

# Методы мониторинга состояния дорог с низкой интенсивностью движения

Тимо Сааренкето, PhD  
Компания Roadscanners,  
Рованиemi, Финляндия





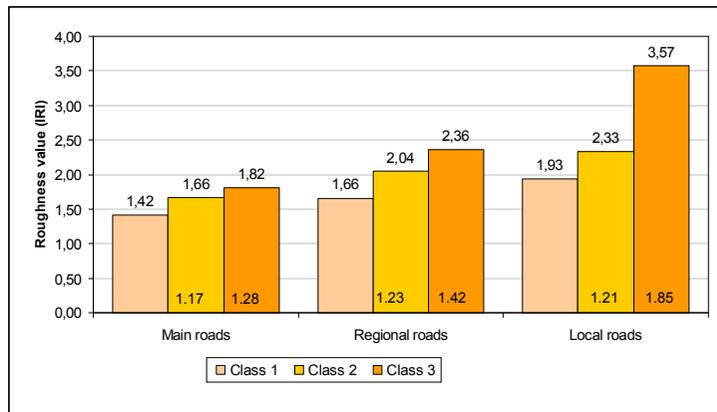
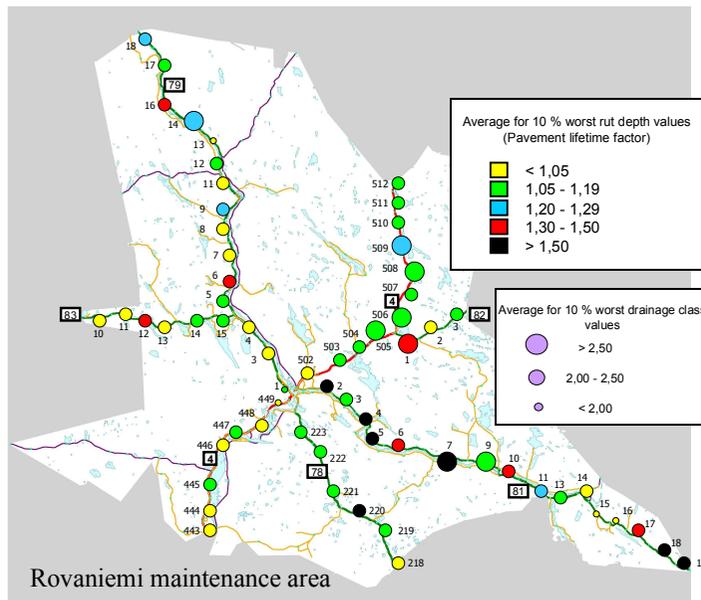
**Для чего нужны базы дорожных данных и системы мониторинга состояния дорог?**



This Project is financed by EU



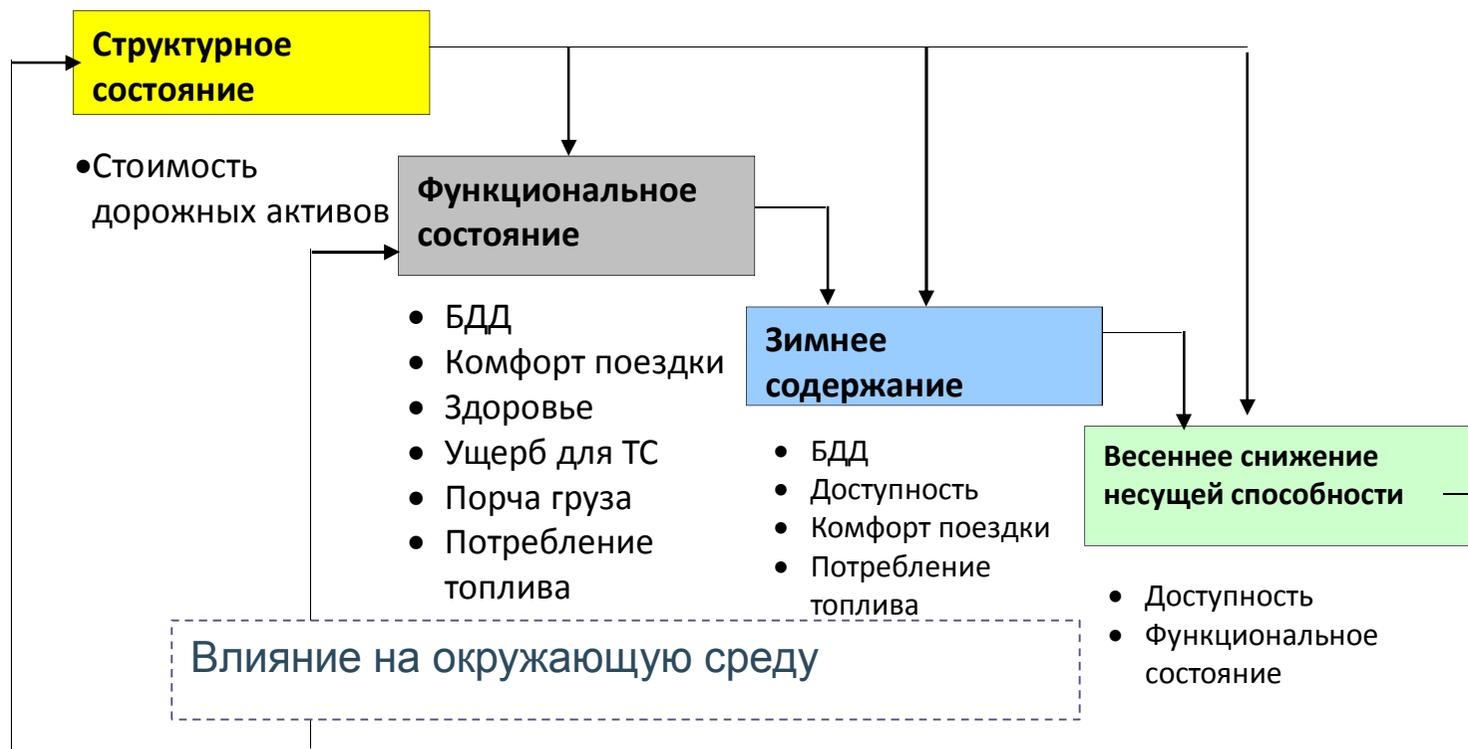
**ROADEX**  
Implementing Accessibility



## Необходимость знать:

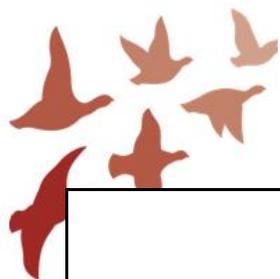
- текущее состояние дорожной сети и расположение проблемных участков
- тенденции изменения состояния сети
- причины имеющихся проблем
- Качественная диагностика => правильные меры по восстановлению и ремонту
- достаточен ли бюджет?
- когда следует предпринимать меры?
- реализуем ли мы правильные меры в правильном месте?
- качественно ли подрядчики выполняют свою работу?
- обеспечивается ли **адекватный уровень сервиса и безопасные условия** для пользователей?
- Можно ли сэкономить? (5% вложений => могут дать до 40% экономии!)

# ОБЛАСТИ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ДОРОГ



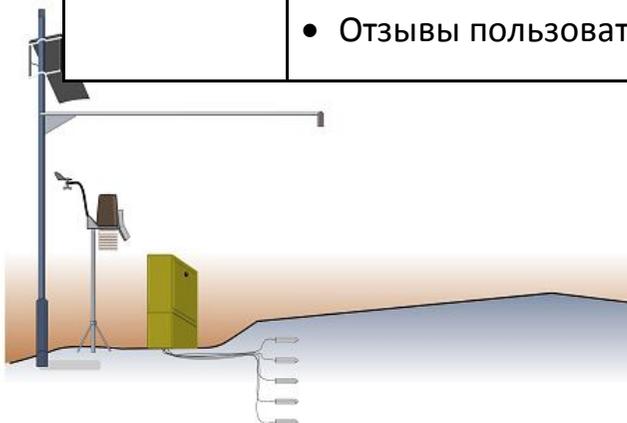
This Project is financed by EU



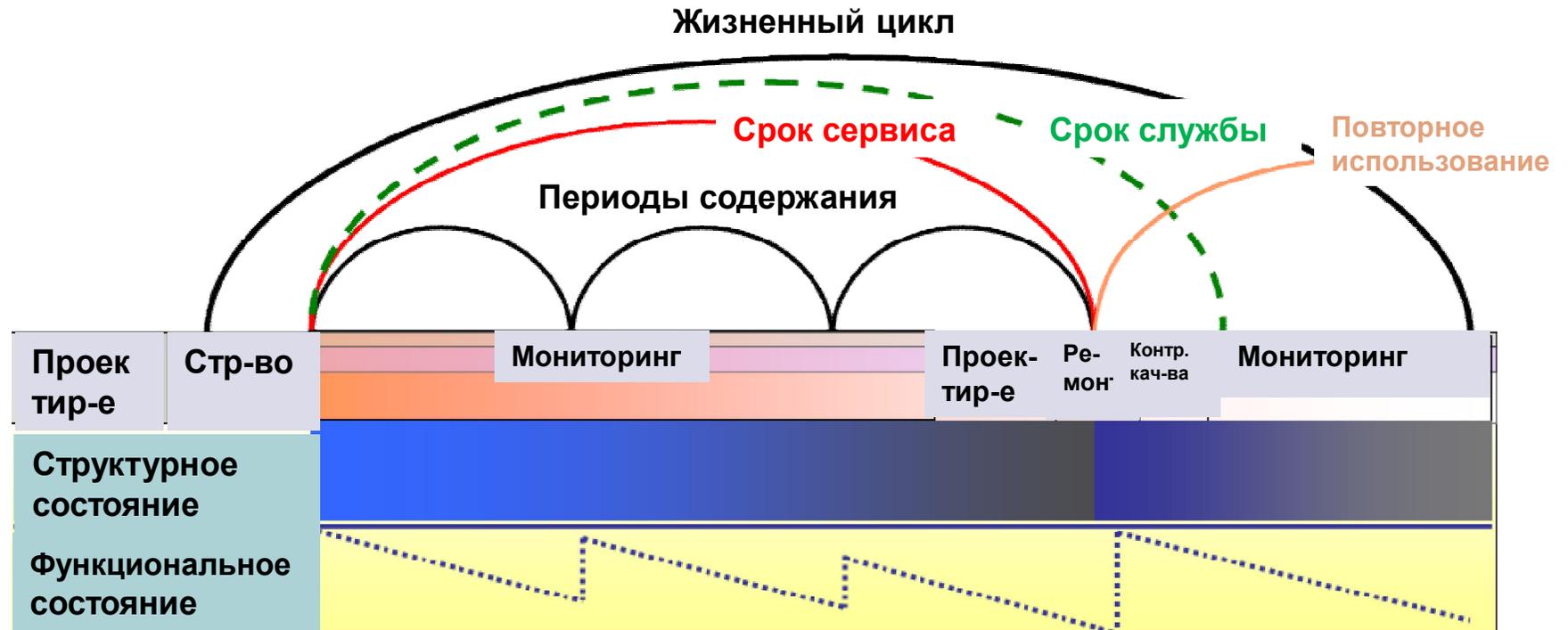


## Управление состоянием дорог в Северной Периферии, методы мониторинга состояния дорог

	Зимнее содержание	Функциональное состояние	Структурное состояние	Весеннее снижение несущей способности
Методы мониторинга	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Дорожные метеостанции</li> <li>• Метеорадары</li> <li>• Прогнозы погоды</li> <li>• Определение к-та сцепления</li> <li>• Отзывы пользователей</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Визуальное инспектирование</li> <li>• Профилометры (для дорог с твердым покрытием)</li> <li>• Акселерометры (для гравийных дорог)</li> <li>• Лазерные сканеры</li> <li>• Отзывы пользователей</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Датчики влажности</li> <li>• Контроль водоотвода</li> <li>• УДН (FWD)</li> <li>• Георадары</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DCP</li> <li>• Перкостанции</li> <li>• TDR</li> <li>• Температурные пробы</li> </ul>



# Жизненный цикл – Срок сервиса – Срок службы



This Project is financed by EU



**ROADEX**  
Implementing Accessibility

# Мониторинг состояния дорог невозможен без базы дорожных данных и систем хранения данных

## Case Nuijamaa – Brusnitsjnoje DATA STORAGE

Базовая инфо	ДТП
Учет интенсивности движения	Проекты/Цены
Инвентаризация состояния	Устройства



Файл передачи



Стандартный отчет

- Программирование мер по содержанию
- Стратегическое планирование
- Долгосрочное программирование



This Project is financed by EU





# ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ МЕР

- 
- 
- Интенсивность и состав движения (нагрузки)
  - Информация о поперечном профиле
  - Дорожная конструкция
  - Материалы
  - Повреждения и износ
  - Ровность и колейность
  - Несущая способность (прогибы)
  - Остаточные деформации
  - Земляное полотно и морозное пучение
  - Водоотвод
  - Данные позиционирования
  - Мосты и другие критические участки
  - Данные дорожной аварийности
  - Проблемные участки с позиции зимнего содержания
  - Прочее (зоны с критическим УГВ, т.д.)
- 
- 

## Структурное состояние

- водоотвод
- прогибы
- морозное пучение
- трещины
- остаточные деформации (колеи)
- неровности
- геотехническая стабильность

### Несущая способность:

- Развитие колеиности
- Модули упругости слоев
- Модули упругости грунтов земляного полотна
- К-ты несущей способности
- Динамика напряжений



This Project is financed by EU



**ROADEX**  
Implementing Accessibility

# МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ДОРОГ

## Объективные измерения и анализ данных



## Визуальная оценка



## Новейшие технологии



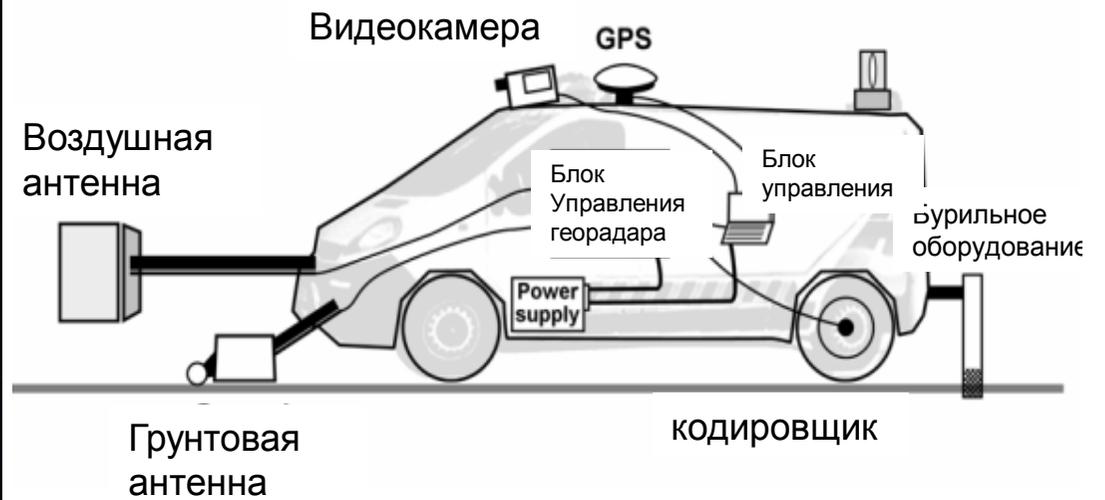
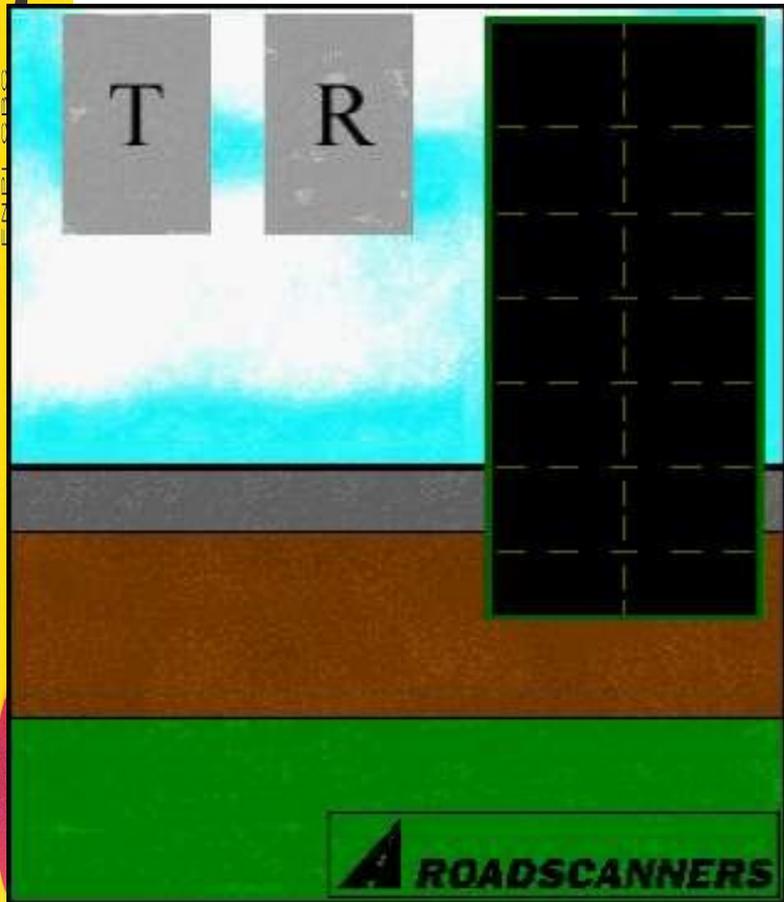
This Project is financed by EU

# ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИН СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОРАДАРОВ



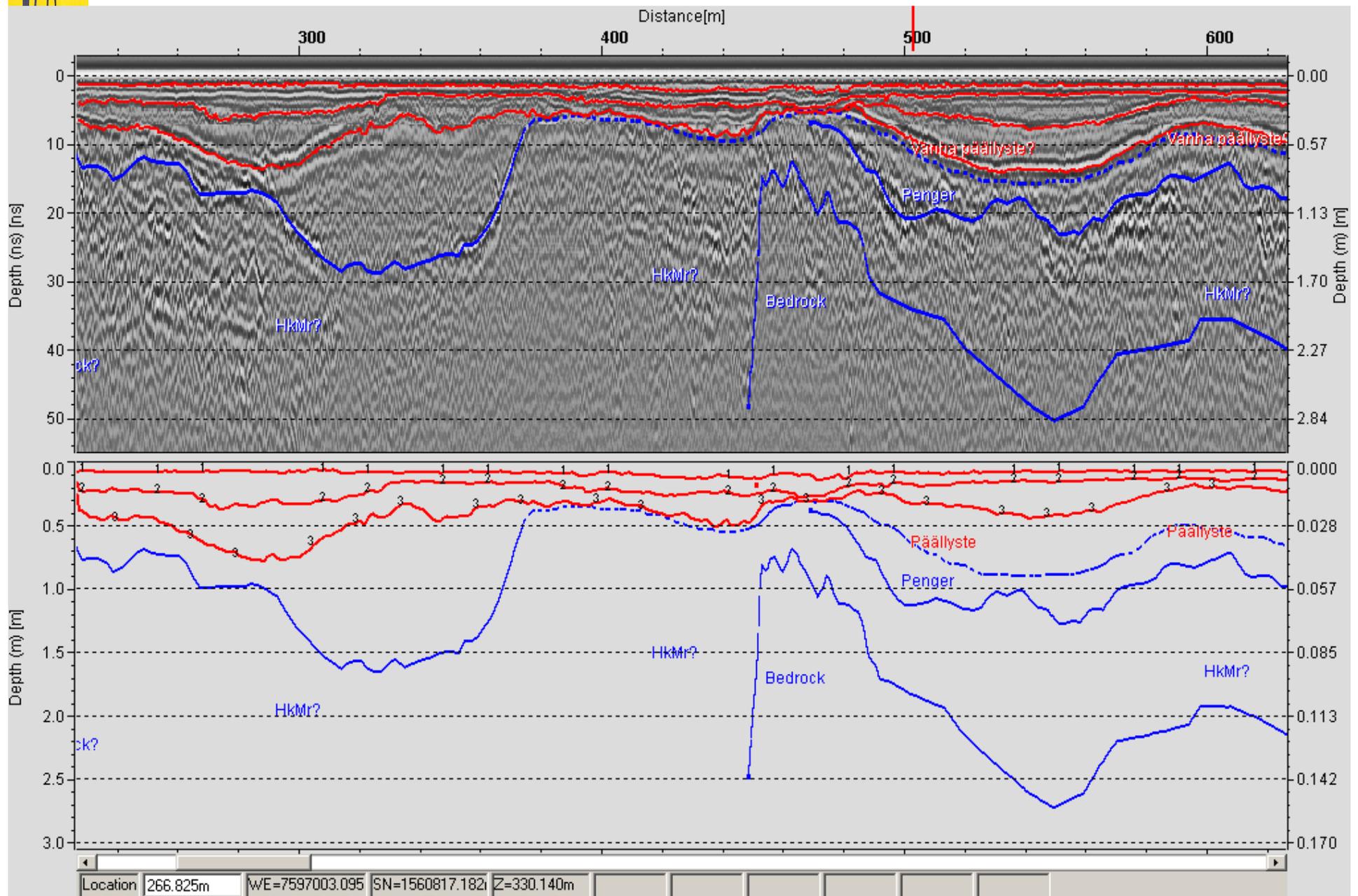
This Project is financed by EU

# Принципы работы георадаров





# Интерпретация георадарограмм



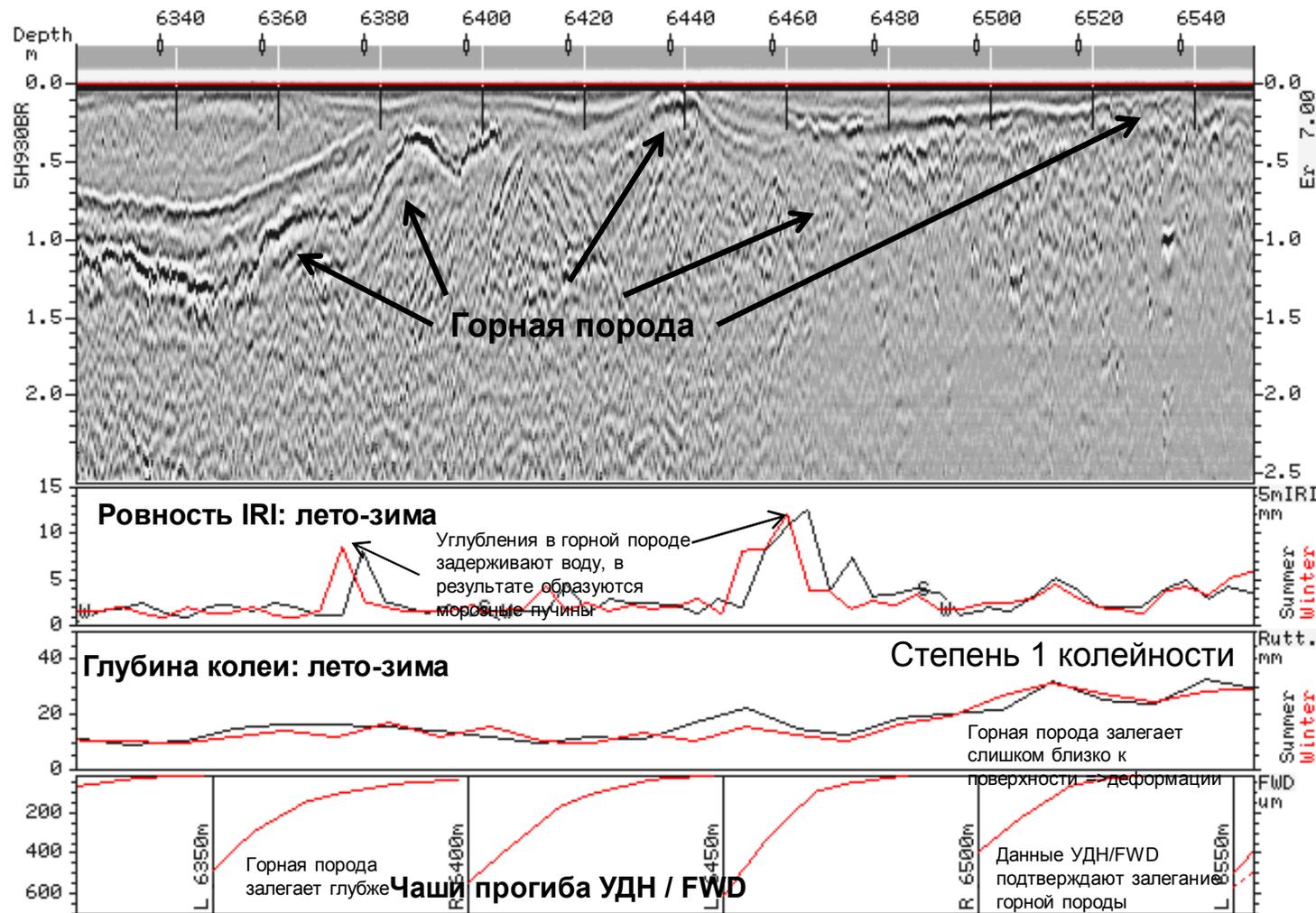


# ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОРАДАРОВ НА ДОРОГАХ

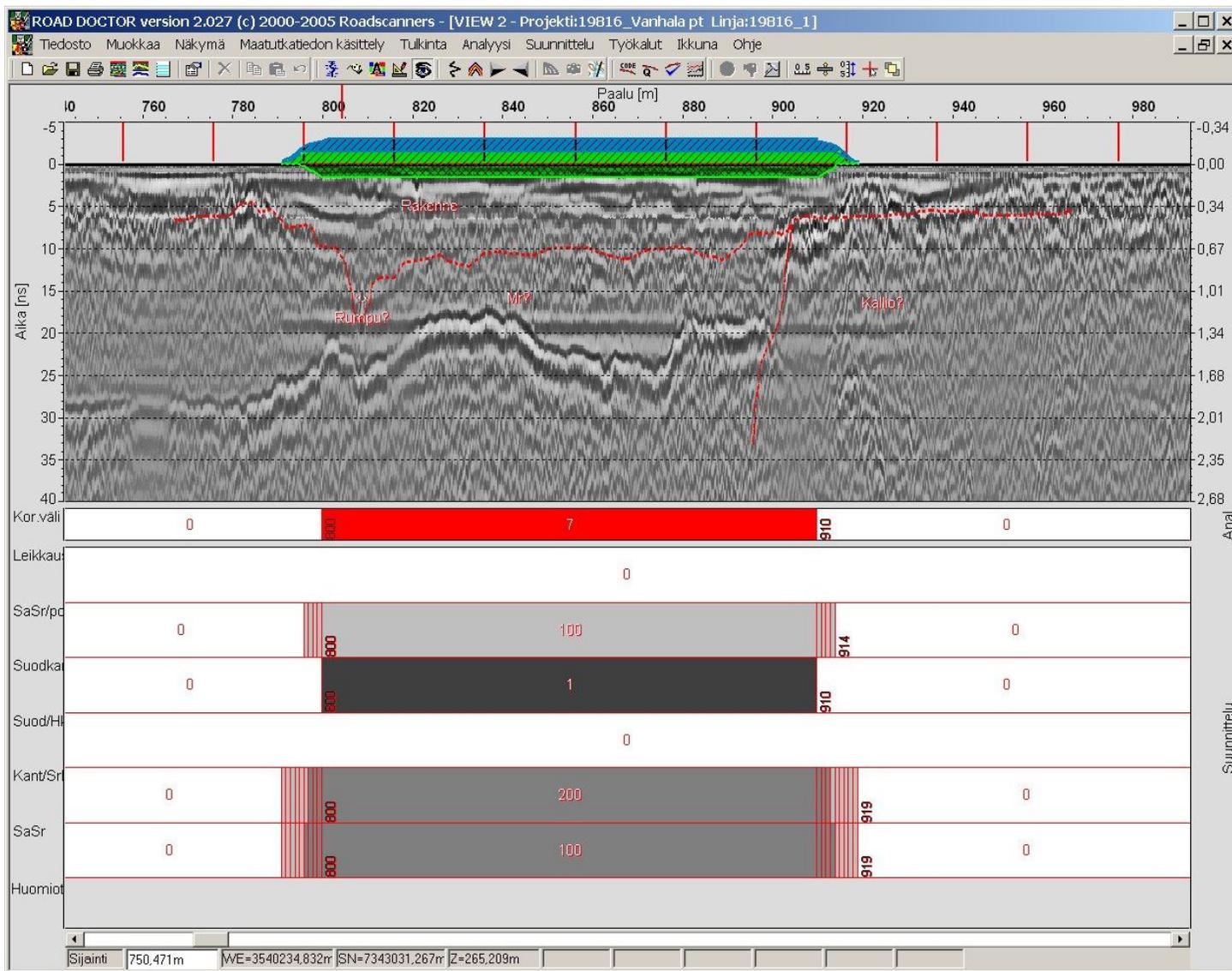
1. ОБСЛЕДОВАНИЯ НА УРОВНЕ СЕТИ
  - Толщина слоев, структурные участки, конструкции и сооружения
2. ОБСЛЕДОВАНИЯ НА ПРОЕКТНОМ УРОВНЕ
  - Полевые изучения, толщина слоев конструкции, размеры, причины повреждений и разрушений
3. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ГАРАНТИЯ КАЧЕСТВА
  - Толщина слоев и местоположение, содержание пустот, конструкции и сооружения
4. ЮРИД. ОБСЛЕДОВАНИЯ
  - Толщина слоев, водочувствительность, переходные конструкции, пр.
5. МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ДОРОГ
  - Повреждения/дефекты покрытия, влажность, пр.



