

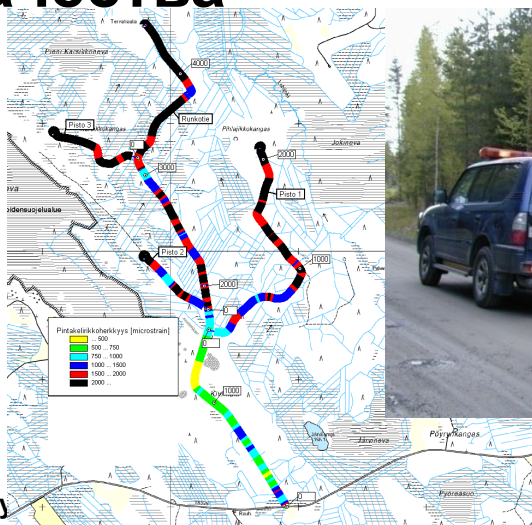
ТЕХНОЛОГИИ ОБСЛЕДОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ДОРОГ

Тимо Сааренкето, PhD
Управляющий директор
компания Roadscanners Oy



Процесс восстановления лесных дорог

1. Сбор и анализ данных
2. Диагностика проблемы
3. Планирование восстановления
4. Восстановительные работы
5. Контроль качества и гарантия качества



Данный проект частично финансиру



Технологии обследования

1. Сбор данных GPS + видеосъемка
2. Георадарные обследования (GPR)
3. Измерения прогиба с использованием дефлектометра падающего груза (FWD, российский аналог – УДН)
4. Отбор проб
5. Анализ состояния водоотвода, включая проверку функционирования водопропускных труб
6. Анализ лазерного сканирования (новое)



Данный проект частично финансируется ЕС

Георадарное оборудование (GPR)

- **Блок управления**

Контролирует выполнение различных функций, например, отсчет времени, усиление сигнала, фильтры и сохранение данных

- **Передающая и принимающая антенны**

Генерирует, передает и принимает сигналы

- **Оборудование для позиционирования**

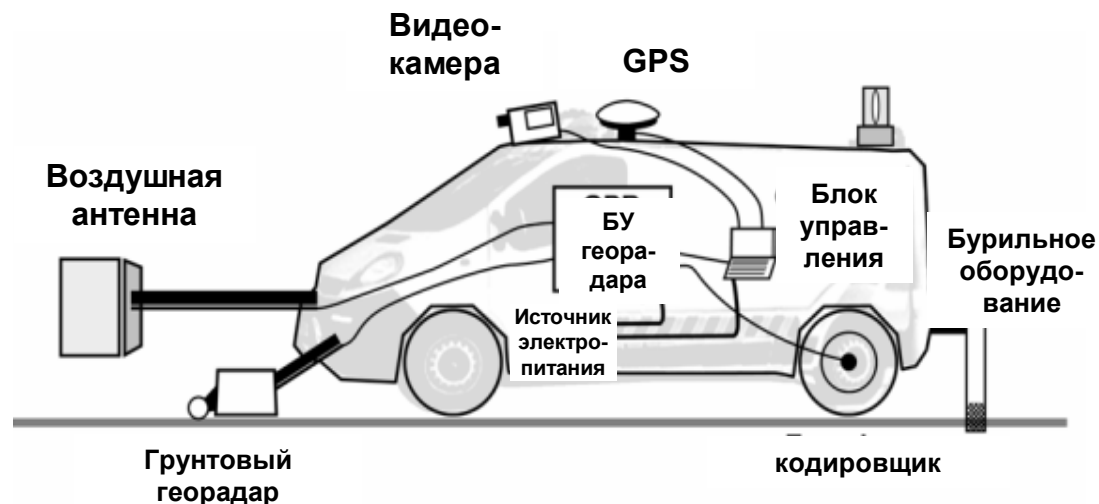
Измерения без указания точного местоположения бесполезны

- **Цифровое видео и др. перцепционное оборудование**

- **Транспортное средство**

оборудование для транспортировки георадара

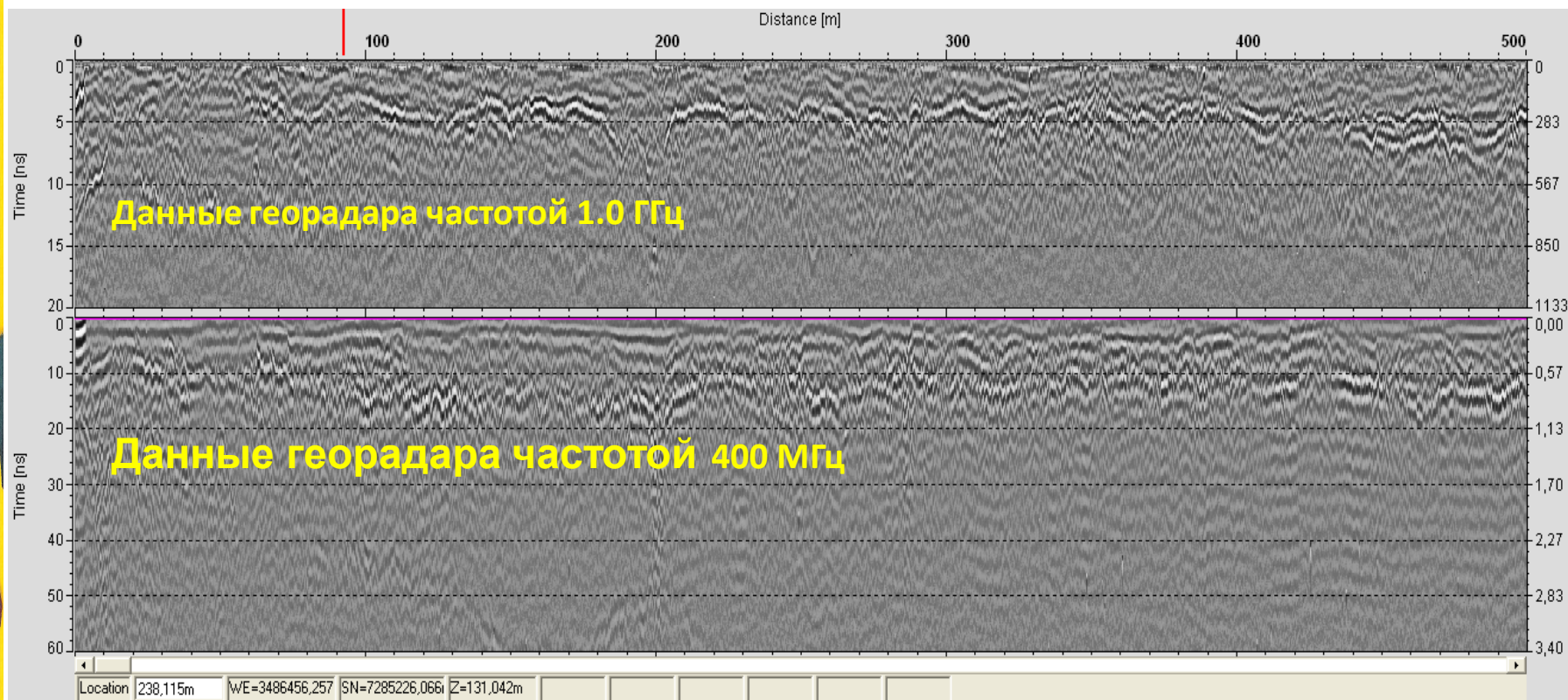
- **Оборудование и программное обеспечение для обработки и интерпретации полученных данных**



ROADEX
Implementing Accessibility

Данный проект частично финансируется ЕС

Данные георадара для лесной дороги

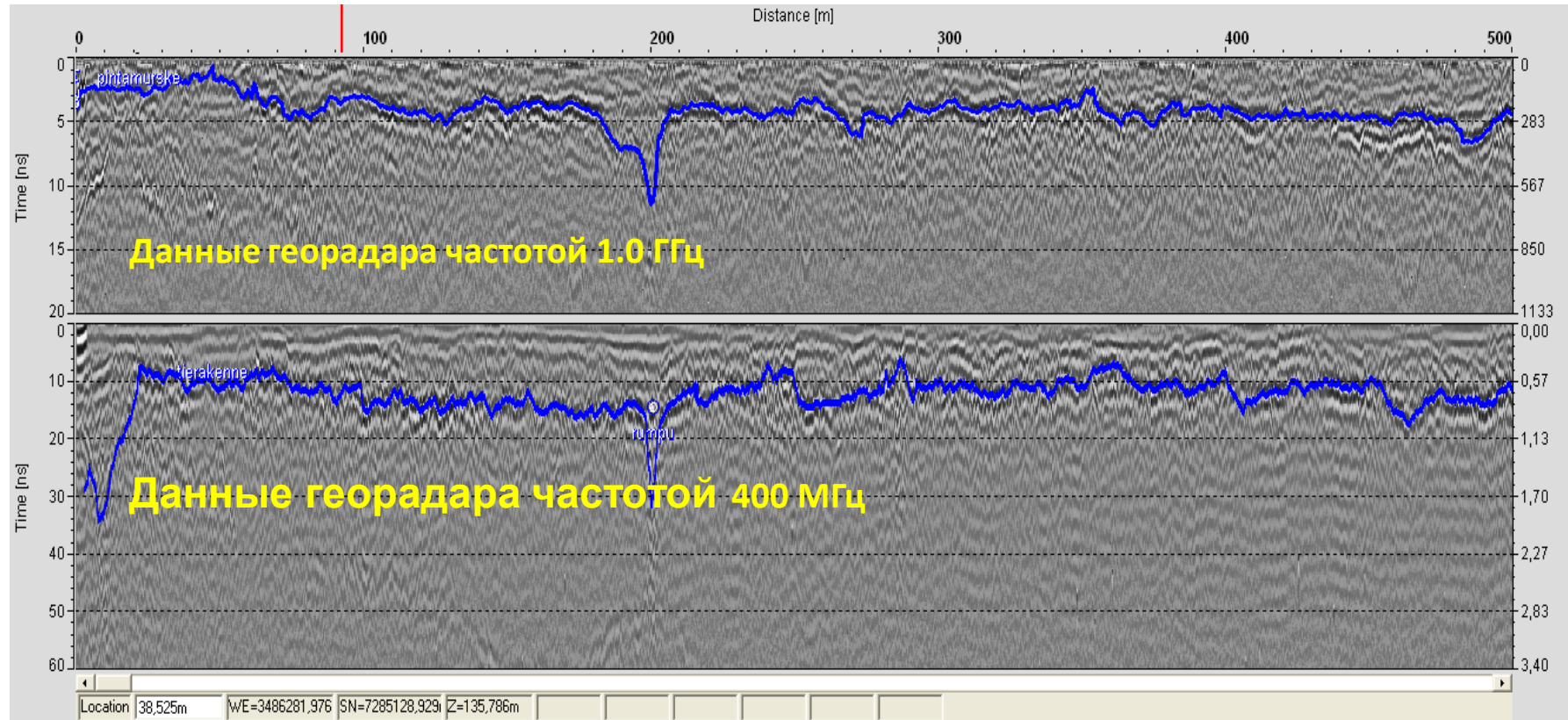


Данный проект частично финансируется ЕС



ROADEX
Implementing Accessibility

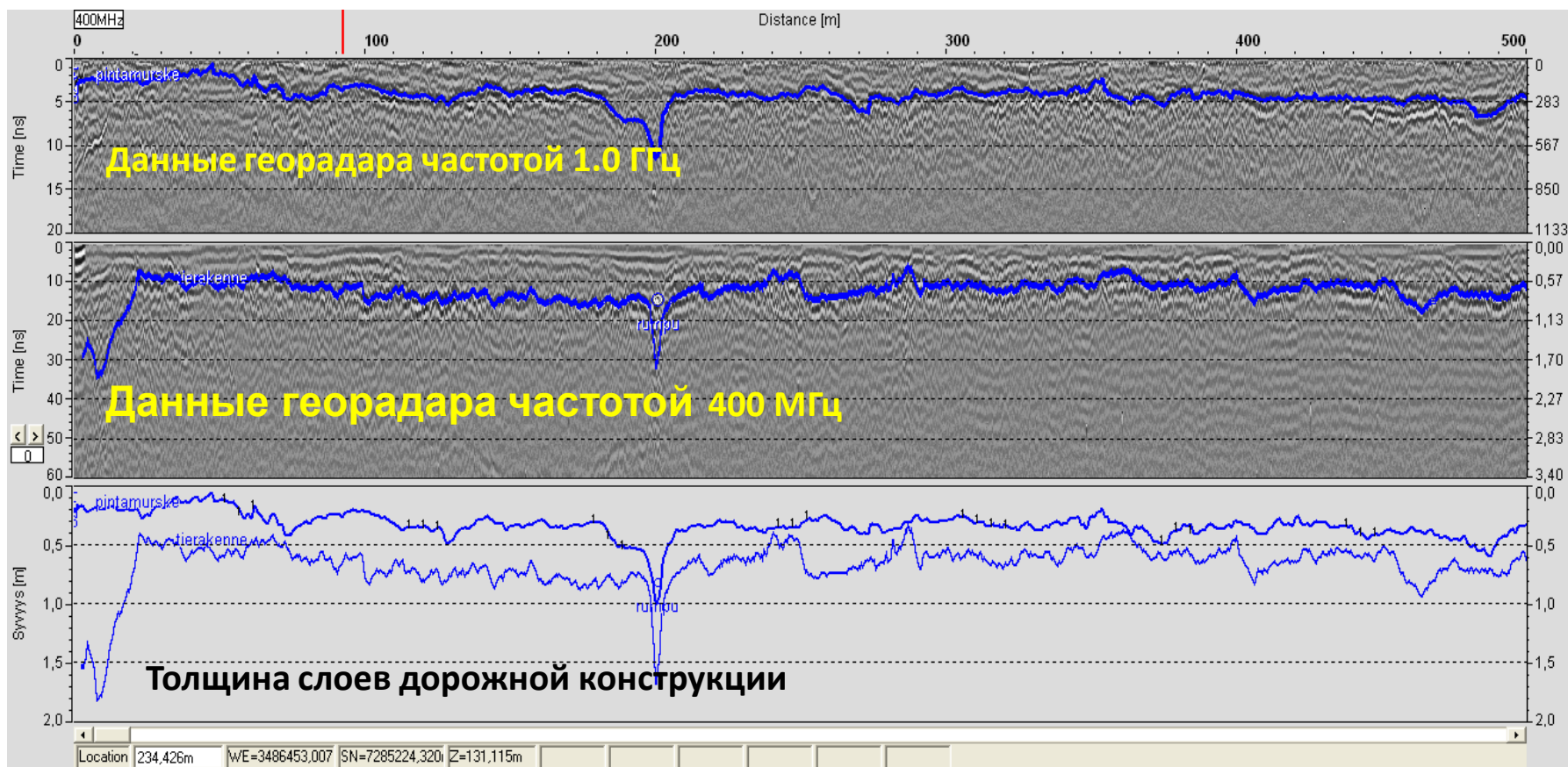
Интерпретация данных георадара для лесной дороги



