

Дороги на слабых грунтах

Тимо Сааренкето, доктор наук
Управляющий директор
компания Roadscanners Oy



ВОССТАНОВЛЕНИЕ И КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ ДОРОГ НА СЛАБЫХ ГРУНТАХ/ТОРФАХ

СОДЕРЖАНИЕ:

- Отчет в рамках ROADDEX II, 2005
- Резюмирующий отчет в рамках ROADDEX III, 2006

Изучайте на: www.roadex.org



This Project is financed by EU



ROADDEX
Implementing Accessibility

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОРОГ НА ТОРФАХ

Содержание:

- Отчет ROADEX II
 - Резюме отчета
- Отчет ROADEX III
 - Типичные проблемы дорог
 - Рекомендации
 - Применение
 - Практические примеры



а/д А895, Сазерленд, Шотландия



This Project is financed by EU

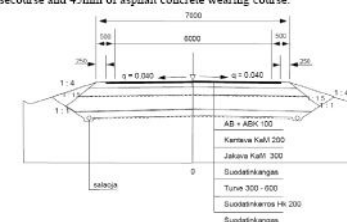
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОРОГ НА ТОРФАХ

Содержание отчета ROADEX II:

- Торфяники в северной Периферии
- Поведение торфов под воздействием нагрузки
- Геологические исследования
- Лабораторные испытания
- Управление геотехническими рисками
- Методы строительства
- Практические примеры
- Заключение по дорогам с низкой интенсивностью ДВИЖЕНИЯ

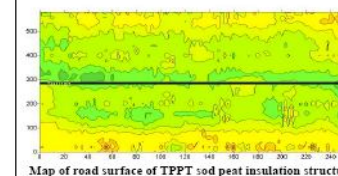
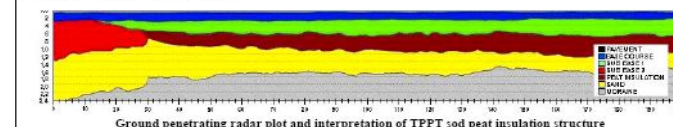
Case Study F10	Road No 83 Sinettä – Pello Road, Finland	Date	1995
AADT	1130	Heavy vehicles	4%
Speed limit	100km/h	Carriageway width	6,0/7,0m

Road No 83 between Sinettä and Pello was constructed in 1955. In 1974 the road was improved and in 1995 a section exhibiting differential frost heave was selected for reconstruction under the Finnish Roads Administration's TPPT (Road Foundation and Pavement Structure) programme. Under the TPPT programme the old road structure was completely excavated out and a new structure comprising a geotextile, 200mm of sand, 300-600mm of compacted sod peat, a geotextile, 300mm of unbound sub base 0-80mm, 200mm of unbound basecourse 0-50mm was constructed. This was completed with a 100mm bituminous pavement of 55mm of bitumen bound basecourse and 45mm of asphalt concrete wearing course.



The use of sod peat blocks as a road construction material is long established in Finland but has fallen out of use in recent years due to changing road construction practices. This project allows the use of sod peat to be monitored and evaluated with modern techniques to establish if it has a place in modern road engineering.

The reconstructed TPPT road was inspected in 2000 as part of the Roadex project and a ground penetrating radar survey was carried out. A radar plot of this survey is shown below for interest. Fuller details of the GPR survey and evaluation are contained in the 2001 Roadex CD ROM



The Roadex report concluded that the sod peat insulation structure appeared to be working well in 2000. The measured mean rut value for the right lane was 4.5mm, 5 years after installation, and 4.7mm in the left. This equates to a rut increase of 0.57mm/10 000 heavy vehicles, an indication of a strong structure. The road was stated to be 'very smooth' (see map of road surface above) with mean IRI values of 1.4mm/m in the right lane and 1.6mm/m in the left. Frost heave was not considered to be a problem. Some limited longitudinal cracking was apparent (photo) suggesting that the road had a slight differential across the carriageway. The GPR survey showed that the pavement and unbound layers were slightly thicker in the left lane possibly indicating that the peat in the left lane had compacted slightly more.

Практическое изучение F10:

А/д № 83 Синеття-Пелло, Финляндия



ROADEX
Implementing Accessibility



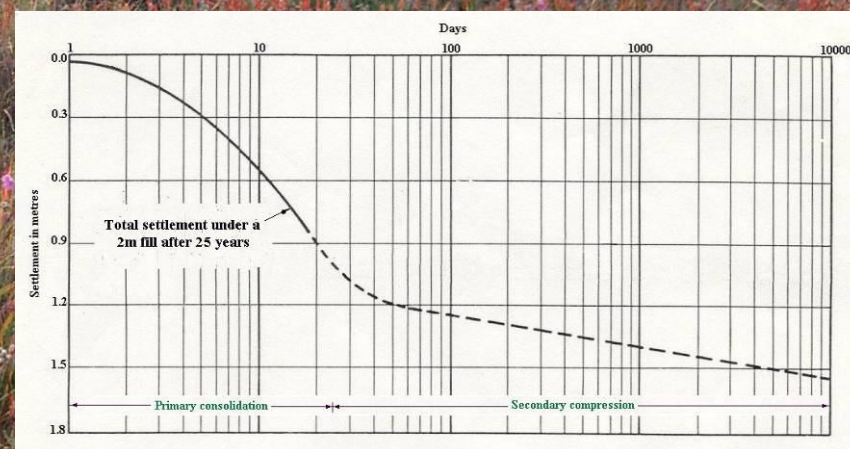
This Project is financed by EU



ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОРОГ НА ТОРФАХ

Торфяники:

- “болота, топи, трясины, низинные участки”
- не подходят для основания насыпи?
- преимущественно вода + фрагменты отмерших растений
- до 95% воды, влажность до 2000%
- переменное сопротивление сдвигу, от 2 кПа до 40 кПа
- первоначальное уплотнение, последующее сжатие
- осадка и деформация



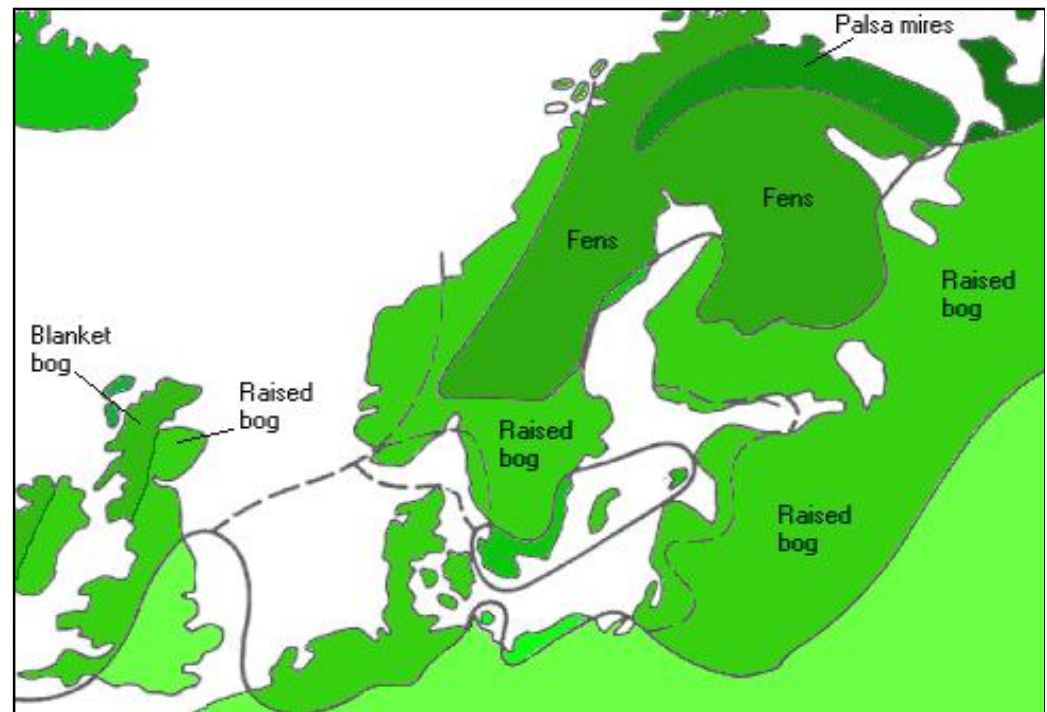
This Project is financed by EU

ROADEx
Implementing Accessibility

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОРОГ НА ТОРФАХ

Торфяные залежи в Северной Периферии

- Болота Пальса
(Palsa bogs)
- Заболоченная
МЕСТНОСТЬ (Fens)
- Верховые болота
(Raised bogs)
- Покрывные болота
(Blanket bogs)



Заболоченные территории Северной Европы, Succow & Jeschte 1990



This Project is financed by EU



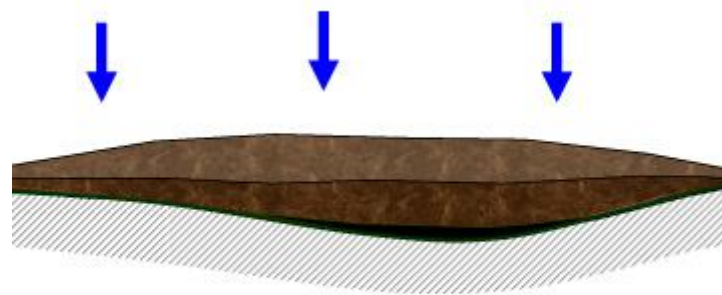
ROADEX
Implementing Accessibility

Разные виды болот в Северной Периферии

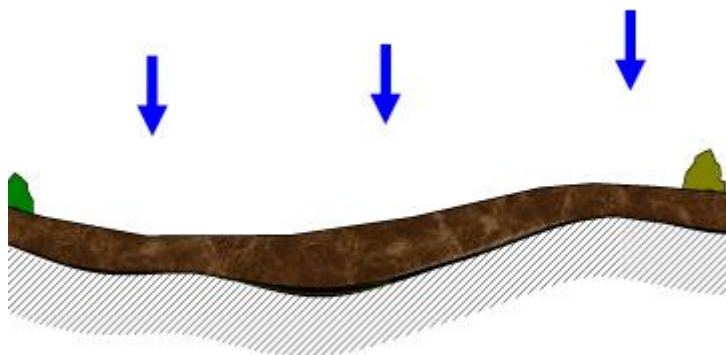
Заболоченная местность



Верховое болото



Покрывающее поверхность болото



Болото Пальса



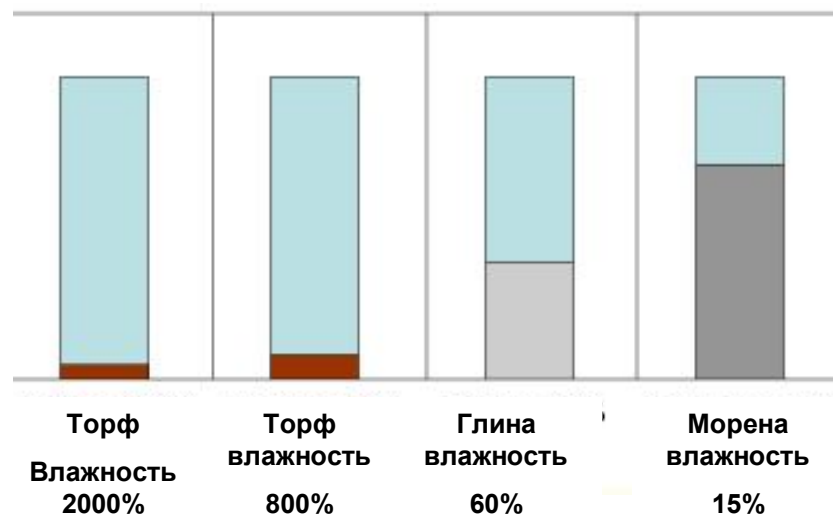
Торфы и отдельные участки зоны вечной мерзлоты



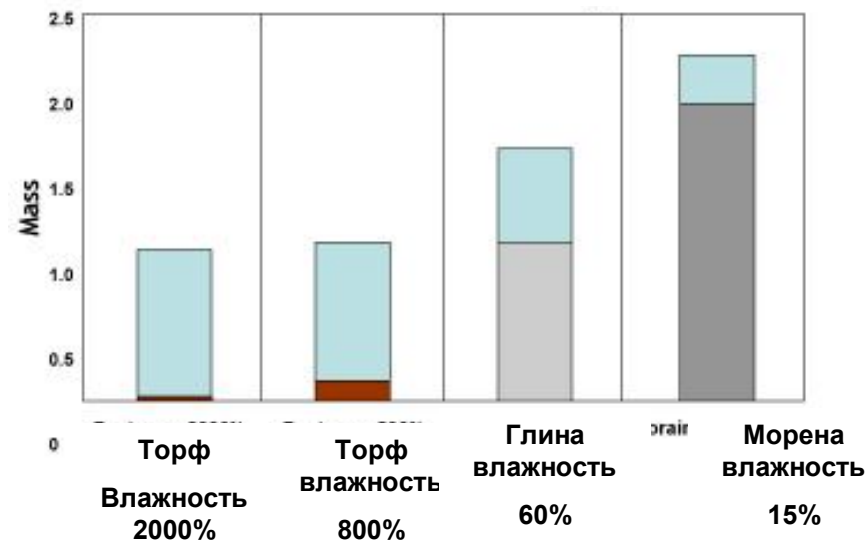
This Project is financed by EU

ТОРФЫ И ДРУГИЕ ГРУНТЫ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Содержание воды и твердых веществ по объему



Содержание воды и твердых веществ по массе



Классификация торфов (Radtforth 1969)

- а) “грубоволокнистые” торфы
- б) “тонковолокнистые” торфы
- с) “аморфно-гранулированные” торфы



(Von Post and Granlund 1926)

Степень гумификации Руководство по определению вида торфа

- | | |
|-----|--|
| H1 | Совершенно неизменный без грязевых включений торф, который при сжатии в руках выделяет прозрачную воду. Остатки растений легко различимы |
| H2 | Практически неизменный без грязевых включений торф, который при сжатии в руках выделяет прозрачную воду. Остатки растений все еще легко различимы |
| H3 | Слегка разложившийся или несколько загрязненный торф, который при сжатии в руках выделяет грязноватую воду, однако частицы торфа сквозь пальцы не просачиваются. Отжатый остаток достаточно плотный. Останки растений несколько утратили различимость. |
| H4 | Слегка разложившийся или несколько загрязненный торф, который при сжатии в руках выделяет выраженные грязноватые остатки. Отжатый остаток плотный. Останки растений утратили различимость. |
| H5 | Умеренно разложившийся или загрязненный торф. Структура очевидна, но слегка разрушена. Часть аморфных частиц торфа просачивается сквозь пальцы при сжатии вместе со значительным количеством воды. Отжатый остаток очень плотный. |
| H6 | Умеренно разложившийся или очень загрязненный торф с нечеткой структурой. При сжатии примерно 1/3 торфяной массы проходит сквозь пальцы. Остаток экстремально плотный и более структурированный, чем не отжатый образец. |
| H7 | Среднеразложившийся или явно загрязненный торф с отчетливо различимой структурой. При сжатии половина торфяной массы проходит сквозь пальцы. Выделяемая при этом вода темная и содержит частицы торфа. |
| H8 | Разложившийся или явно загрязненный торф с плохо различимой структурой. При сжатии около 2/3 массы проходит сквозь пальцы, иногда с вязкой жидкостью. Остаток в основном состоит из более устойчивых волокон и корней растений |
| H9 | Практически полностью разложившийся грязеподобный торф, практически неструктурированный. Практически вся масса просачивается сквозь пальцы при сжатии в виде однородной пасты. |
| H10 | Полностью разложившийся торф, при сжатии сквозь пальцы просачивается полностью. |



This Project is financed by EU



МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТОРФЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ

Методы исследования	Норвегия	Финляндия	Швеция	Шотландия
Бурение скважин	Применяется редко	Применяется редко	Применяется редко	Применяется редко
Зондирование/пробное бурение	Применяется регулярно	Применяется регулярно	Применяется регулярно	Применяется регулярно
Взятие образца торфа с ненарушенной структурой	Применяется регулярно	Применяется редко	Применяется редко	Применяется редко
Испытания на сопротивление сдвигу	Применяется регулярно	Применяется регулярно	Применяется регулярно	Применяется редко
Испытания с помощью конического пенетрометра	Применяется редко	Применяется регулярно	Применяется редко	Применяется редко
Шведское весовое зондирование	Применяется редко	Применяется регулярно	Применяется редко	Не применяется
Георадарные обследования	Применяется редко	Применяется регулярно	Применяется редко	Применяется редко



Обследования участков с заложением торфа – применение 100 МГц антенны георадара (при необходимости)

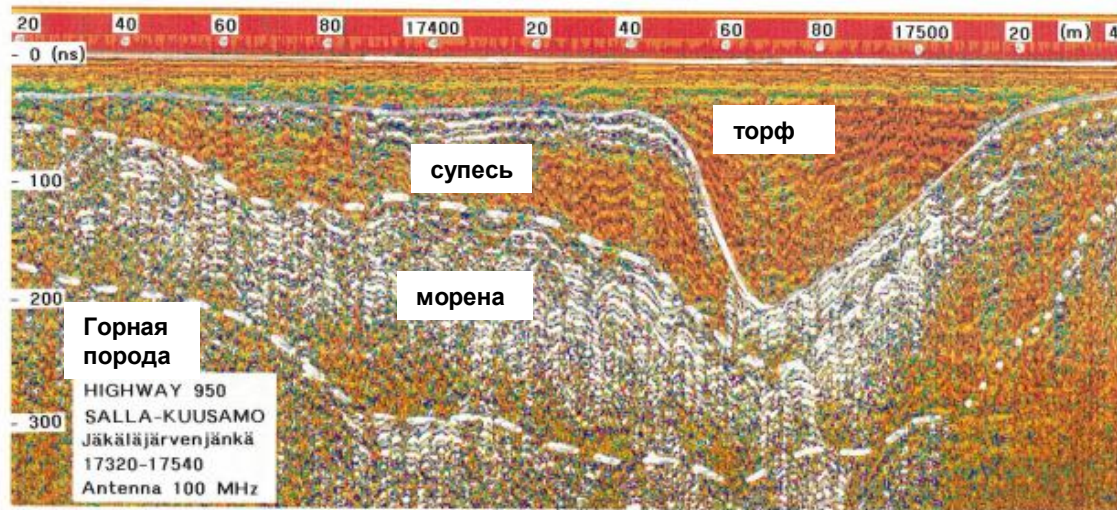
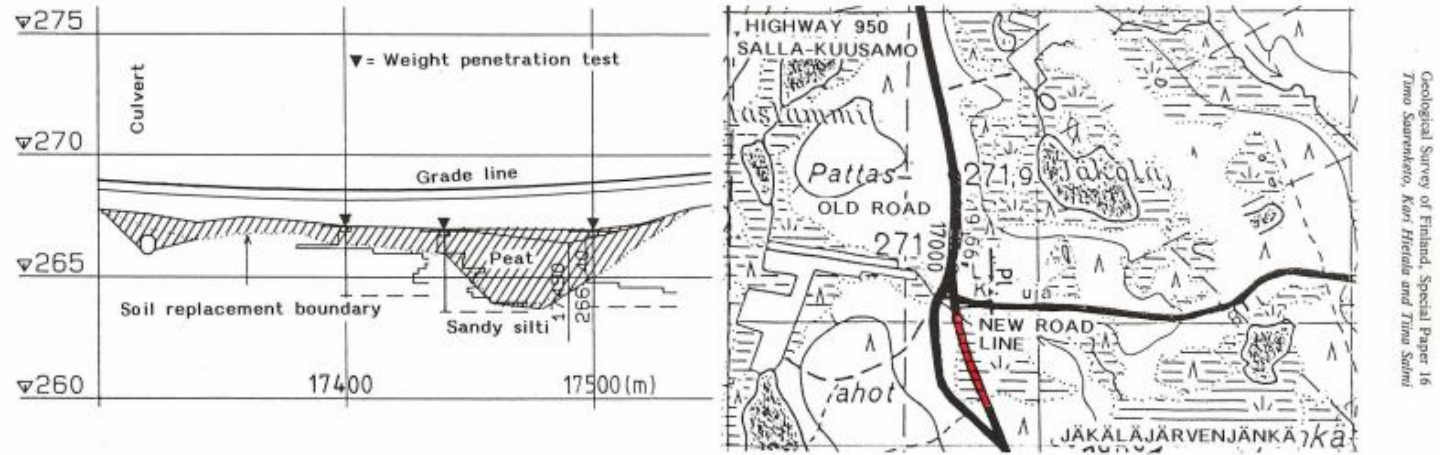


Fig. 4. Jäkäläjärvenjäkä site investigations and the subgrade strengthening plan for highway 950, Salla, Kuusamo.



This Project is financed by EU



Методы лабораторных исследований

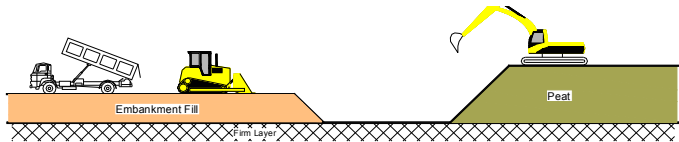
Методы исследования	Норвегия	Финляндия	Швеция	Шотландия
Классификация	Применяется регулярно	Применяется регулярно	Применяется регулярно	Применяется регулярно
Определение влажности	Применяется регулярно	Применяется регулярно	Применяется регулярно	Применяется регулярно
Испытания одометром (прибор для определения плотности и сжимаемости проб грунта)	Применяется редко	Применяется редко	Применяется редко	Применяется редко
Испытания на трехосное сжатие	Только в исследовательских целях	Не применяется	Не применяется	Только в исследовательских целях
Испытания на содержание органики	Применяется редко	Применяется редко	Применяется редко	Применяется редко
Испытания на зольность	Применяется редко	Не применяется	Применяется редко	Применяется редко
Испытания на плотность в сухом состоянии	Применяется редко	Применяется редко	Применяется редко	Применяется редко
Испытания на объемную плотность	Применяется редко	Применяется редко	Применяется редко	Применяется редко
Испытания на прямой сдвиг	Применяется редко	Не применяется	Применяется редко	Не применяется



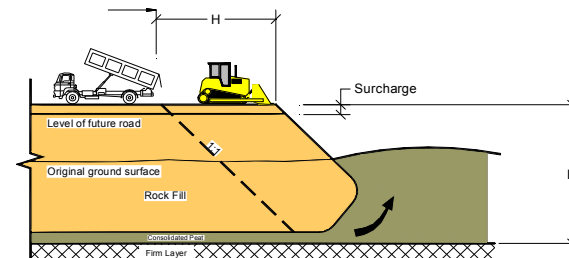
This Project is financed by EU

Отчет ROADEX II: Решение проблем несущей способности дорог с низкой интенсивностью движения, построенных на торфах

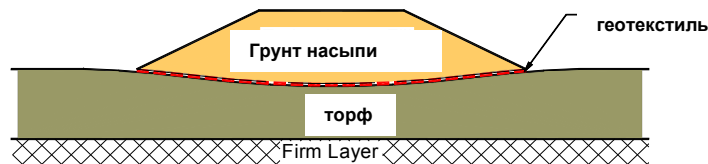
Методы строительства



Полная выторфовка

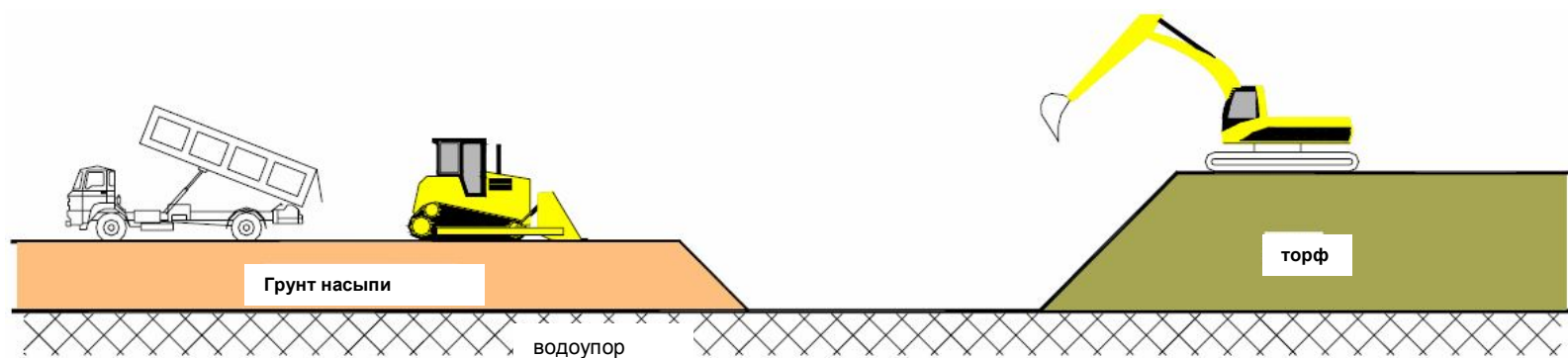


Частичная выторфовка или смещение торфяных залежей от насыпи

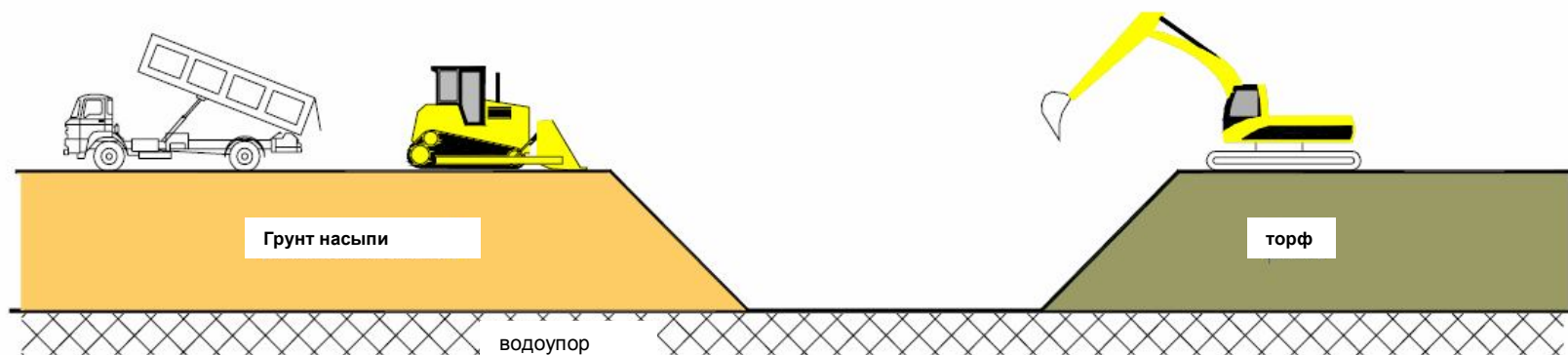


Без выторфовки

Выторфовка

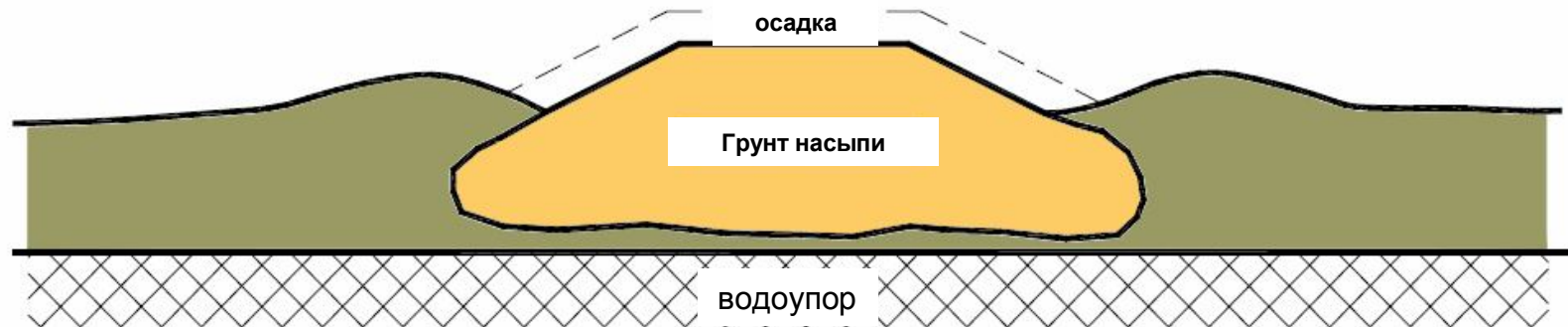
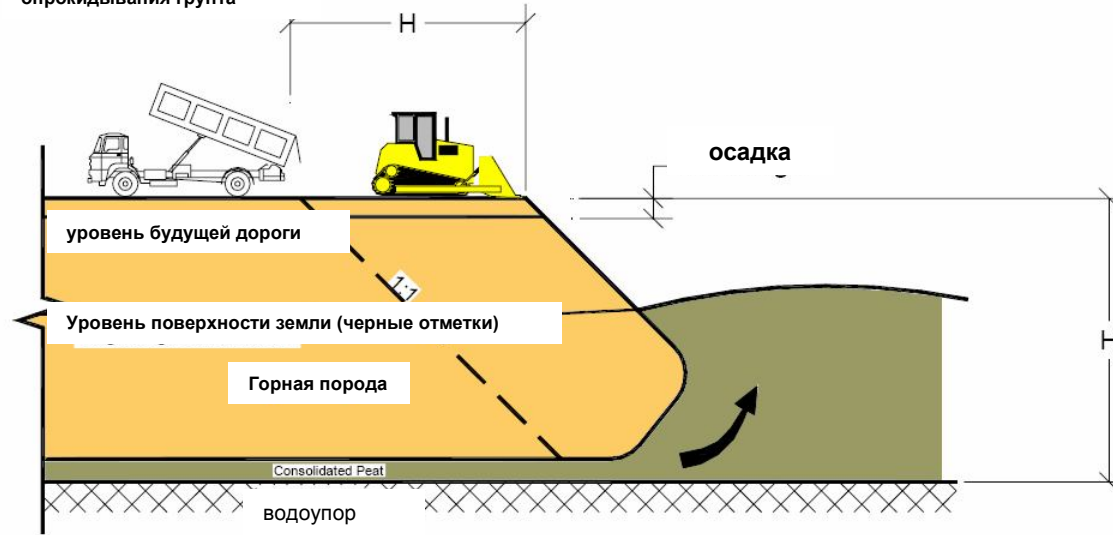