# Потребность в восстановлении и ремонте дорог: что расскажут данные георадара?

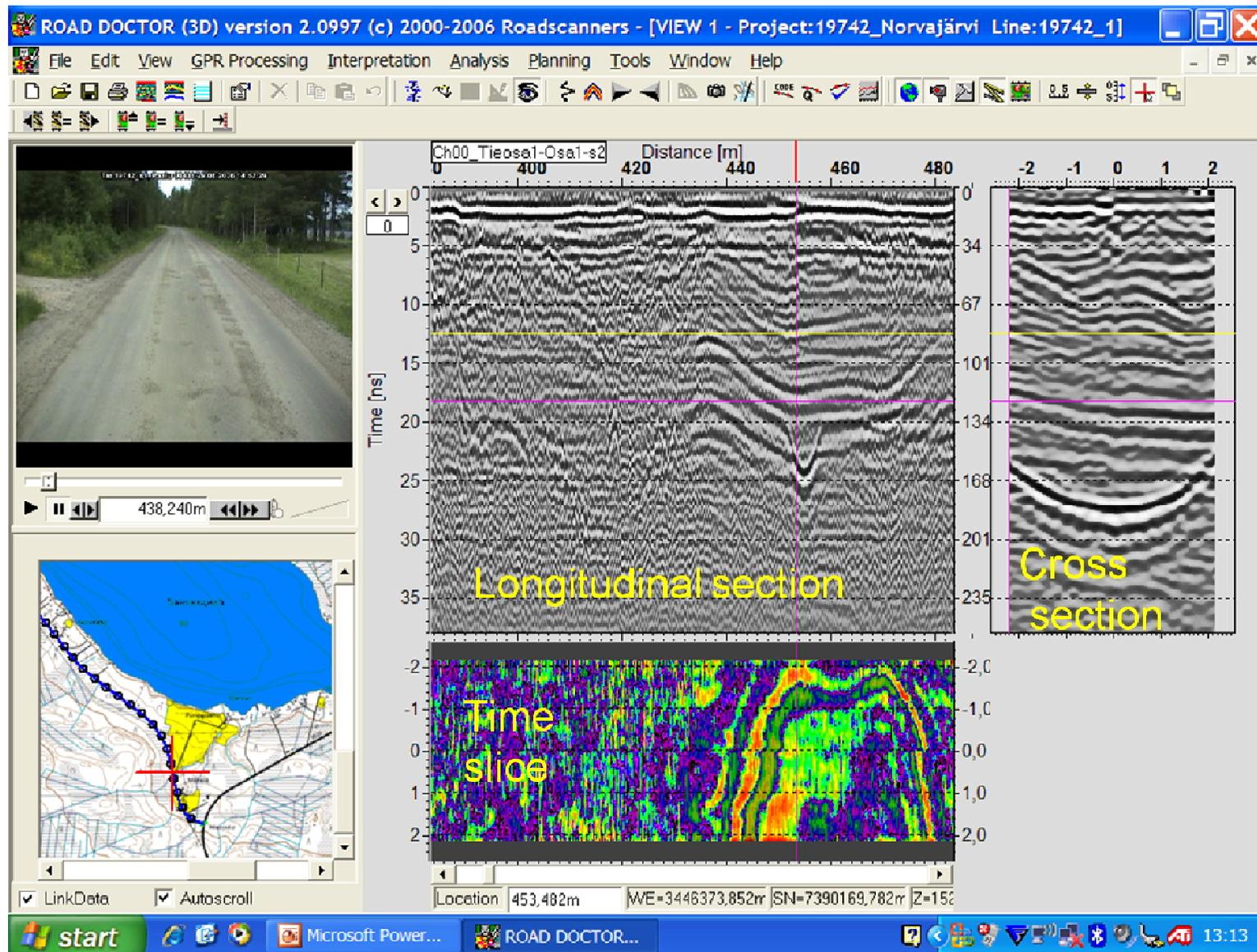


# Результаты проектирования



This Project is financed by EU

# Данные георадара в формате 3D для анализа степени колейности



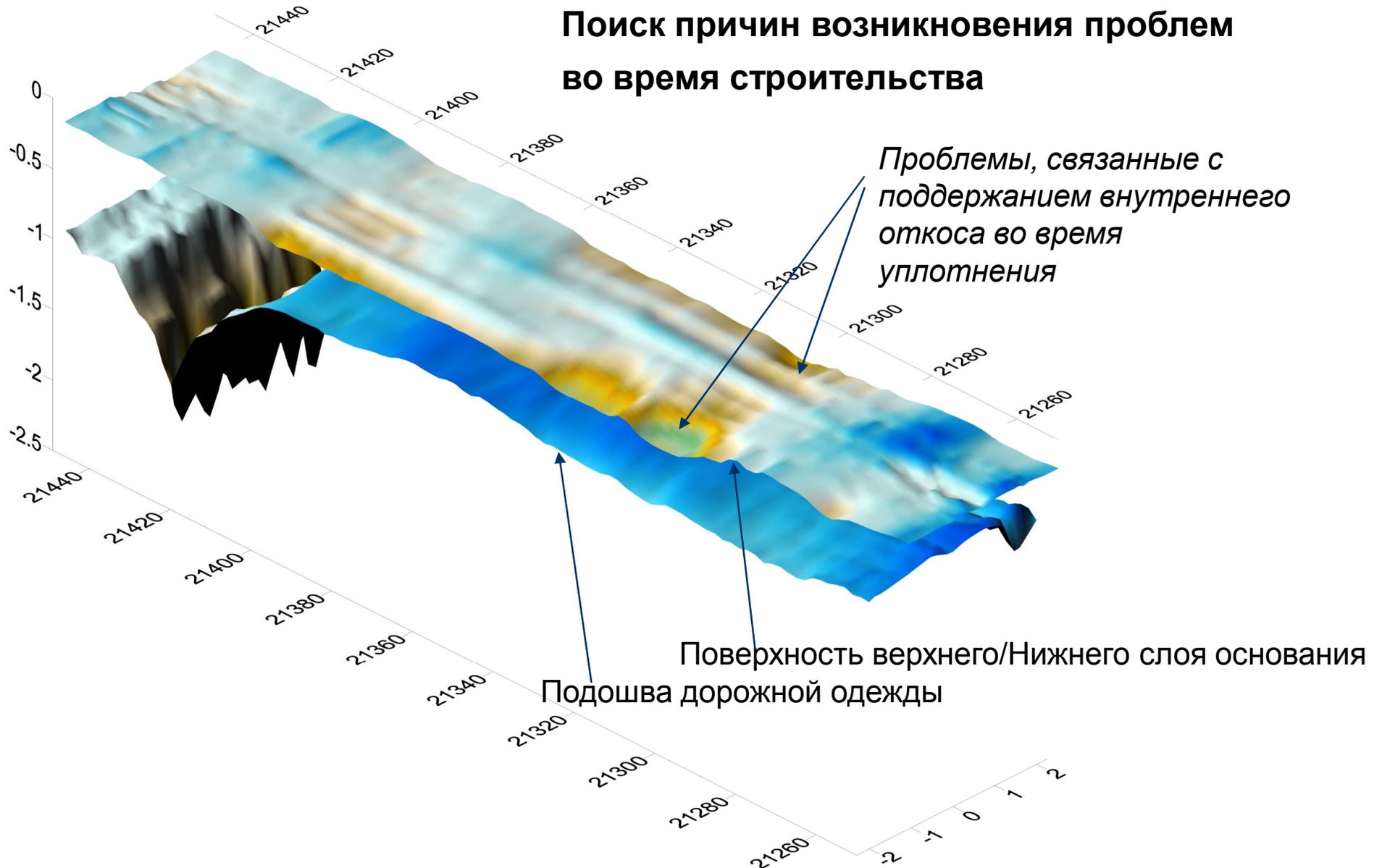
This Project is financed by EU





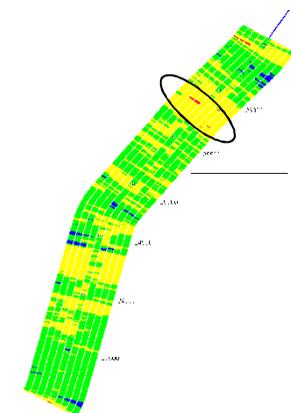
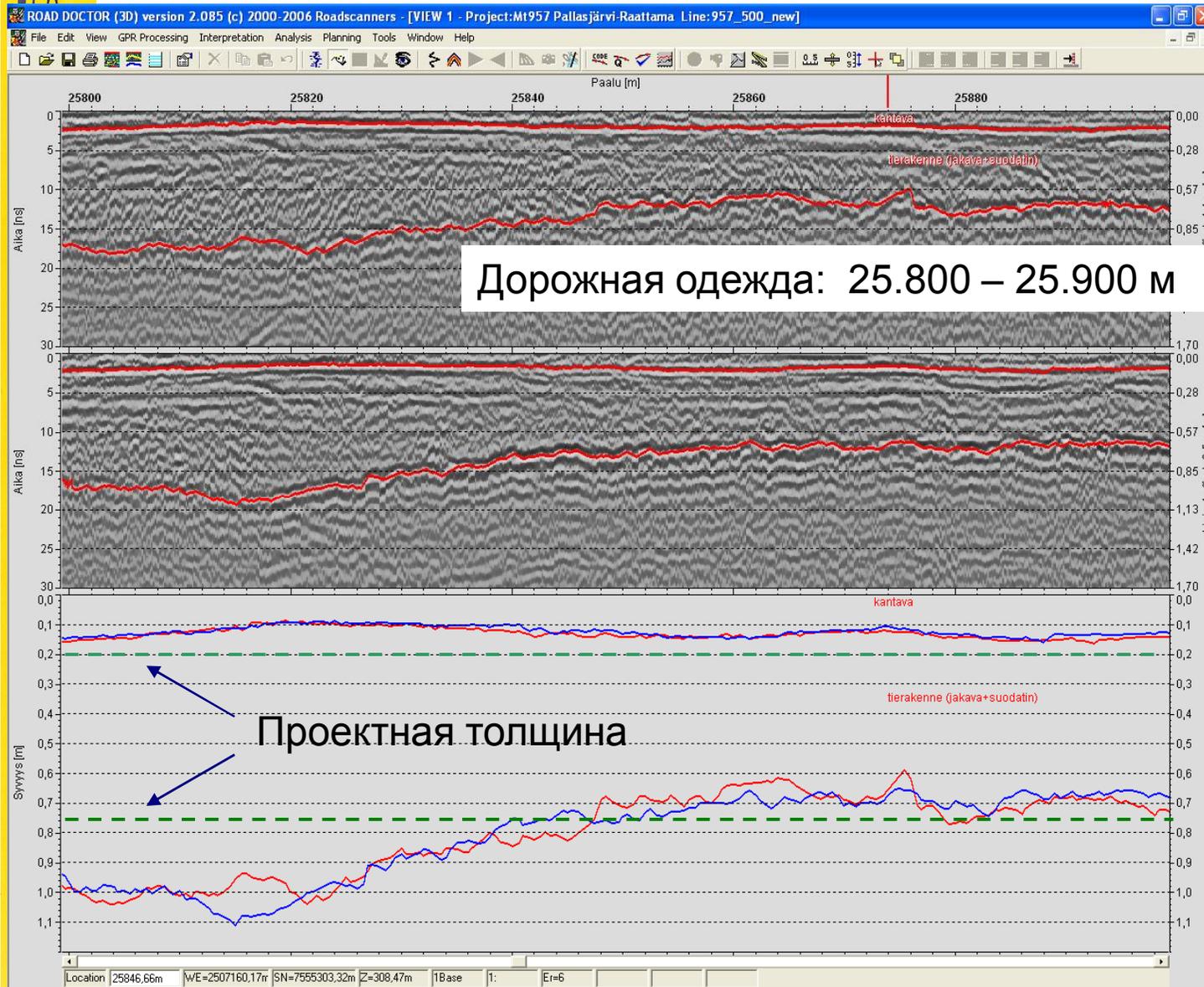
# 3D ТОМОГРАФИЯ ГЕОРАДАРОГРАММЫ

Поиск причин возникновения проблем  
во время строительства





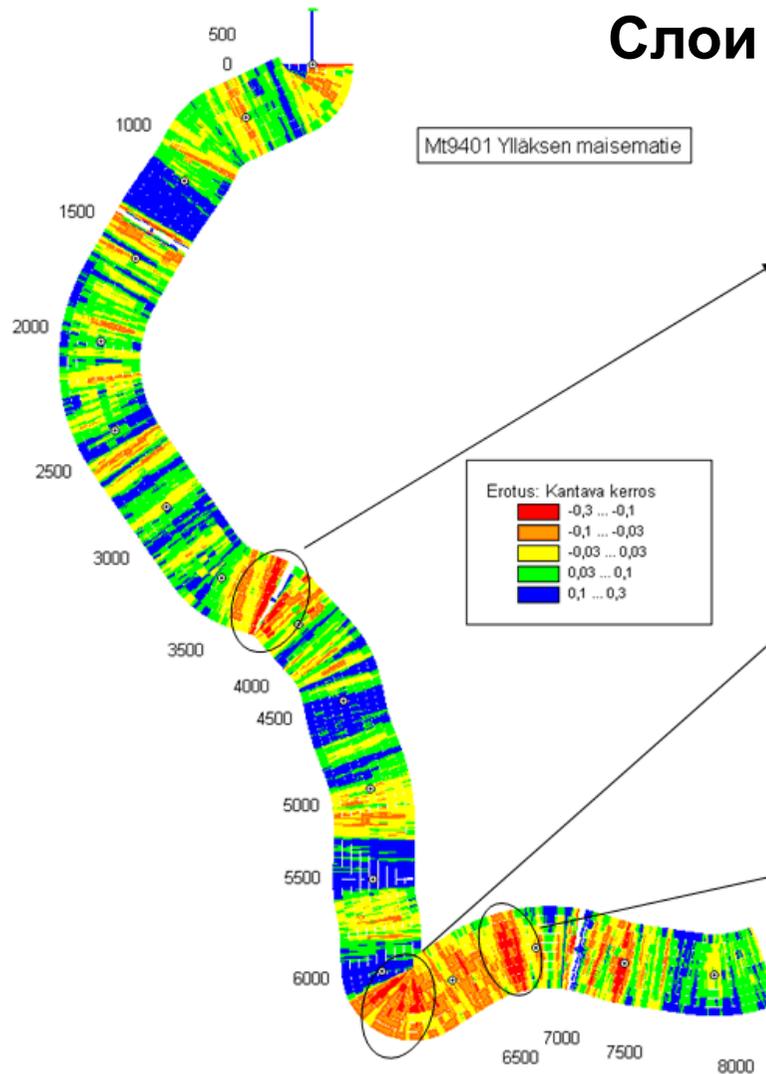
# Контроль качества / гарантия качества дорожных проектов



This Project is financed by EU

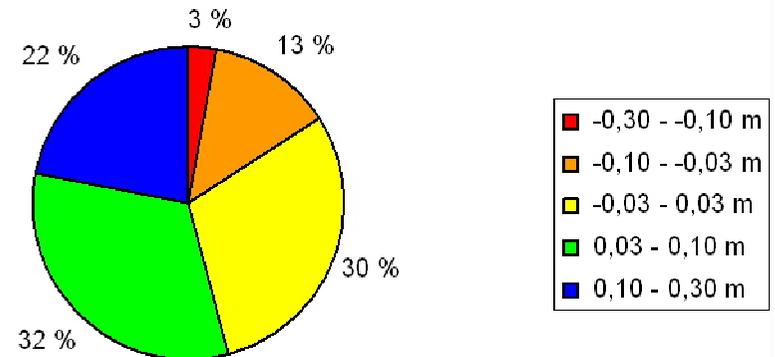
# 3D данные георадара при контроле качества

## Слои покрытия и основания



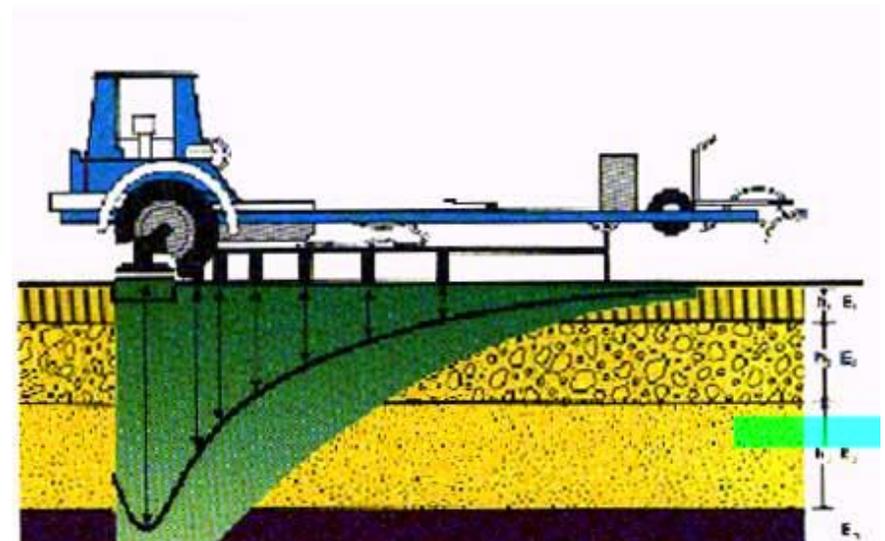
Слишком тонкий слой основания  
перед и после моста (~10-15 см)

## Статистика Покрытие+Основание



This Project is financed by EU

# ИЗМЕРЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ



This Project is financed by EU

# Установка динамического нагружения

## The Falling Weight Deflectometer



- Имитация транспортной нагрузки
  - Динамическое нагружение в течение 0,02сек
- Магнитуда нагрузок обычно 50кН (может варьироваться)
- Нагружение страхуется датчиками
- Жесткая плита разделена на секторы
- 6-9 геофонов (сейсмографов)
- Температура воздуха и покрытия измеряются одновременно

LOADING PLATE

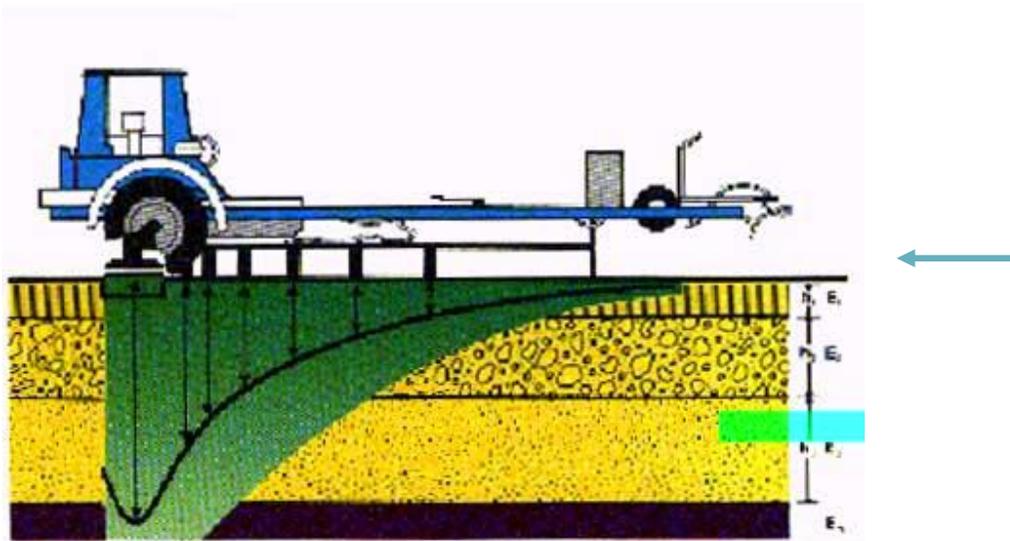
DEFLECTION SENSORS

- Распределение геофонов: 0, 20, 30, 45, 60, 90, 120 (Финляндия)  
-30, 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180 (США)

# Оценка типа грунта земляного полотна В соответствии с результатами FWD/УДН (D1200мм прогиб)

Толщина дорожной конструкции: 0,6 – 1,2м

	D <sub>1200</sub> прогиб (um)
Горная порода	< 10
Глина, мягкая	200 – 400
Торф	300 – 700 (thin peat 200 – 300)
Суглинок	100 – 200
Песок, гравий	10 - 100



This Project is financed by EU

# Индексы, определенные по результатам FWD

SCI = индекс кривизны покрытия:  $D_0 - D_{200}$

”жесткость верхней части  
дорожной одежды”

$D_0 - D_{300}$

$D_0 - D_{305}$

BDI = Индекс разрушения основания:  $D_{300} - D_{600}$

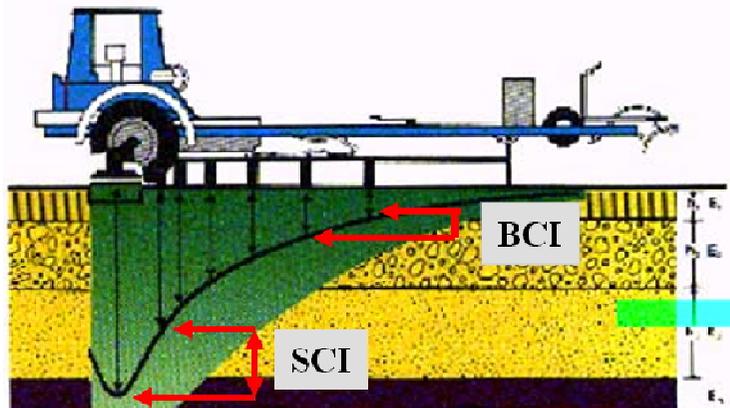
”жесткость нижнего слоя основания  
и фильтрующего слоя” (исп-ся  
редко)

$D_{305} - D_{610}$

BCI = Индекс кривизны основания:  $D_{900} - D_{1200}$

Насколько хорошо дорога  
распределяет нагрузку по грунтам  
земляного полотна

$D_{610} - D_{914}$



Классификация SCI (лесные и  
гравийные дороги)

(SCI 200):

< 200 Хорошо

>400 Плохо

>600 Неудовлетворительно

(paved roads)

< 200 Хорошо

> 250 Плохо

> 400 Неудовлетворительно

Классификация BCI (BCI 1200)

< 20 Хорошо

>40 Возможны проблемы

>60 Плохо

>100 Неудовлетворительно

# Индексы, определенные по результатам FWD

Шведские индексы несущей способности:

Напряжения в нижележащих слоях:

$E_a$  strain in the bottom of pavement without temperature correction

$$\varepsilon_a = 37,4 + 0,988 * D_0 - 0,553 * D_{300} - 0,502 * D_{600}$$

$D_0, D_{300}, D_{600}$  deflections at respective distances

$\bar{E}_{a10}$   $E_a$  value corrected for a temperature of +10 grades Celsius, using formula:  $T$  = measurement temperature,  $h$  = pavement thickness in mm

$$\bar{E}_{a10} = \frac{\varepsilon_a T}{\left(\frac{T}{10}\right)^{3,08 * 10^{-8} * h^2 + 2,0}}$$

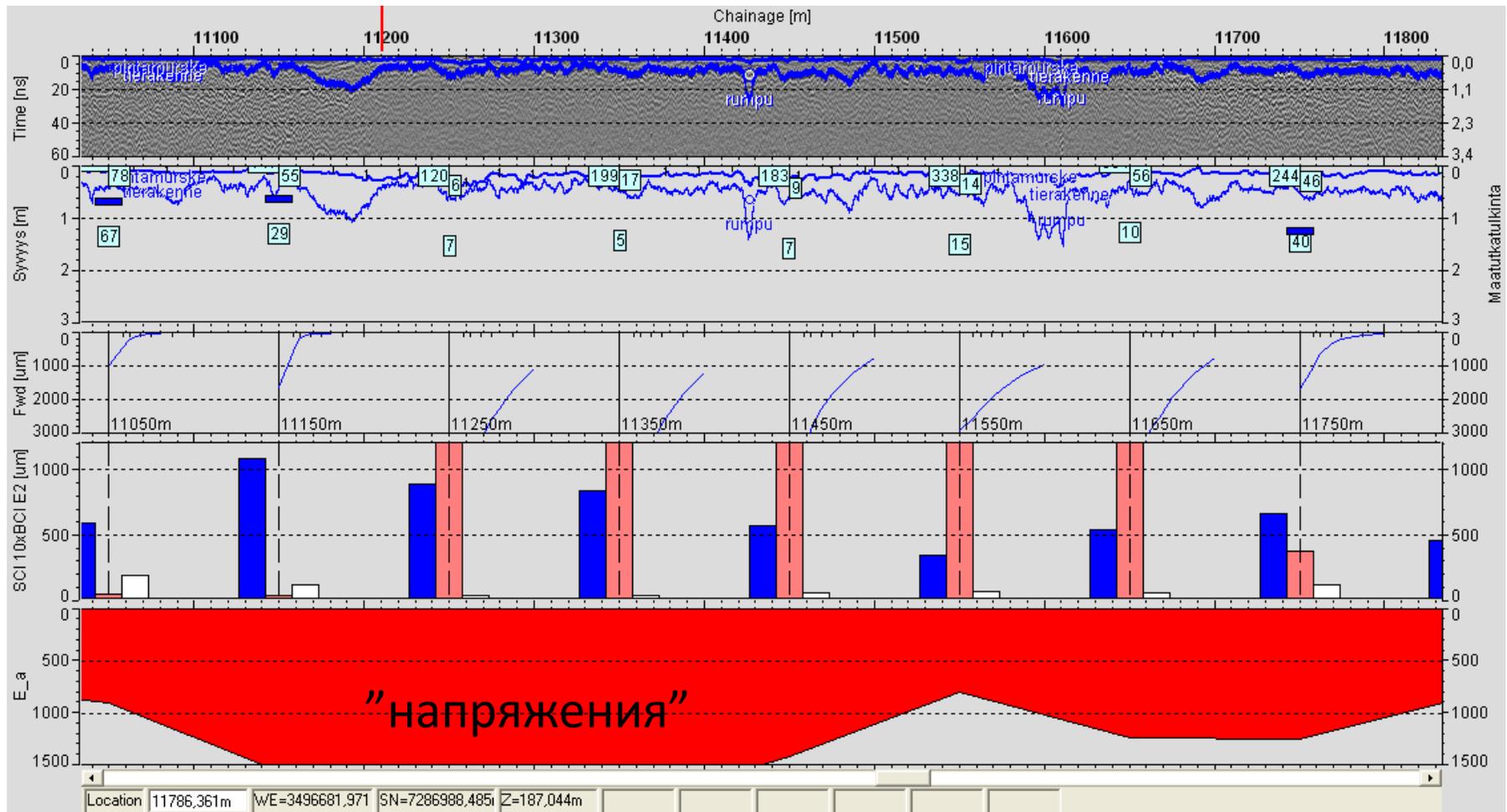
Модуль упругости земляного полотна (МПа):

