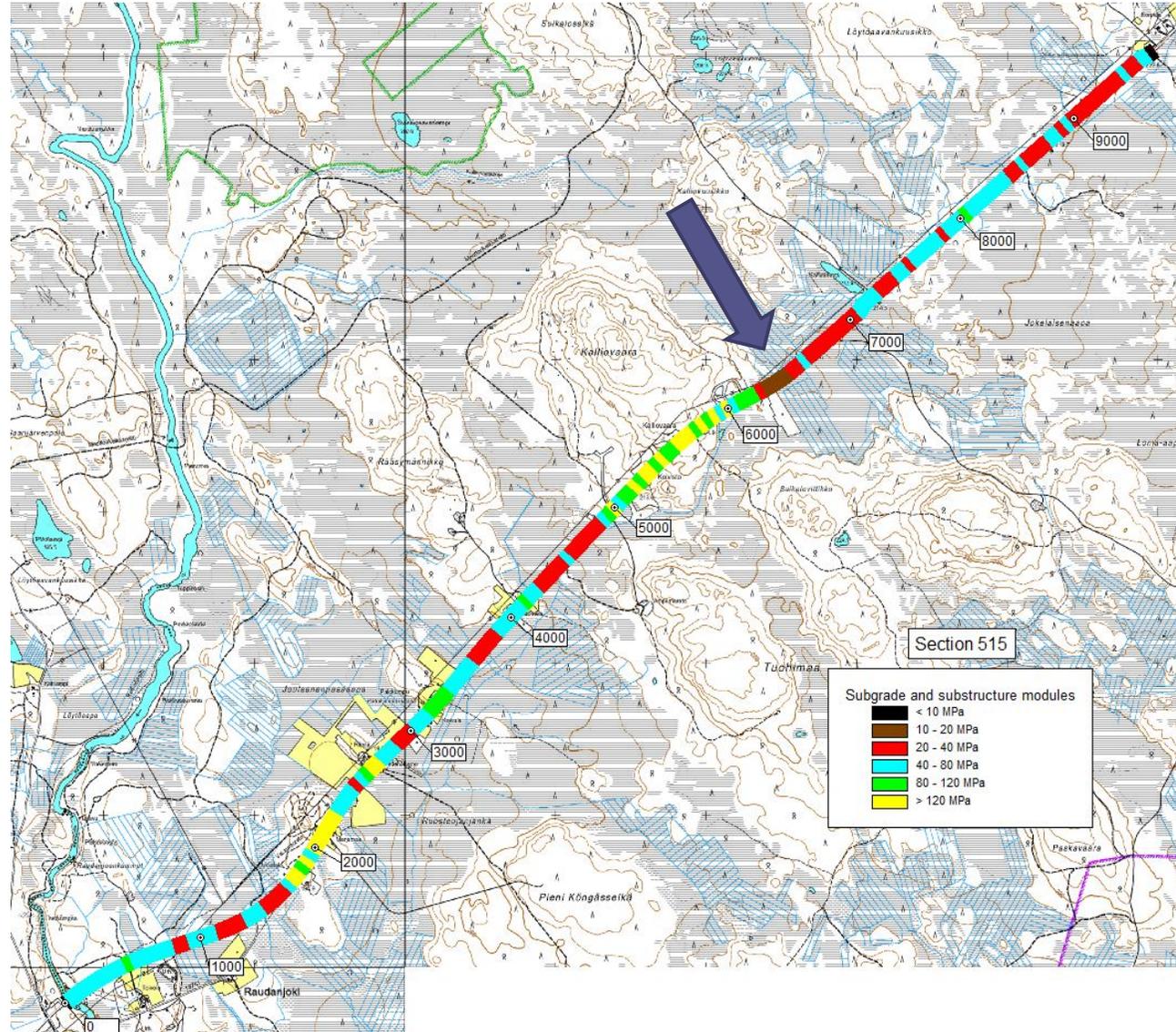
This Project is financed by EU

Модуль упругости земляного полотна – участок 505



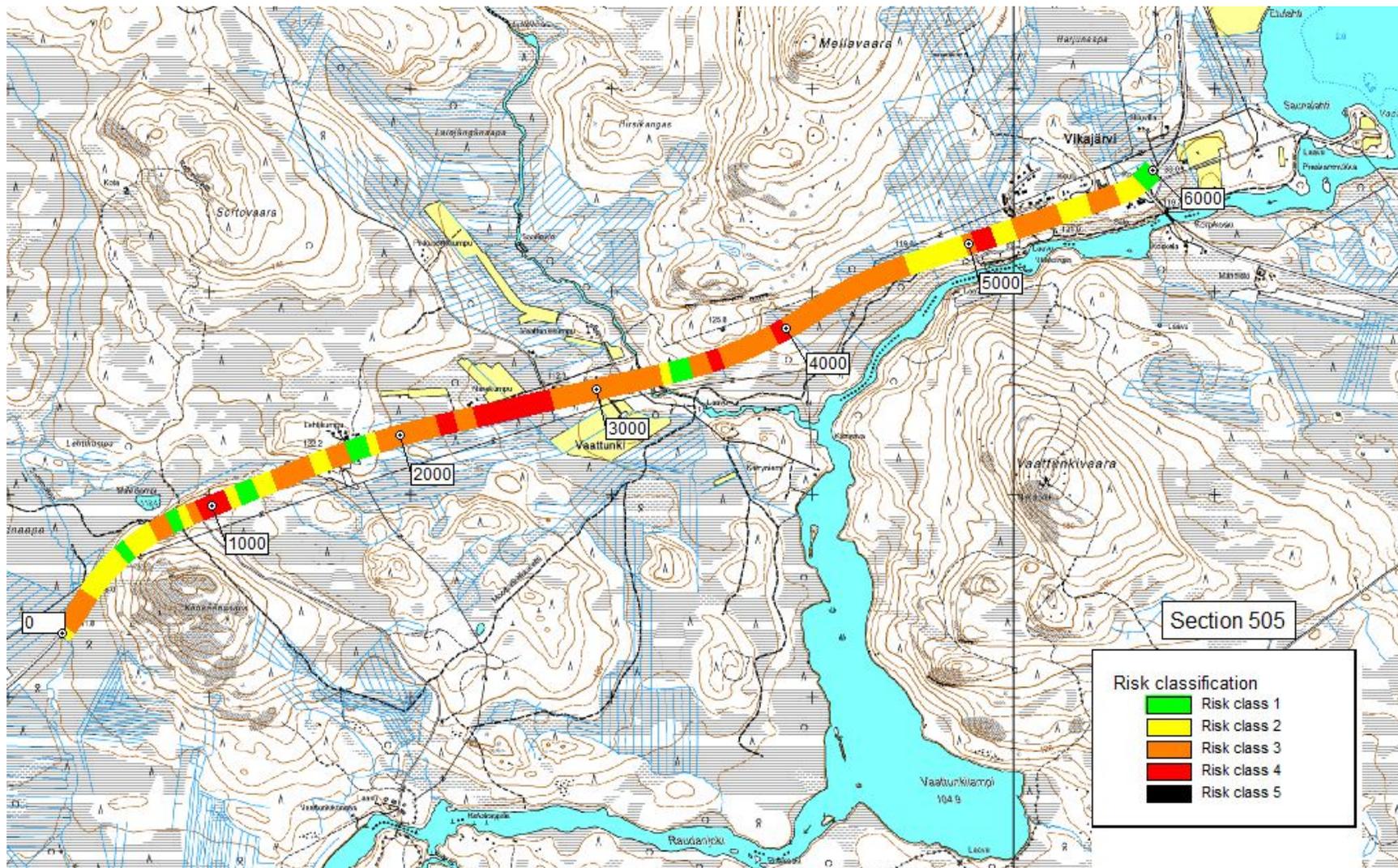
This Project is financed by EU