Смещение торфяного грунта



Метод прогрессивной замены

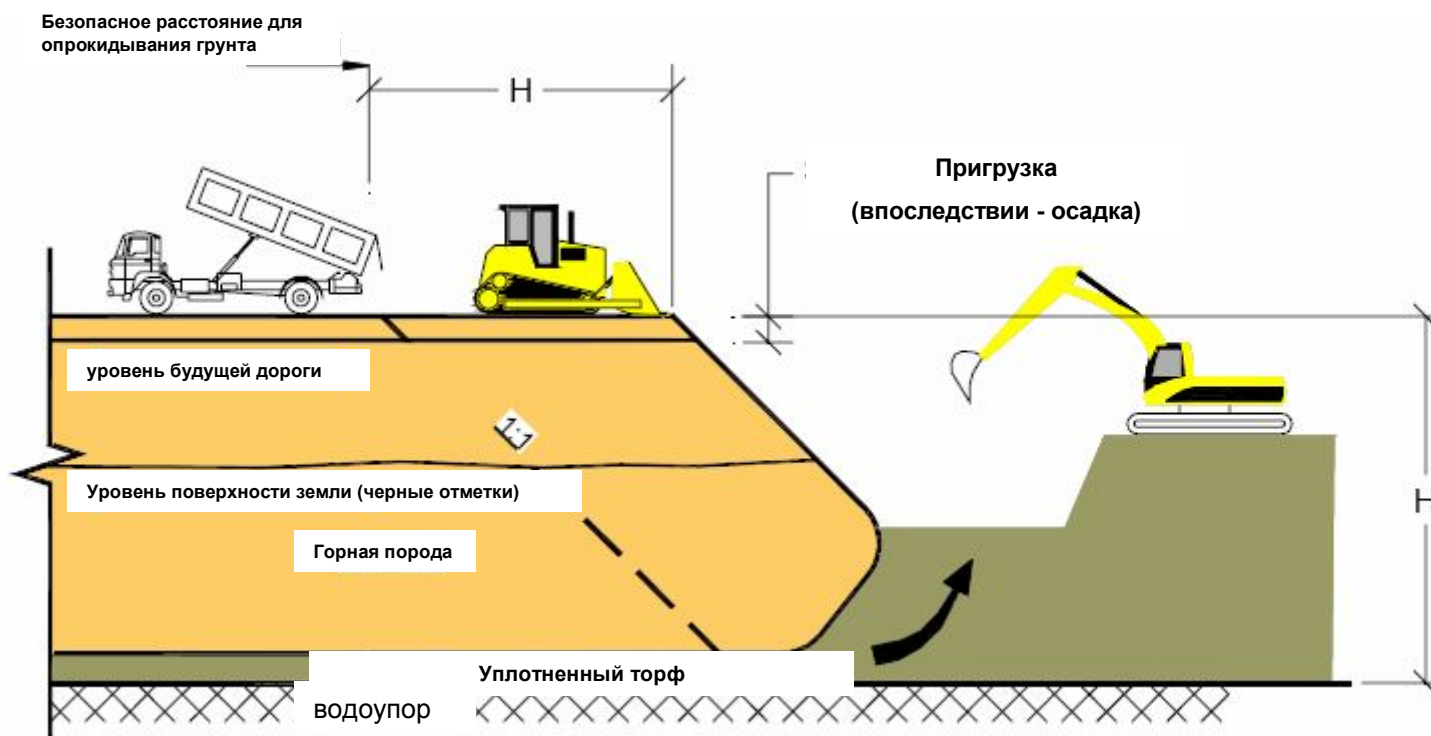
Безопасное расстояние для опрокидывания грунта



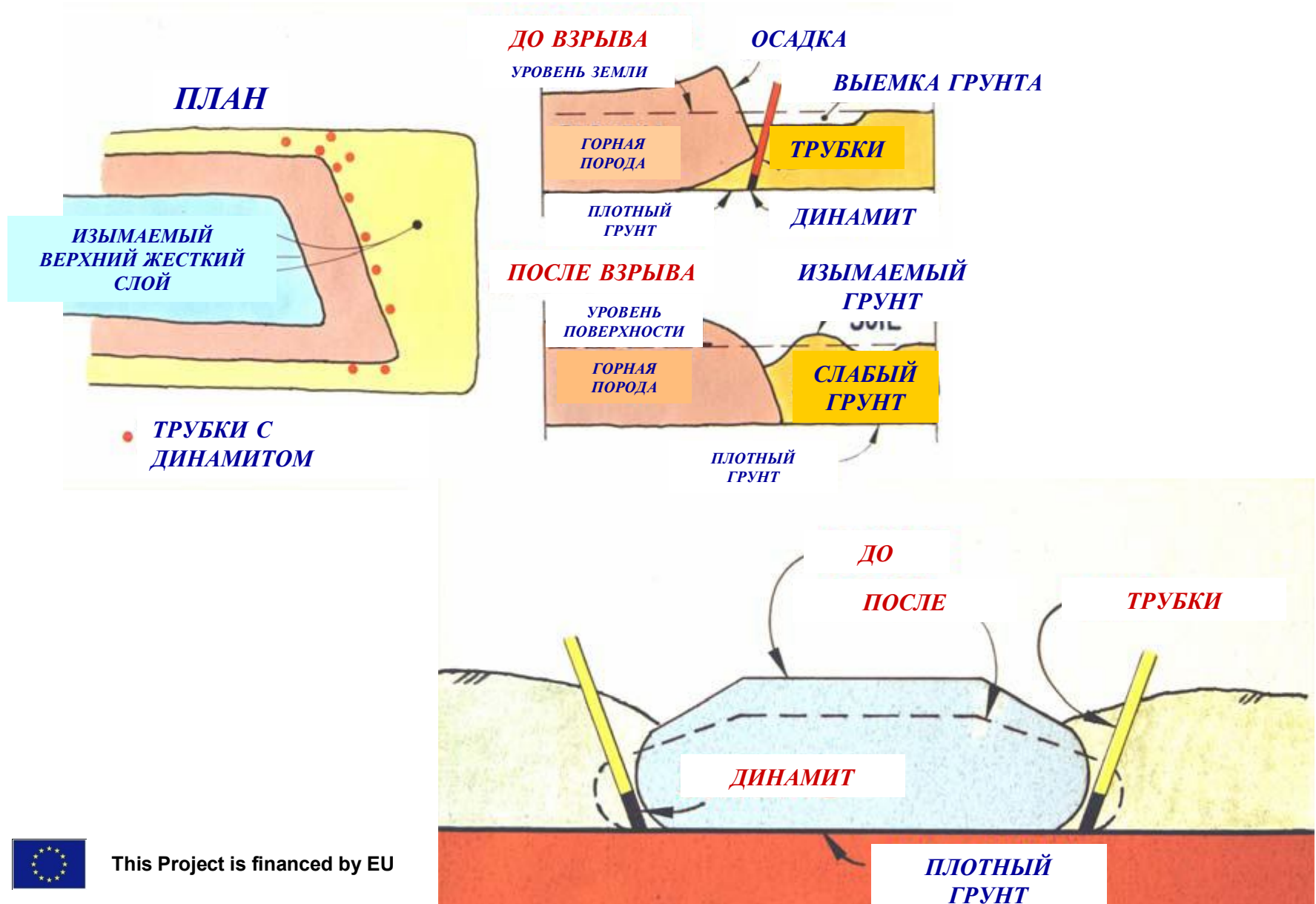
This Project is financed by EU

Метод прогрессивной замены

Частичная выторфовка



Взрывные работы

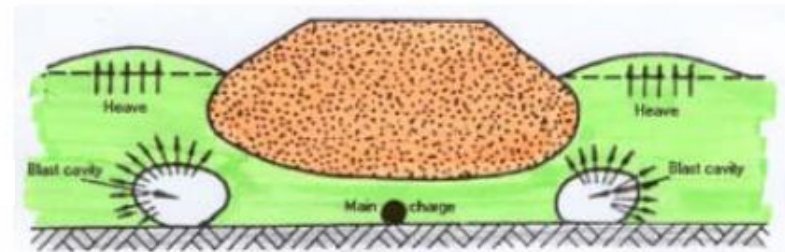


This Project is financed by EU

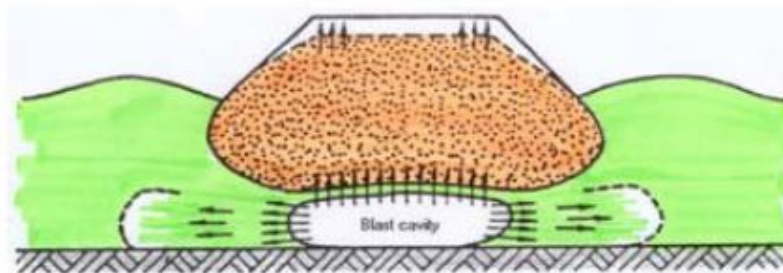
Подземный взрыв



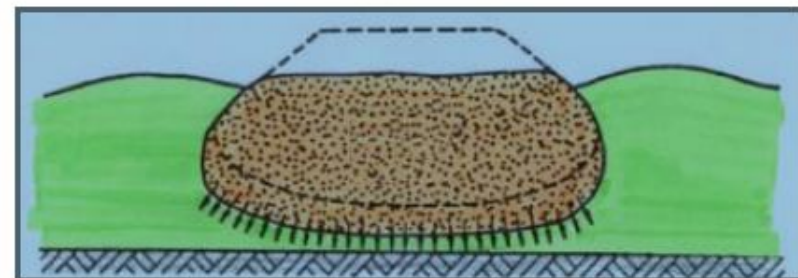
СТАДИЯ 1: ЗЕМЛЯНЫЕ РАБОТЫ ПО УКЛАДКЕ ЗАРЯДОВ



СТАДИЯ 2: ВЗРЫВ КРАЕВЫХ ЗАРЯДОВ



СТАДИЯ 3: ВЗРЫВ ОСНОВНОГО ЗАРЯДА



СТАДИЯ 4: ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ ОСАДКА НАСЫПИ

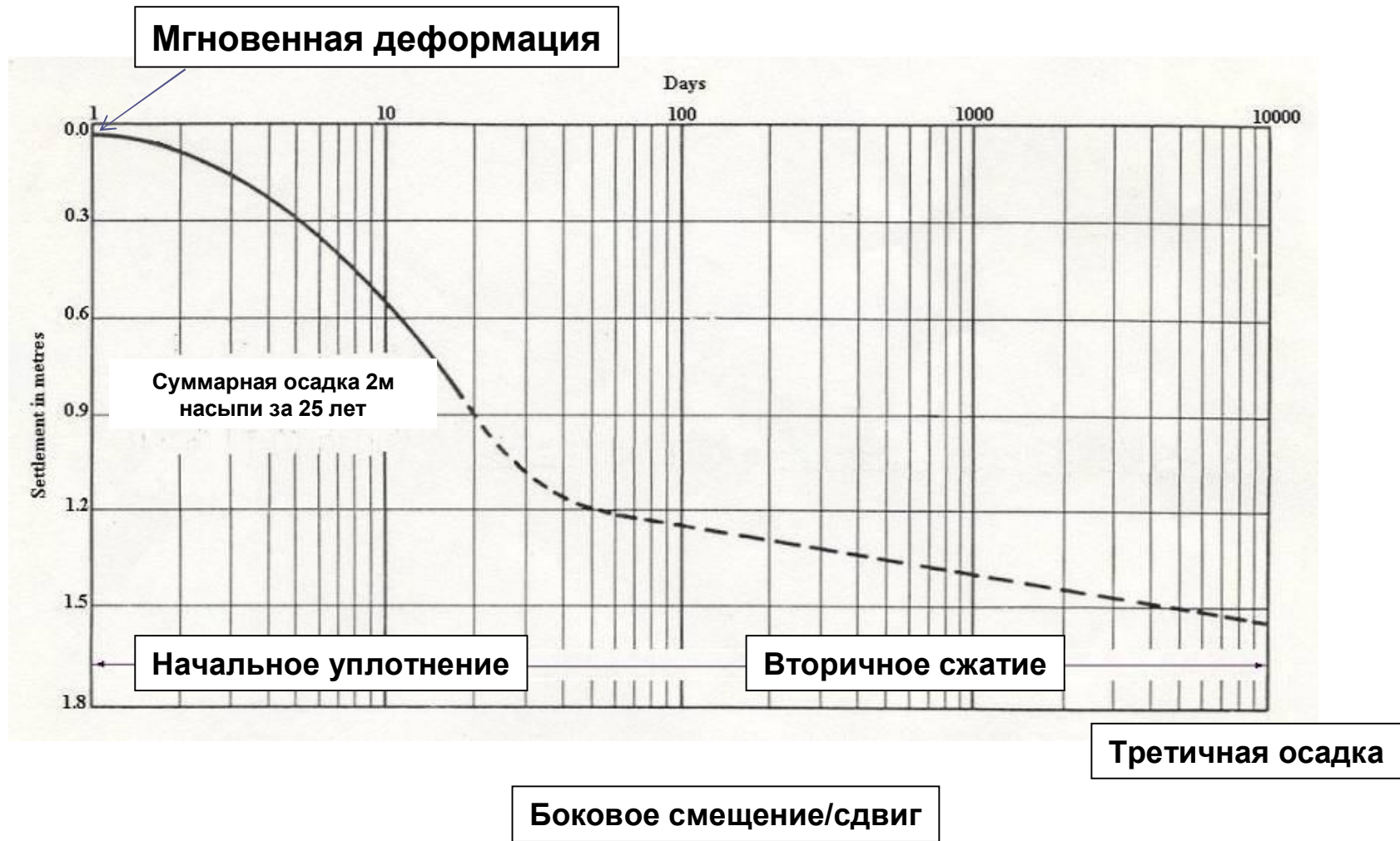


Отчет ROADEX II: Решение проблем несущей способности дорог с низкой интенсивностью движения, построенных на торфах

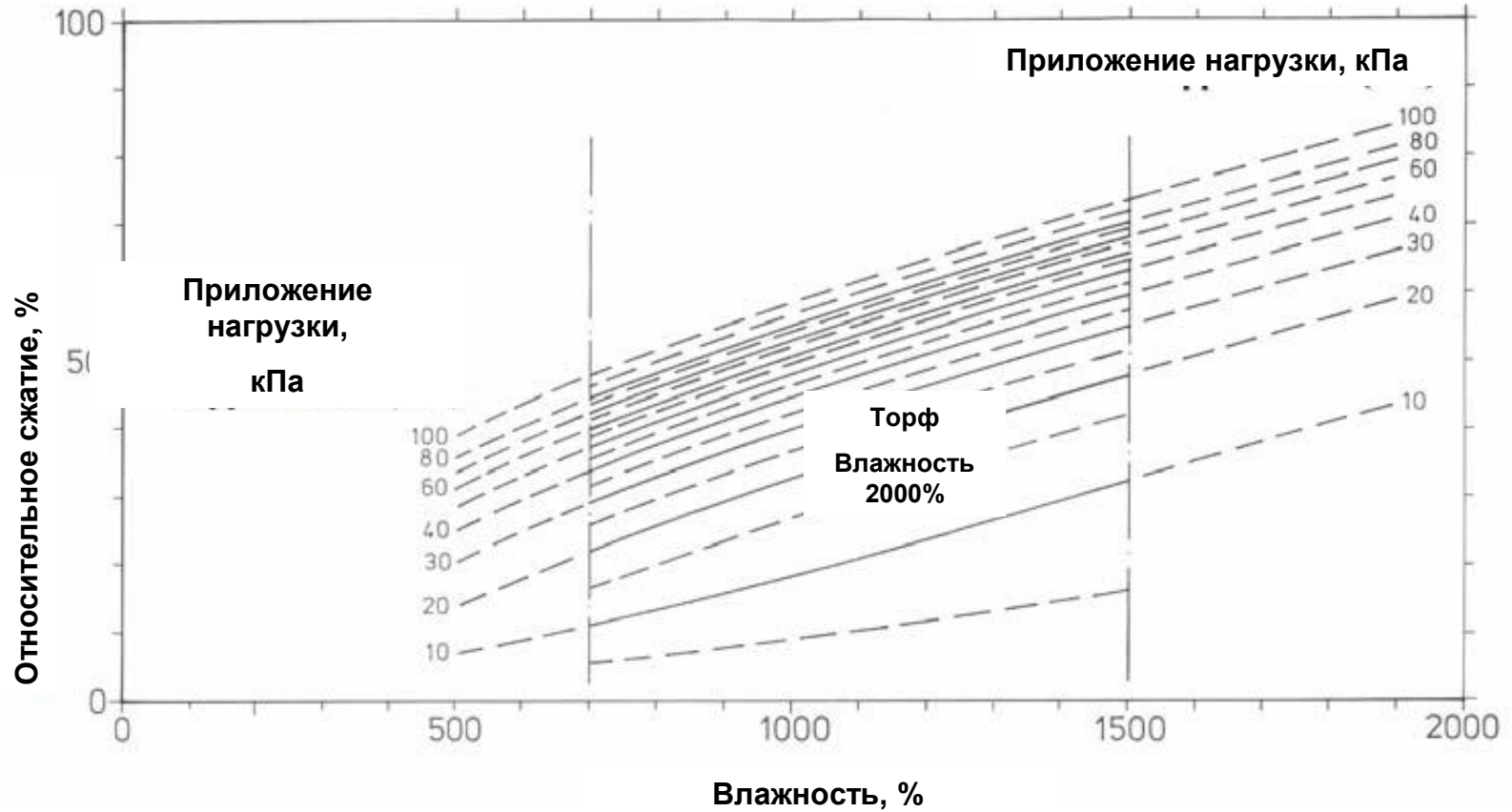
Методы строительства - Использование торфа в основании насыпи