$E_u$  Subgrade moduli

$$E_u = \frac{52000}{D_{900}^{1,5}}$$



# Георадар и УДН/FWD: индексы несущей способности



# Анализ результатов УДН/FWD



Расчет модулей упругости:

1. E2 – модуль упругости (расчет сразу после проведения измерений)

E2 = средний модуль упругости дорожной одежды ( $Mn/m^2$ )  
(симуляция результатов теста плиты нагружения)

Проблемы:

- наличие горной породы в 2 раза повышает модуль E2 вне зависимости от того, какова дорожная одежда
- температурная коррекция покрытия не учитывается
- можно манипулировать при помощи к-та поперечной деформации Пуассона

2. Обратный расчет модулей упругости слоев:

- Модули различных слоев дорожной одежды (Мпа) и грунтов земляного полотна
- Обычно применяется теория линейной упругости (Одемарк, FEM)
- Глубина залегания горной породы

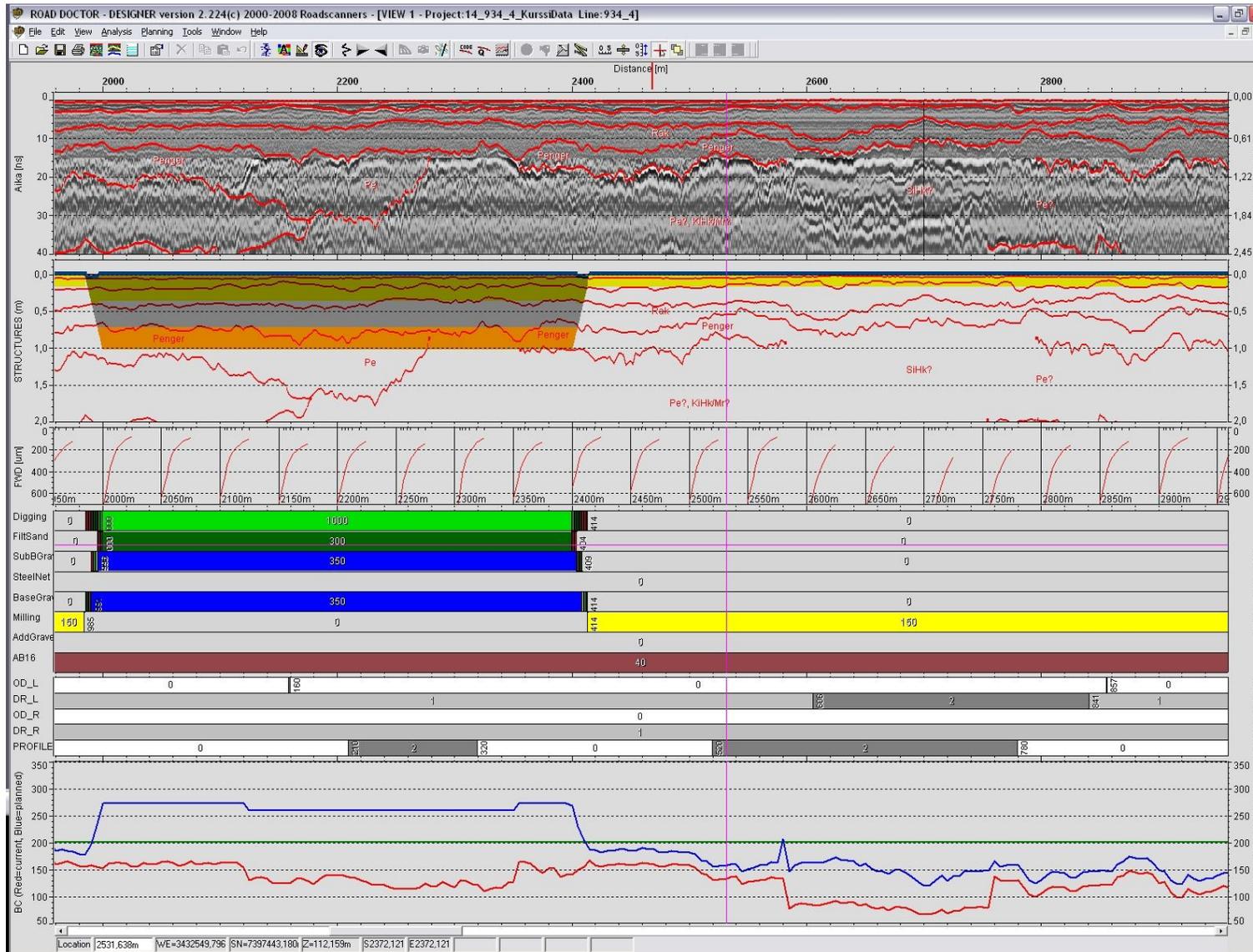
Проблемы:

- Необходимы данные о толщине слоев (георадар)
- Необходимо отдельное программное обеспечение для георадара
- Для дорог с твердым покрытием требуется температурная коррекция
- Нелинейность модулей земляного полотна





# Проектирование ремонтных работ и толщина слоев дорожной одежды



This Project is financed by EU

# Методы измерения несущей способности гравийных дорог:

Облегченный FWD (УДН)/устройство динамической плиты нагружения



This Project is financed by EU

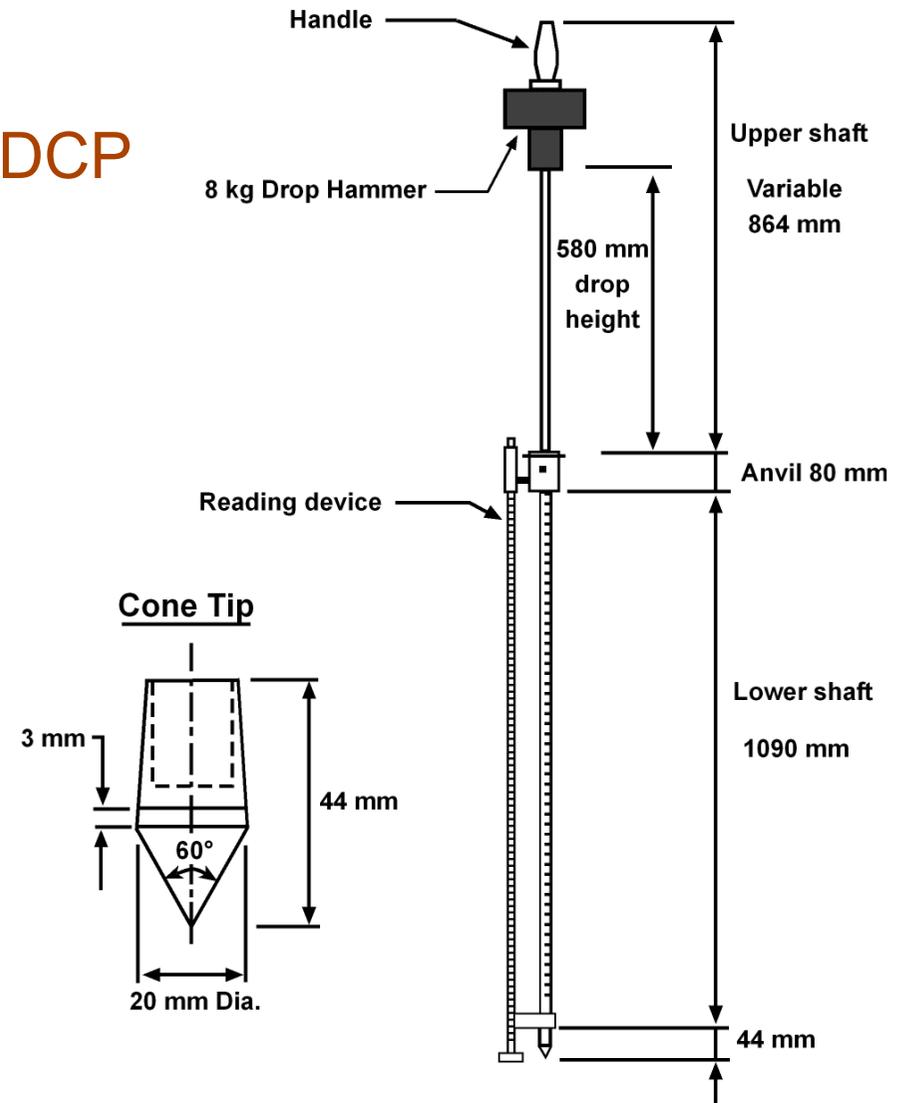


**ROADEX**  
Implementing Accessibility

# Методы измерения несущей способности гравийных дорог:



## DCP



This Project is financed by EU

# ПРОЧИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ



Статическая плита для  
измерения несущей способности

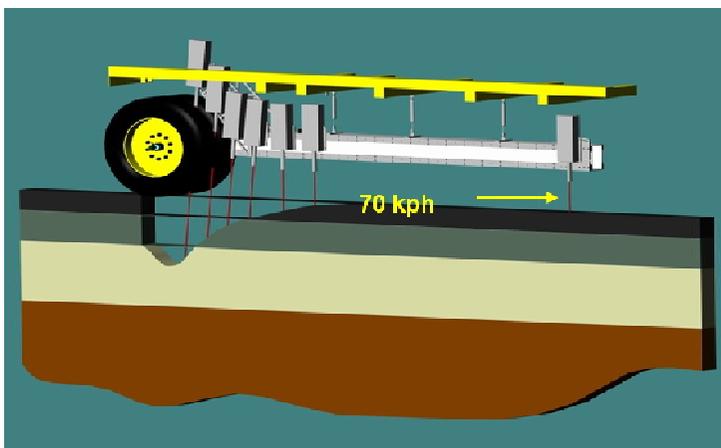


Балка Бенкельмана



This Project is financed by EU

- Дефлектограф GREENWOOD HIGH SPEED
- Прототип для измерения прогиба при движении со скоростью 70 км/ч
- Измеряет скорость прогиба, а не абсолютный прогиб



Greenwood  
Engineering



TU Delft



Implementing Accessibility



This Project is financed by EU

# ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ДОРОГ:

## Дороги всех типов

- Продольная неровность
- Неровности в поперечном профиле
- Выпуклости и выбоины
- Колейность
- Прикромочные продольные трещины

## Гравийные дороги

- Гребенка («эффект стиральной доски»)
- Пылебразование
- Устойчивость

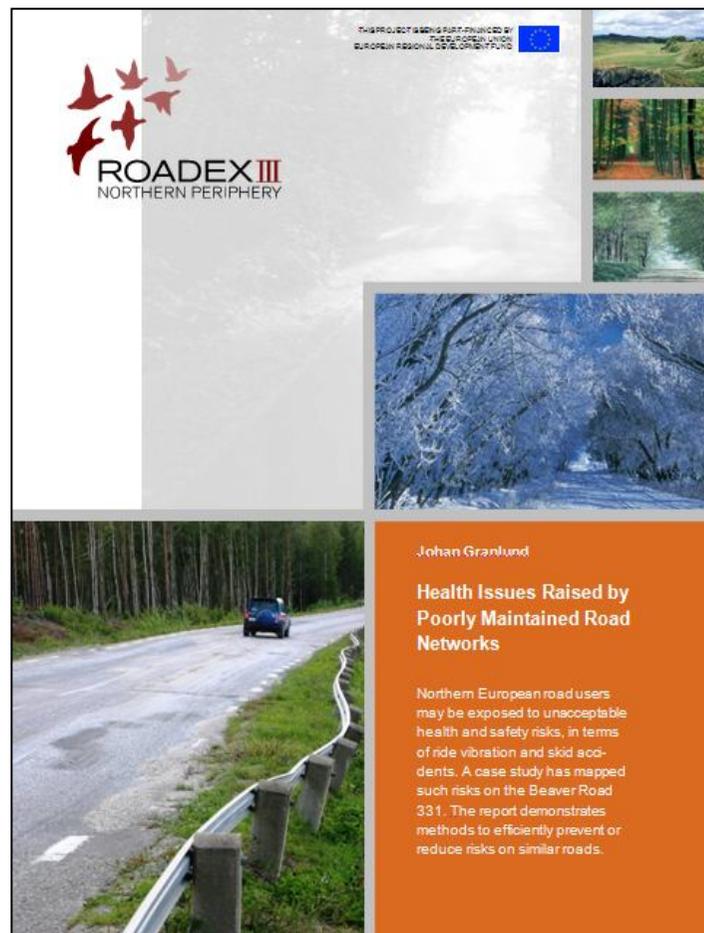
# Измерения ровности - источники

## The Little Book of Profiling

Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles

September 1998

Michael W. Sayers  
Steven M. Karamihas



<http://www.umtri.umich.edu/content/LittleBook98R.pdf>

<http://www.roadex.org>



This Project is financed by EU



## Параметры, измеряемые профилометрами:

### Измеряемые показатели:

- Показатели ровности IRI
- Глубина колеи
- Поперечный уклон
- Продольный уклон
- Макроровность
- Мегаровность
- Радиус кривизны
- Информация о местоположении (расстояние, координаты)

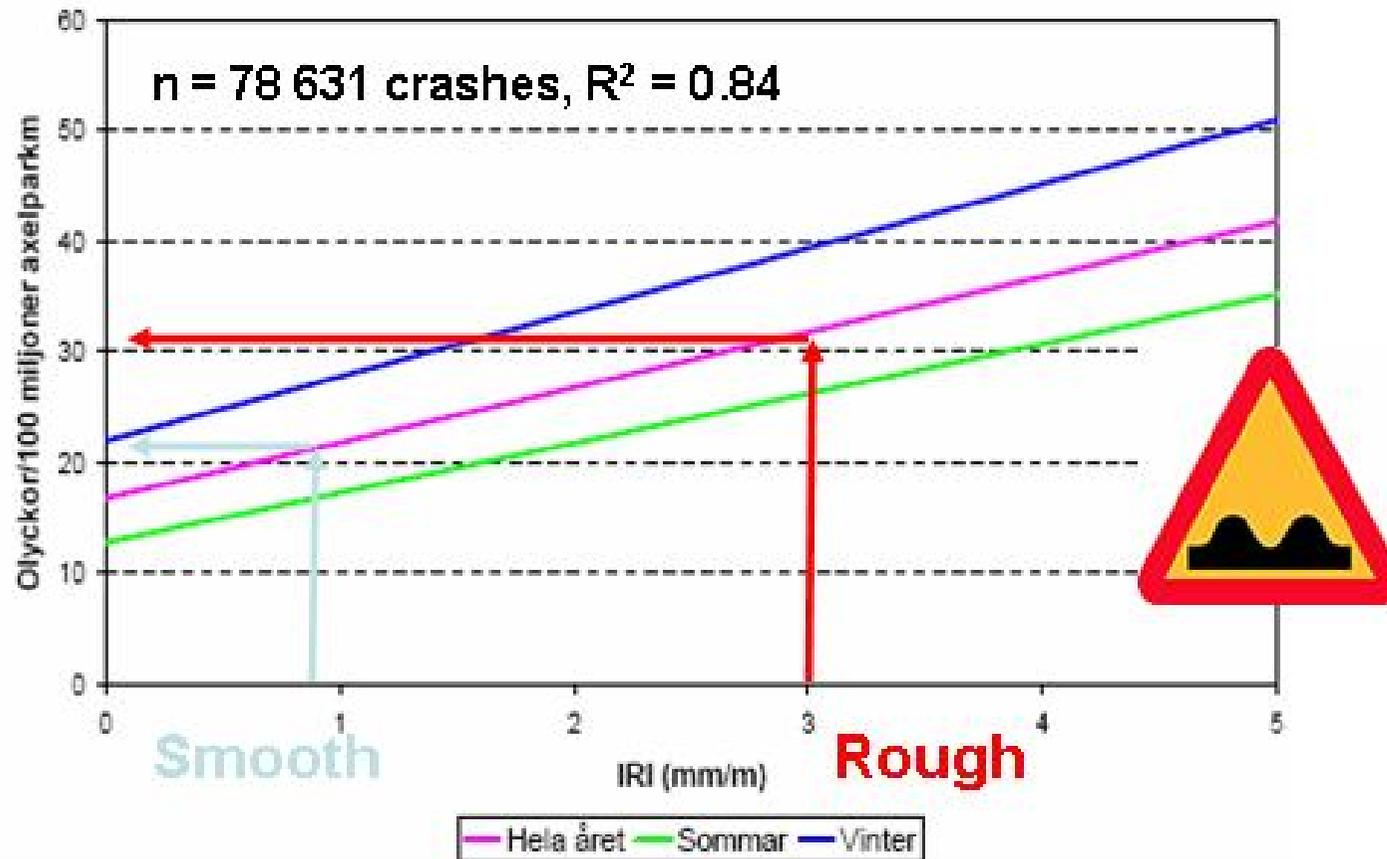


### Дополнительная информация:

- Цифровая видеосъемка
- Цифровые статические фотографии

# Ровность дороги и риск ДТП в Швеции

## Crash rate



This Project is financed by EU



ROADEX  
Implementing Accessibility

# Воздействие транспортных вибраций на человека



Директива ЕС в области безопасности и здравоохранения по физическим вибрациям 2002/44/ЕС [2], определяет показатель  $A(8)$  для 8-часового предельного периода воздействия транспортных вибраций на организм человека в течение рабочего дня. Если показатель  $A(8)$  превышает  $0.5 \text{ м/с}^2$ , директива требует от работодателей предпринять организационные и/или технические меры для минимизации вибраций. Рабочие задачи, которые связаны с воздействием вибраций свыше лимита  $A(8) = 1.15 \text{ м/с}^2$  запрещены.