Модуль упругости земляного полотна – участок 515



This Project is financed by EU

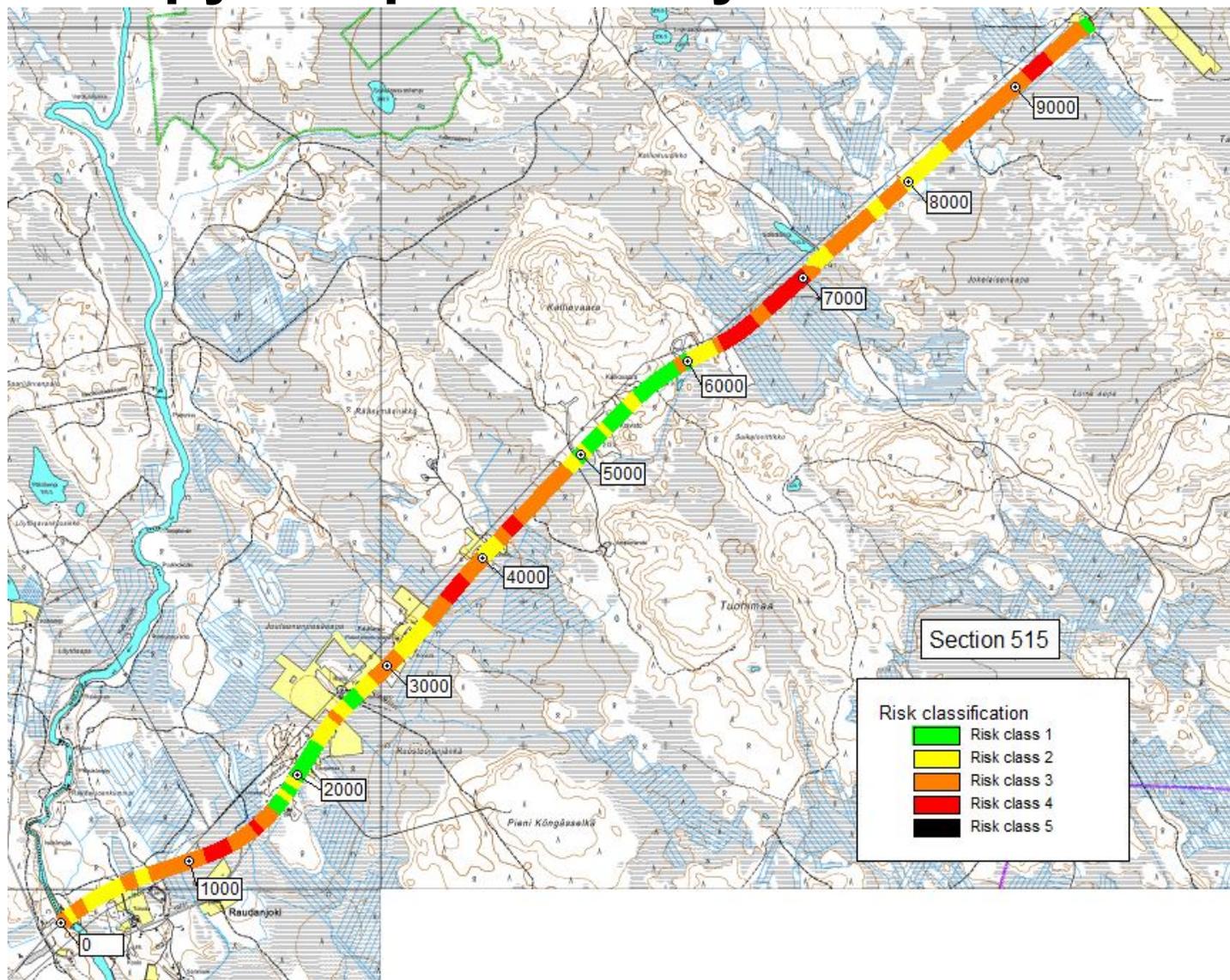
Классификация рисков тяжелых автоперевозок – участок 505