Данный проект частично финансируется ЕС



Интерпретация данных георадара и определение толщины слоев дорожной конструкции лесной дороги



Данный проект частично финансируется ЕС

Интерпретация данных георадара и определение ровности лесной дороги (морозное пучение и осадка)



Толщина слоев дорожной конструкции

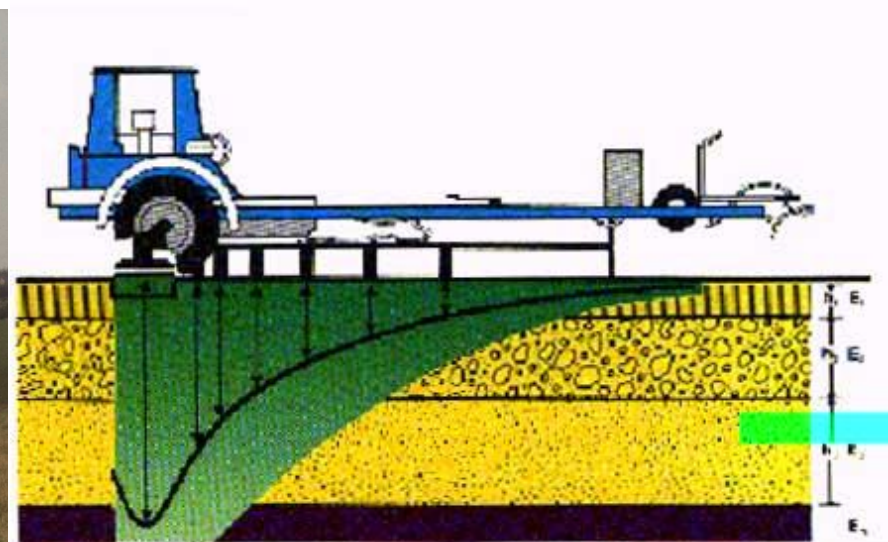
Ровность



Данный проект частично финансируется ЕС



Измерения несущей способности



Данный проект частично финансируется ЕС



Коэффициенты, определенные по результатам измерений FWD

Шведский Индекс несущей способности:

Напряжения в основании (подошве) дорожной конструкции

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

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

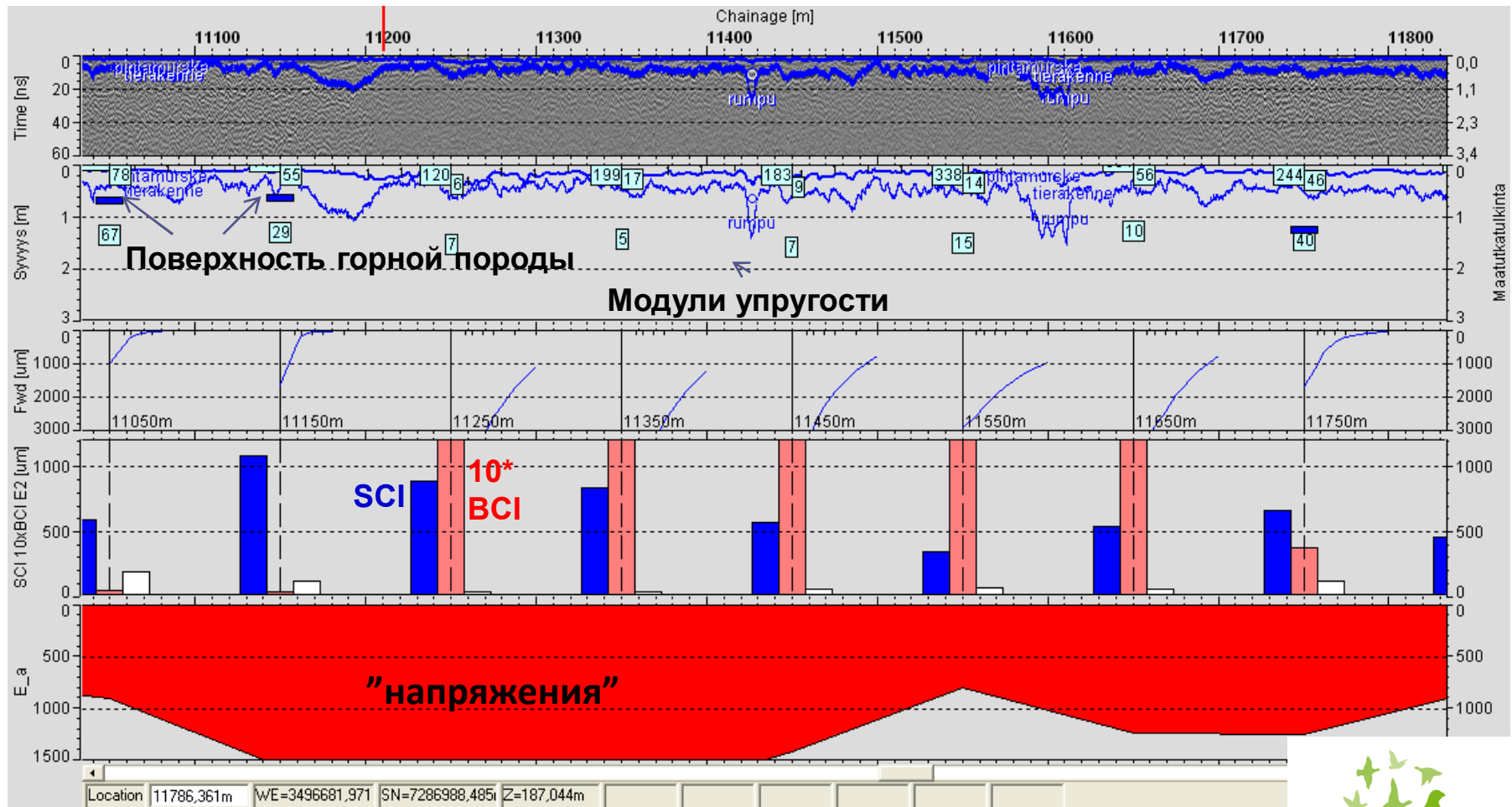
$$\bar{E}_{a,10} = \frac{\varepsilon_a T}{\left(\frac{T}{10}\right)^{3,08 * 10^{-8} * h^2 + D_0}}$$

Модуль упругости земляного полотна (МПа):

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



Данные георадара и FWD: модули упругости и индексы несущей способности



Данный проект частично финансируется ЕС



Анализ результатов FWD:

Расчет модулей упругости:

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

E2 = усредненный модуль упругости конструкции (Mn/m²)

(симуляция результатов штамповых испытаний (plate bearing test))

Проблемы:

- Наличие горной породы увеличивает модули упругости независимо от конструкции
- Температурная корректировка не выполняется
- может манипулироваться с использованием коэффициента поперечной деформации Пуассона

2. Обратный расчет модулей упругости слоев дорожной конструкции:

- Модули упругости различных слоев (МПа) и модуль упругости земляного полотна (= измеренное/2)
- обычно теория линейной эластичности (Одемарк, FEM)
- Глубина залегания горной породы

Проблемы:

- Необходимы данные о толщине слоев дорожной одежды (георадар)
- Необходимо отдельное программное обеспечение
- Для дорог с твердым покрытием необходима температурная корректировка
- Нелинейность модулей упругости земляного полотна