Индикативная реакция человека на комфортность условий при пассажирских перевозках (ISO 2631-1)

$a_w \text{ rms}$

Мин.	Макс.	Уровень комфорта
>2	>2	Экстремально некомфортные условия
1.25	2.5	Очень некомфортные
0.8	1.6	Некомфортные
0.5	1	Умеренно некомфортные
0.315	0.63	Слегка некомфортные
0	0.315	Комфортные



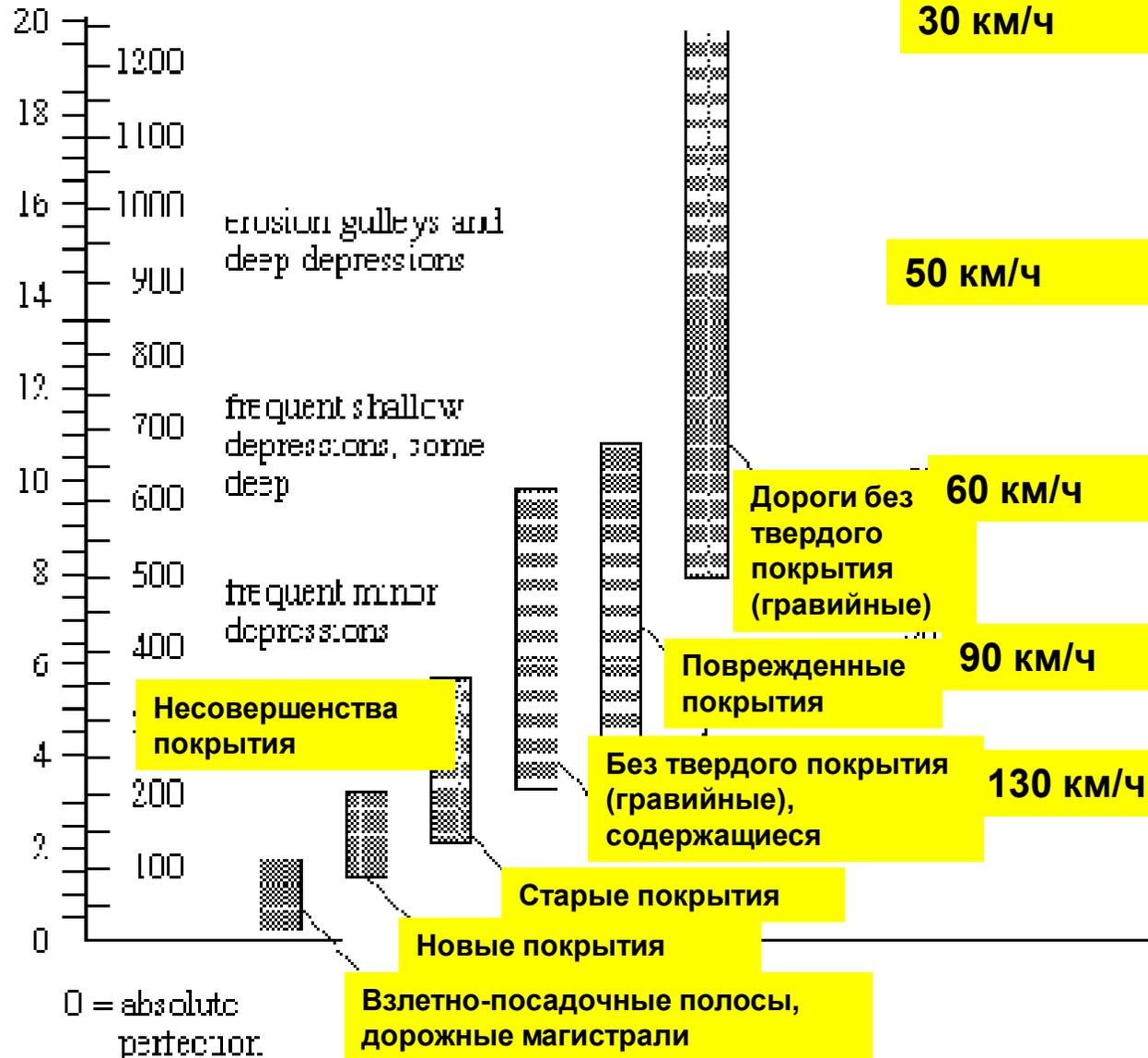
This Project is financed by EU



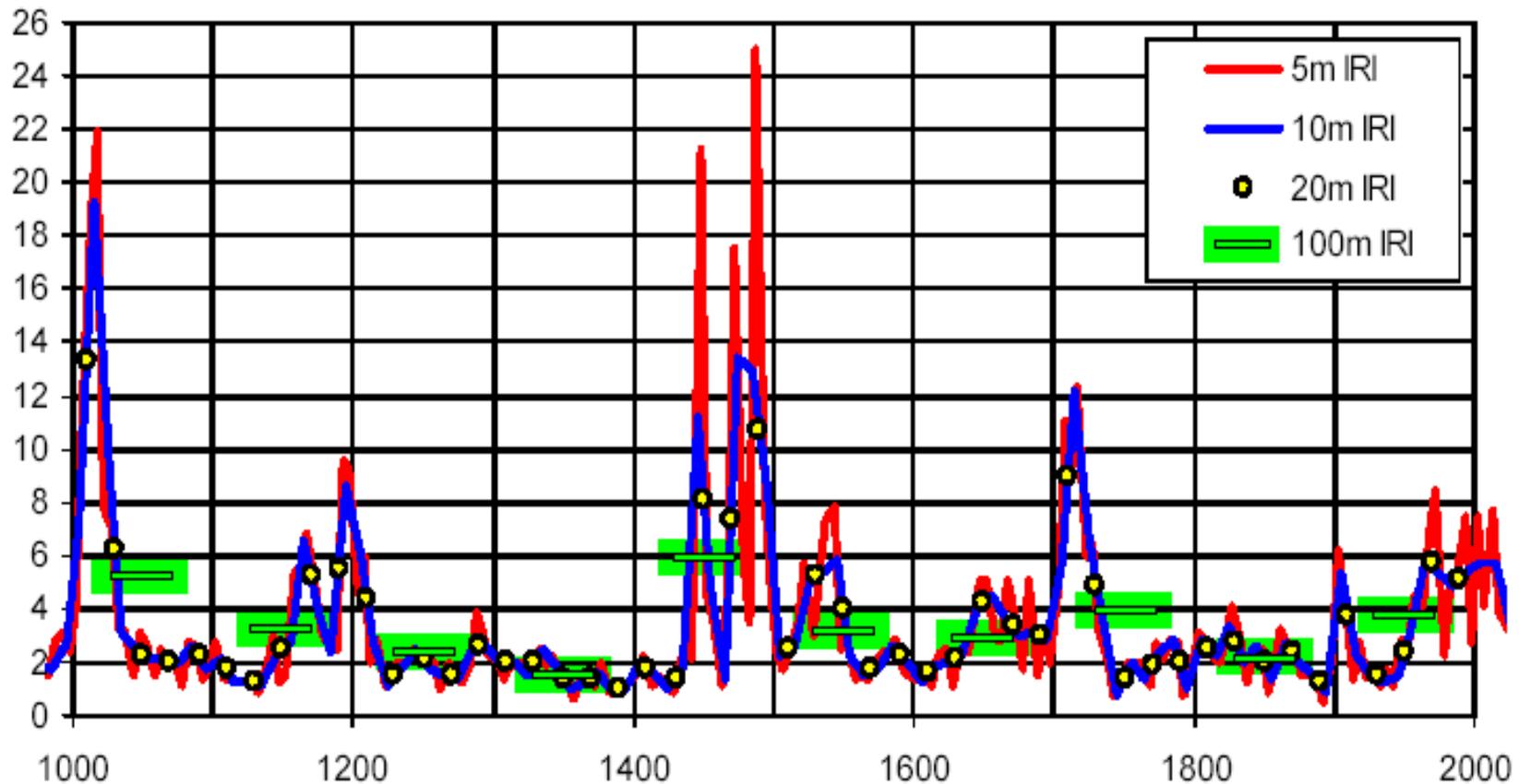
**ROADEX**  
Implementing Accessibility

## IRI VALUES (M/KM)

IRI  
(m/km) (in/mi)



# При анализе показателей ровности IRI необходимо учитывать расстояние



This Project is financed by EU





## Предельно допустимые значения для 100м показателей ровности IRI в Финляндии:

Предельно допустимые показатели ровности IRI (мм/м/ 100м в среднем)

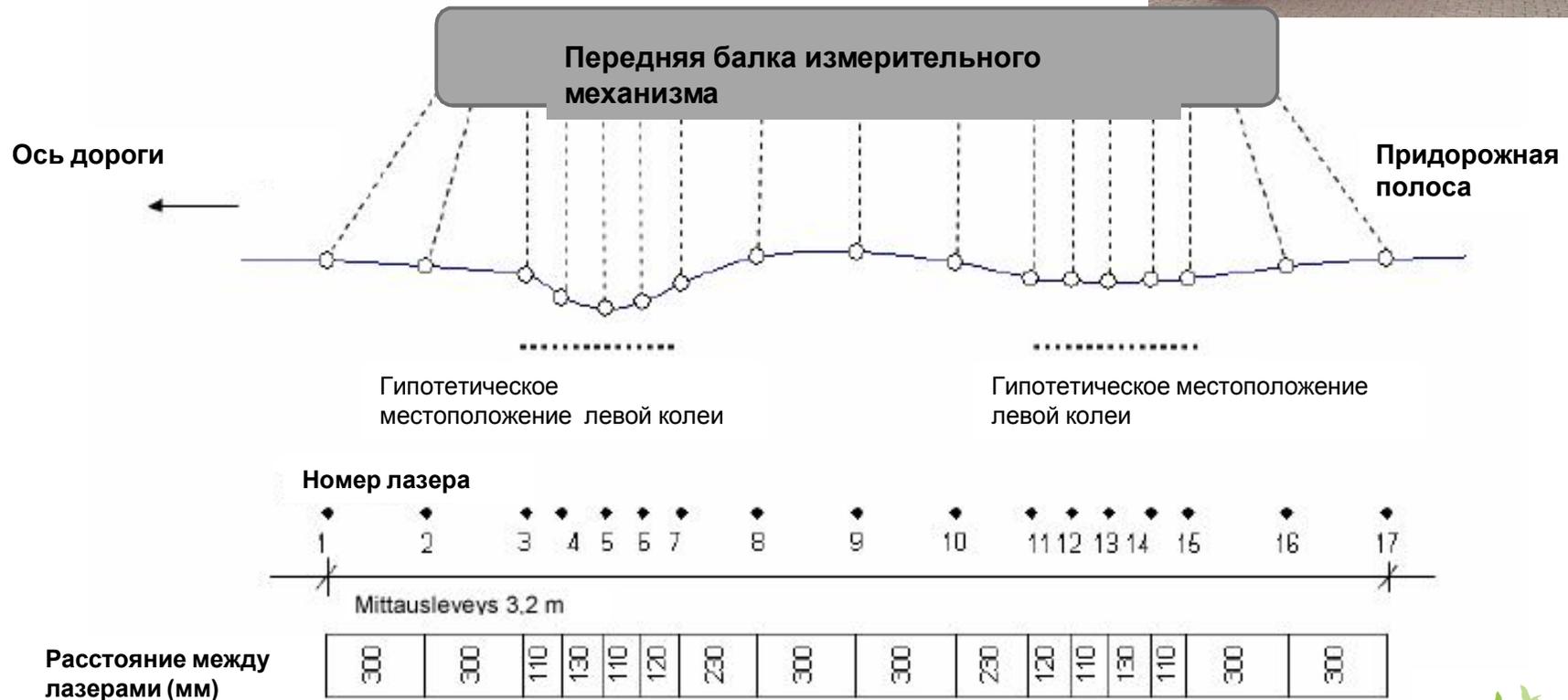
<b>СИД/ Огранич. скорости</b>	<b>60</b>	<b>80</b>	<b>100</b>	<b>120</b>
<b>0-350 авт/сут.</b>	<b>5,5</b>	<b>4,1</b>	<b>3,5</b>	<b>3,5</b>
<b>350 – 1500</b>	<b>5,5</b>	<b>4,1</b>	<b>3,5</b>	<b>2,5</b>
<b>1500 – 6000</b>	<b>4,1</b>	<b>3,5</b>	<b>2,5</b>	<b>2,5</b>
<b>6000 -</b>	<b>3,5</b>	<b>2,5</b>	<b>2,5</b>	<b>2,5</b>



This Project is financed by EU



# Принцип измерения колеиности



This Project is financed by EU



**ROADEX**  
Implementing Accessibility

# Параметры расчета глубины колеи

**Водная колея** - глубина воды в колее, рассчитанная по алгоритму водной колеи. Правая и левая водные колеи определяются отдельно от поперечного профиля.

**Колея, измеренная натянутой веревкой** – глубина колеи, рассчитанная по алгоритму String algorithm, когда веревка натягивается в поперечном профиле и измеряется глубина до дна колеи.

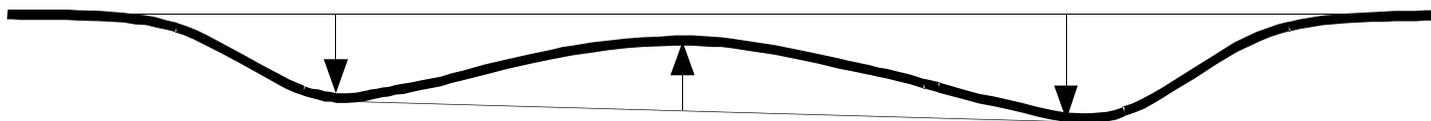
Правая и левая колеи определяются отдельно от поперечного профиля.

**Максимальная колея** – наибольшая колея в поперечном профиле.

**Усредненная максимальная глубина колеи** – среднее для максимальных глубин колеи

**Высота возвышения** - высота среднего возвышения между колеями в поперечном профиле. Относительный уровень между дном левой и правой колеи.

СРЕДНЯЯ КОЛЕЯ    ВОЗВЫШЕНИЕ    ВНЕШНЯЯ КОЛЕЯ



This Project is financed by EU





## Предельно допустимые значения для 100м показателей ровности IRI в Финляндии:

### Предельные значения глубины колеи (мм)

СИД/ Огранич. скорости	60	80	100	120
0-350	20	19	18	-
350 – 1500	19	18	17	-
1500 – 6000	18	17	16	15
6000 -	17	16	15	15

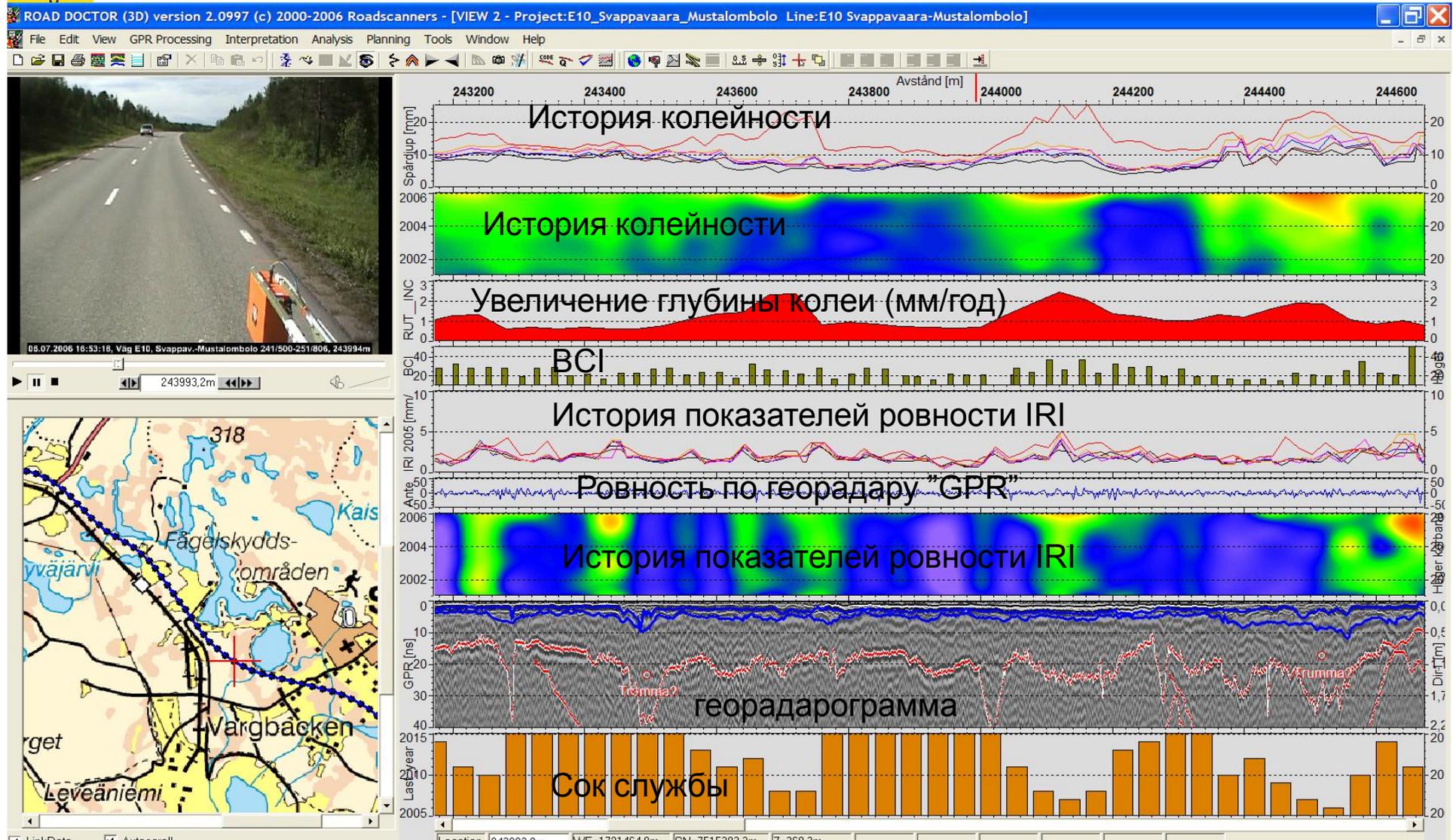


This Project is financed by EU





# Анализ трендов и прогнозирование сроков службы при подготовке контрактов на дорожное содержание на основе транспортно-эксплуатационных показателей