This Project is financed by EU



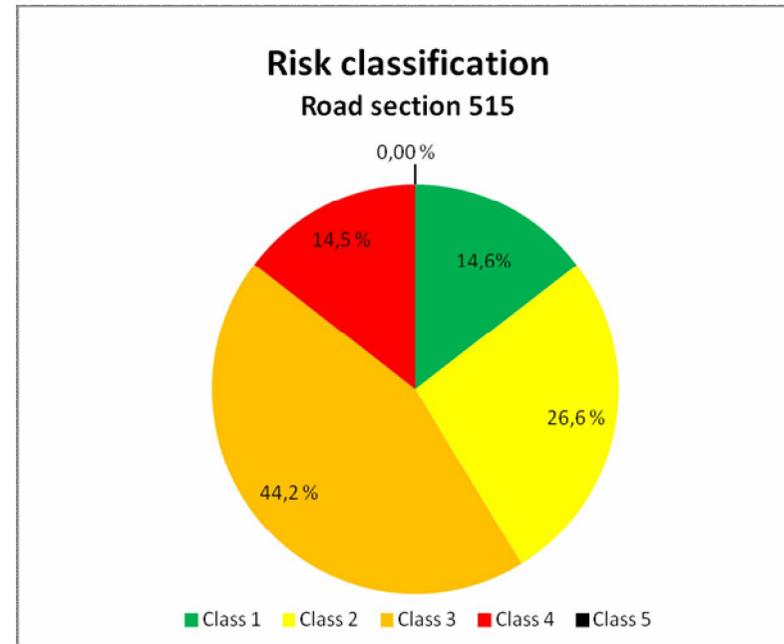
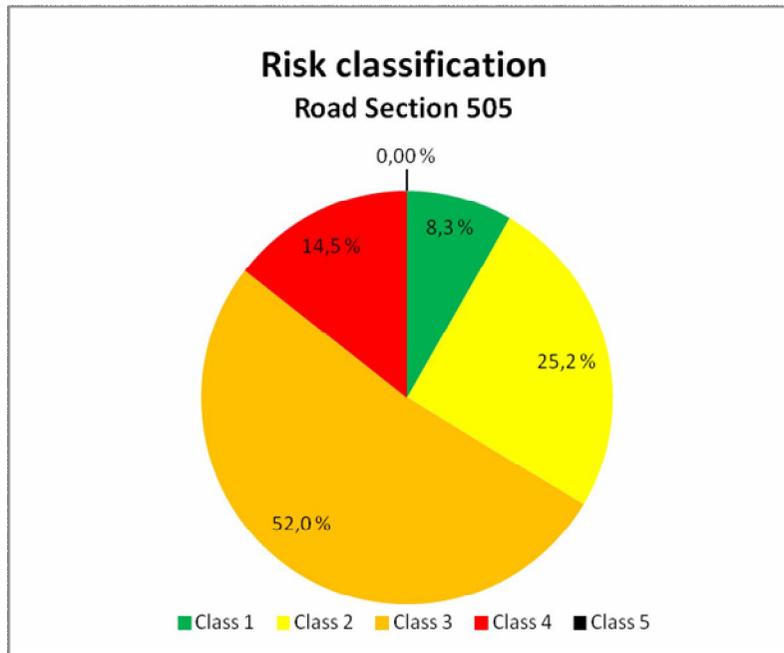
Классификация рисков тяжелых грузоперевозок – участок 515



This Project is financed by EU



Распределение классов рисков тяжелых грузоперевозок





Остаточный срок службы для каждого класса риска при существующей интенсивности движения

Расчет в системе управления покрытиями PMS

505 Класс риска	Исходная ССИД		515 Класс риска	Исходная ССИД	
	Связный слой	Насыпь		Связный слой	Насыпь
1	>20	>20	1	5	>20
2	18	>20	2	4	>20
3	19	>20	3	14	>20
4	7	7	4	9	13



Остаточный срок службы для каждого класса риска при текущей интенсивности движения (система управления покрытиями)

505			505			505		
+50% тяжелых грузовых ТС			+100% тяжелых грузовых ТС			+200% тяжелых грузовых ТС		
Класс риска	Связный слой	Насыпь	Класс риска	Связный слой	Насыпь	Класс риска	Связный слой	Насыпь
1	17	>20	1	13	>20	1	8	>20
2	12	>20	2	9	>20	2	5	>20
3	14	>20	3	10	>20	3	7	>20
4	5	5	4	4	4	4	3	2

515			515			515		
+50% тяжелых грузовых ТС			+100% тяжелых грузовых ТС			+200% тяжелых грузовых ТС		
Класс риска	Связный слой	Насыпь	Класс риска	Связный слой	Насыпь	Класс риска	Связный слой	Насыпь
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