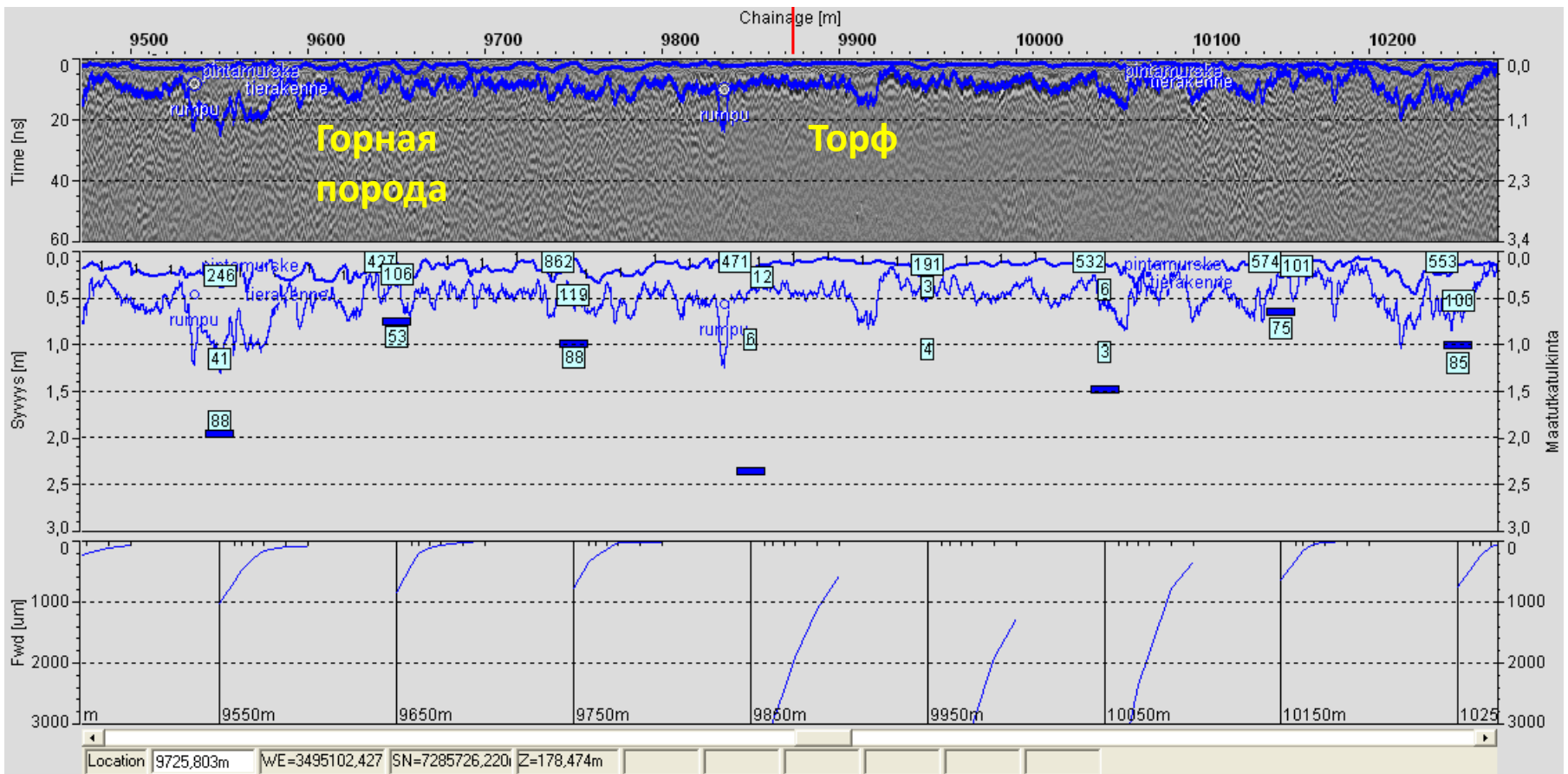


Данный проект частично финансируется ЕС



ROADEX
Implementing Accessibility

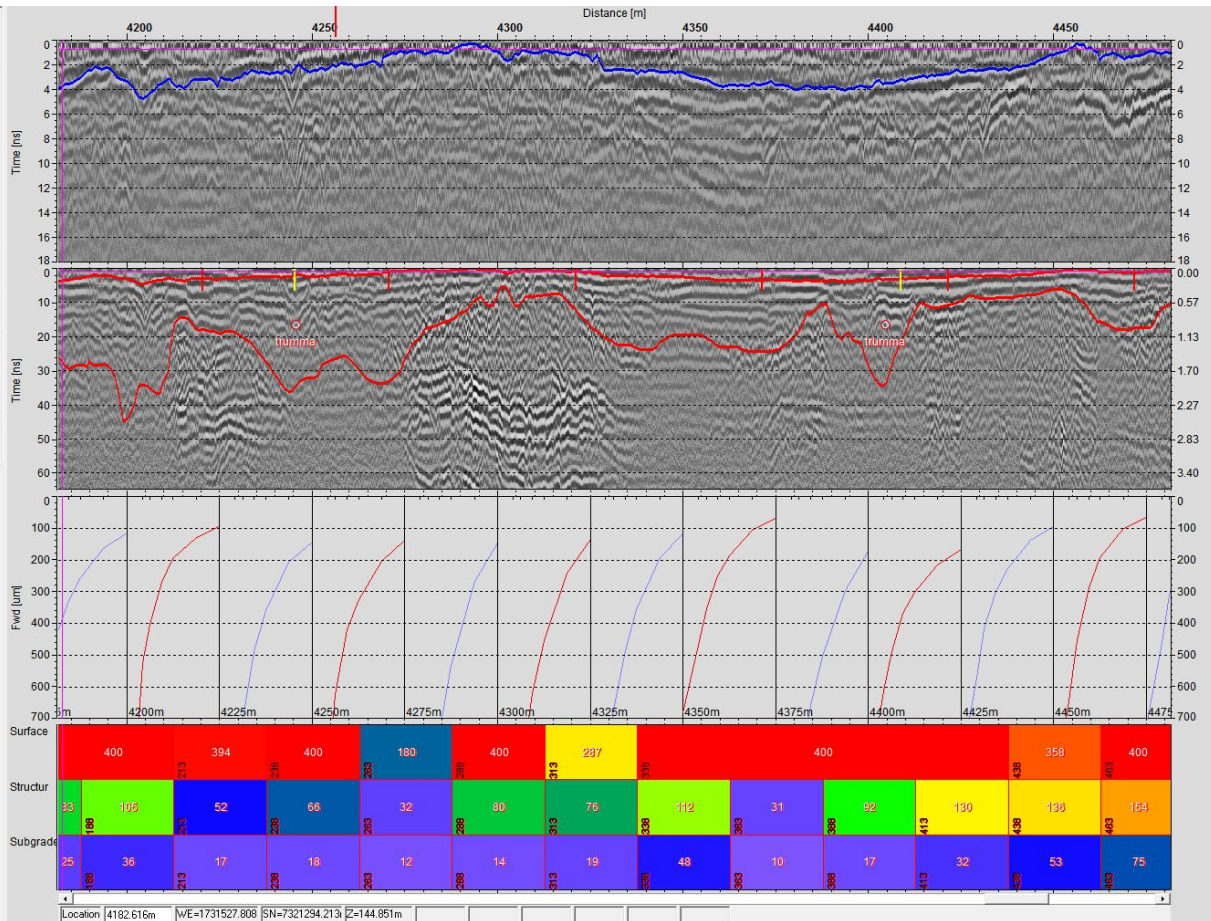
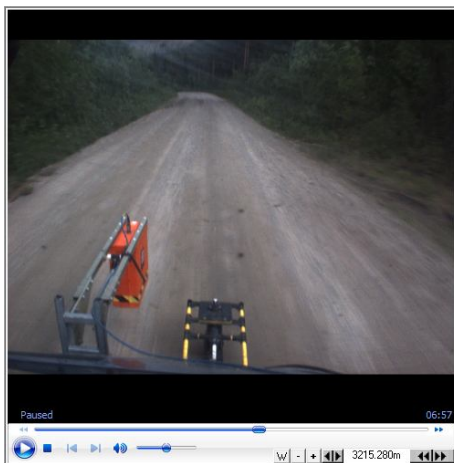
Данные георадара и FWD : определение размерных показателей:



Данный проект частично финансируется ЕС

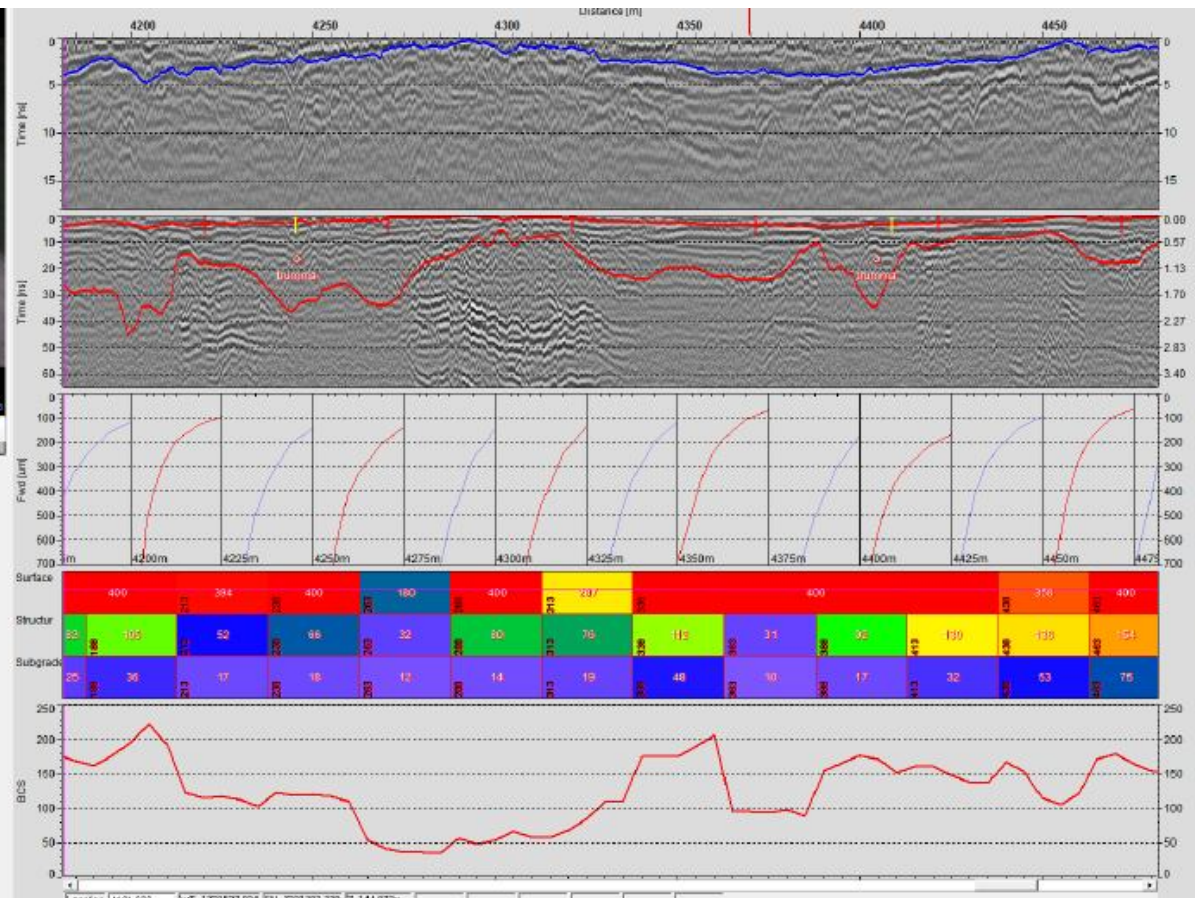
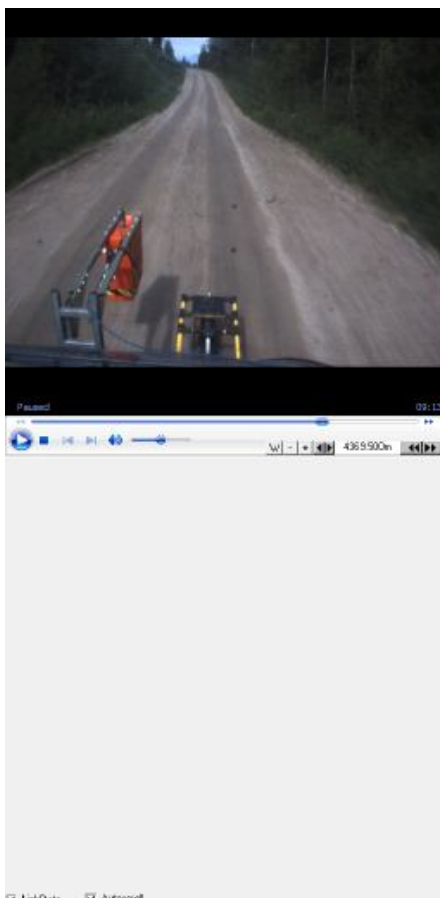


Проектирование – расчет модулей упругости дорожной одежды и грунтов земляного полотна



Данный проект частично финансируется ЕС

Первоначальные расчеты несущей способности

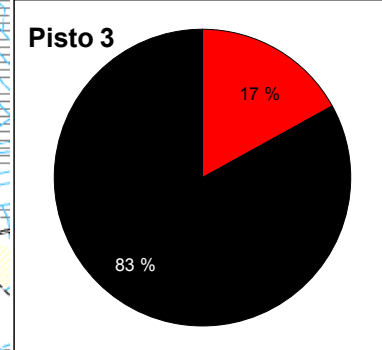
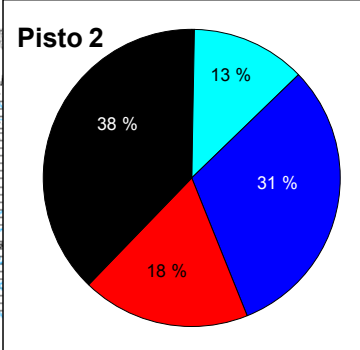
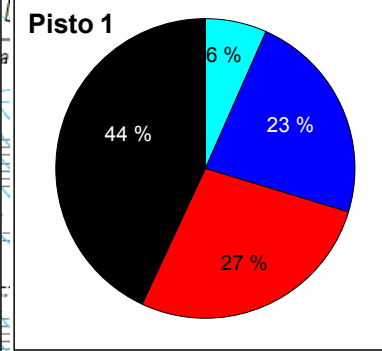
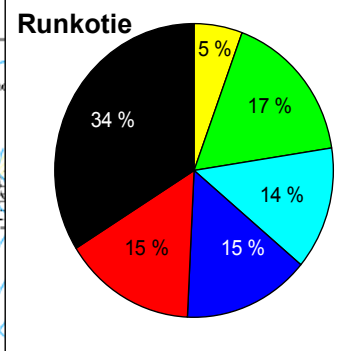
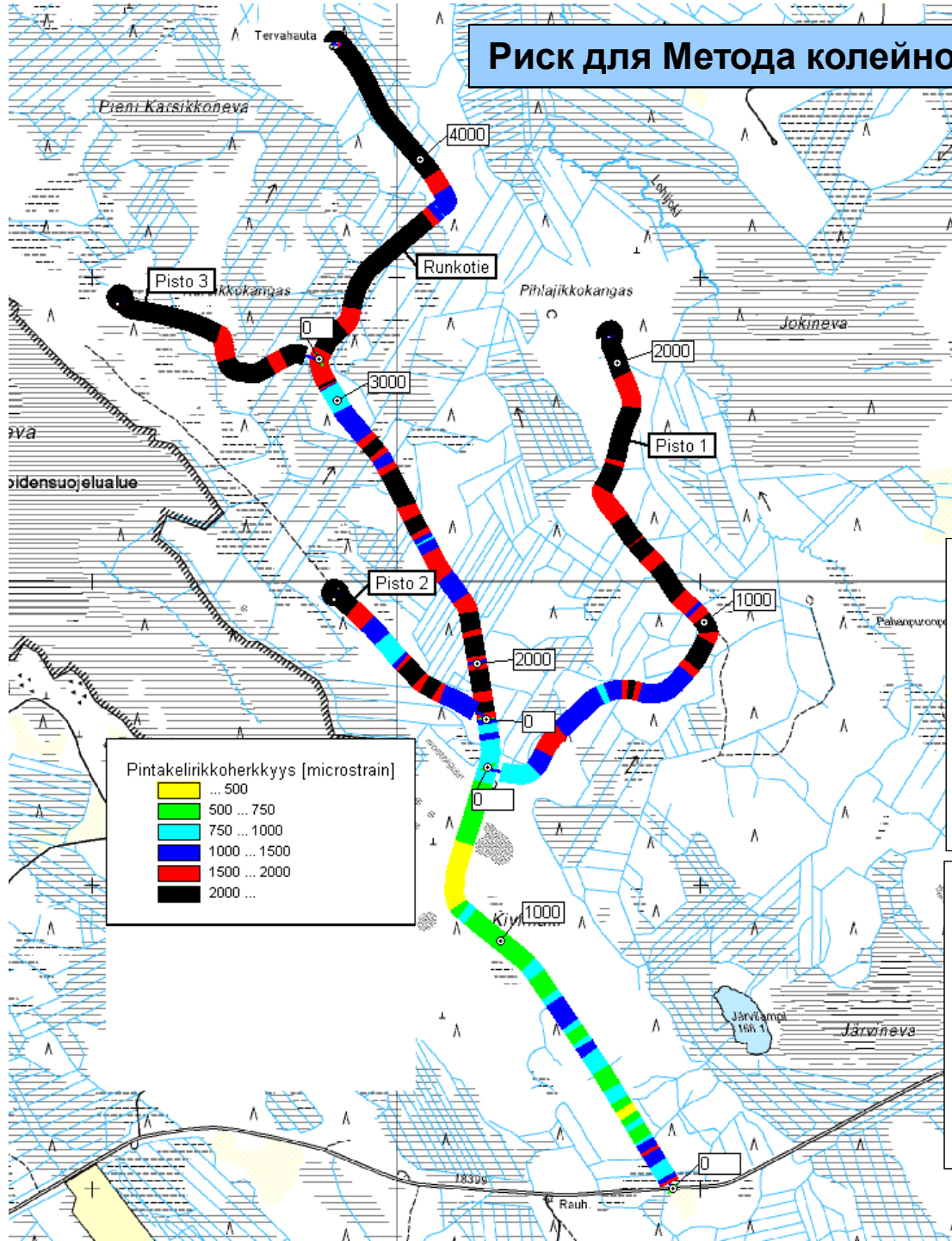
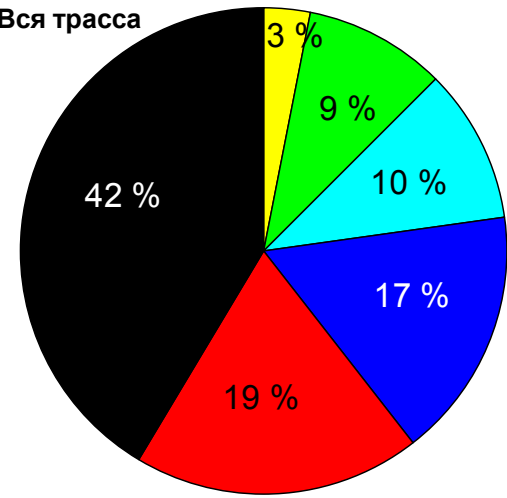