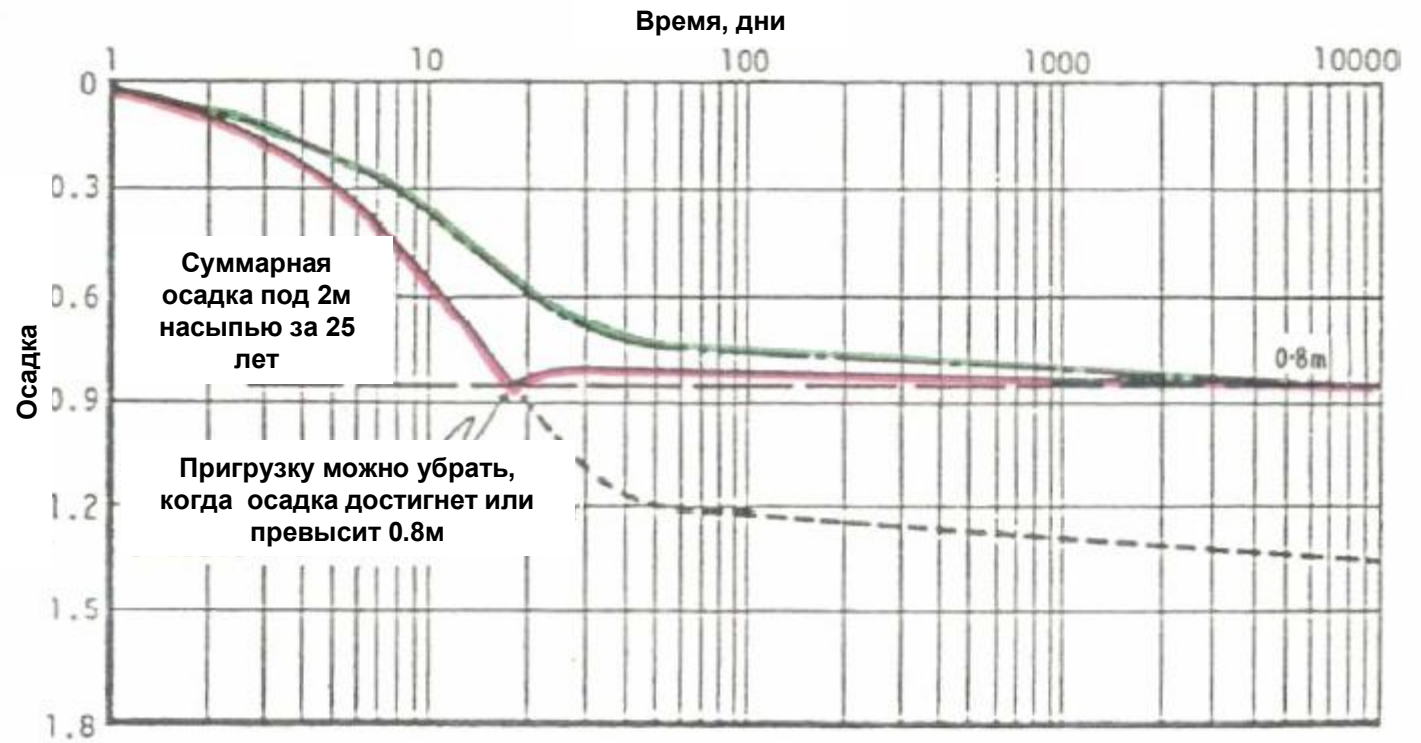
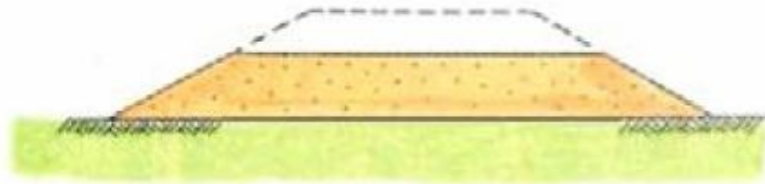
Уплотнение торфа при строительстве