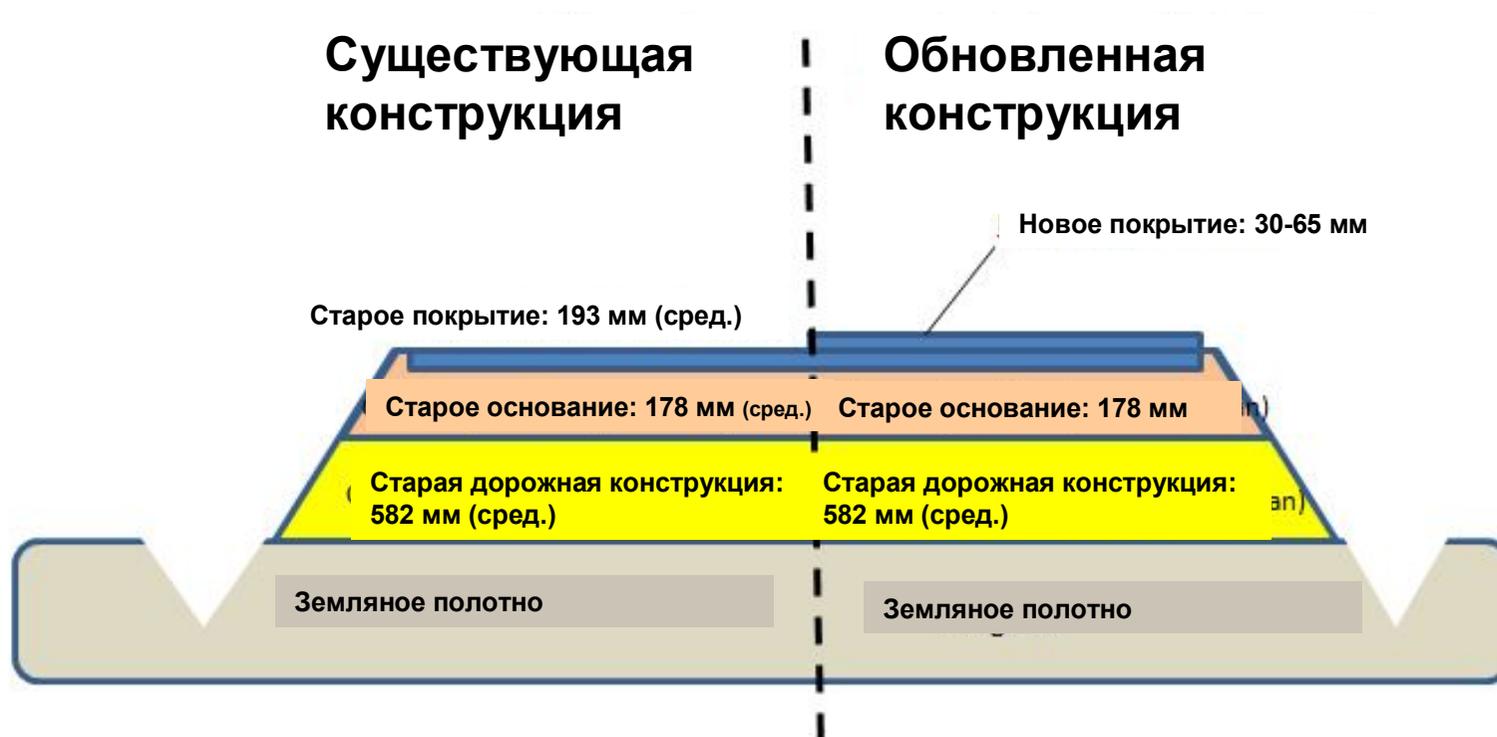
Потребности в усилении дорожной конструкции для различных классов риска, а/д HW4 участок 505

505	Исходная ССИД			+50% Связный грузовых ТС		
Класс риска	Покрытие	слой основания	Несвязный слой	Покрытие	слой основания	Несвязный слой
1	-			30мм	-	-
2	30мм			40мм	-	-
3	30мм			40мм	-	-
4	100мм	100мм	100мм	100мм	100мм	100мм

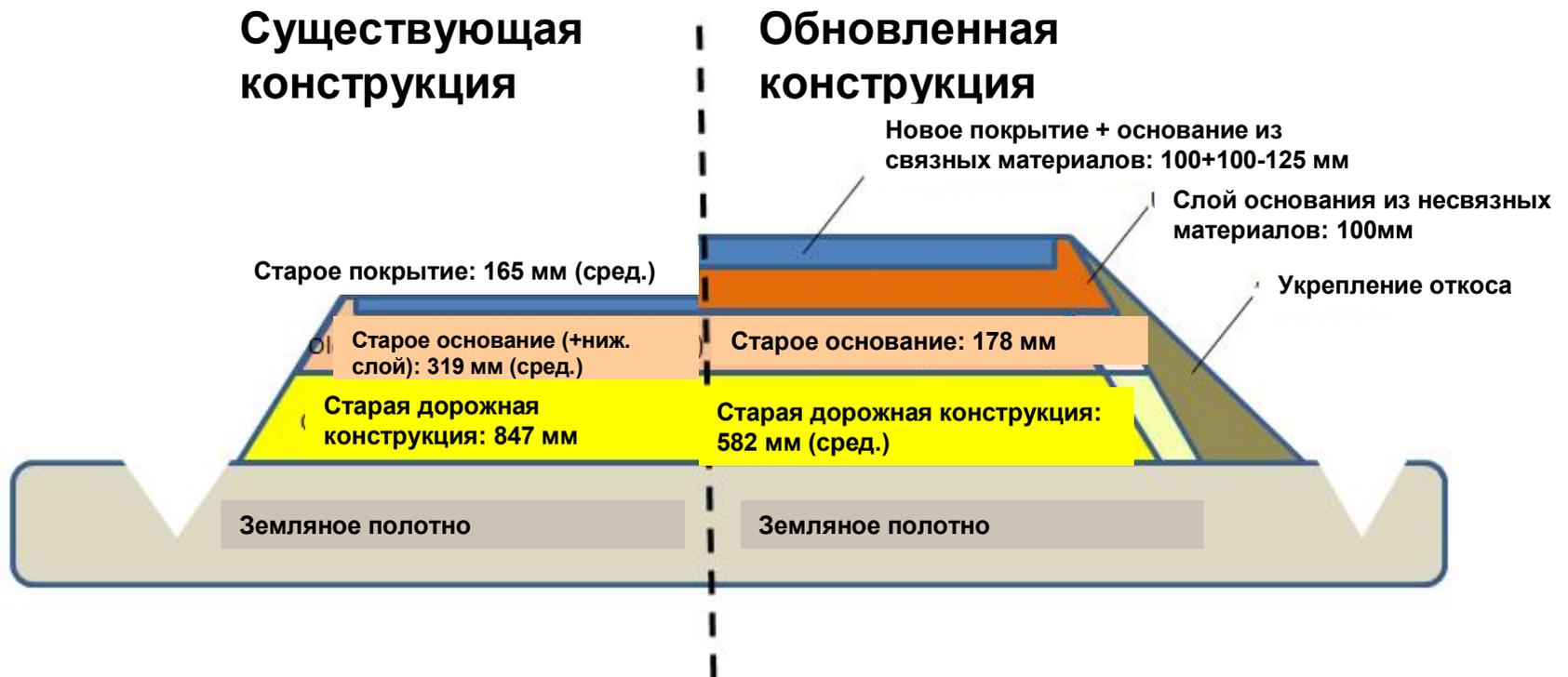
505	+100% Связный грузовых ТС			+200% Связный грузовых ТС		
Класс риска	Покрытие	слой основания	Несвязный слой	Покрытие	слой основания	Несвязный слой
1	40мм			50мм	-	-
2	50мм			65мм	-	-
3	50мм			65мм	-	-
4	100мм	125мм	100мм	100мм	125мм	300мм