Данный проект частично финансируется ЕС



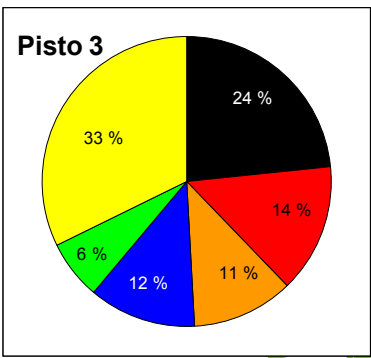
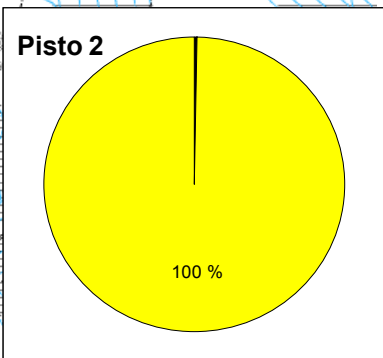
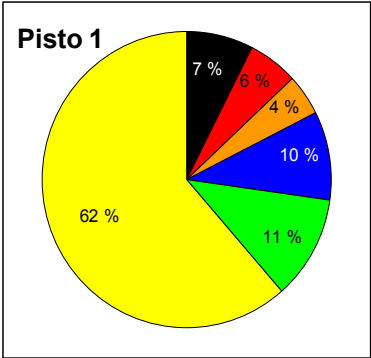
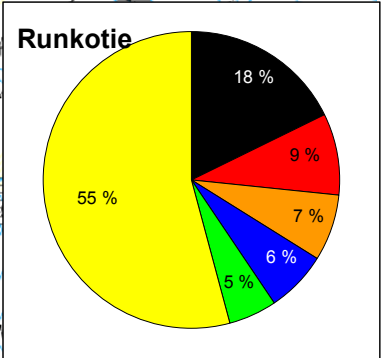
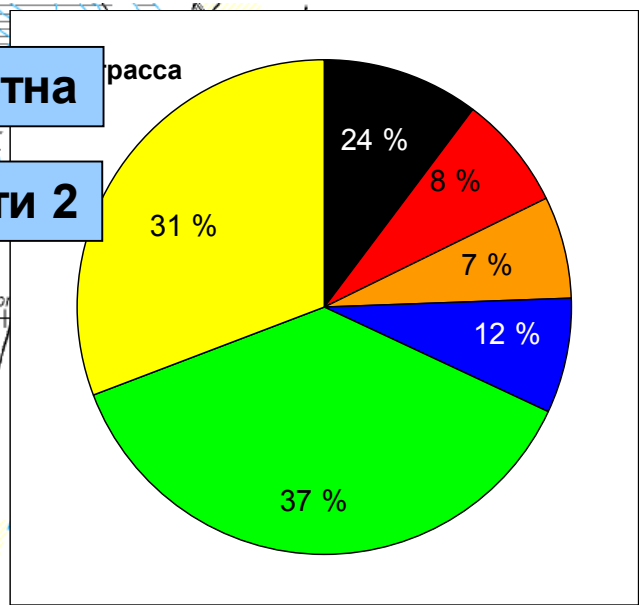
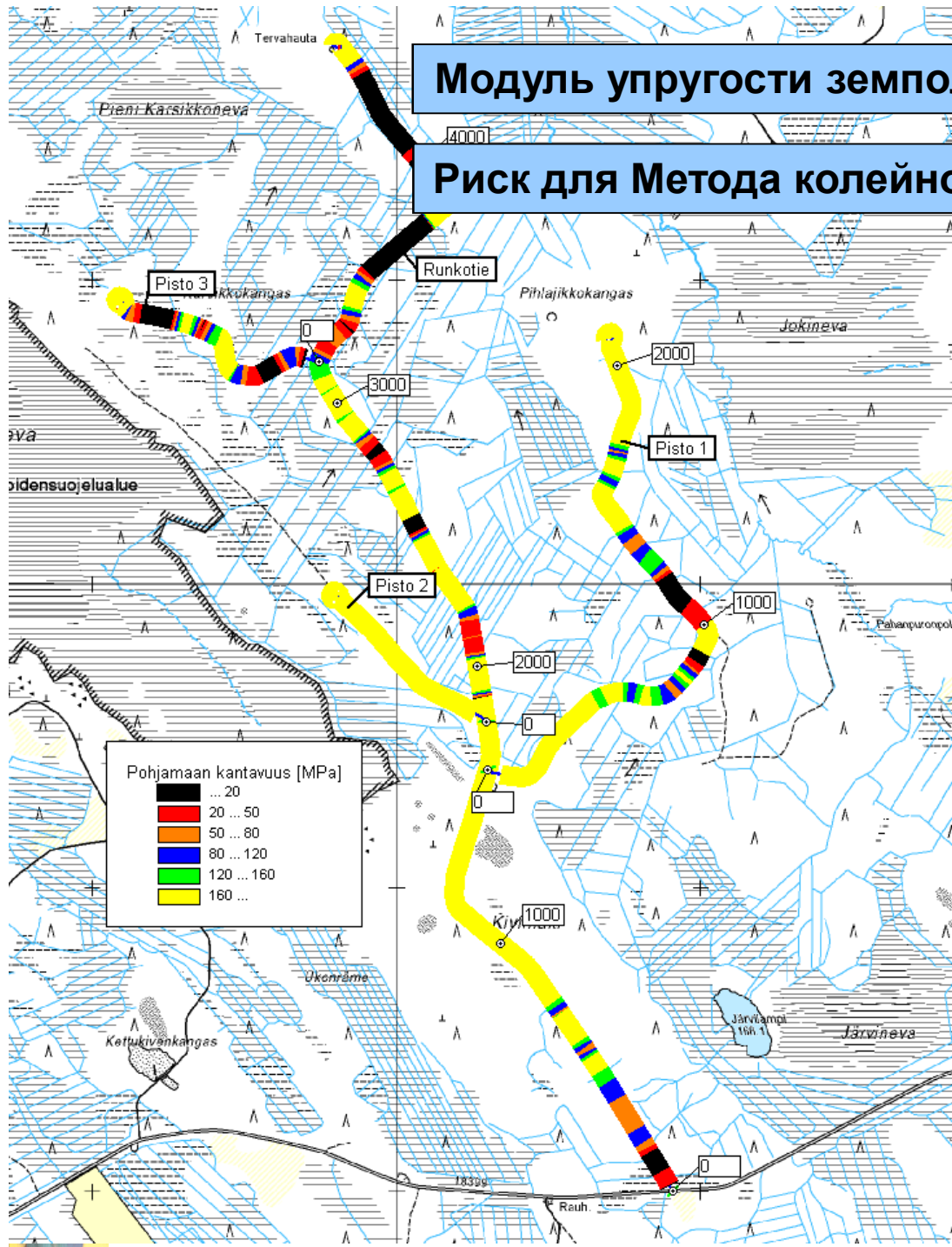
Риск для Метода колеиности 1

Вся трасса



Модуль упругости земполотна

Риск для Метода колеиности 2

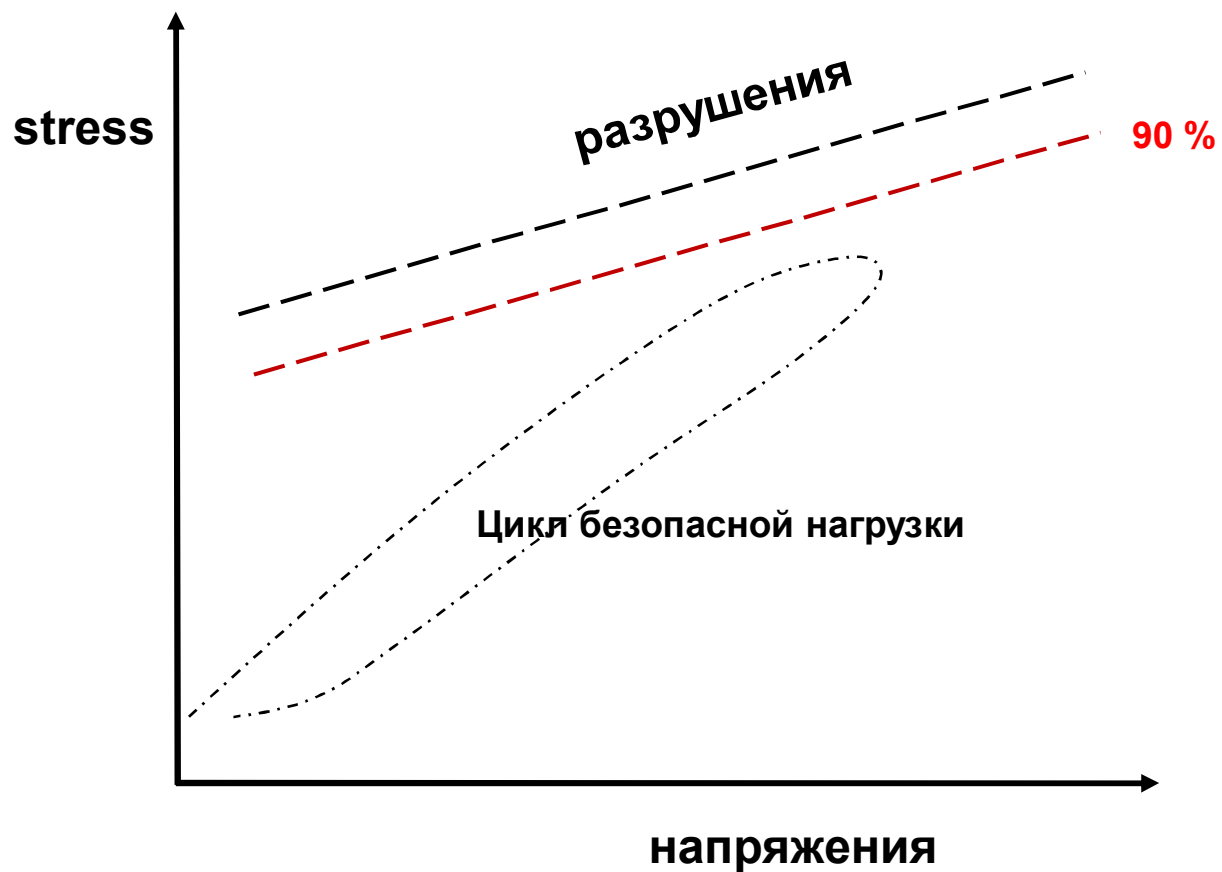


Альтернативные варианты измерения

1. Измерения несущей способности
 - Общие правила, основанные на степенях колейности
 - Расчет уровень напряжений-деформации (демоверсия ROADEX)
 - Метод проектирования ROADEX против Метода колейности 1
 - Метод ROADEX Одемарка
 - Таблицы
2. Измерения величины морозного пучения
 - Метод, основанный на сегрегационном потенциале
3. Измерения для слабых грунтов
 - Геотехническое программное обеспечение
 - Определение величин на основе опыта