Деформация по Карлстену (Швеция) и влажность при различных нагрузках

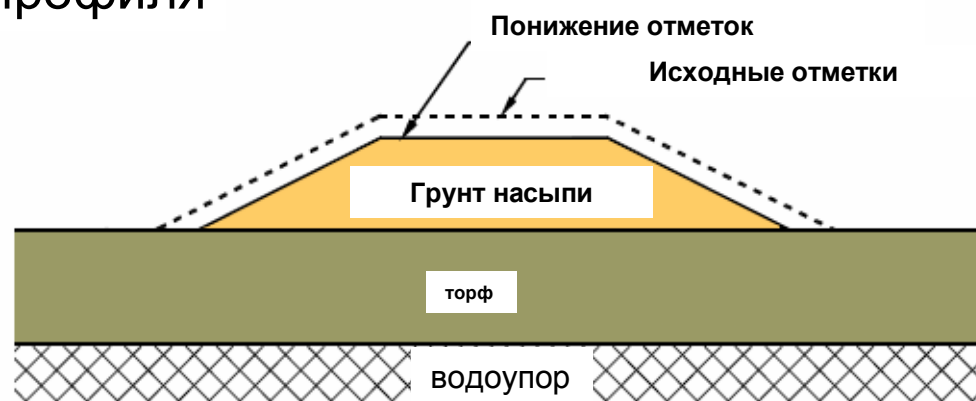


Предварительная пригрузка

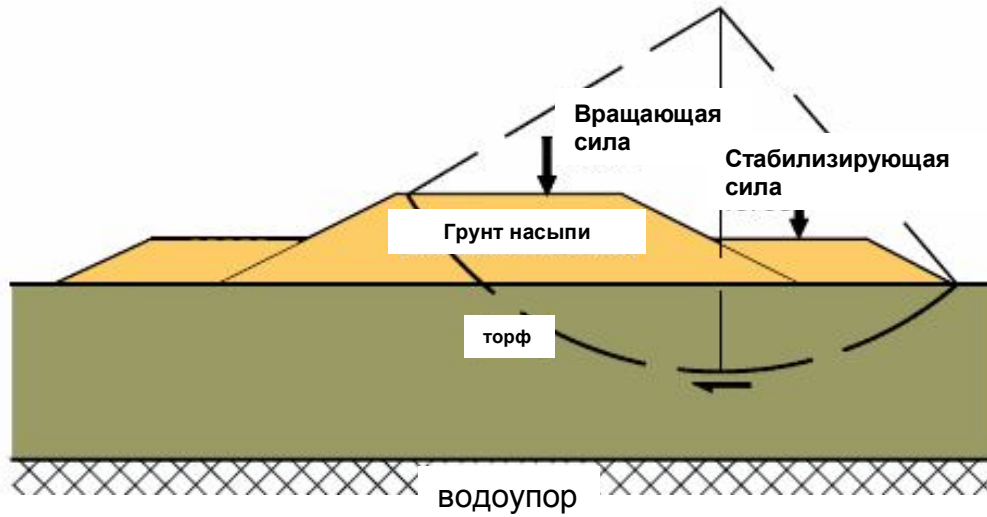


Понижение профиля

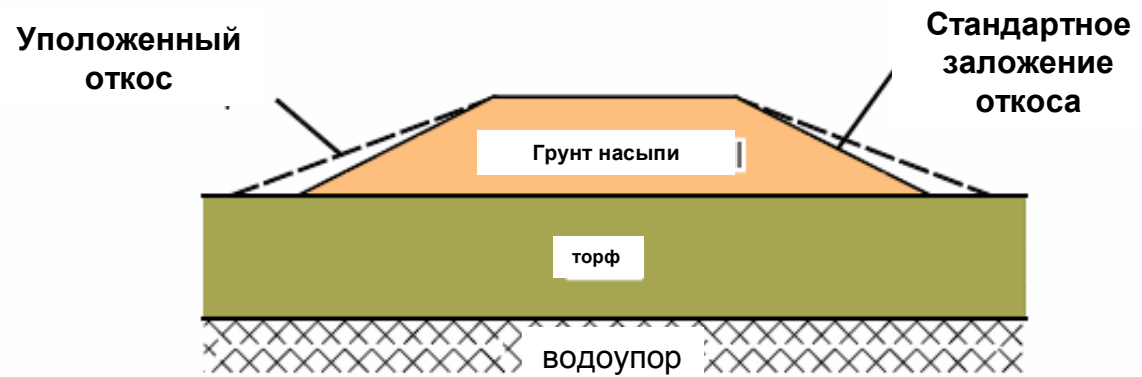
Понижение профиля



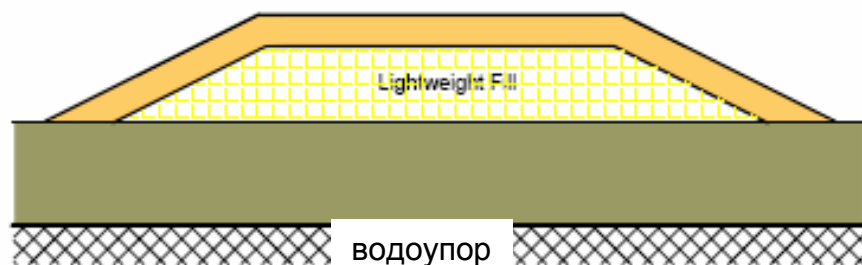
Стабилизирующие бермы



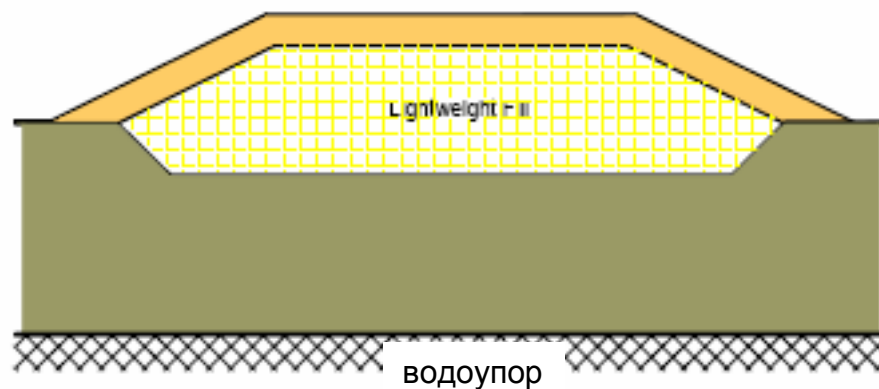
Уполаживание откосов



Устройство насыпи из облегченных материалов

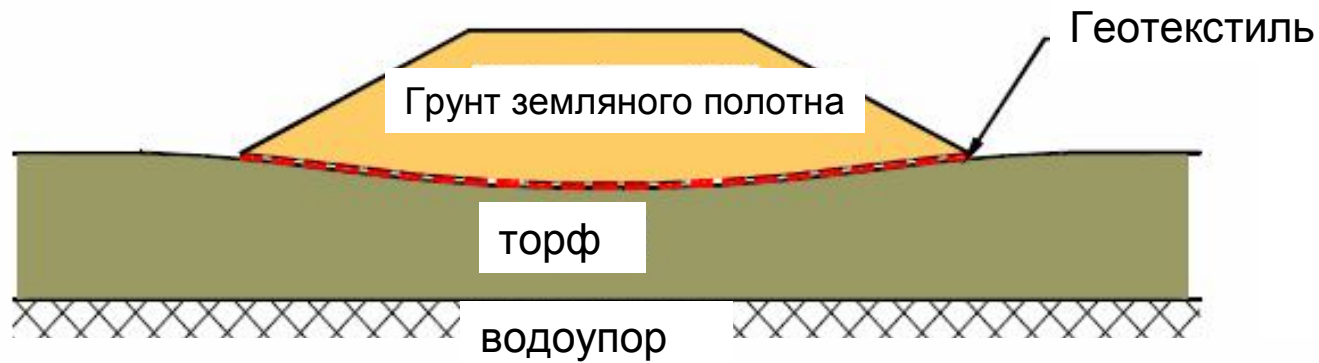


Ликвидация пригрузочной насыпи с последующим устройством облегченной насыпи

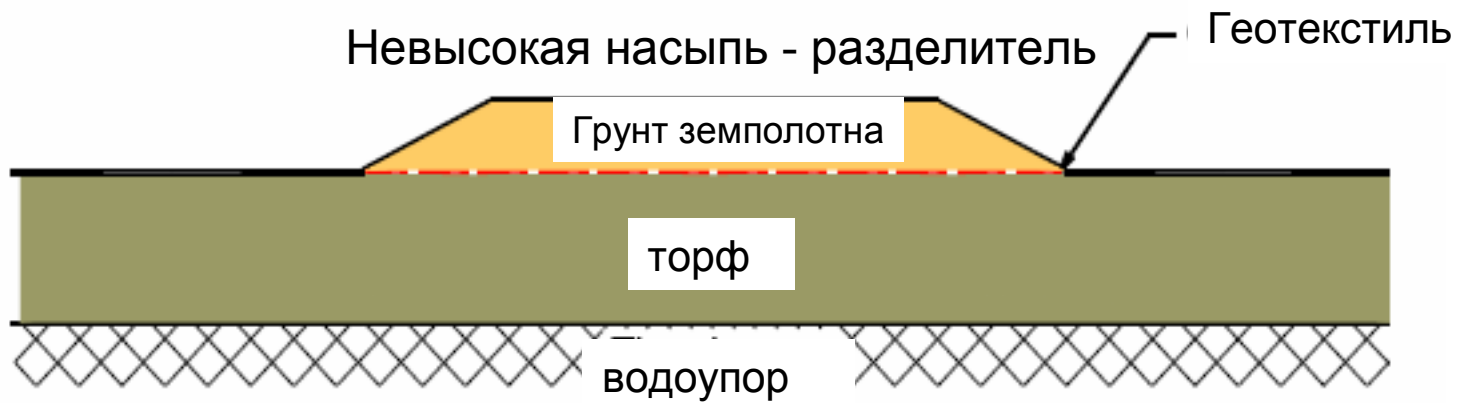


Геотекстиль - Геосетки

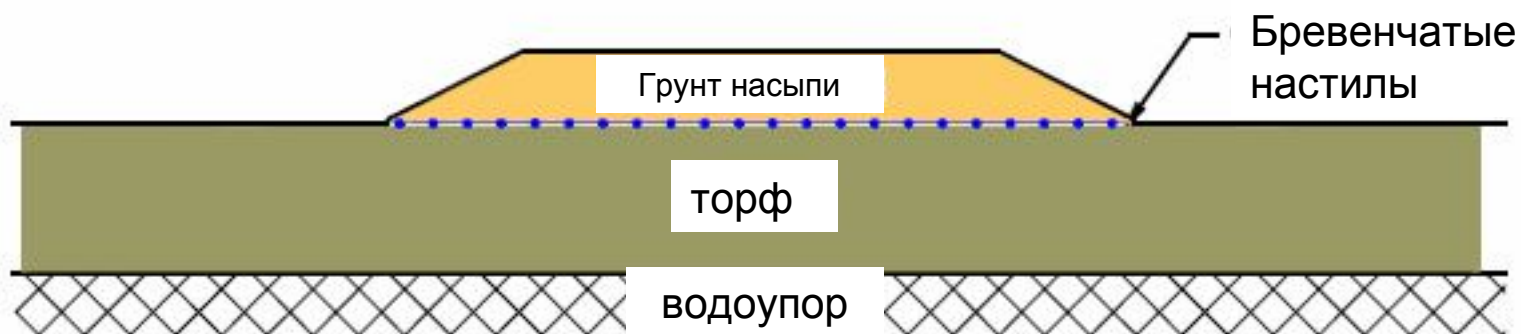
Высокая насыпь – усиление конструкции



Невысокая насыпь - разделитель

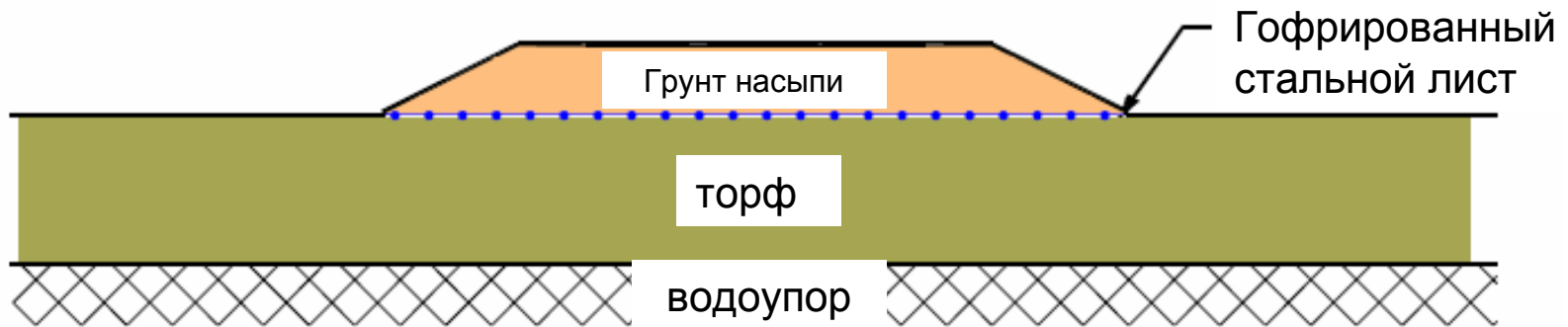


Бревенчатые настилы Timber Grillage

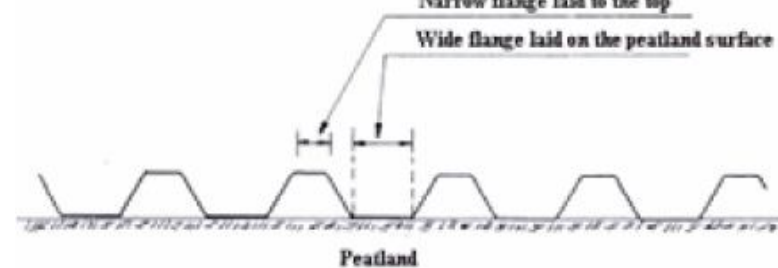


This Project is financed by EU

Гальванизированные стальные листы

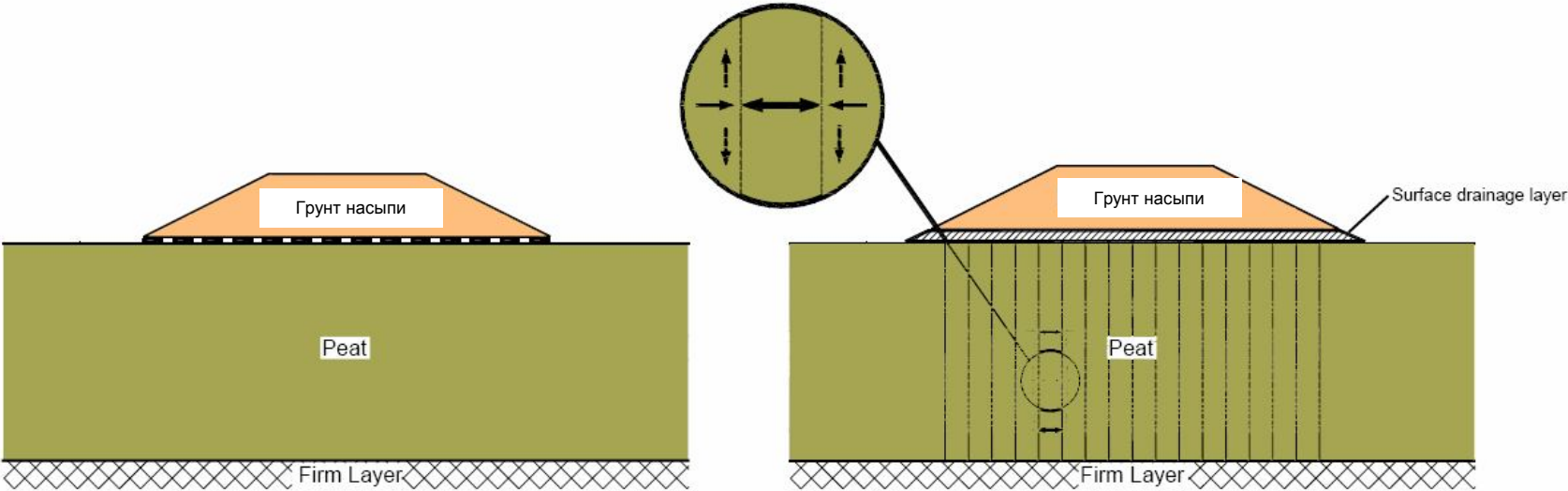


Narrow flange laid to the top
Wide flange laid on the peatland surface



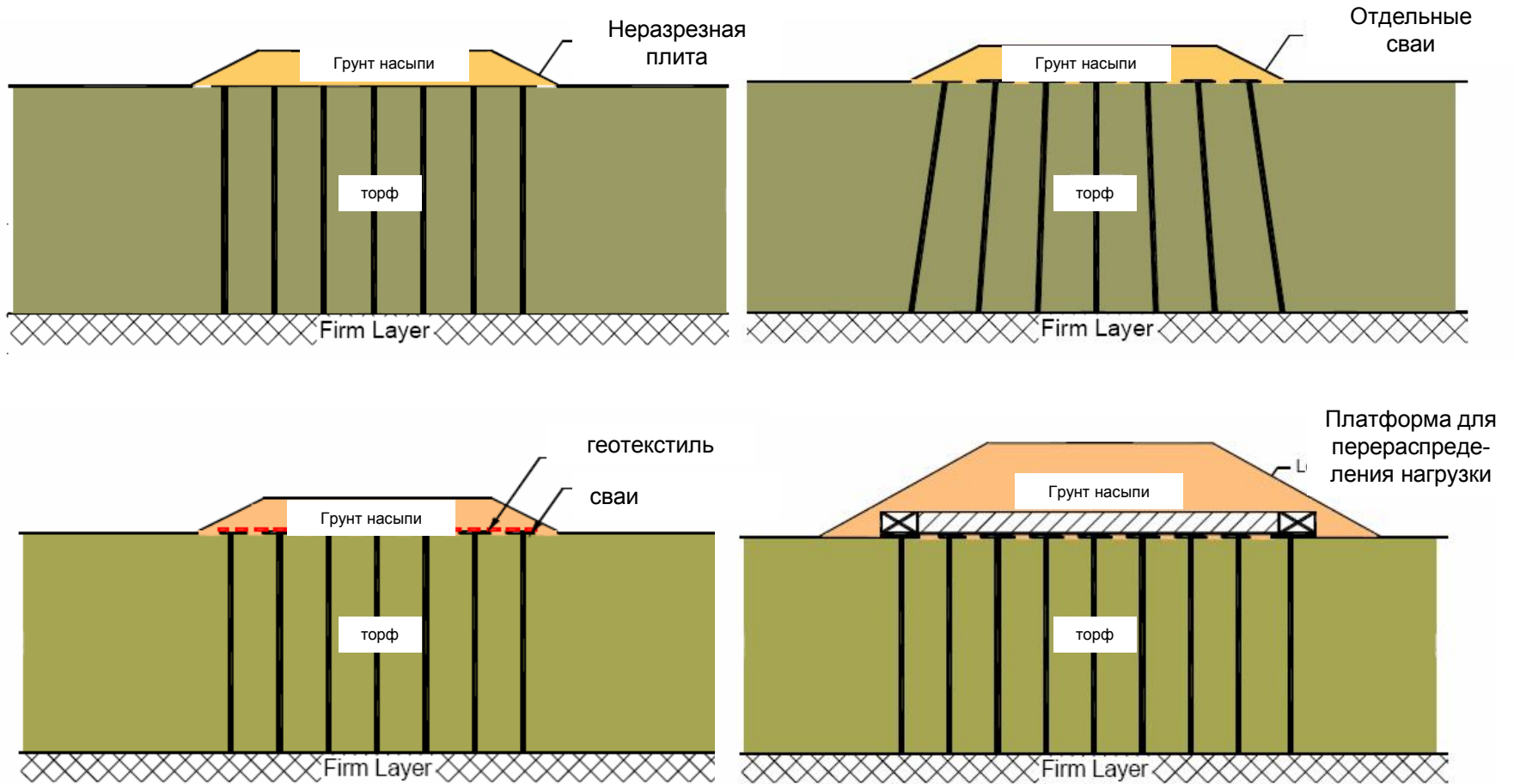
This Project is financed by EU

Вертикальные дрены



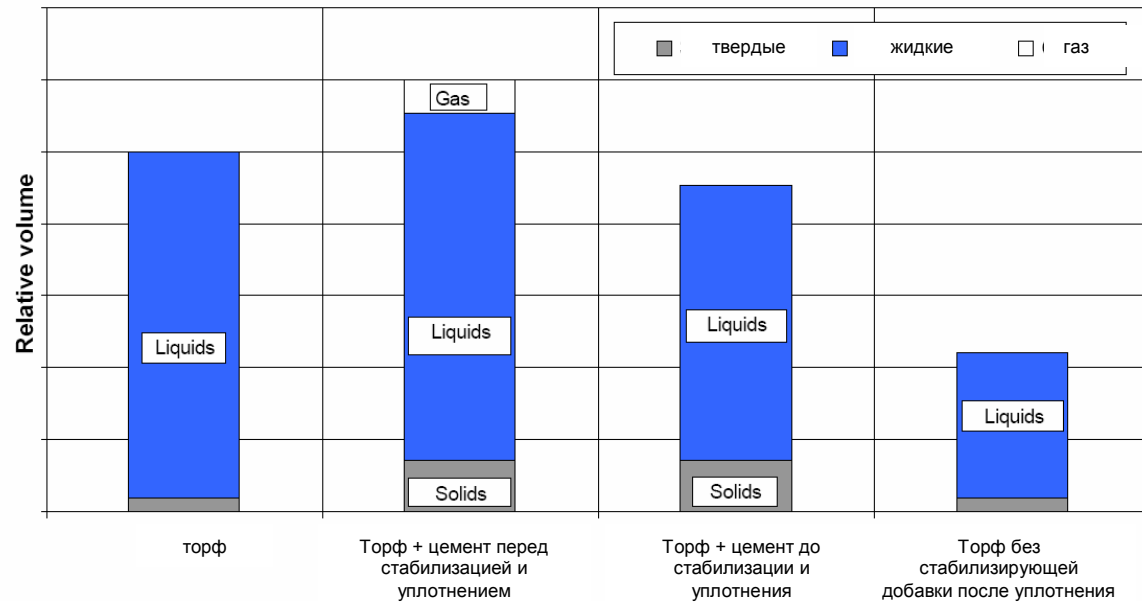
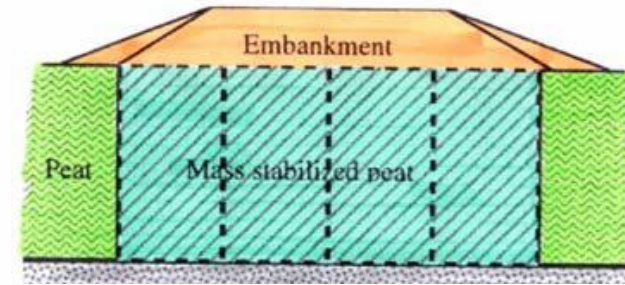
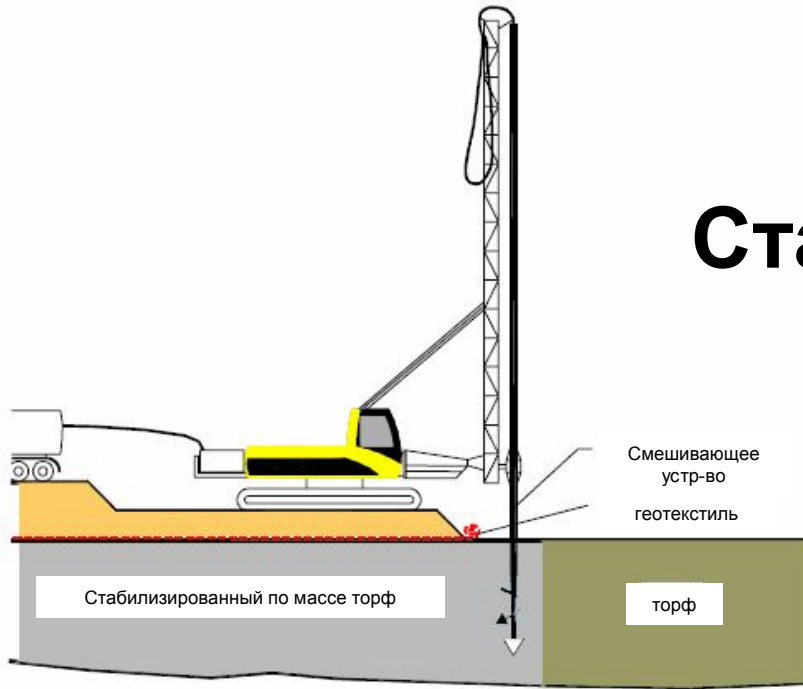
This Project is financed by EU

Сваи в основании насыпи



This Project is financed by EU

Стабилизация массы







This Project is financed by EU

Резюме строительных технологий в странах-партнерах ROADEX



Стальные листы

Технологии	Норвегия	Финляндия	Швеция	Шотландия
Выторфовка (насыпь ниже УБ) 	Регулярно	Регулярно	Регулярно	Регулярно
Выторфовка (насыпь выше УБ) 	Регулярно	Регулярно	Регулярно	Регулярно
Прогрессивная замена торфа 	Иногда	Иногда	Иногда	Иногда
Частичная выторфовка 	Иногда	Иногда	Иногда	Иногда
Принудительное выжимание торфа 	Иногда	Нет	В прошлом	В прошлом
Предварительная пригрузка 	Иногда	Иногда	Иногда	Иногда
Дополнительная пригрузка 	Иногда	Иногда	Иногда	Иногда
Стадийное строительство	Иногда	Иногда	Иногда	Иногда
Пригрузочные бермы 	Иногда	Иногда	Иногда	Иногда
Уполаживание откосов 	Регулярно	Иногда	Иногда	Иногда
Облегченные материалы 	Иногда	Иногда	Иногда	Иногда
Ликвидация старой пригруз. насыпи 	Иногда	Иногда	Иногда	Иногда
Геосинтетика 	Регулярно	Регулярно	Иногда	Иногда
Вертикальные дрены	Нет	Нет	Иногда	Нет
Деревянные рафты 	Иногда	Иногда	Иногда	В прошлом
Сваи 	Регулярно	Регулярно	Иногда	Иногда
Стабилизация 	Нет	Иногда	Иногда	Нет