УЧАСТОК ДОРОГИ 505



УЧАСТОК ДОРОГИ 505

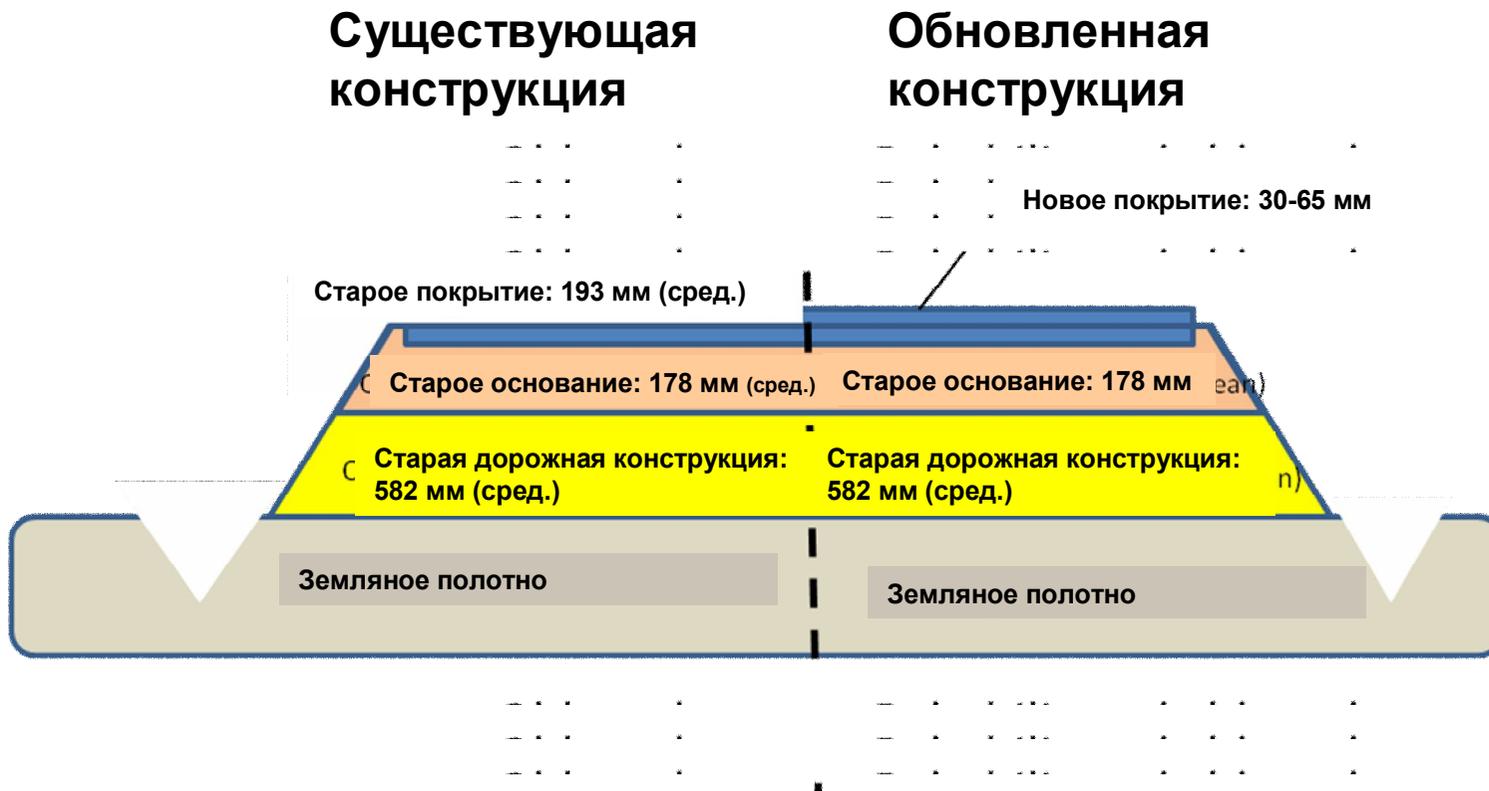


Потребности в усилении конструкции для различных классов риска – участок 515

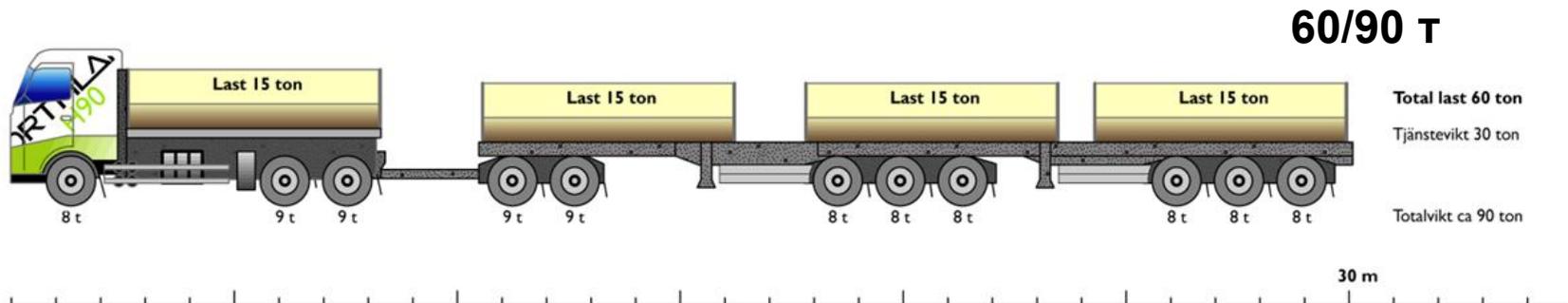
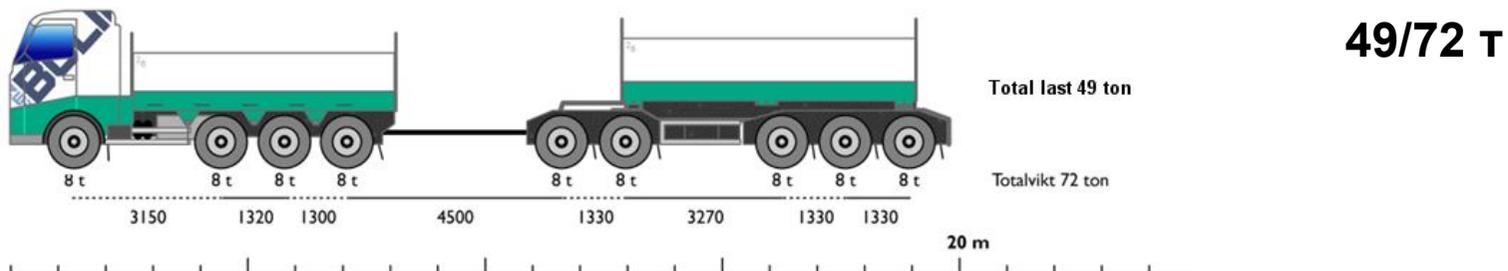
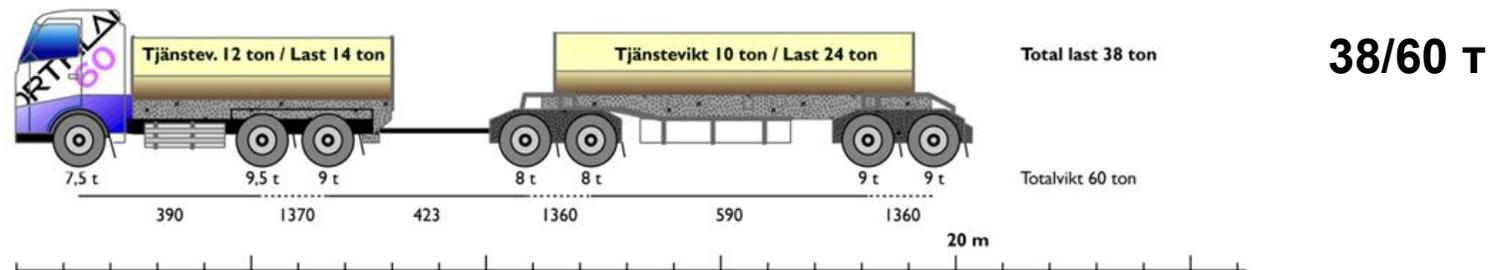
515 Класс риска	Исходная ССИД Покрытие	+50% тяжелых грузовых ТС Покрытие	+100% тяжелых грузовых ТС Покрытие	+200% тяжелых грузовых ТС Покрытие
1	50мм	65мм	75мм	90мм
2	50мм	65мм	75мм	100мм
3	30мм	40мм	50мм	60мм
4	40мм	50мм	65мм	80мм



УЧАСТОК ДОРОГИ 515



Баренц регион, Финляндия: Анализ рисков различных сценариев повышения транспортных нагрузок