Принципы определения величин ROADEX против метода остаточных деформаций

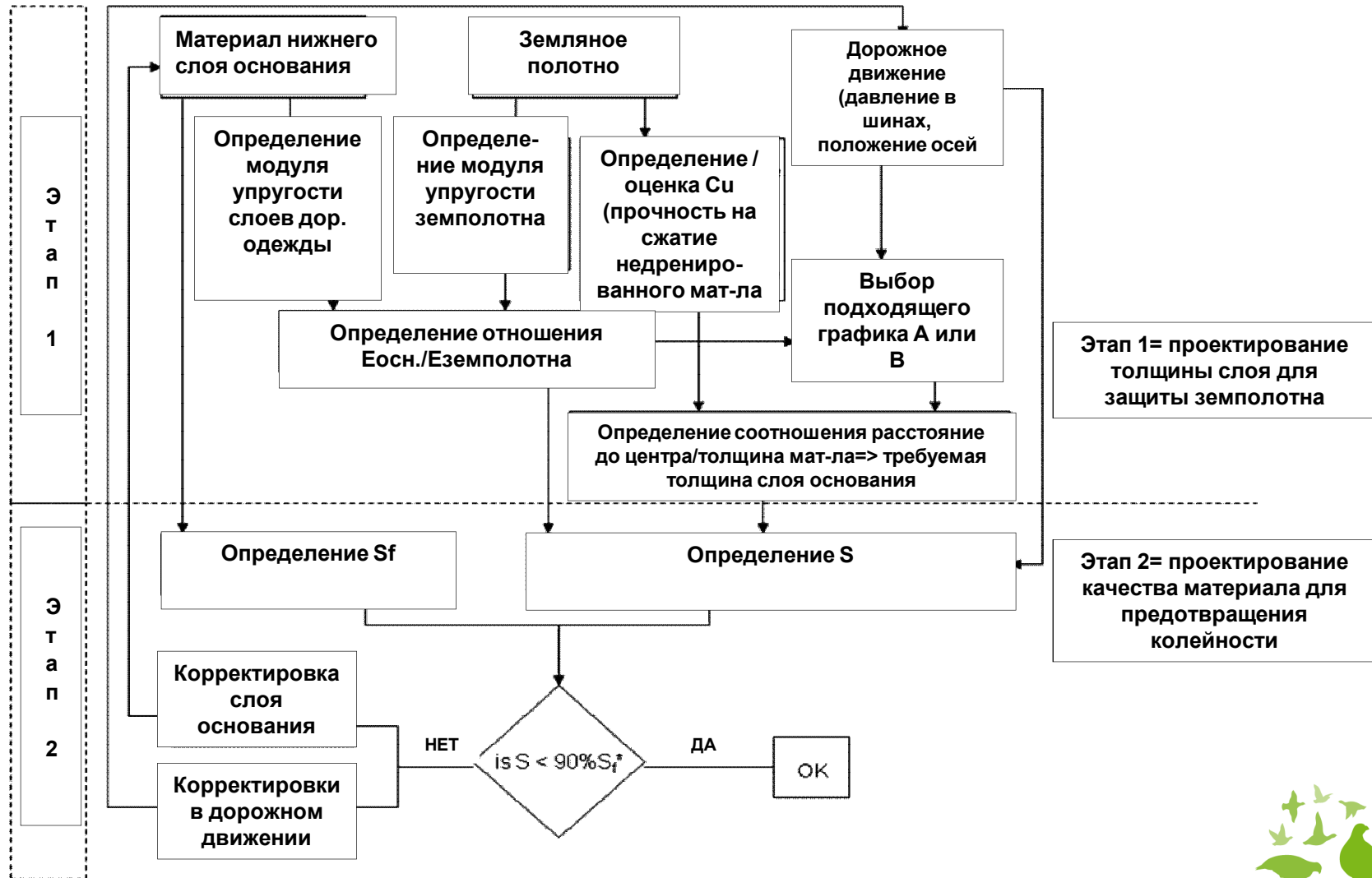


Данный проект частично финансируется ЕС



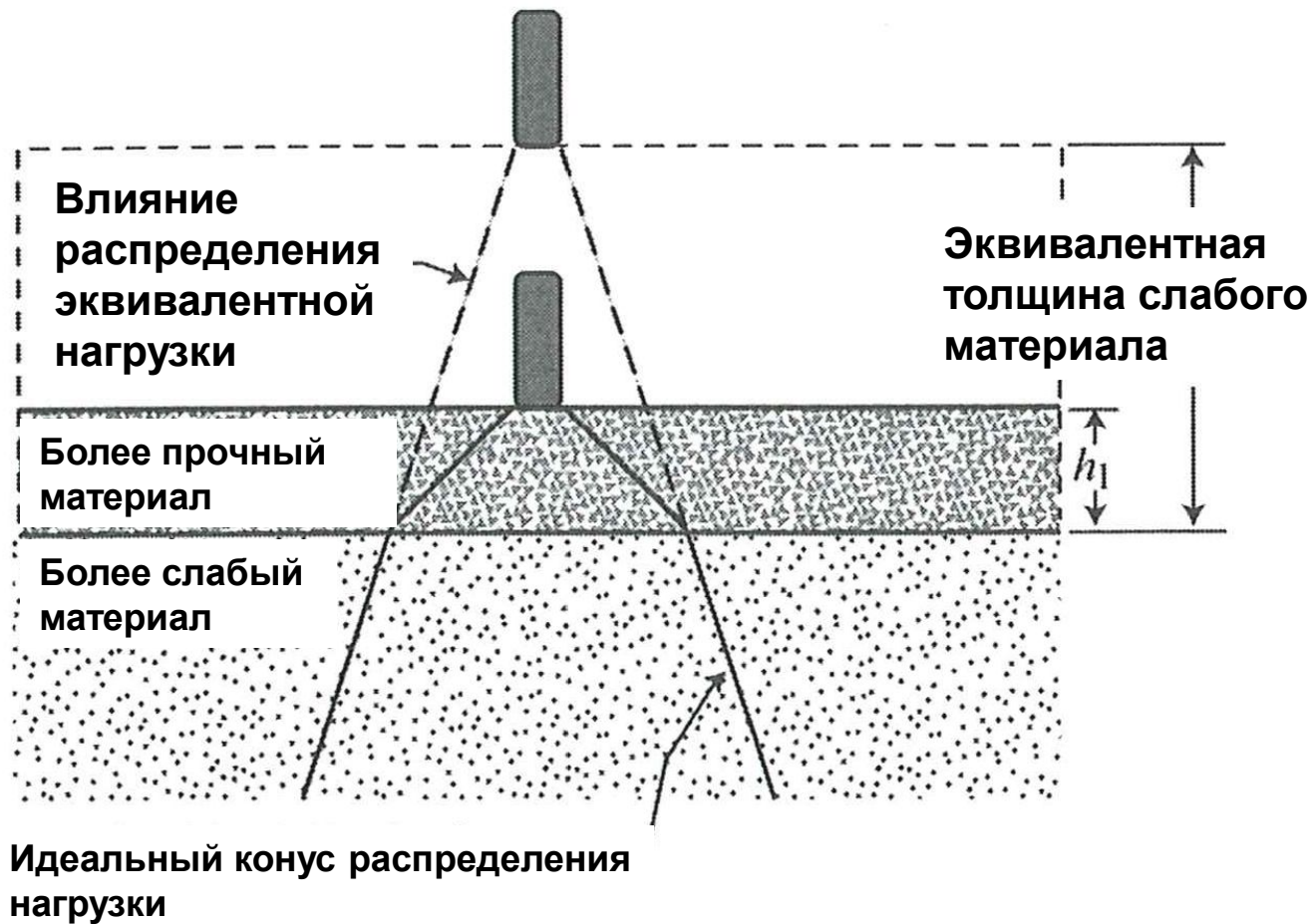
ROADEX
Implementing Accessibility

Метод проектирования ROADEX против Метода колейности 1 (Ноттингхэм, ТТУ)



Данный проект частично финансируется ЕС

Принцип Одемарка для дорог с низкой интенсивностью движения



Принцип Одемарка для дорог с низкой интенсивностью движения

Формула Одемарка:

где

E_p = несущая способность на поверхности измеряемого слоя [МПа]

E_A = несущая способность под измеряемым слоем [МПа]

E = модуль упругости измеряемого слоя [МПа]

h = толщина измеряемого слоя [м]

$$E_p = \frac{E_A}{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 \times \left(\frac{h}{0,15}\right)^2}}\right) \frac{E_A}{E} + \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 \times \left(\frac{h}{0,15}\right)^2 \left(\frac{E}{E_A}\right)^{\frac{2}{3}}}}}$$