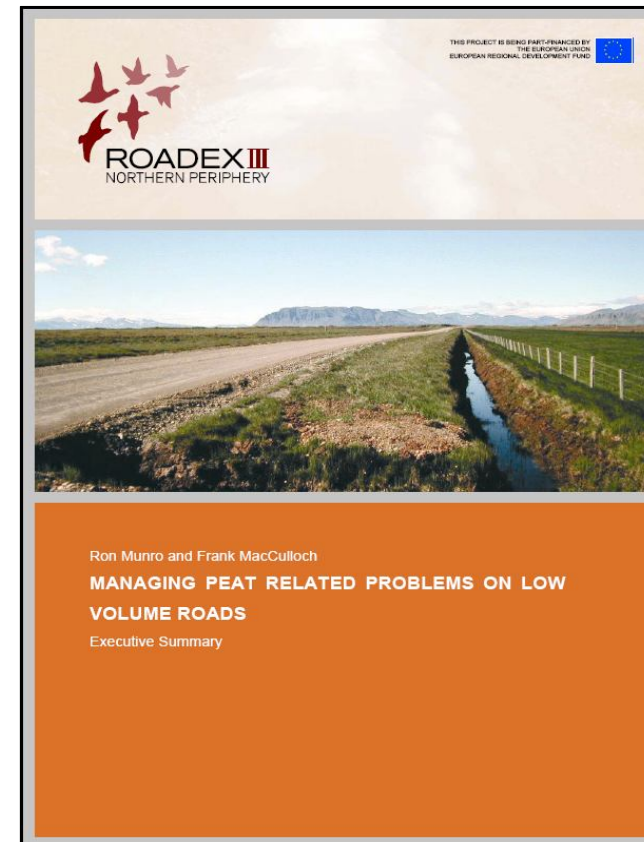


This Project is financed by EU



ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОРОГ, ПОСТРОЕННЫХ НА ТОРФАХ

Резюмирующий отчет ROADEX III
Управление проблемами дорог с
низкой интенсивностью движения,
построенных на торфах



This Project is financed by EU



ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОРОГ, ПОСТРОЕННЫХ НА ТОРФАХ

Описание проблемы



Видимые дефекты:

- Осадка
- Деформация
- Волны
- Отклонения в профиле
- Трещины
- Застаивание поверхностных вод



This Project is financed by EU



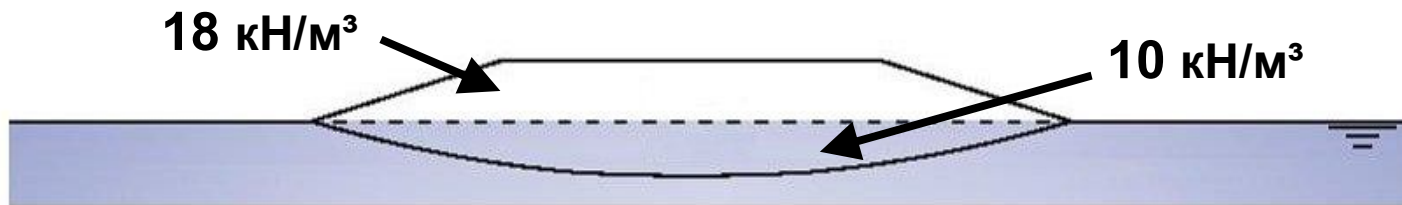
ROADEX
Implementing Accessibility

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОРОГ, ПОСТРОЕННЫХ НА ТОРФАХ

Эффект плавучести на торфе



Дорога на прочном основании



Плавучая конструкция



Влияние дрен на плавучую дорожную конструкцию



This Project is financed by EU

P Carlsten SGI



ROADEX
Implementing Accessibility



This Project is financed by EU



ROADEX
Implementing Accessibility

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОРОГ, ПОСТРОЕННЫХ НА ТОРФАХ

Методология ROADEX

Пять этапов:

- **Сбор данных**, выявление проблем и их причин в рамках обследований
- **Анализ** собранных данных и понимание происходящих процессов,
- **Применение инновационных подходов**, выбор наиболее подходящих восстановительных мер,
- **Мониторинг** в период строительства
- **Накапливание и распространение** опыта, полученного в рамках проектов



This Project is financed by EU



ROADEX
Implementing Accessibility

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОРОГ, ПОСТРОЕННЫХ НА ТОРФАХ

Методы обследований (не ограничиваются приведенным списком)

Зондирование/бурение

- оценка толщины залегающего торфа

Дефлектометр падающего груза FWD (аналог УДН)

- Оценка несущей способности

Георадар

- конструкция дорожной одежды (послойно)
- качество грунтов земляного полотна
- причины дорожных дефектов

Отбор кернов

- Толщины слоев и качество материалов дорожной конструкции

Цифровое видео

- Документирование состояния дорожного покрытия

Высокоскоростное мониторинговое ТС

- колейность, шероховатость, геометрия



Установка динамического нагружения на прицепе

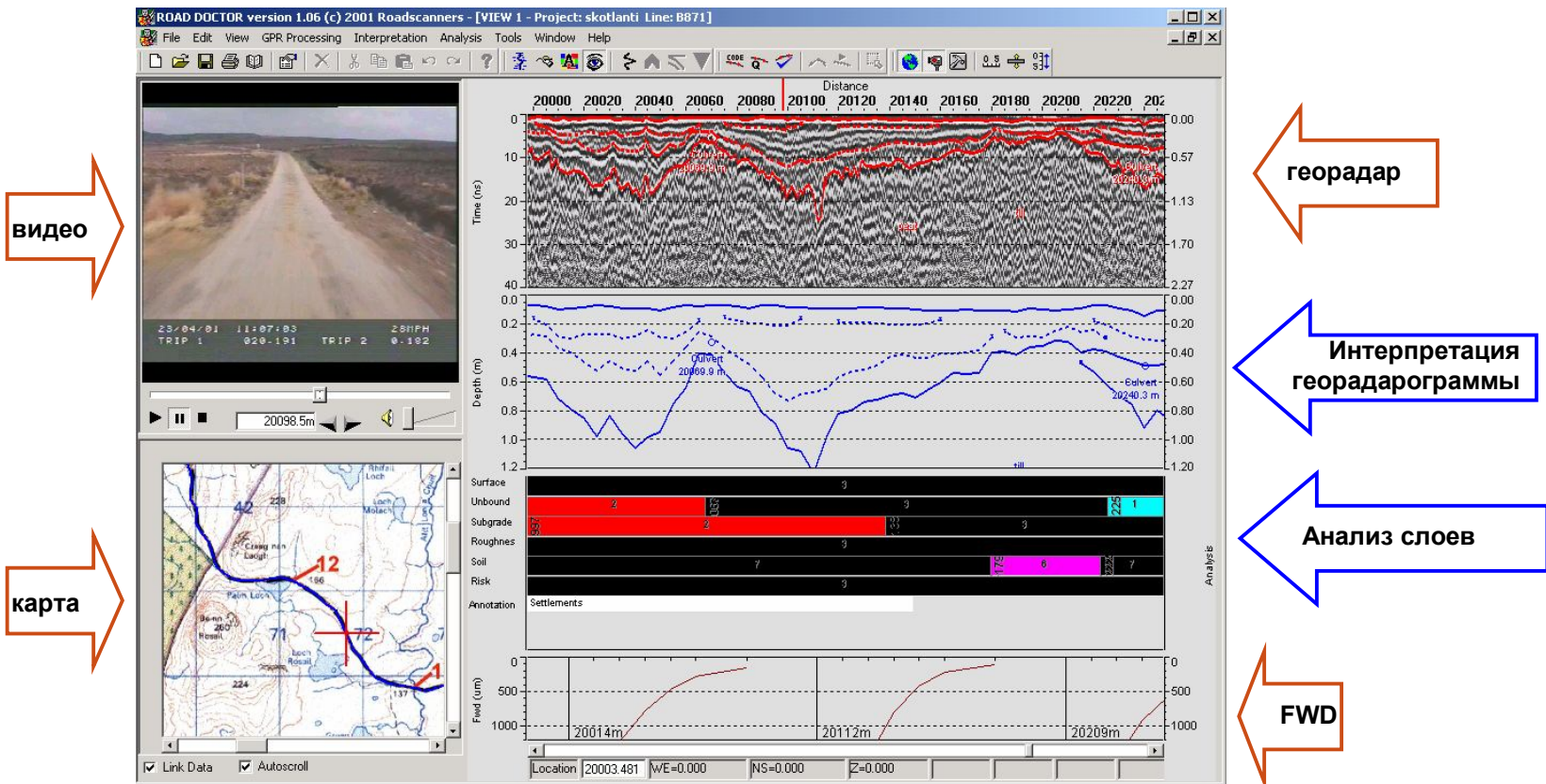


ТС, оснащенное георадаром



ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОРОГ, ПОСТРОЕННЫХ НА ТОРФАХ

“Интегрированный анализ”



видео

карта

георадар

Интерпретация георадарограммы

Анализ слоев

FWD

Типичный интегрированный анализ в программе “Road Doctor”

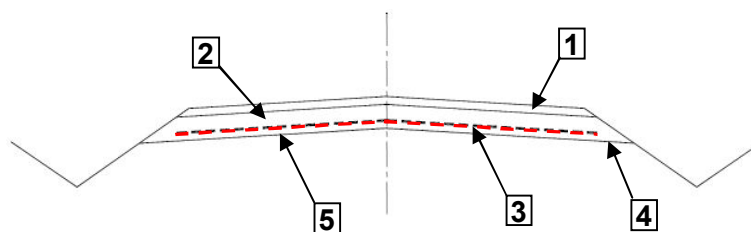
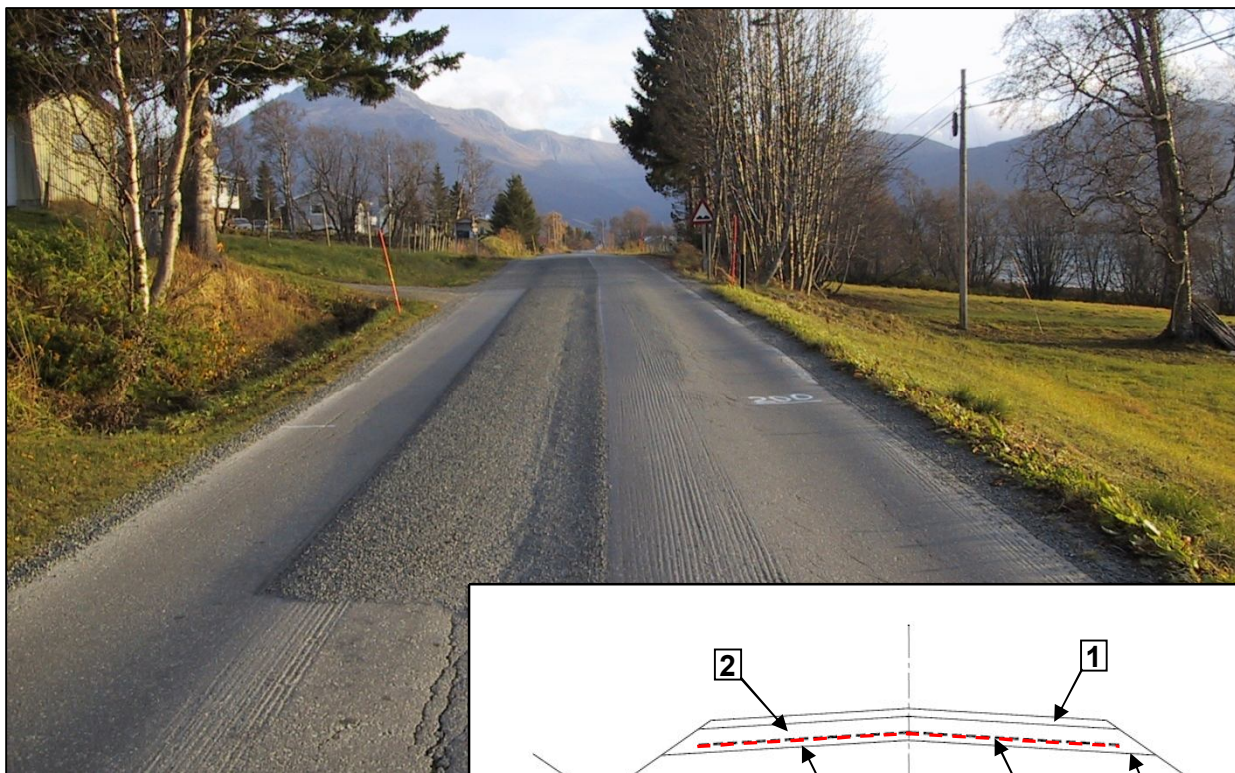
Roadscanners Oy



This Project is financed by EU

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОРОГ, ПОСТРОЕННЫХ НА ТОРФАХ

Осадка и неровности проезжей части



No	Слой
1	Покрытие/слой износа
2	Основание
3	Стальная сетка
4	Геотекстиль
5	Уровень выторфовки