# Технология лазерного сканирования



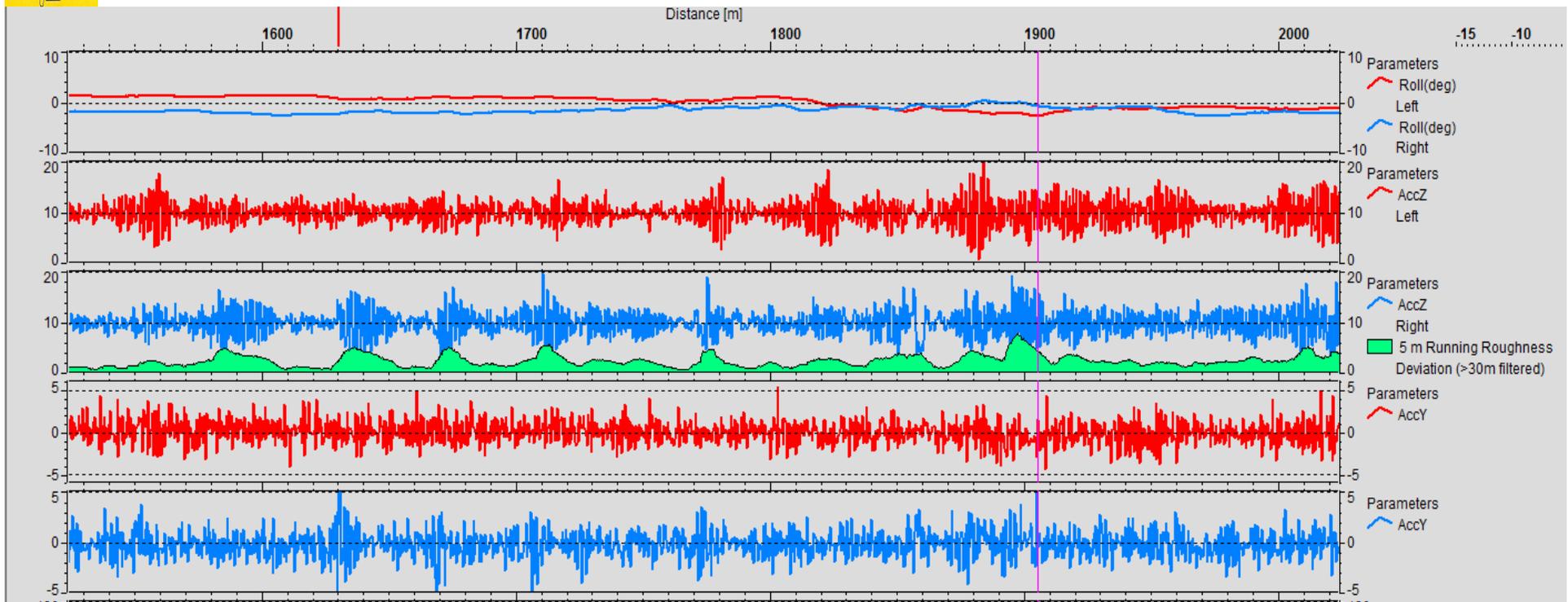
## Инструментарий: Лазерный сканер + 3D акселерометр + система позиционирования





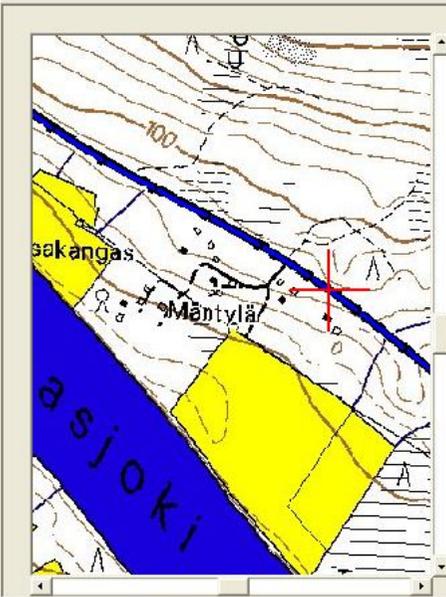
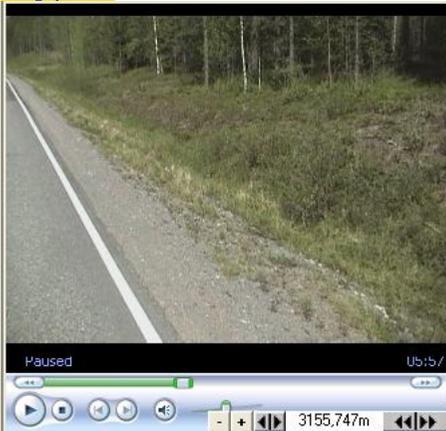
## Пример данных 3D акселерометра:

- поперечный уклон
- вертикальное ускорение
- поперечное ускорение

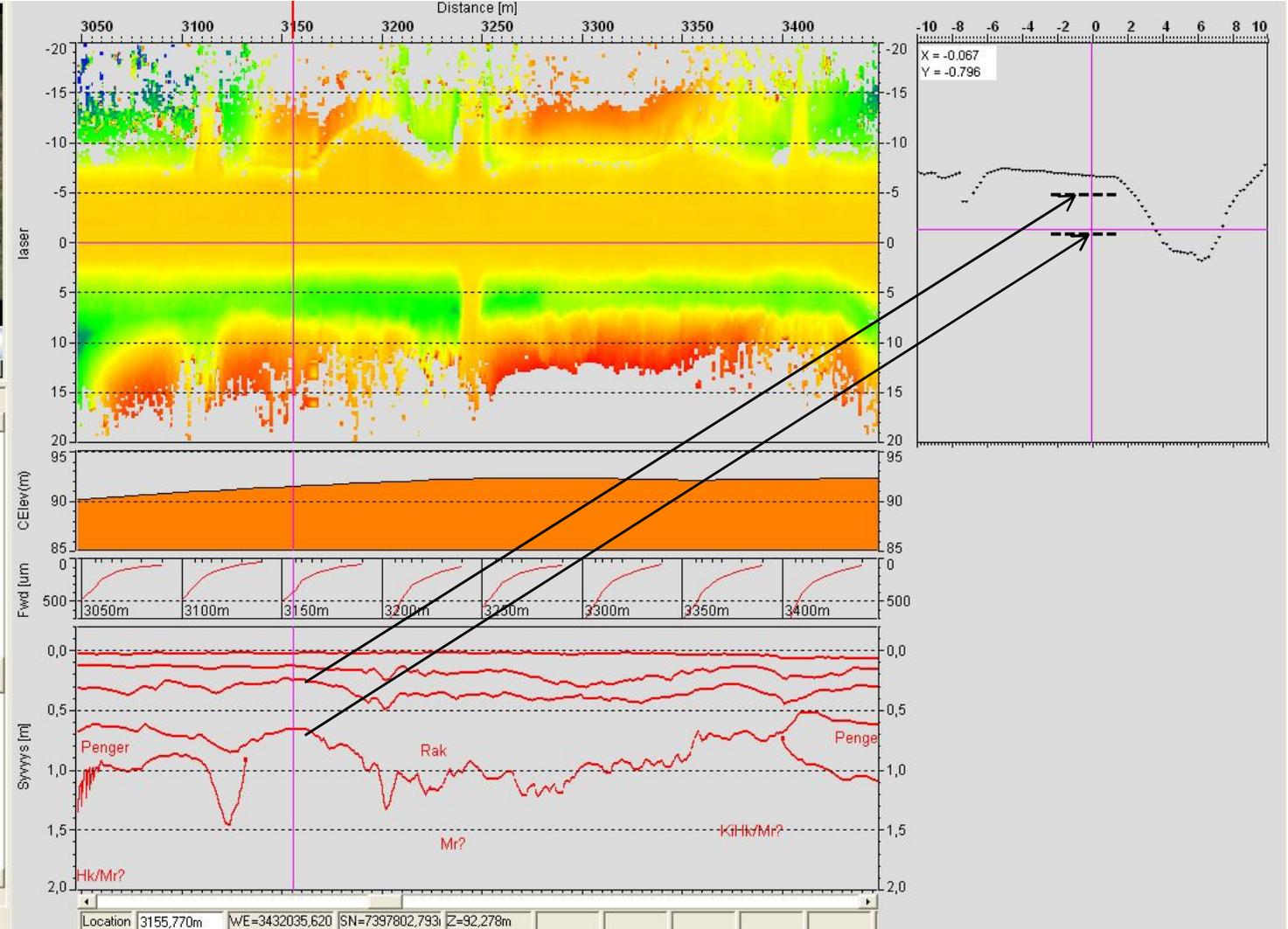




# Интеграция данных по толщине слоев и данных лазерного сканера



LinkData Autoscroll

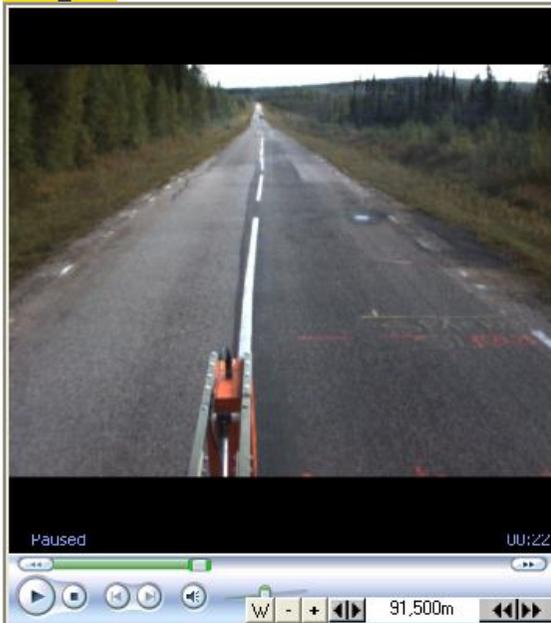


This Project is financed by EU

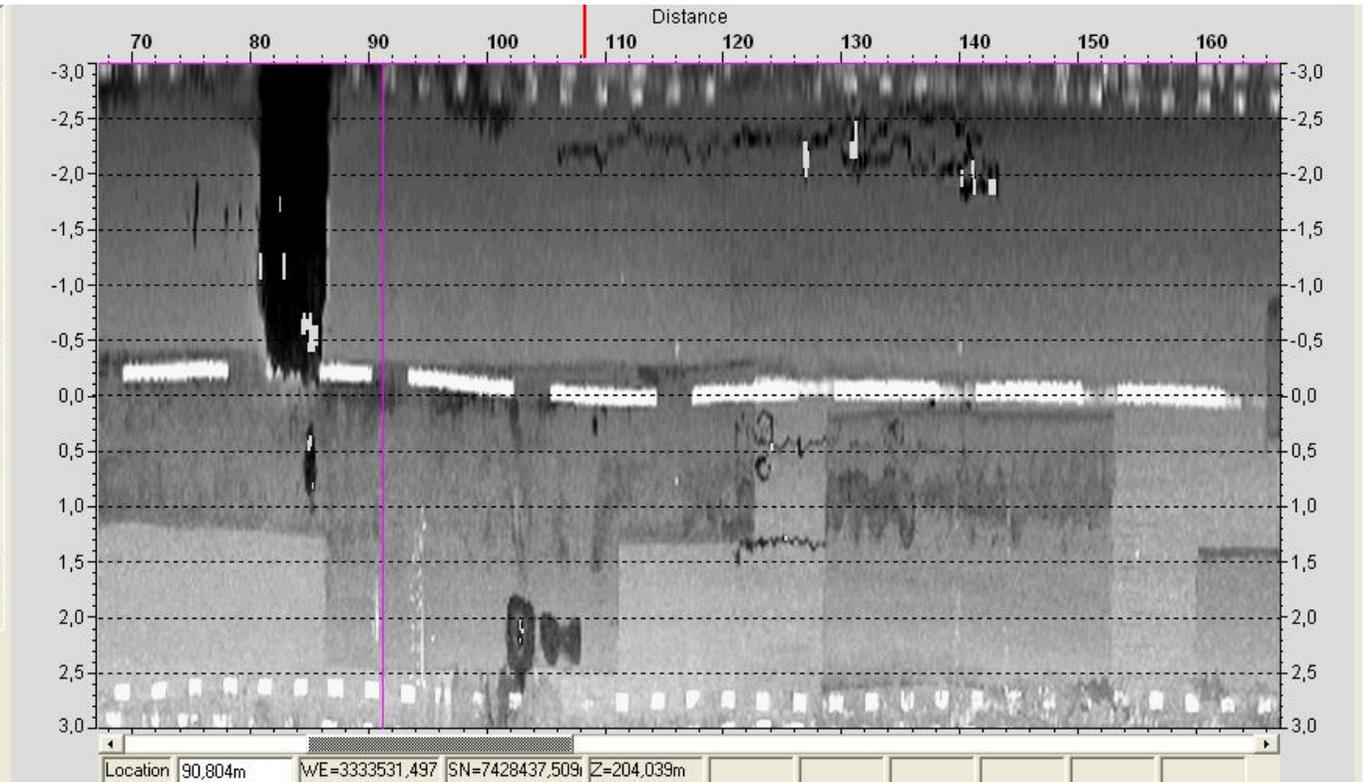
Права Roadscanners Oy 2008. Все права защищены.



# Инвентаризация состояния покрытия



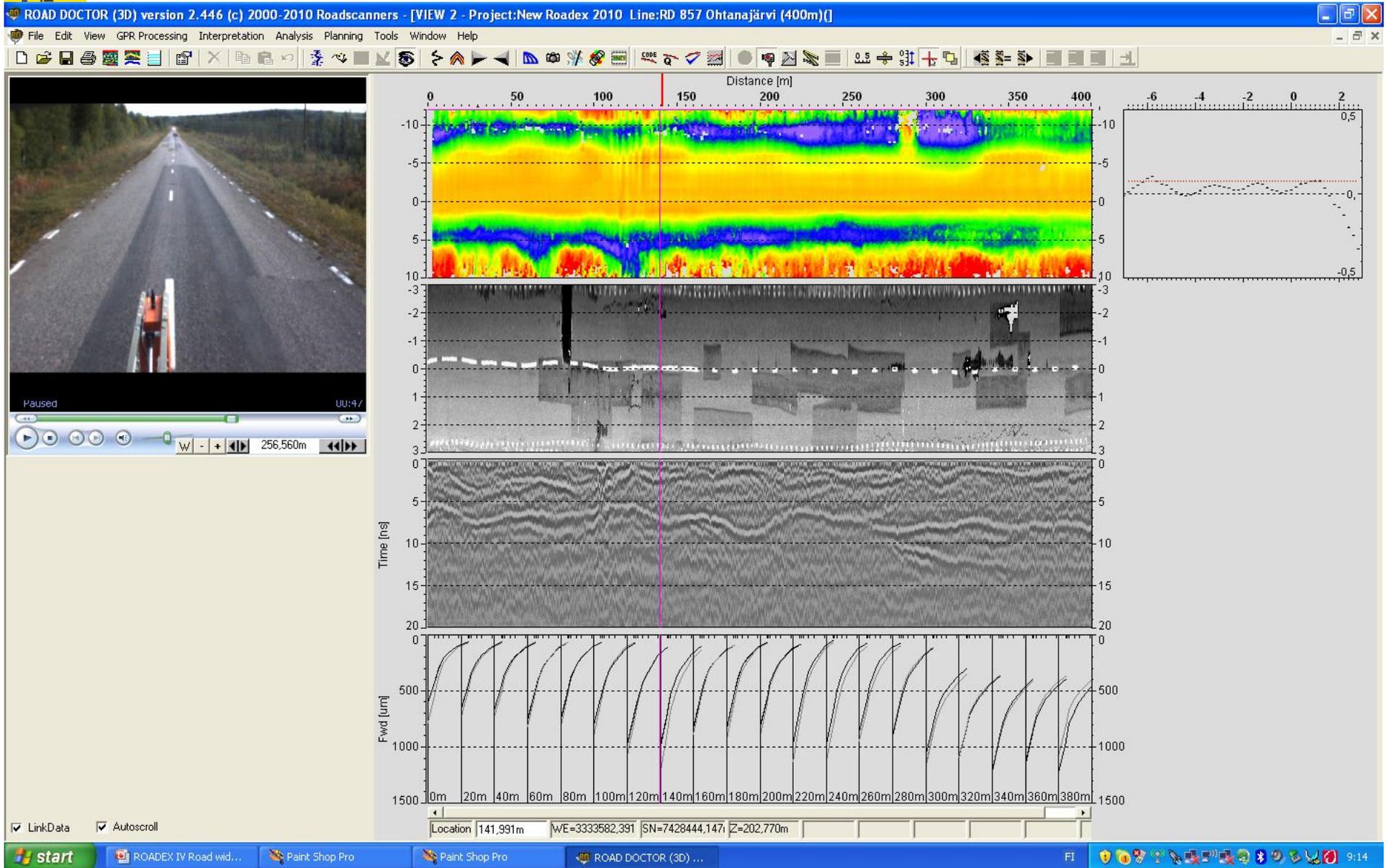
LinkData  Autoscroll



This Project is financed by EU

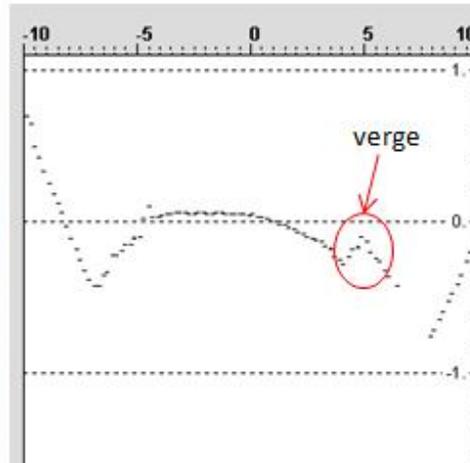
Права Roadscanners Oy 2008. Все права защищены.