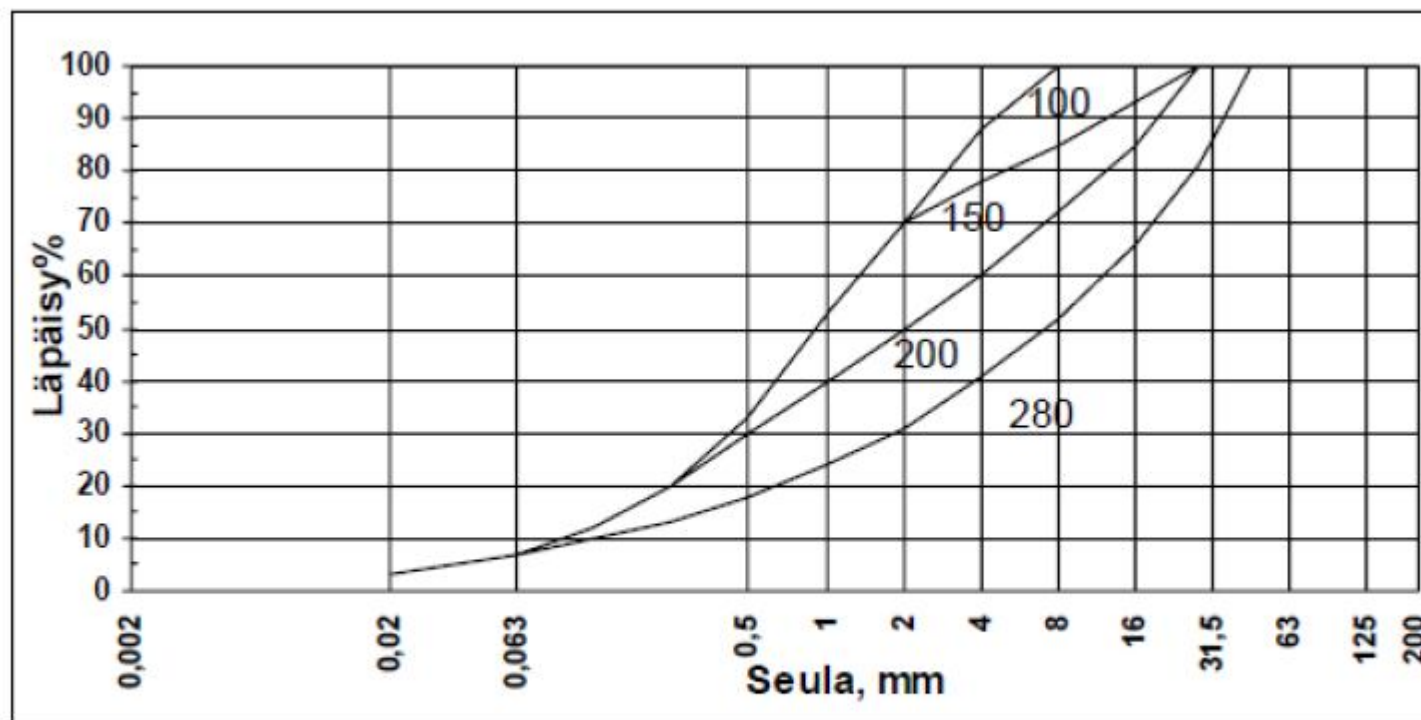


Данный проект частично финансируется ЕС



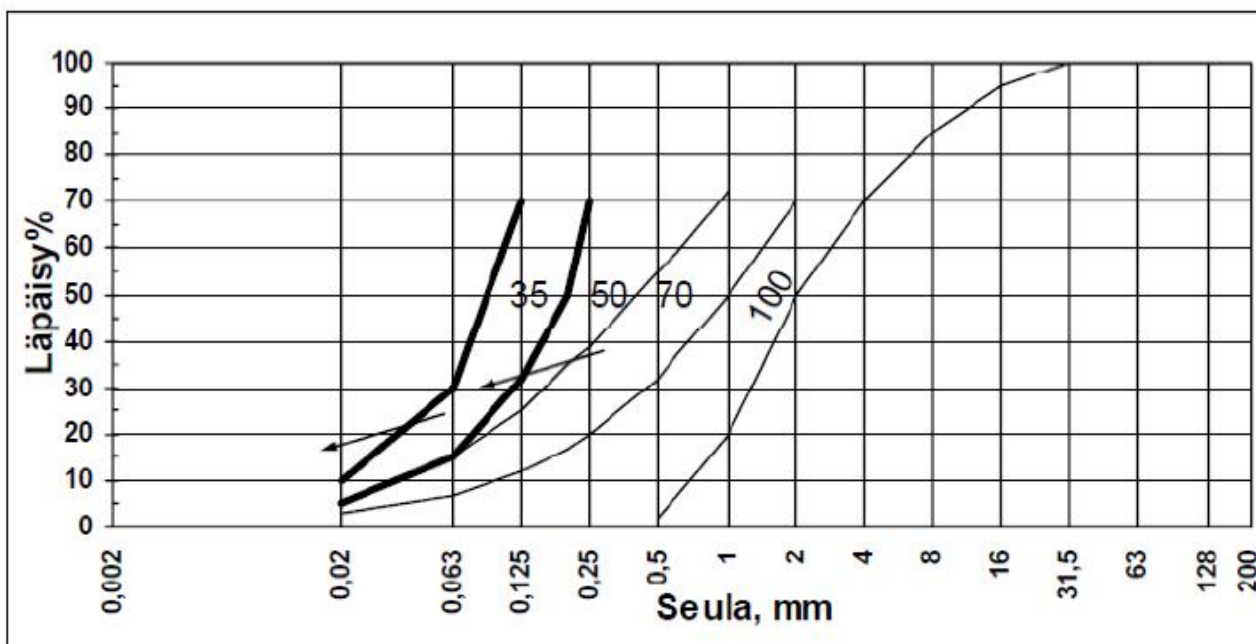
ROADEX
Implementing Accessibility

Определение модулей дробленых материалов



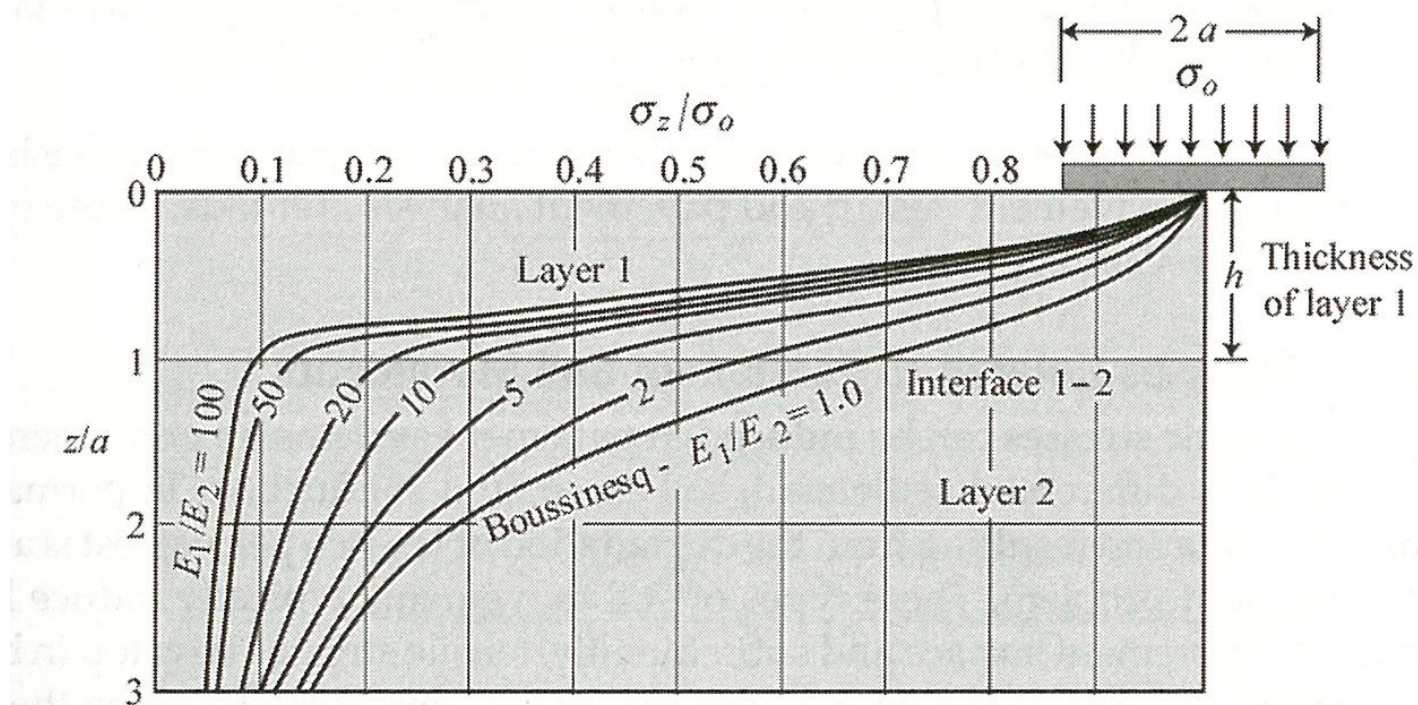
Kuva 2.17. Tierakenteen mitoituksessa käytettävien murskattujen kiviainesten mitoitusjäykkyydet (Tiehallinto, 2005).

Определение модулей слоев фильтрующих материалов

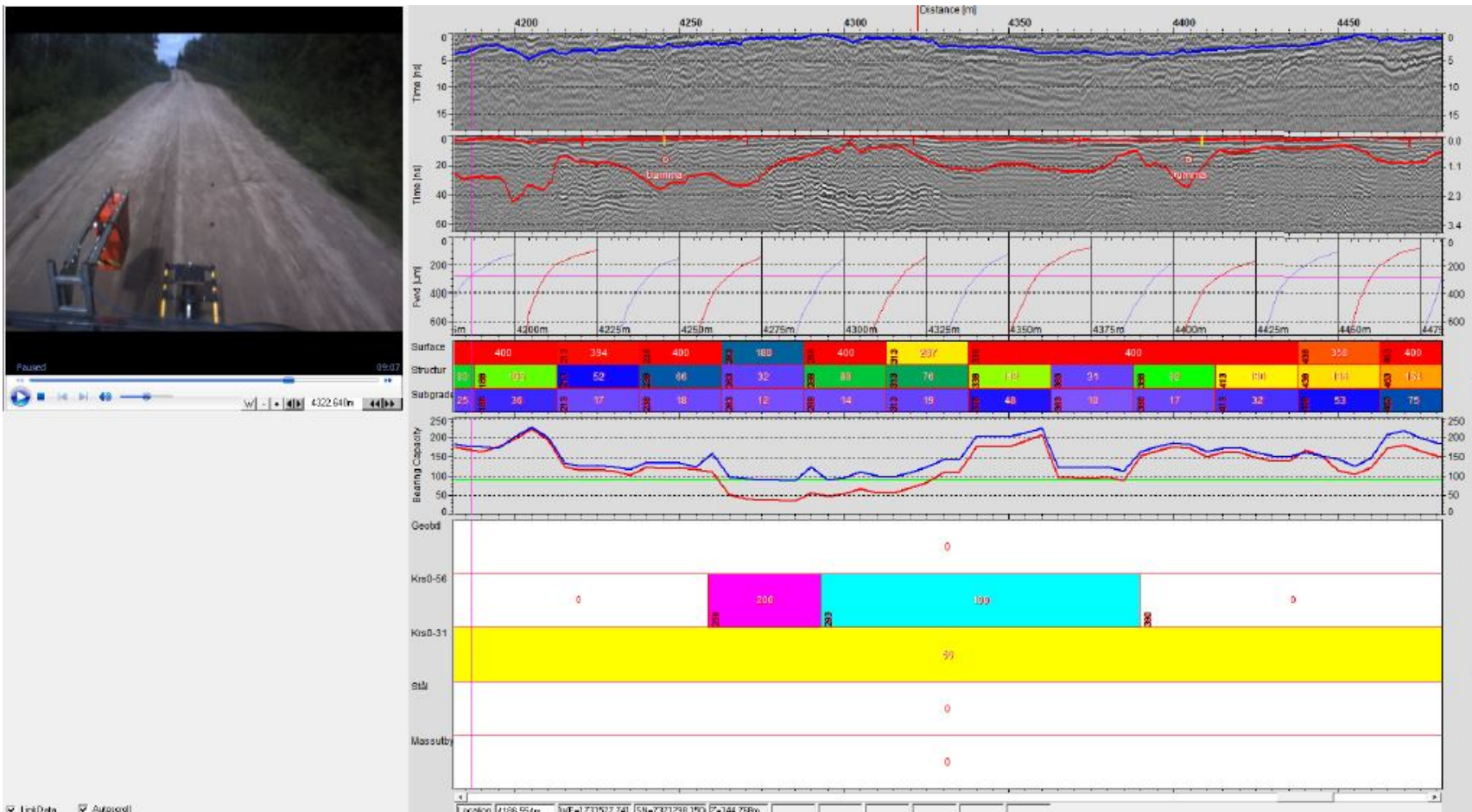


Kuva 2.16. Tierakenteen mitoituksessa käytettävien suodatinhiekköjen mitoitusjäykkyudet (Tiehallinto, 2005).

Определение – Помните о соотношении модулей!



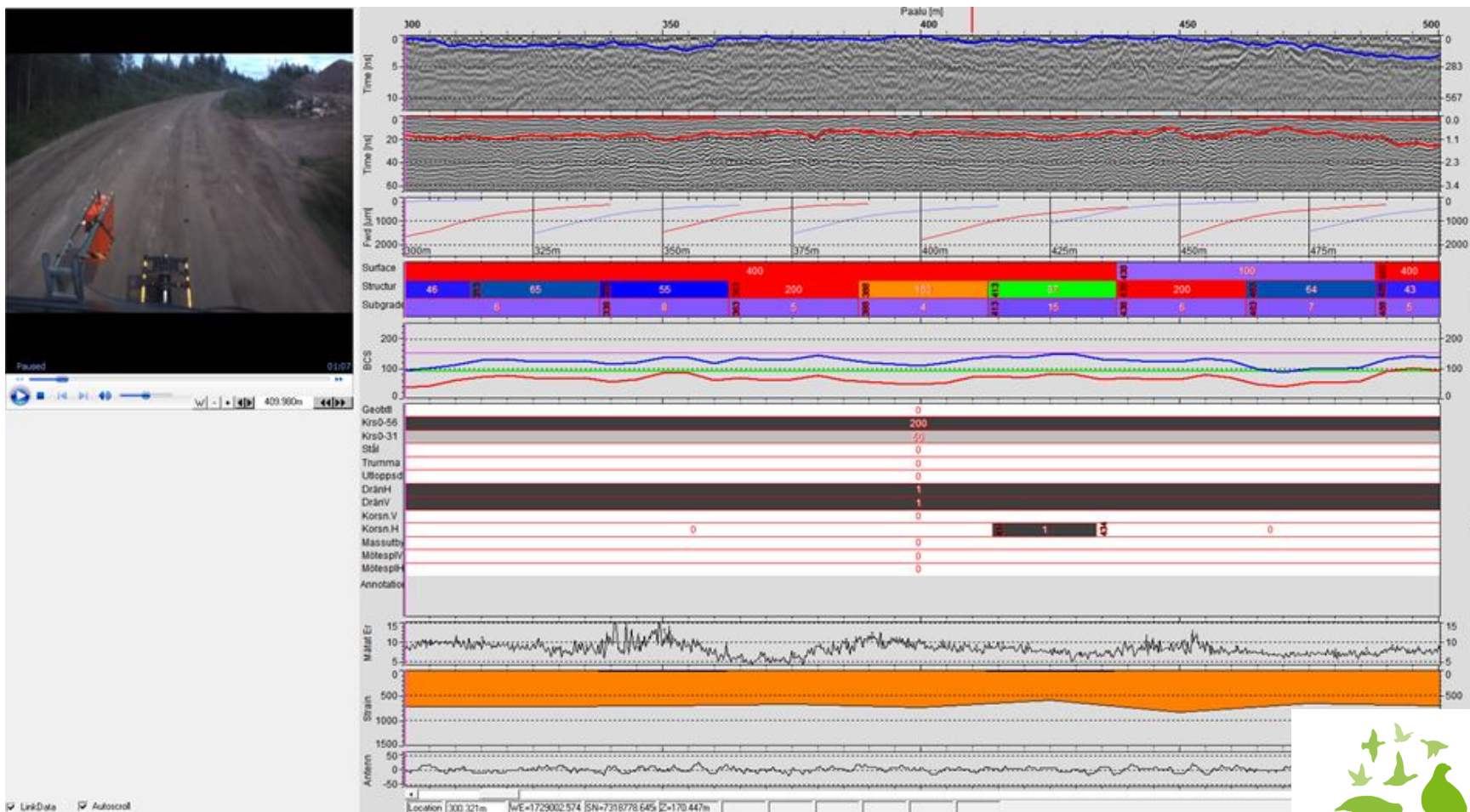
Расчет несущей способности и сравнение полученных данных с целевыми показателями



Данный проект частично финансируется ЕС

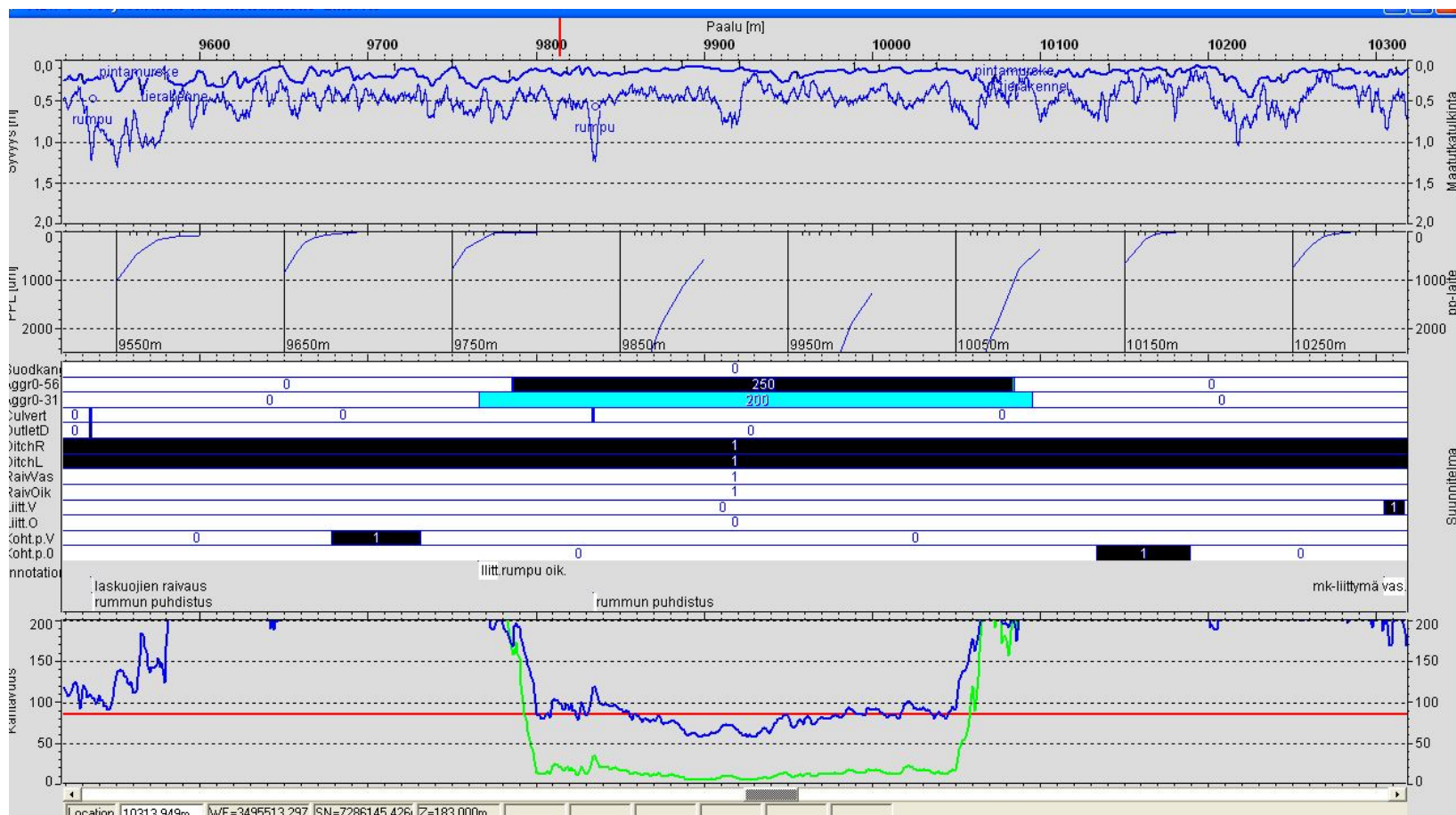
Проверка окончательных результатов проектирования