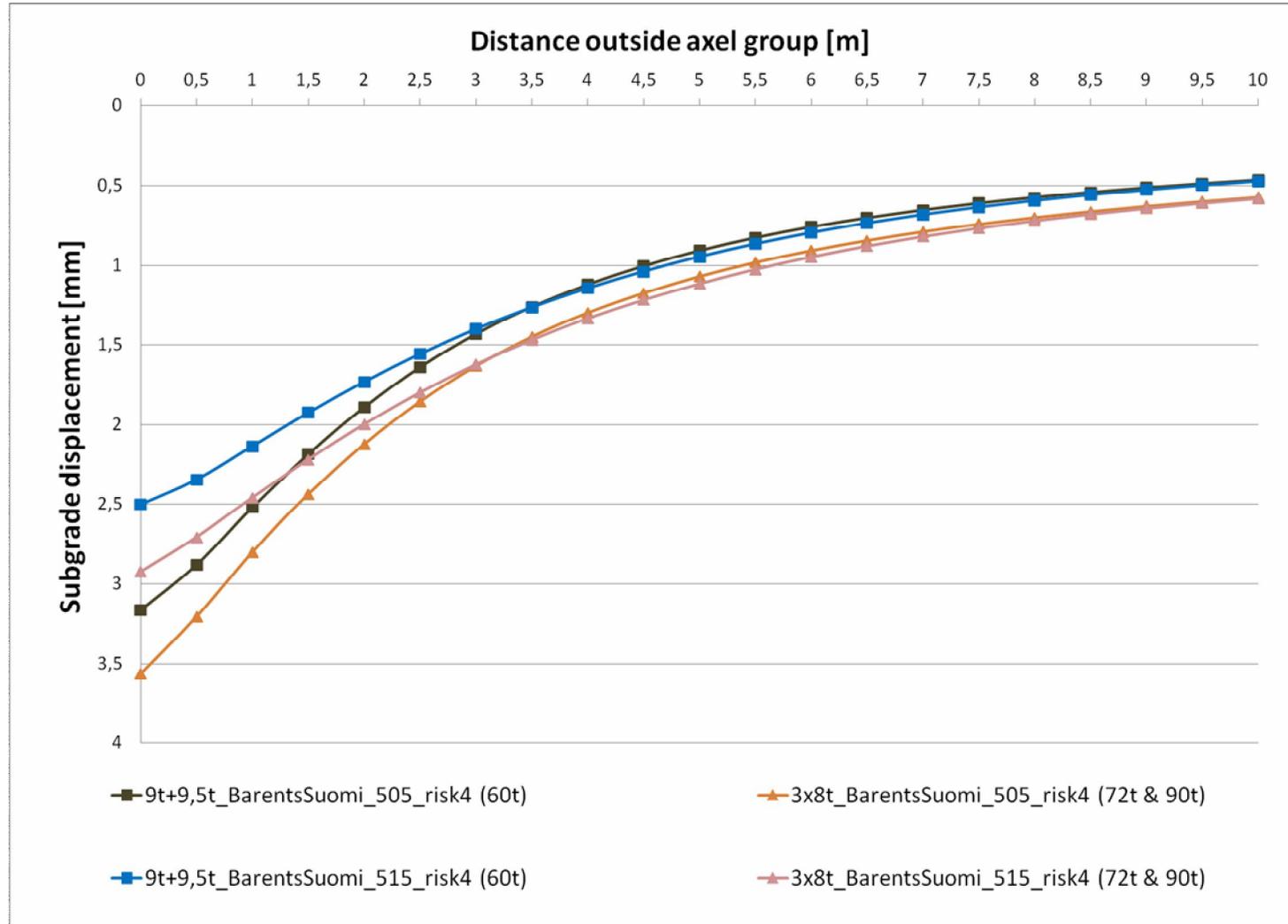
Баренц регион, Финляндия: расчет дорожных конструкций

Дорожная конструкция	Слой	Толщина, мм	Модуль упругости, МПа
Участок 505, класс риска 4	Связный	162	3000
	Основание	129	200
	Несвязный	482	100
	Земляное полотно		10
Участок 515, класс риска 4	Связный	127	3000
	Основание	403	200
	Несвязный	590	100
	Земляное полотно		10