# Диагностика по данным лазерного сканера, георадара и FWD (УДН)

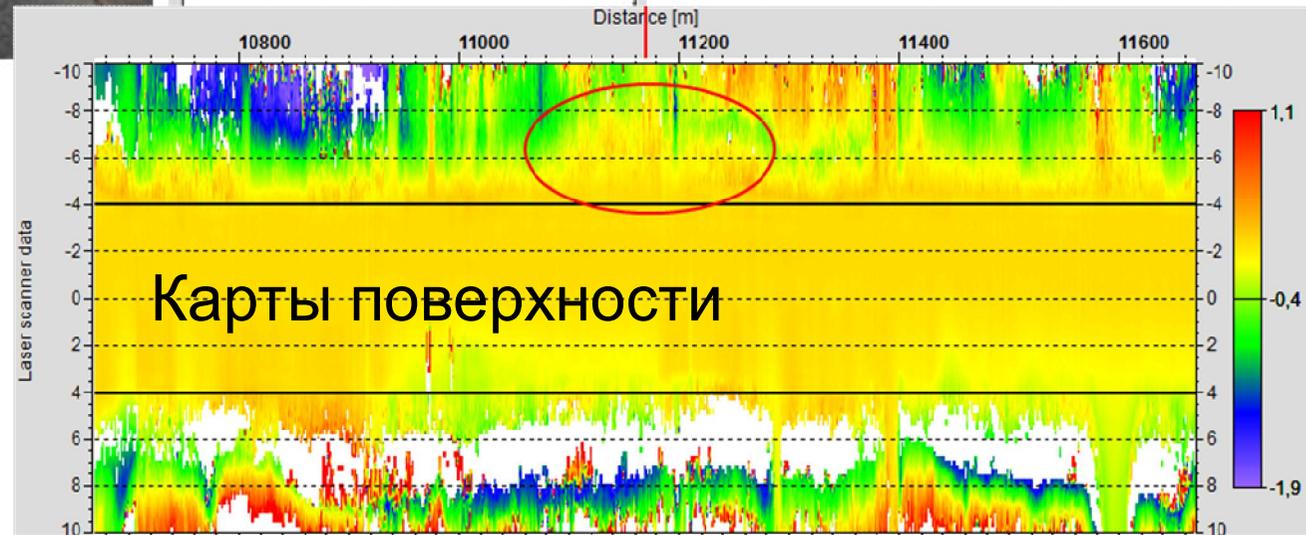




# Анализ состояния водоотвода

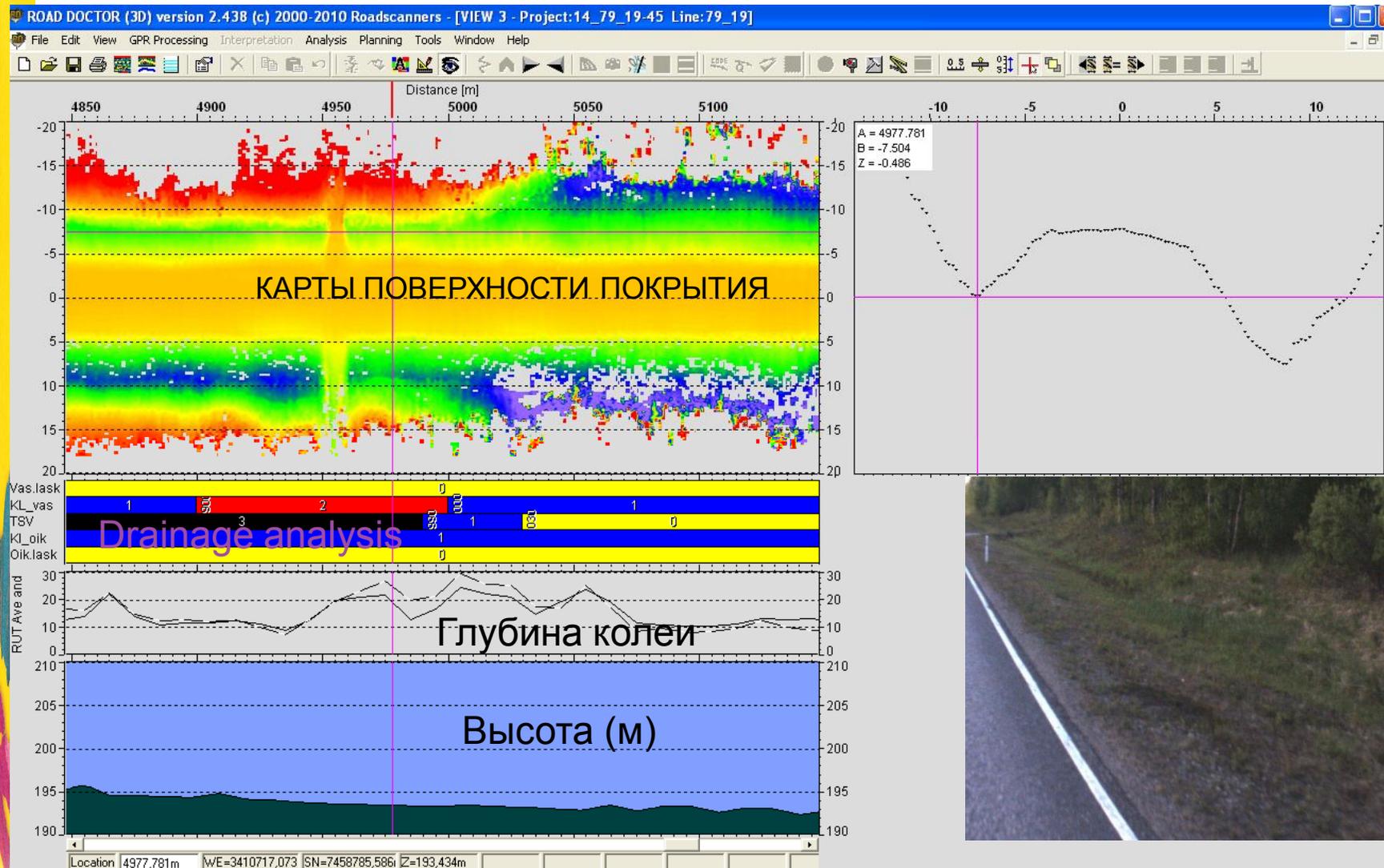


Поперечные профили



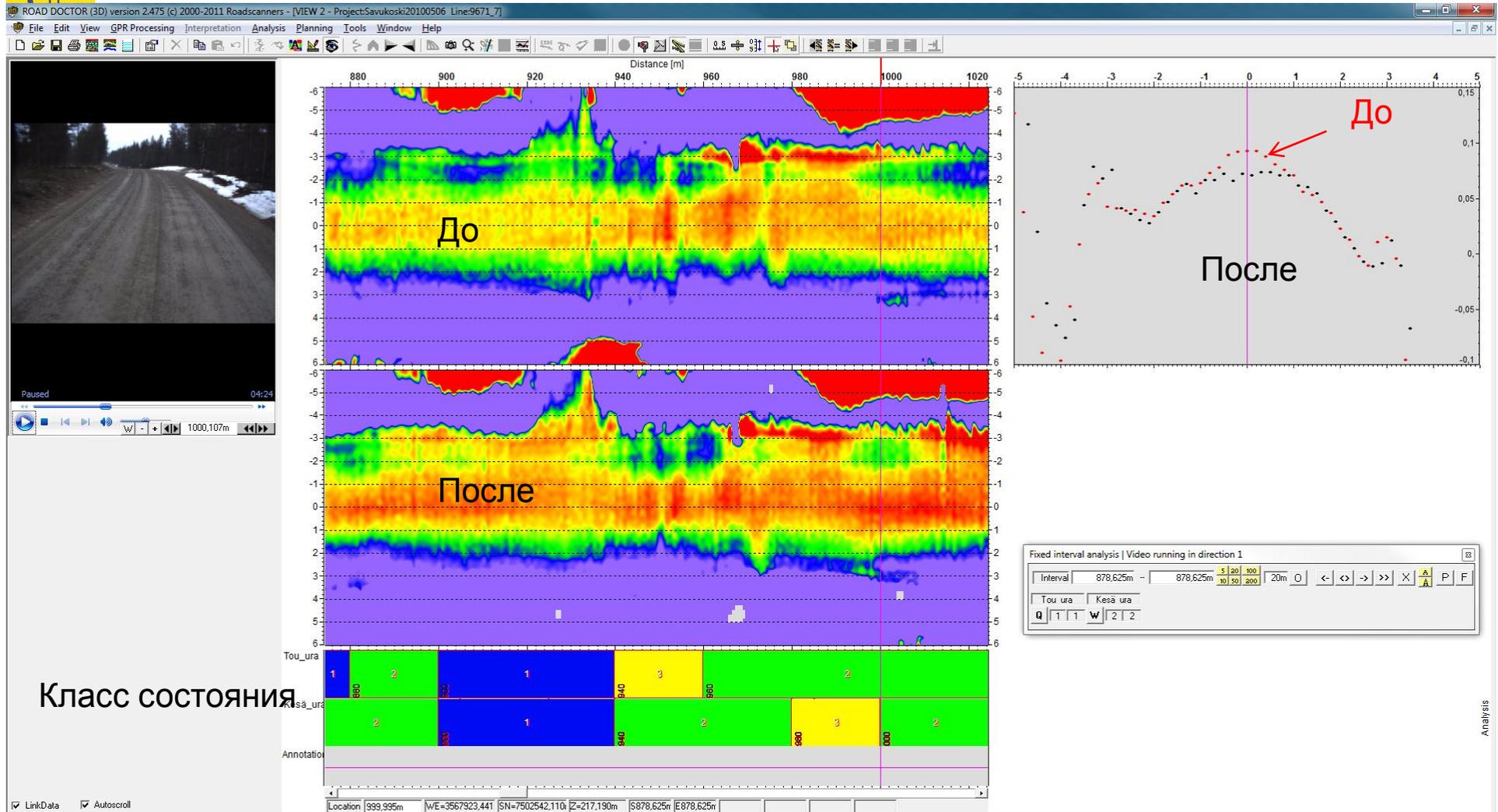
This Project is financed by EU

# ПРИМЕНЕНИЕ RDLS ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВОДООТВОДА



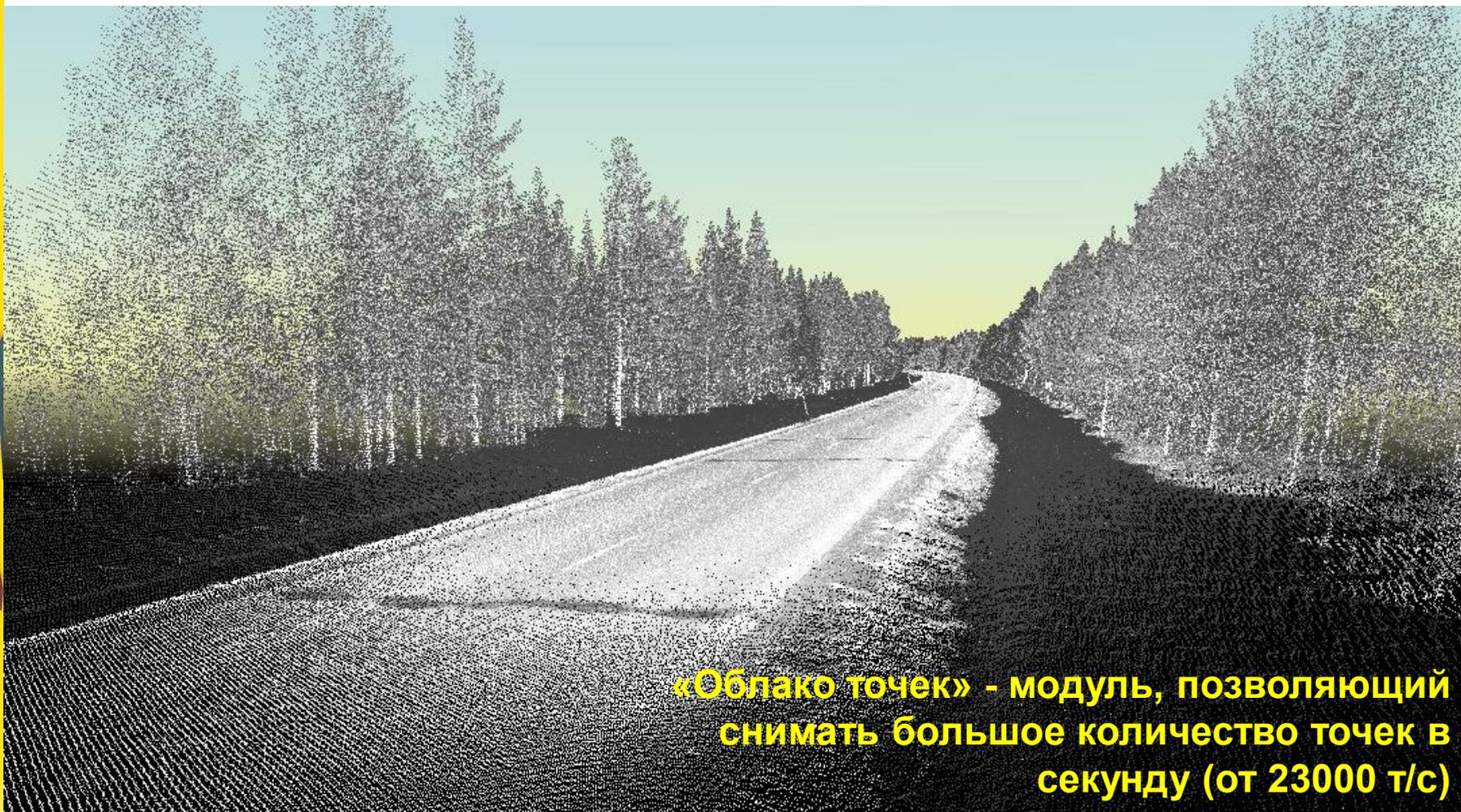
This Project is financed by EU

# Анализ состояния гравийных дорог



This Project is financed by EU

# Высокоточные лазерные сканеры и «Облако точек» (Point Cloud)



**«Облако точек» - модуль, позволяющий  
снимать большое количество точек в  
секунду (от 23000 т/с)**



This Project is financed by EU



GPS

IMS Система управления информацией

2 видеокамеры

2 лазерных сканера



This Project is financed by EU



**ROADEX**  
Implementing Accessibility

# Пример визуализации городской улицы с помощью облака точек

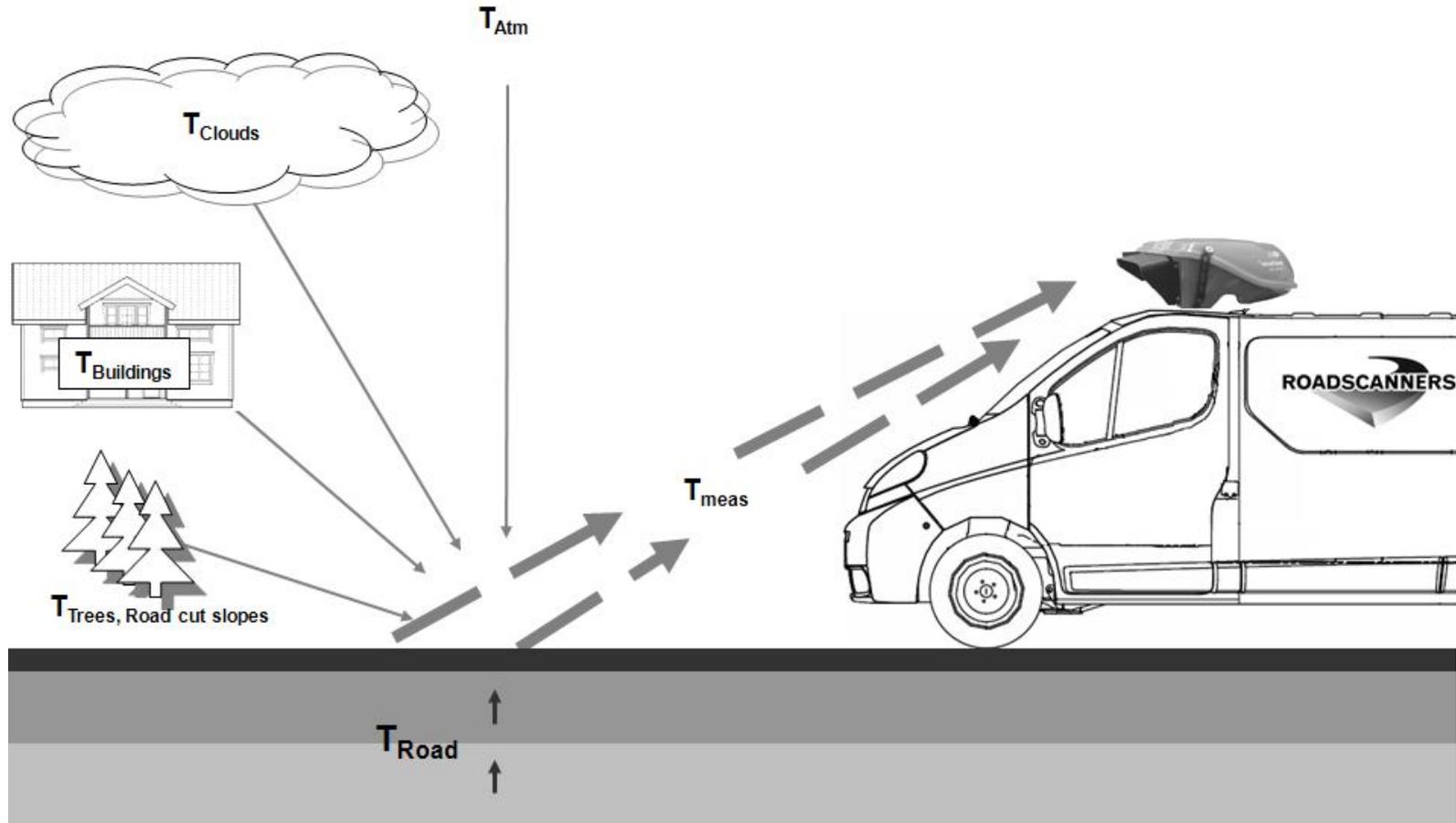


This Project is financed by EU

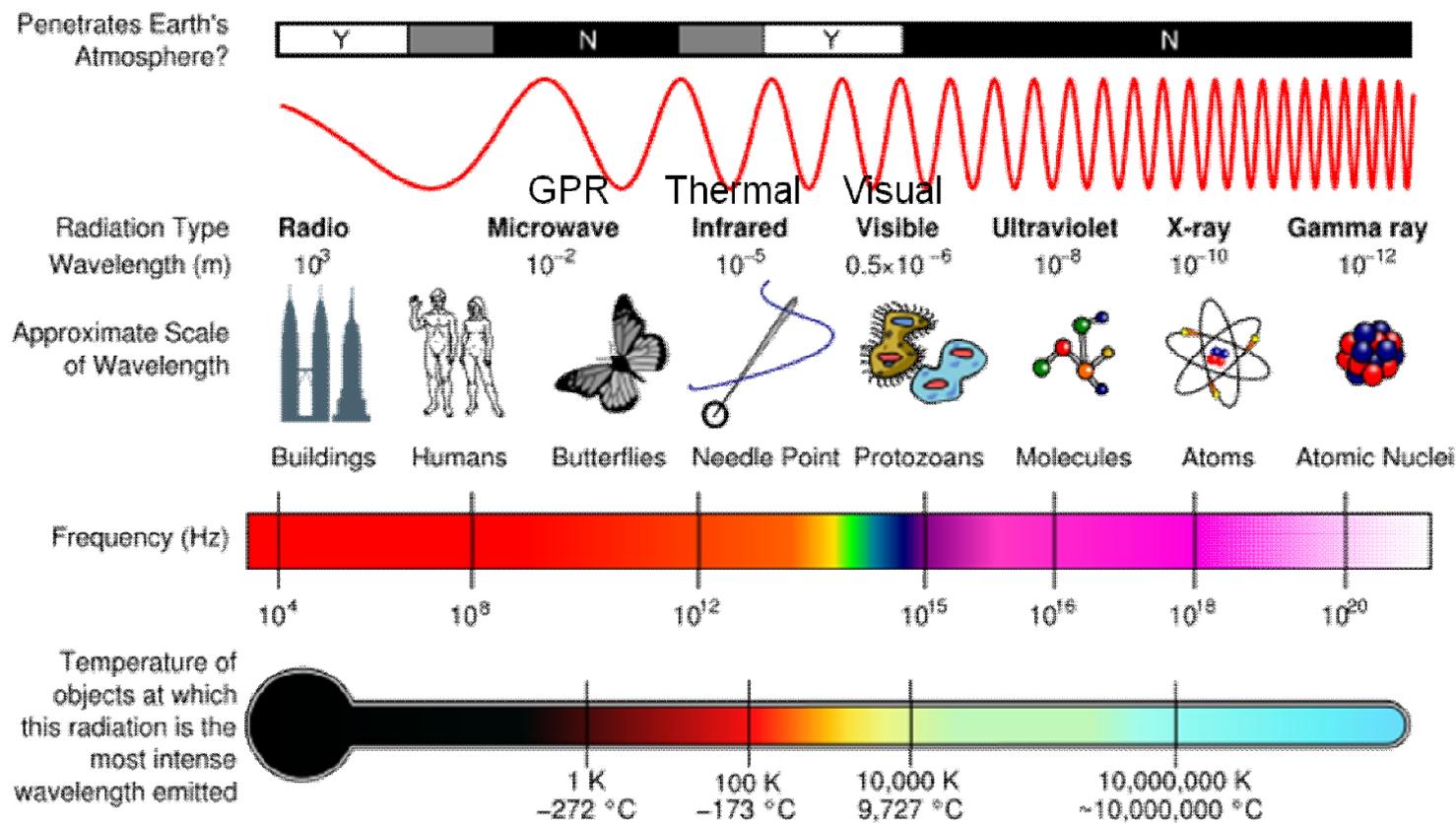


**ROADEX**  
Implementing Accessibility