This Project is financed by

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОРОГ, ПОСТРОЕННЫХ НА ТОРФАХ

Применение стальных сеток



ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОРОГ, ПОСТРОЕННЫХ НА ТОРФАХ

Применение стальных сеток

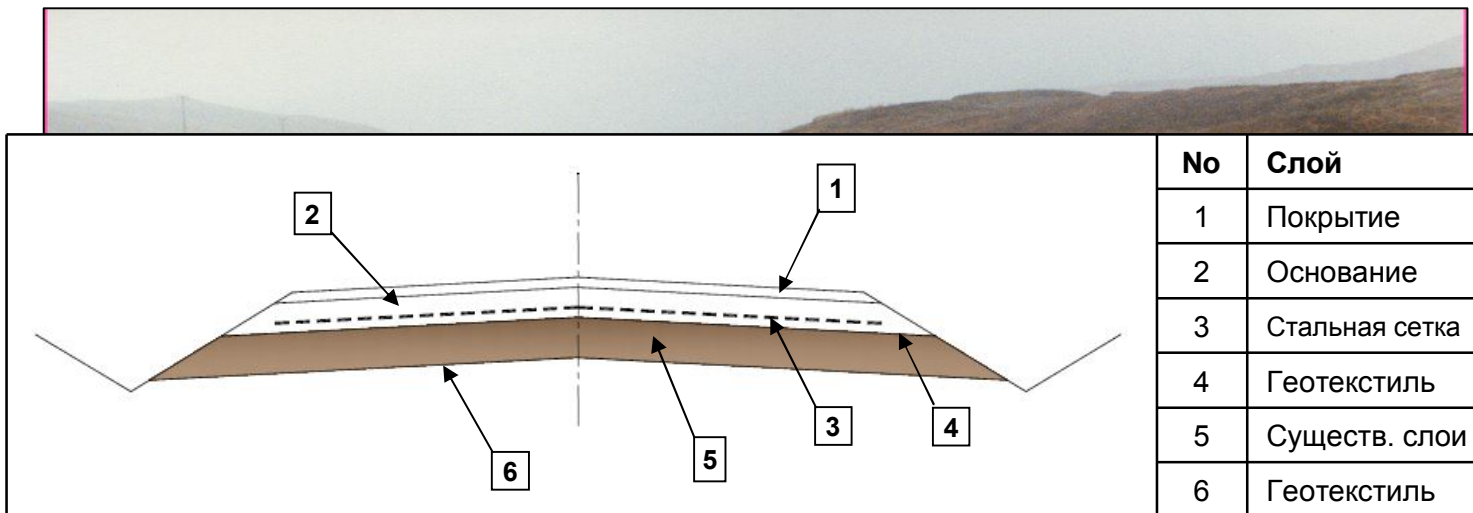


This Project is financed by EU

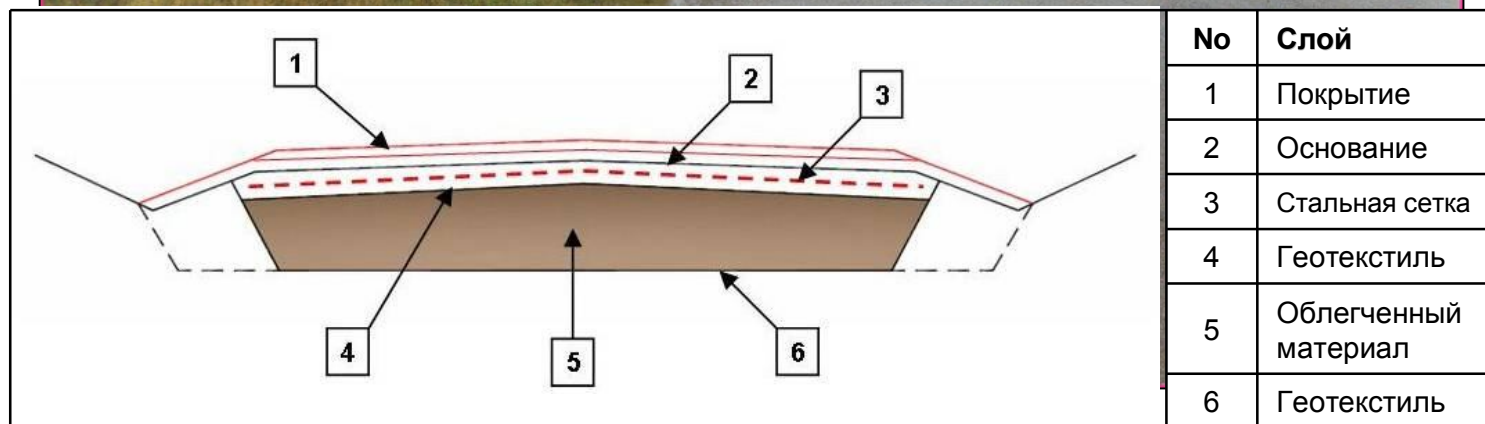


ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОРОГ, ПОСТРОЕННЫХ НА ТОРФАХ

Осадка и волны на проезжей части



Поперечный профиль с указанием восстановительных облегченных конструкций



ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОРОГ, ПОСТРОЕННЫХ НА ТОРФАХ

а/д Форсса-Сомеро, Финляндия



This Project is financed by EU

ВЫТОРФОВКА ЗАМЕНЯЕМОГО МАТЕРИАЛА



This Project is financed by EU



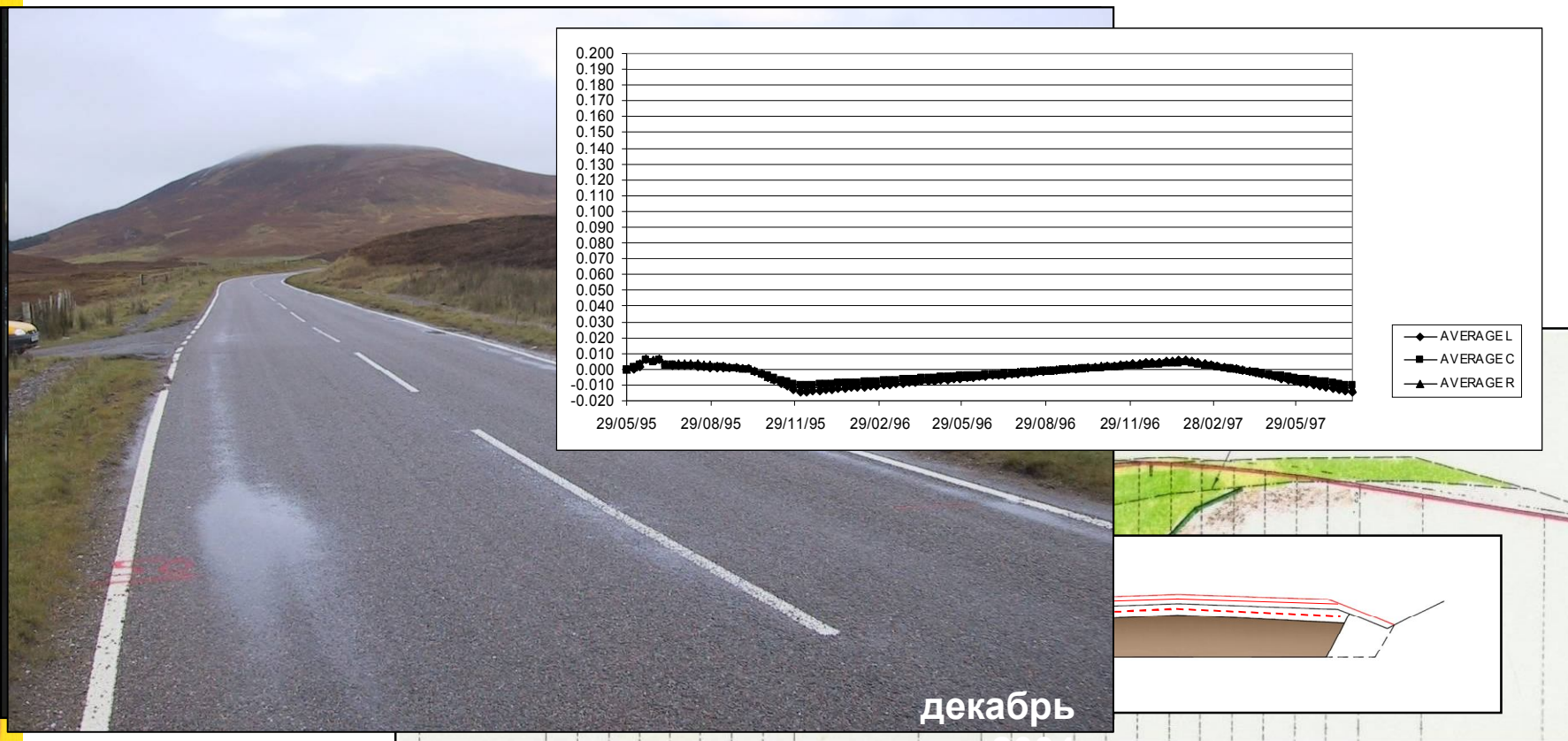
НОВАЯ ДОРОЖНАЯ ОДЕЖДА НА УЧАСТКЕ ЗАМЕНЫ ГРУНТА



This Project is financed by EU

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОРОГ, ПОСТРОЕННЫХ НА ТОРФАХ

а/д А837 Ледберг, Шотландия



This Project is financed by EU

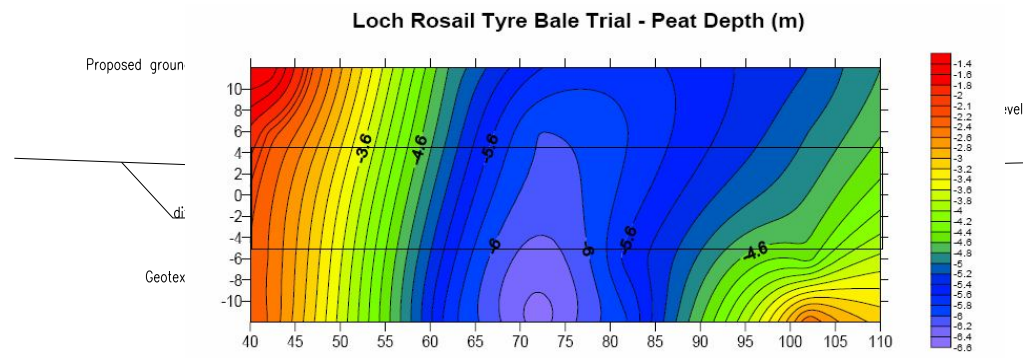
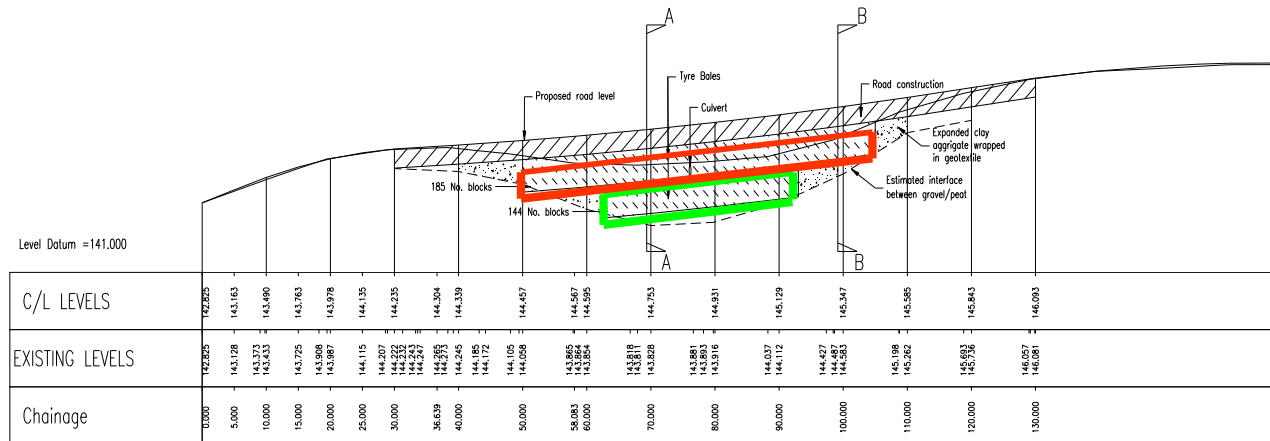
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОРОГ, ПОСТРОЕННЫХ НА ТОРФАХ

Практический пример: а/д В871 Loch Rosail, Шотландия



This Project is financed by EU

Земляное полотно, устроенное из автомобильных покрышек, а/д В871



This Project is financed by EU

Устройство земляного полотна из покрышек автомобилей, а/д В871



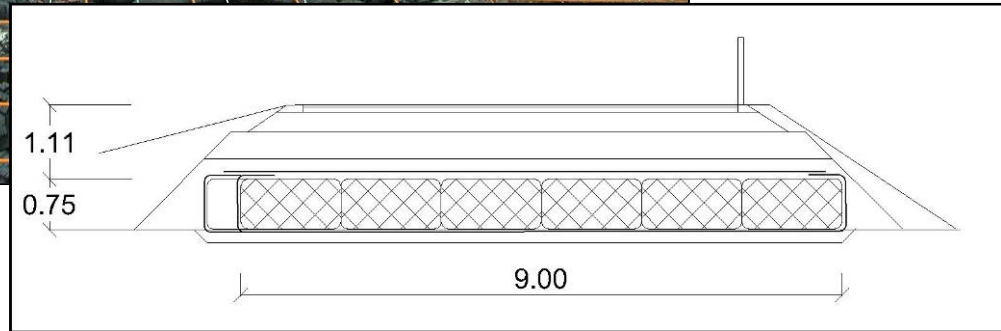
This Project is financed by EU

Устройство земляного полотна из покрышек автомобилей, а/д В871



This Project is financed by EU

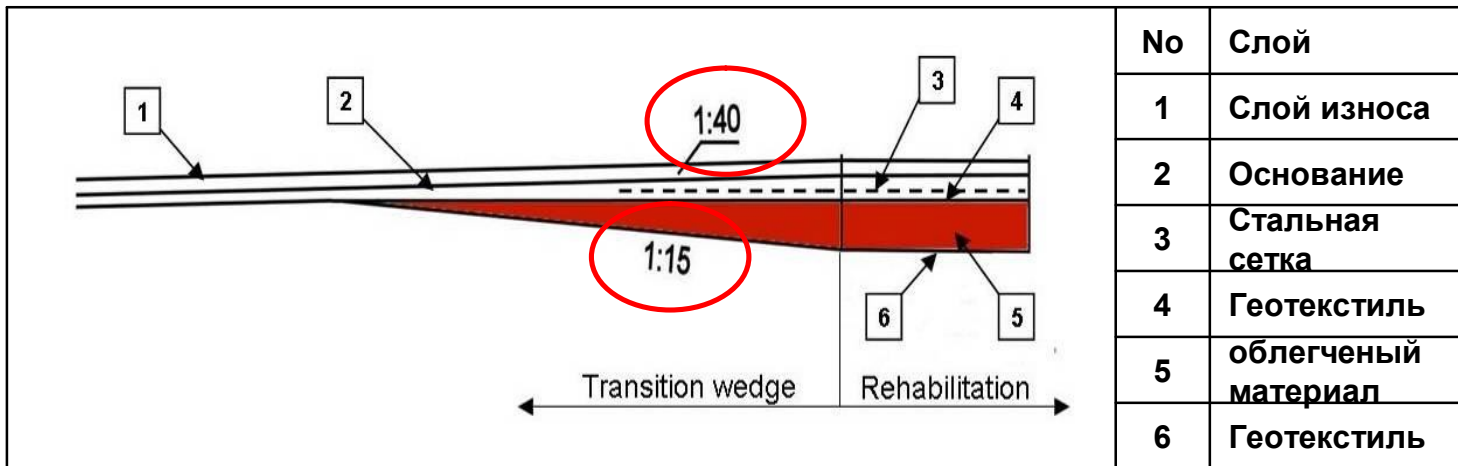
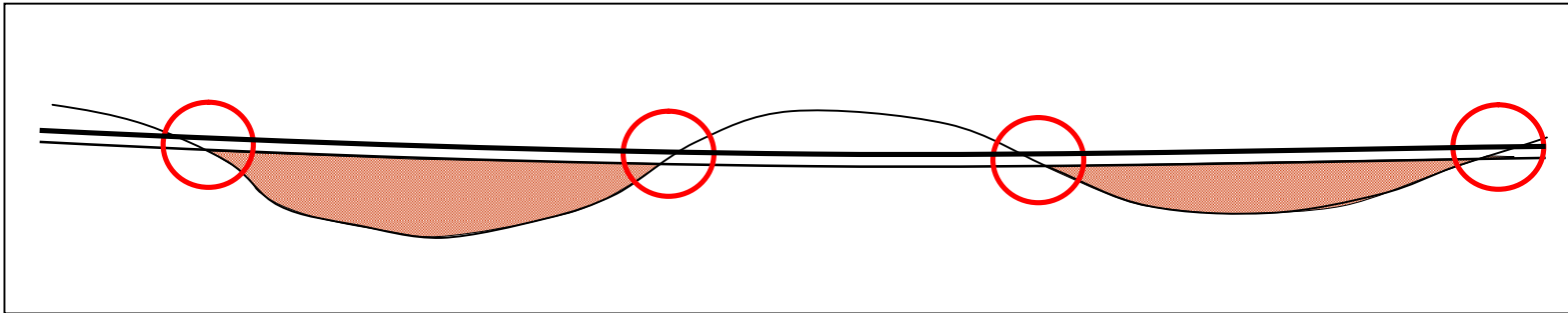
Западная кольцевая автодорога, Тампере, Финляндия (2004)