- Не забудьте проверить риски для методов 1 и 2, колейность, водоотвод, водопропускные трубы, осадку, повреждения в результате морозного пучения



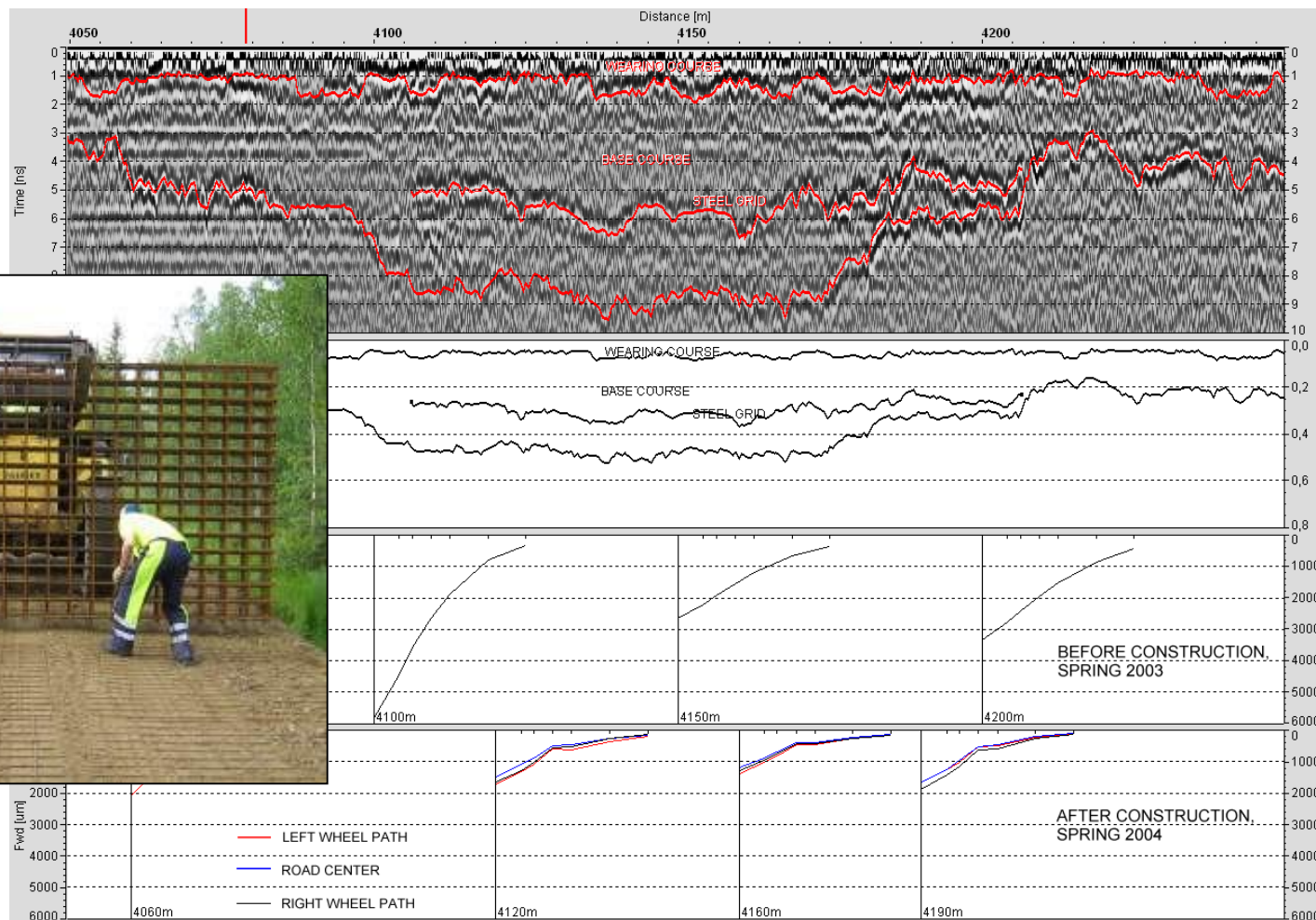
Данный проект частично финансируется ЕС

Определение размеров участков с залеганием торфа



Данный проект частично финансируется ЕС

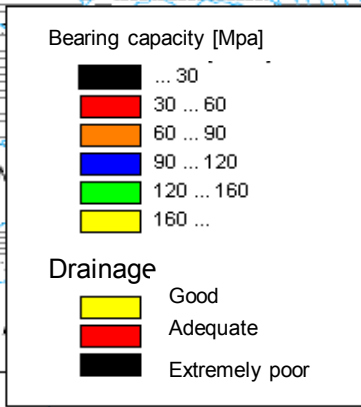
Армирование сетками на участках с залеганием торфа



Данный проект частично финансируется ЕС

Анализ состояния водоотвода

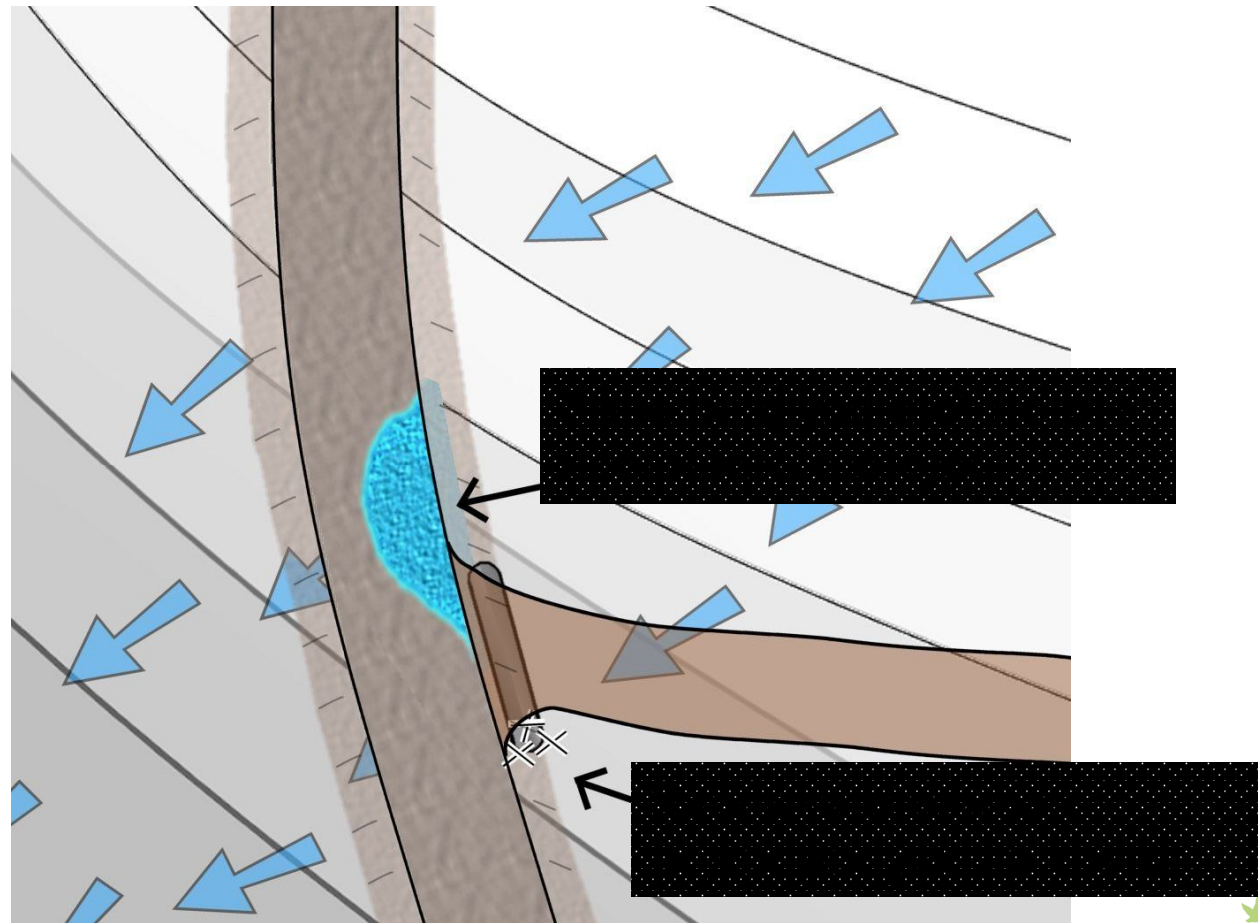
Кокко-Кела: Водоотвод и несущая способность



Данный проект частично фин



Проверьте функционирование систем водоотвода в зонах примыкания (на съездах)



Данный проект частично финансируется ЕС

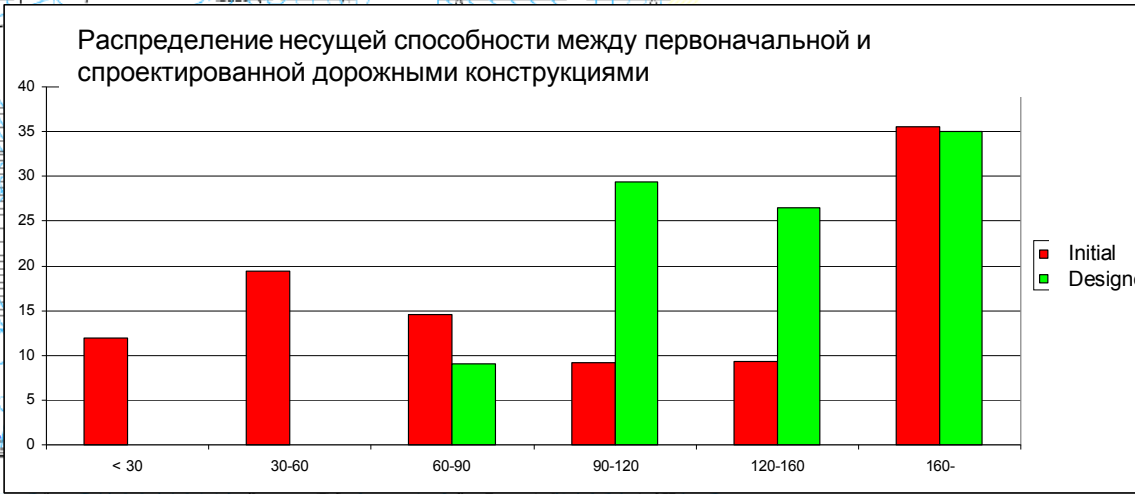
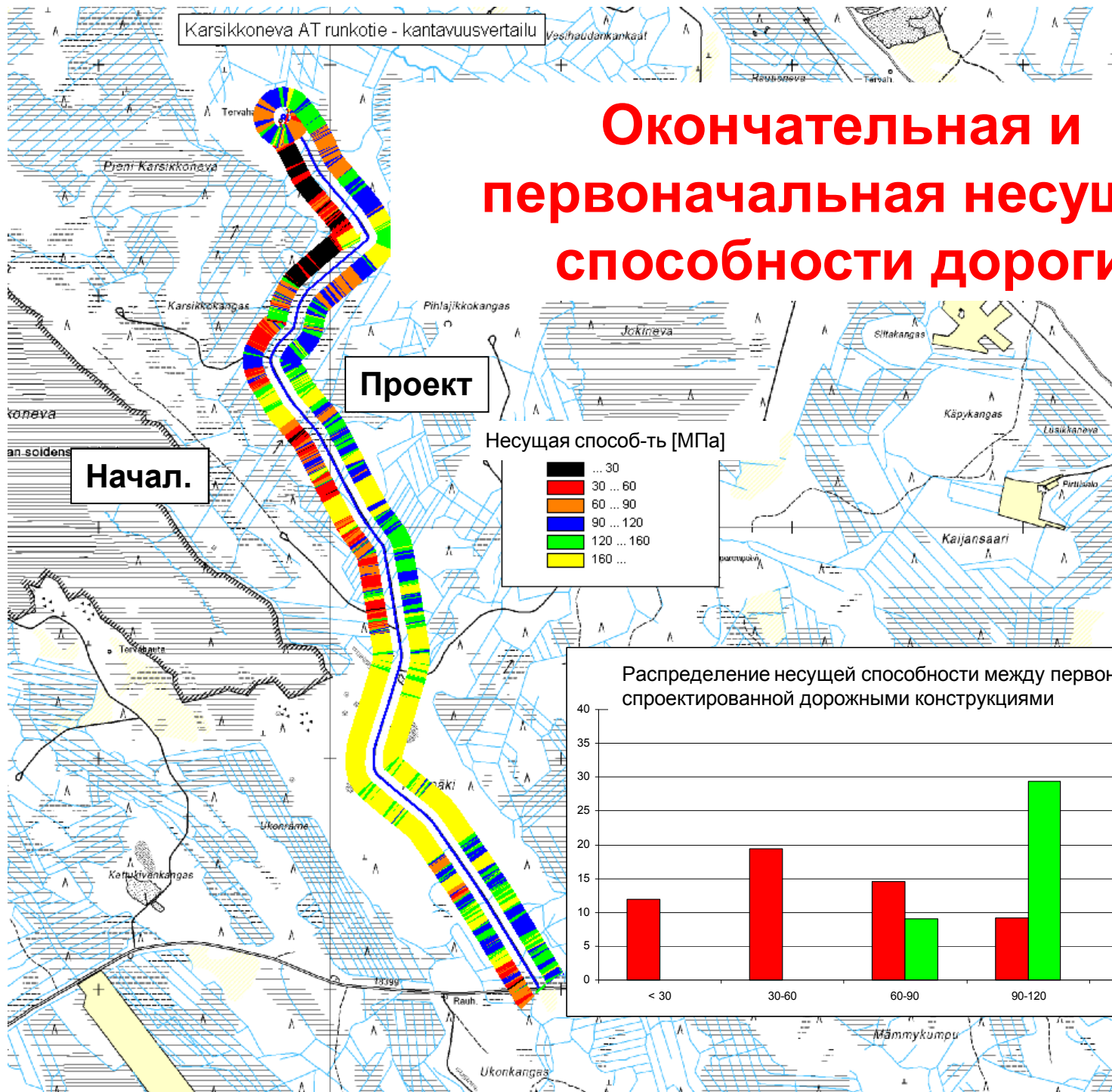
Проверьте поперечный уклон