# Новые термальные камеры



# Электромагнитный спектр поверхности земли





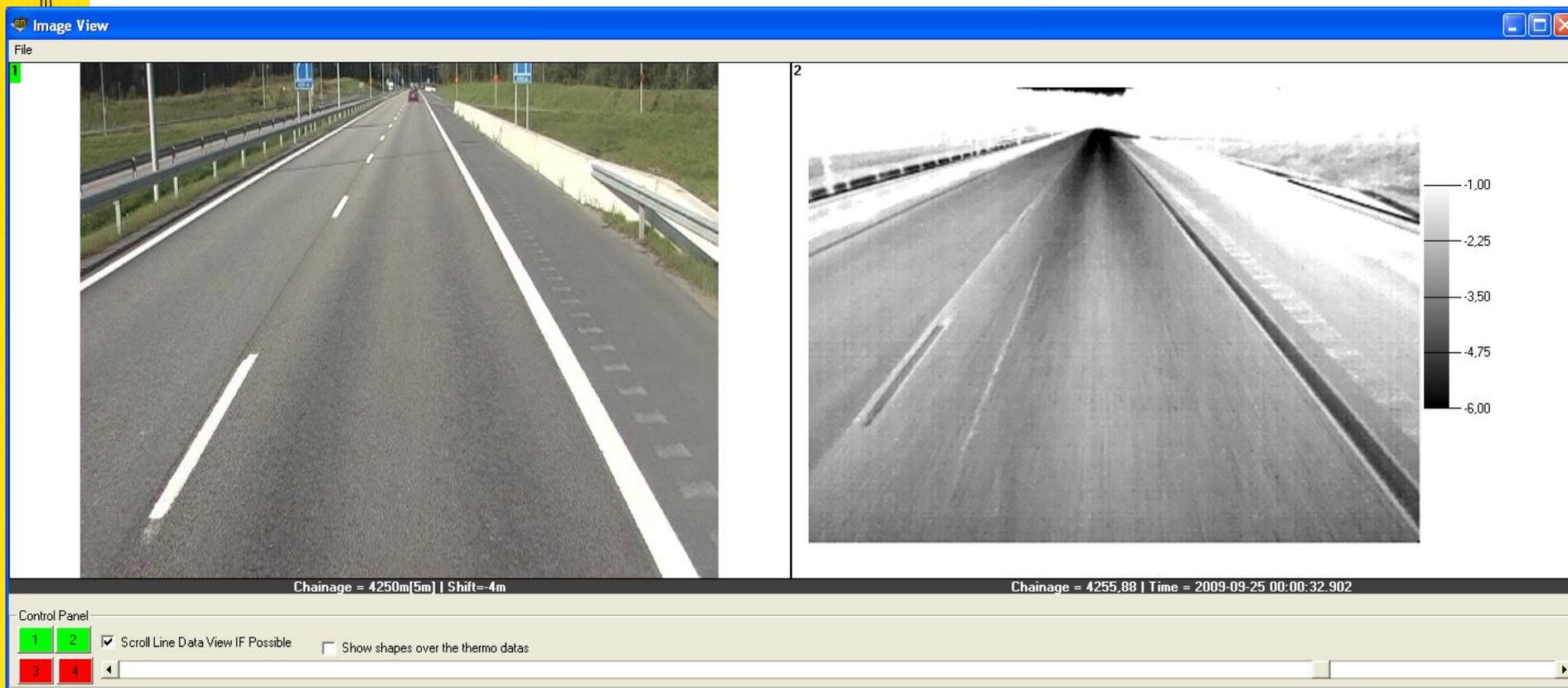
# Термальная камера пронизывает поверхность



This Project is financed by EU

Термальная диагностика «Дорожный Доктор» - RDTD

# Термальная карта и сквозные трещины



This Project is financed by EU

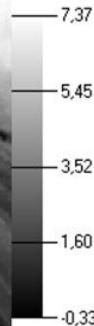
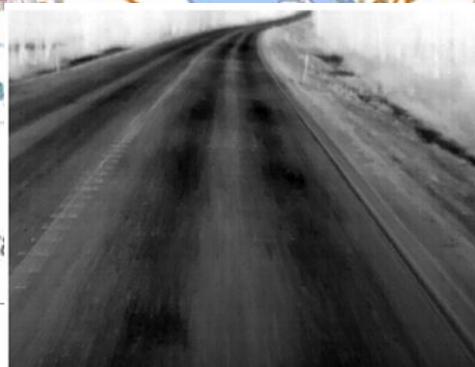
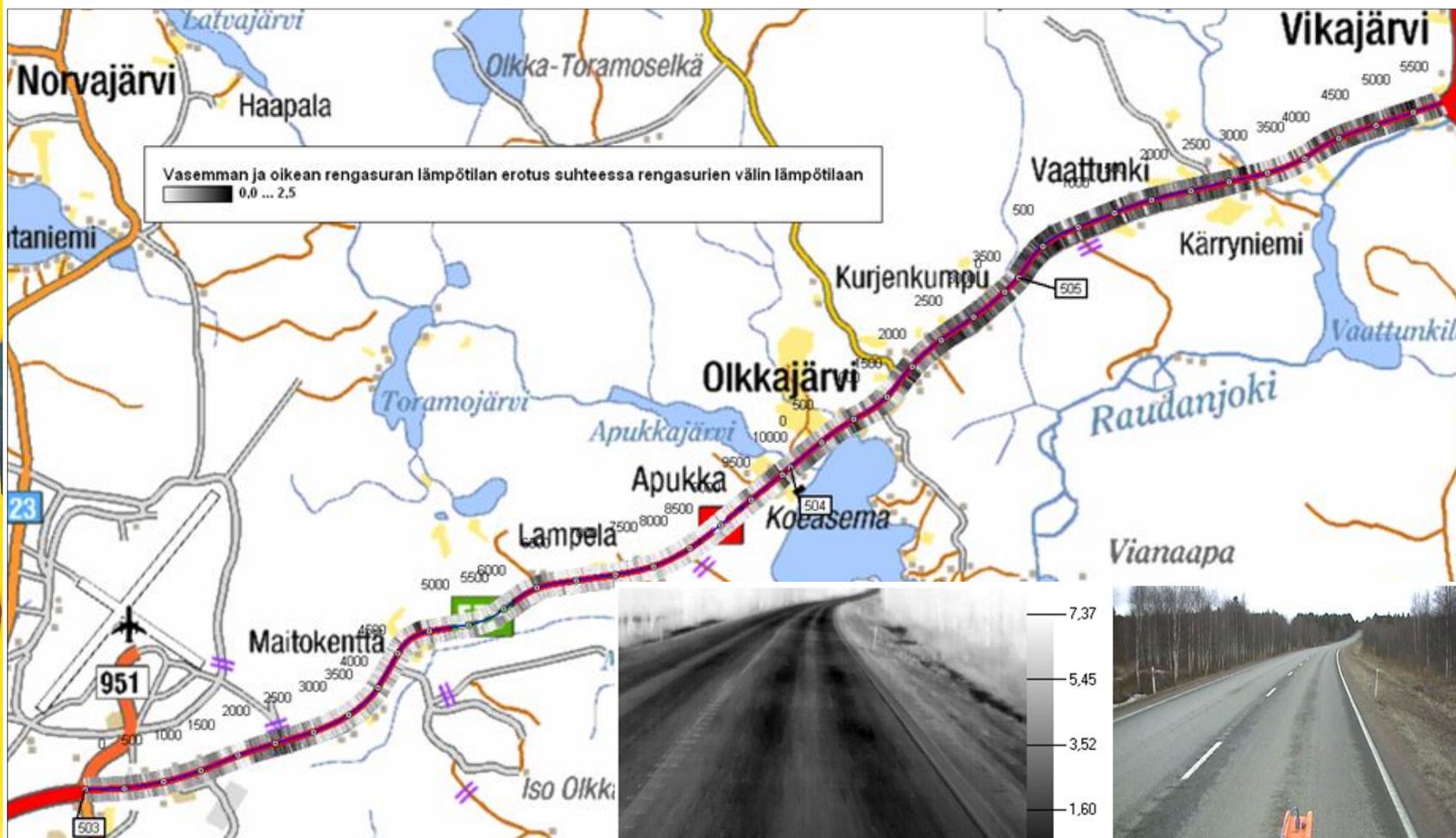


# Оценка разрушений покрытий при помощи термальной диагностики RDTD



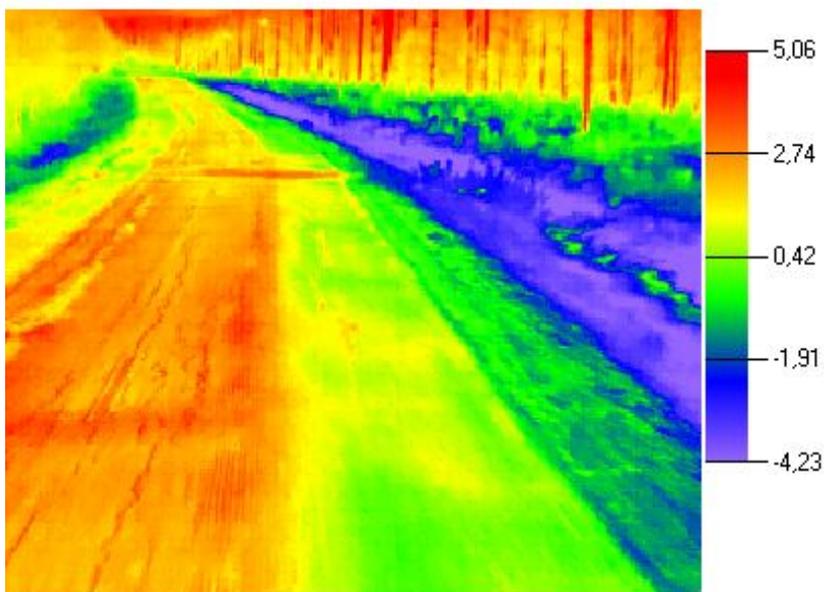
This Project is financed by EU

# Разница температур на внутренней и внешней колеях, а/д 4 Рованиеми – просачивание воды сквозь покрытие



This Project is financed by EU

## Термальная камера и дорожная диагностика

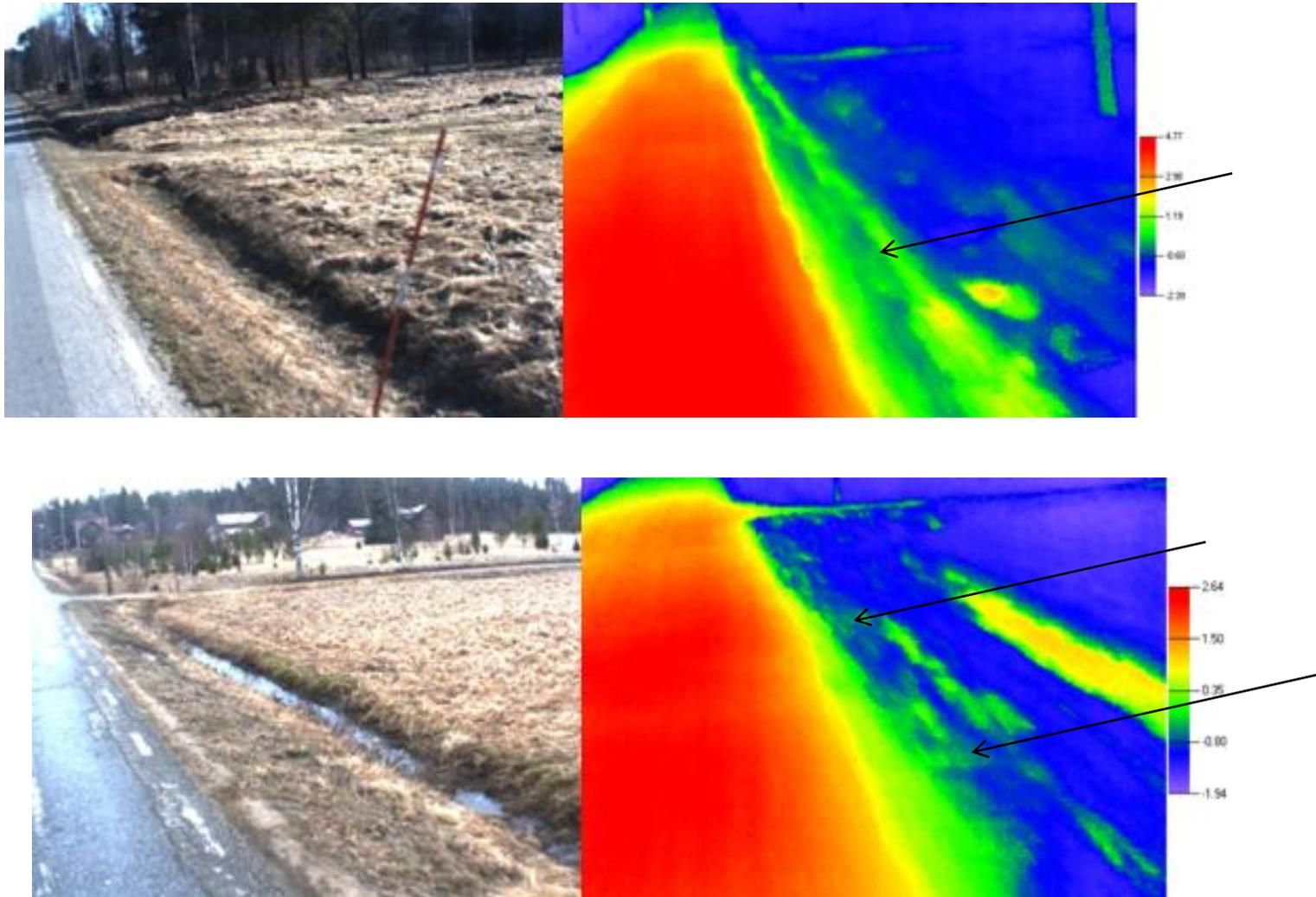


This Project is financed by EU



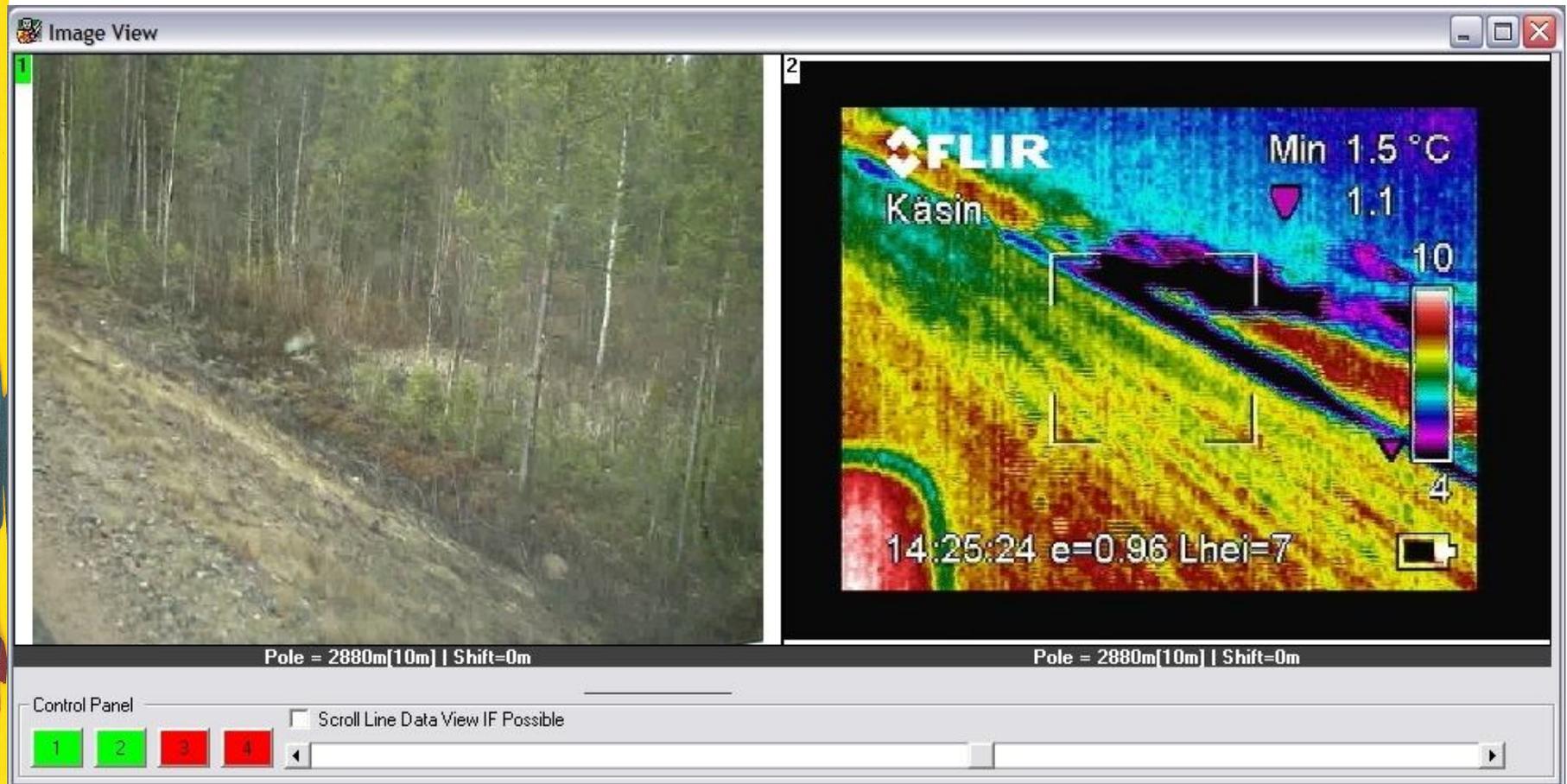
**ROADEX**  
Implementing Accessibility

# ТЕРМАЛЬНАЯ КАМЕРА - Степень 2 kolejности



This Project is financed by EU

# Термальная камера и водоотвод



This Project is financed by EU



**ROADEX**  
Implementing Accessibility

# Спасибо за внимание



This Project is financed by EU