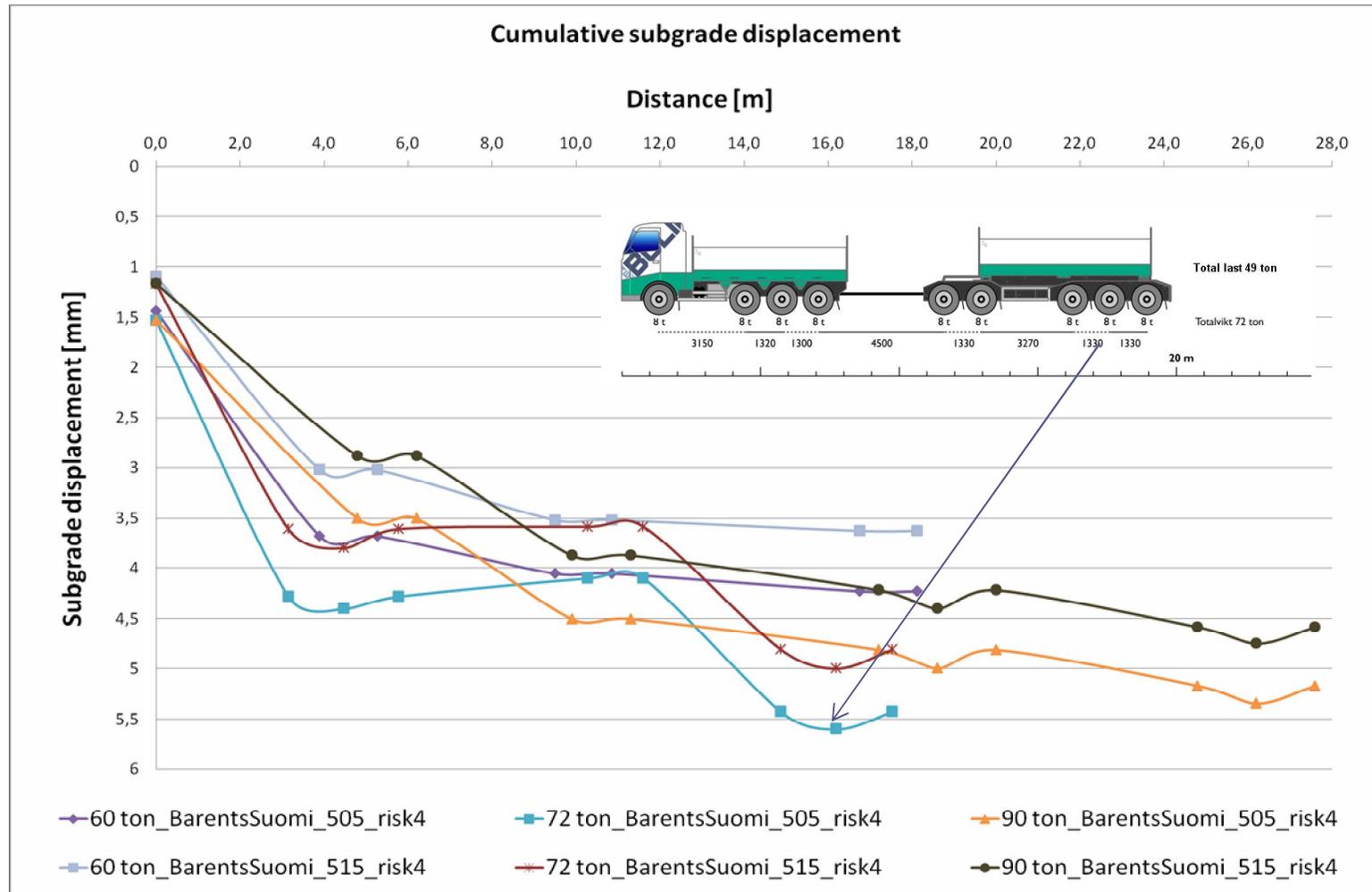
This Project is financed by EU

Смещение/сдвиг насыпи. Определение (критической) осевой группы, м



This Project is financed by EU

Смещение насыпи. Кумулятивный эффект



This Project is financed by EU

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ОТЧЕТ - РЕКОМЕНДАЦИИ

Улучшение структурных характеристик

- Расчет усилий и напряжений
- фокусирование на самых «слабых» участках и их усиление до уровня, который позволяют имеющиеся ресурсы
- разработка стратегии «если, то» на случай критической ситуации для оставшихся участков с низкой несущей способностью

Стандарты дорожного содержания

- содержание дорожного водоотвода
- зимнее содержание
- содержание в период распутицы