Данный проект частично финансируется ЕС

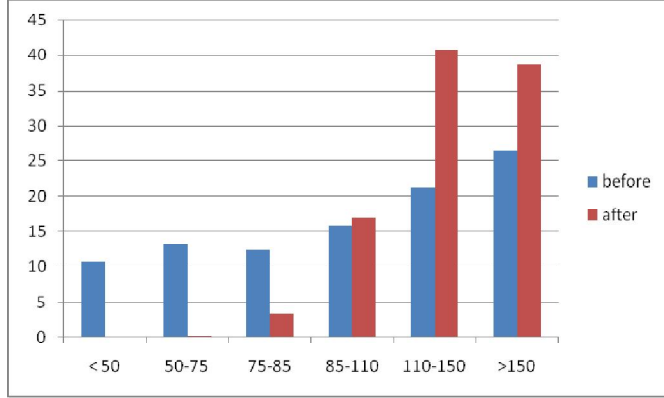
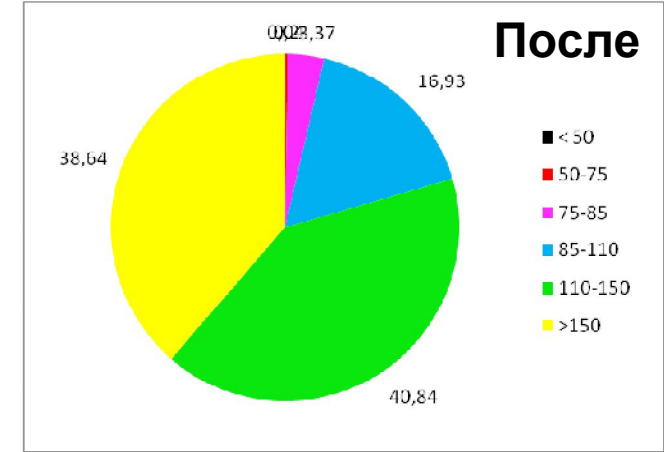
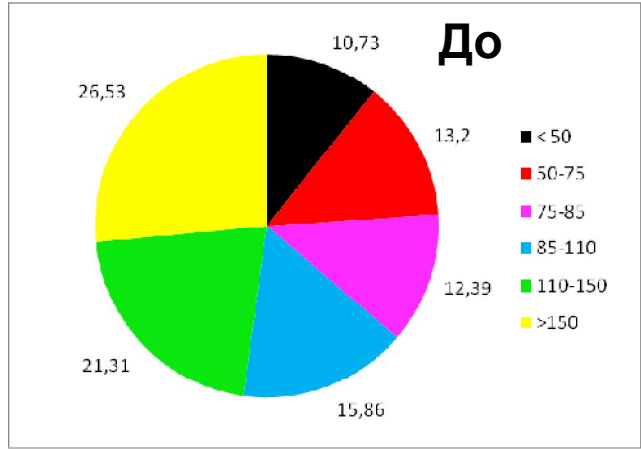
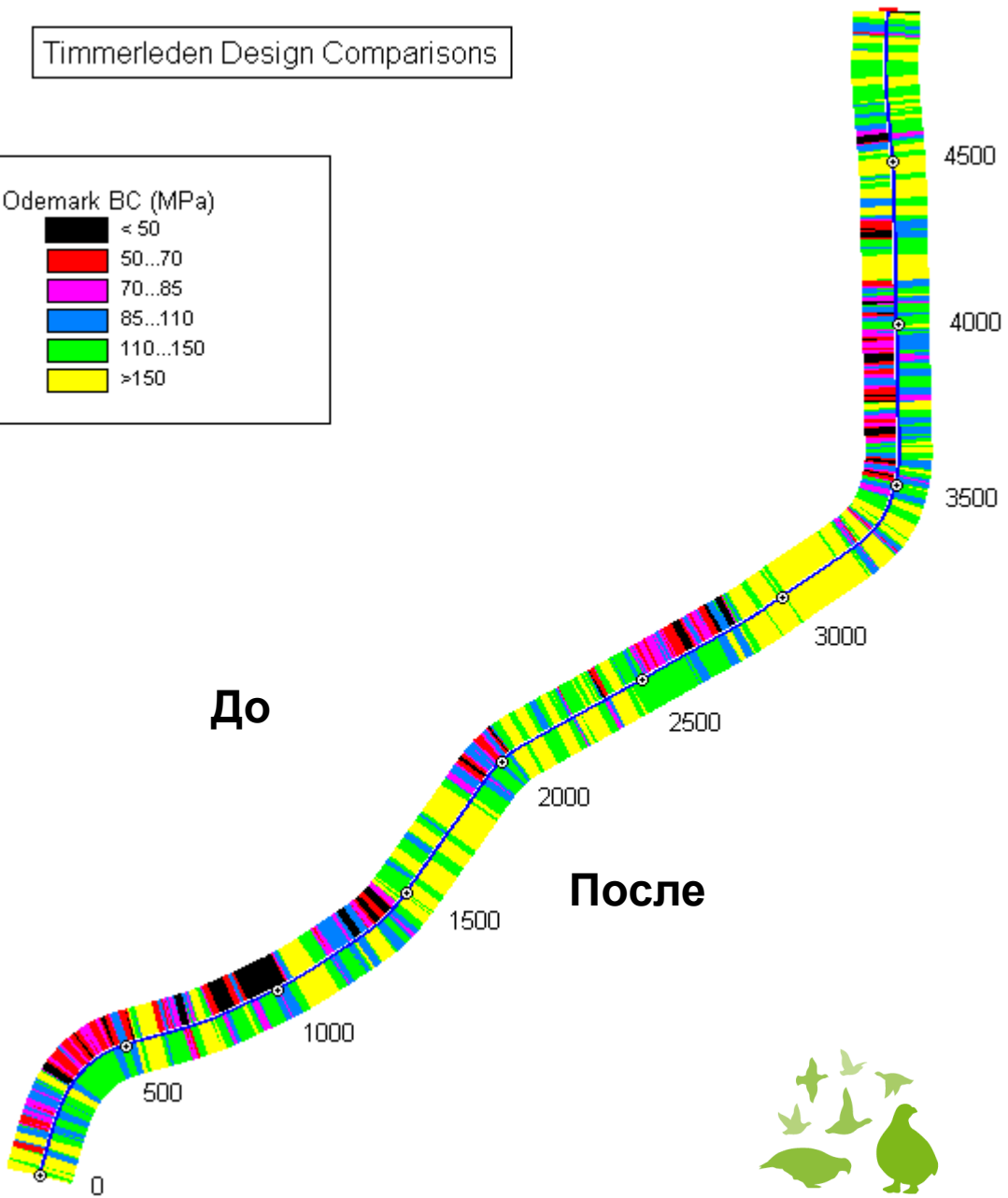
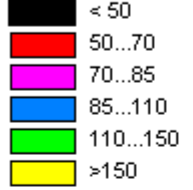
Karsikkoneva AT runkotie - kantavuusvertailu

Окончательная и первоначальная несущие способности дороги



Timmerleden Design Comparisons

Odemark BC (MPa)



Данный проект частично финансируется ЕС



Сравнение проектных предложений 0 – 1000 м

Величины слоев дорожной конструкции, предлагаемые для лесной дороги, ширина 4.5м, протяженность 5 км, толщина в мм

COMPANY	Road sections																			
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
Swedish Forest Agency																				
Слой износа	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Верхний слой основания	100	100	100	100	100	100	250	250	250	100	100	100	100	100	100	100	250	250	250	250
Нижний слой основания																				
Левый кювет																				
Правый кювет																				
Swedish Cellulosa AB, SCA																				
Слой износа	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Верхний слой основания	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	200	200	200	200
Нижний слой основания																				
Левый кювет																				
Правый кювет																				
Svea Forest (Sveaskog)																				
Слой износа	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Верхний слой основания	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Нижний слой основания	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Левый кювет																				
Правый кювет																				
Roadscanners																				
Слой износа	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Верхний слой основания	100	100	100	100	100	100	200	200	200	200	200	100	100	100	200	250	250	250	250	250
Нижний слой основания																				
Левый кювет																				
Правый кювет																				



Данный проект частично финансируется ЕС





Сравнение проектных предложений 1000 – 2000 m

Величины слоев дорожной конструкции, предлагаемые для лесной дороги, ширина 4.5м, протяженность 5 км, толщина в мм

COMPANY 1050 1100 1150 1200 1250 1300 1350 1400 1450 1500 1550 1600 1650 1700 1750 1800 1850 1900 1950 2000

Swedish Forest Agency

Слой износа	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Верхний слой основания	100	100	100	100	250	250	250	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	250
Нижний слой основания																				
Левый кювет																				
Правый кювет																				

Swedish Cellulosa AB, SCA

Слой износа	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Верхний слой основания	200	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Нижний слой основания																				
Левый кювет																				
Правый кювет																				

Svea Forest (Sveaskog)

Слой износа	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Верхний слой основания	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Нижний слой основания	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Левый кювет																				
Правый кювет																				

Roadscanners

Слой износа	150	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Верхний слой основания	250				200	200	200	200	200	100								100	100	100
Нижний слой основания																				
Левый кювет							10	10												
Правый кювет																				

Данный проект частично финансируется ЕС



Сравнение проектных предложений – применение дорожно-строительных материалов

Сравнение предложений по восстановлению для дороги Timmerleden , ширина 5 м, включая обочины					
Компания	Слой износа , м3	Верх. слой основания, м3	Ниж. слой основания, м3	Всего объем, м3	Устройство канав, м
Шведское агентство по лесному хозяйству	1750	3469	0	5219	0
Swedish Cellulosa AB, SCA	1750	3335	0	5085	60
Svea Forest (Sveaskog)	1500	1500	3750	6750	0
Roadscanners	1242	2234	0	3476	10000



Данный проект частично финансируется ЕС





Сравнение проектных предложений - экологические вопросы, выбросы CO₂

- Шведское агентство по лесному хозяйству Skogsstyrelsen, 5113 м³, => 28 480 кг CO₂
- SCA Skog AB, 5088 м³, => 29 360 кг CO₂
- Sveaskog AB, 6750 м³, => 37 600 кг CO₂
- Roadscanners, 3526 м³, => 19 640 кг CO₂.



Данный проект частично финансируется ЕС



Сравнение проектных предложений – сравнение затрат

Компания	Skogsstyrelsen	SCA	Sveaskog	Roadscanners
Заполнитель 10 €/ м3	51 130	50 880	67 500	35 260
Усиление стальной сеткой 4 €/ м2	-	-	-	1 840
Планировка грунта земляного полотна?	?	?	?	?
Устройство кюветов?	?	?	?	?
Дорожное обследование, анализ данных и проектирование	500	250	250	8 500
Затраты на охрану окружающей среды ?	4 272	4 404	5 640	2 946
Общие затраты	55 902	55 534	73 390	48 546
Затраты, € /м лесной дороги	11,18	11,06	14,63	9,71
	115%	114%	151%	100%

Данный проект частично финансируется ЕС

ROADEX
Implementing Accessibility



Спасибо за внимание!



Данный проект частично финансируется ЕС