- превентивное содержание на основе результатов мониторинга

Мониторинг состояния дорог и Системы предупреждения

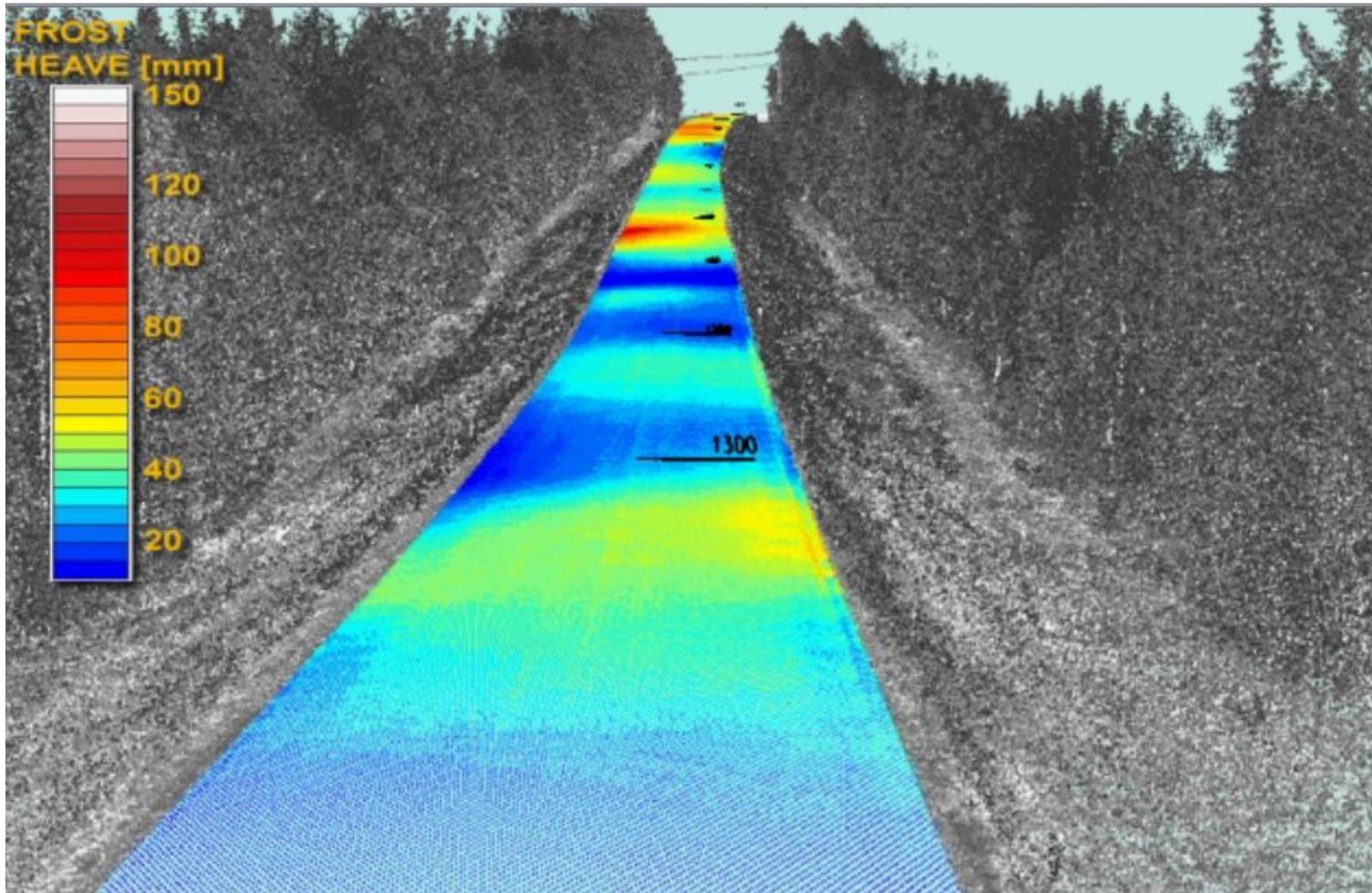
- мониторинг и система предупреждения о снижении несущей способности в период распутицы (можно закрыть движение только на несколько дней?)
- мониторинг транспортно-эксплуатационных характеристик и реагирование даже на небольшие изменения несущей способности

Технология контроля давления воздуха в шинах и планирование перевозок

- типы шин и давление воздуха в шинах (СТІ)
- конфигурация осей
- число осей
- управление перевозками (время на восстановление дороги)
- избежание перегрузок (нагрузок) в периоды снижения несущей способности



Спасибо за внимание



This Project is financed by EU



ROADEX
Implementing Accessibility