This Project is financed by EU

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОРОГ, ПОСТРОЕННЫХ НА ТОРФЕ

Переходные зоны

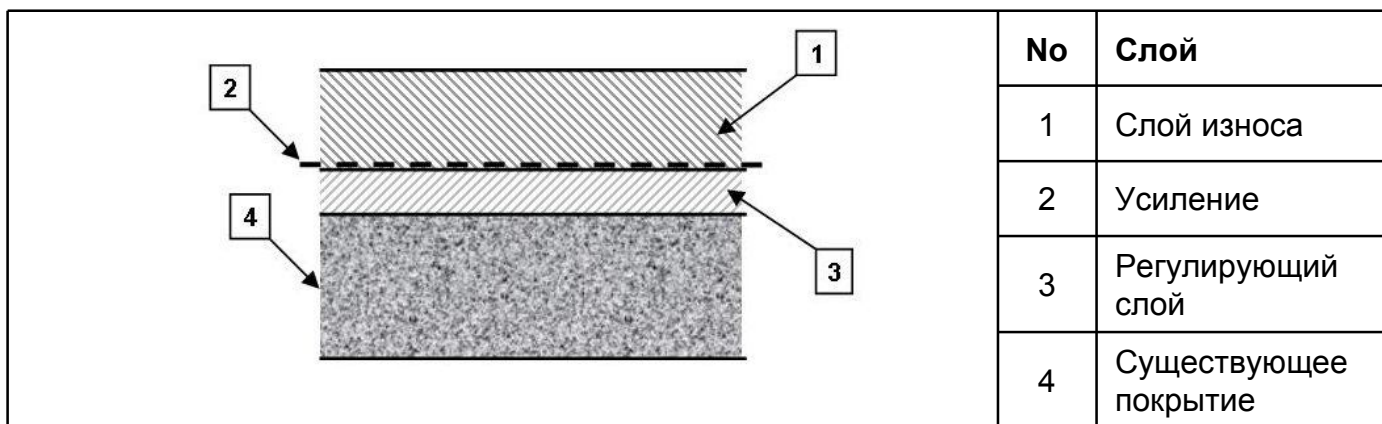


Продольный профиль в переходных зонах



ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОРОГ, ПОСТРОЕННЫХ НА ТОРФЕ

Усиление покрытия

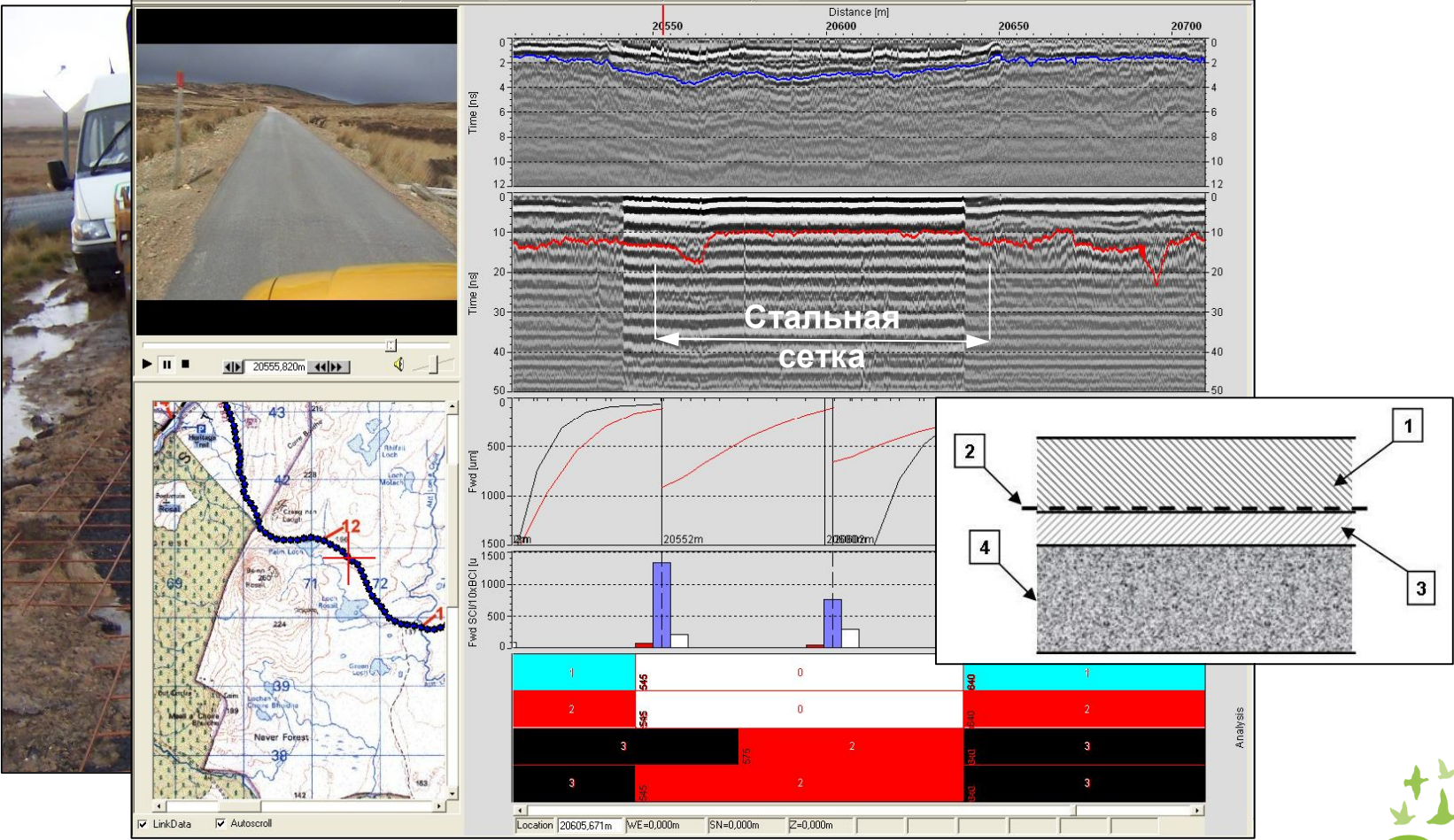


Поперечный профиль участка с усиленным покрытием



ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДОРОГ НА ТОРФАХ

Усиление слоев покрытия



This Project is financed by EU



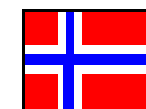
ROADIX
Implementing Accessibility



Особый вид проблем: УШИРЕНИЕ ДОРОГ, ПОСТРОЕННЫХ НА ТОРФЕ



Rd 858 Щёсенмюра



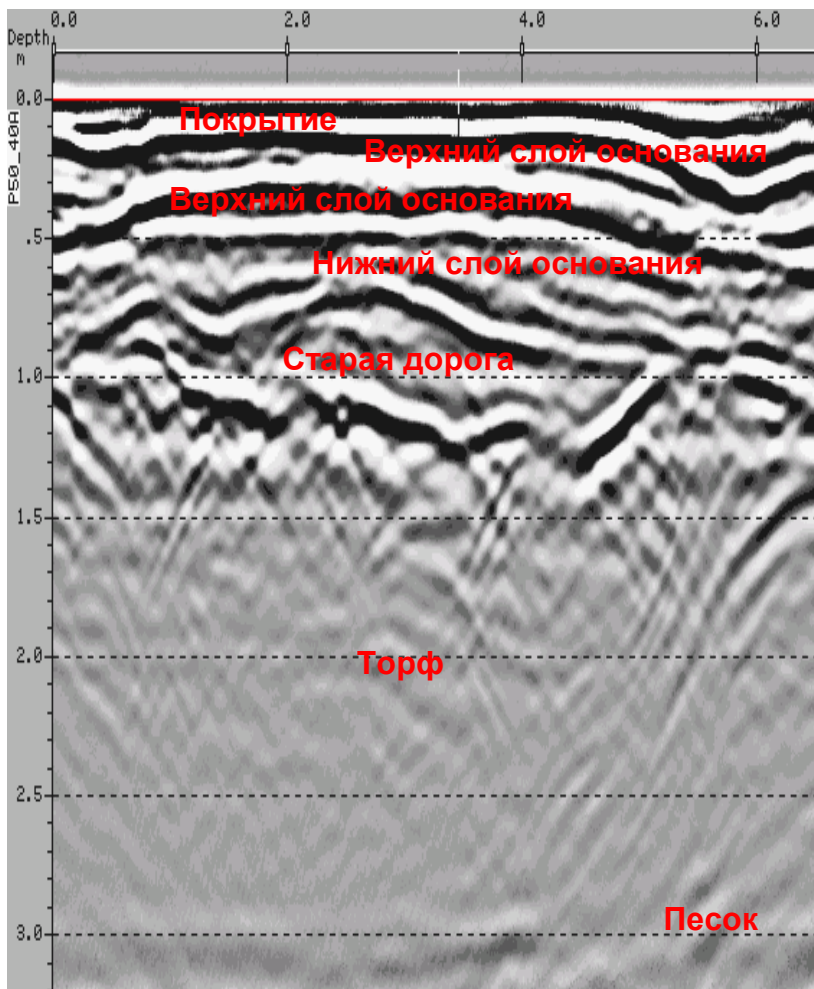
Тромс



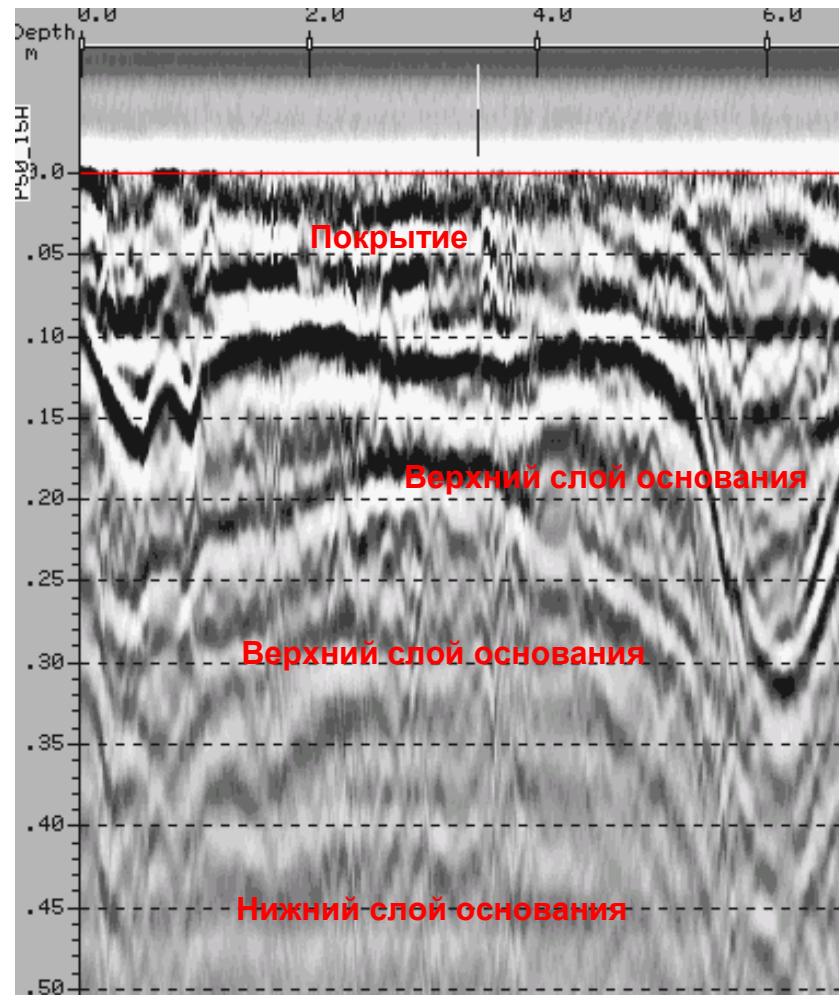
This Project is financed by EU



Участок III: а/д 858 Щёсенмюра Поперечный профиль, 50м



Антенна 400 МГц



Антенна 1500 МГц
(высокое разрешение)



This Project is financed by EU

Пригрузка насыпи (перегружение земляного полотна для ускорения осадки)



This Project is financed by EU

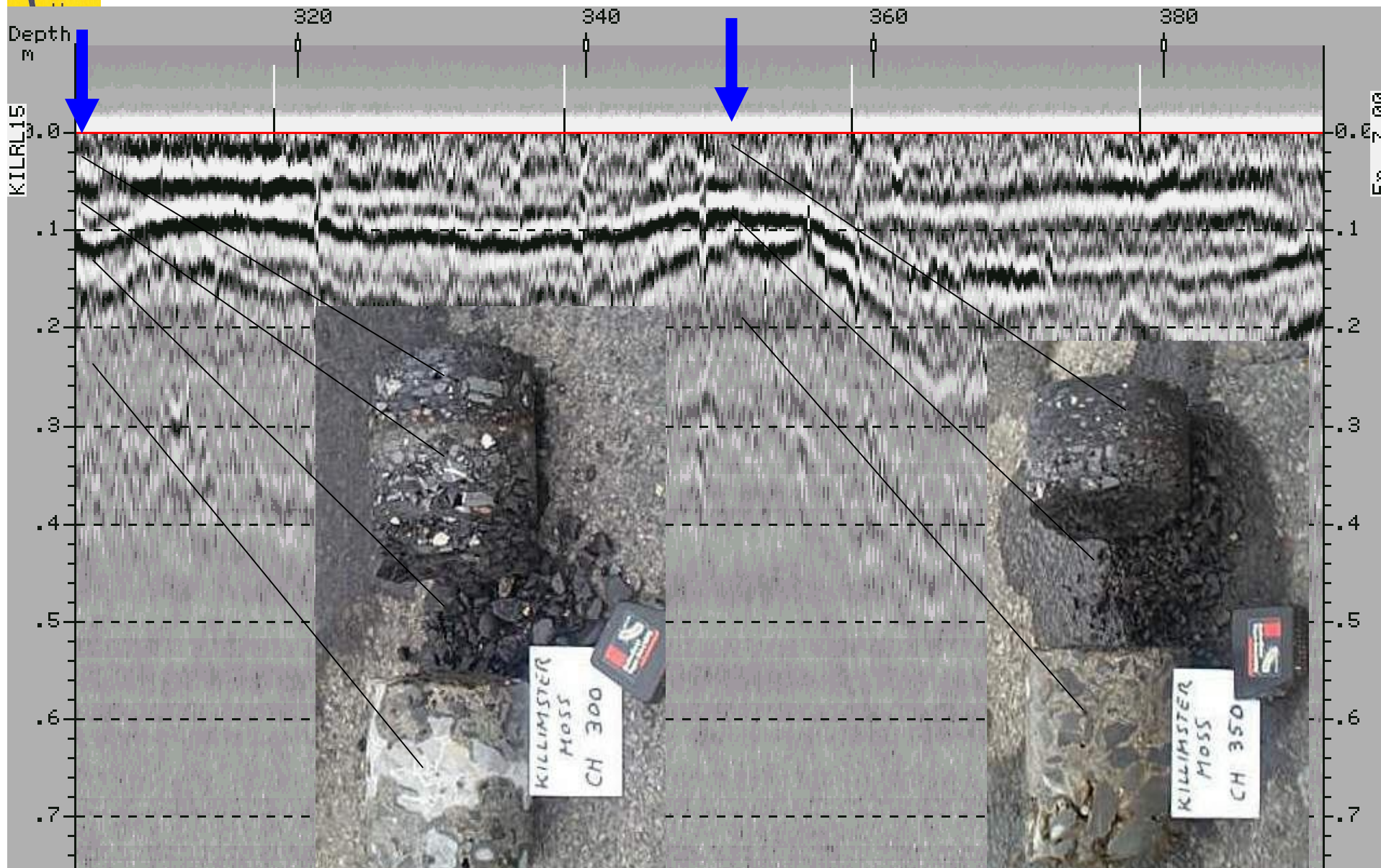
А/д 876 Киллимстер Мосс, Кэйтнесс, Хайлэнд, Шотландия





КИЛЛИМСТЕР МОСС, 310-370м

Правая полоса, георадарограмма с антенны 1.5 ГГц





КИЛЛИМСТЕР МОСС, 310-370м

Правая полоса, георадарограмма с антенны 1.5 ГГц



а/д 876, КИЛЛИМСТЕР МОСС, ШОТЛАНДИЯ

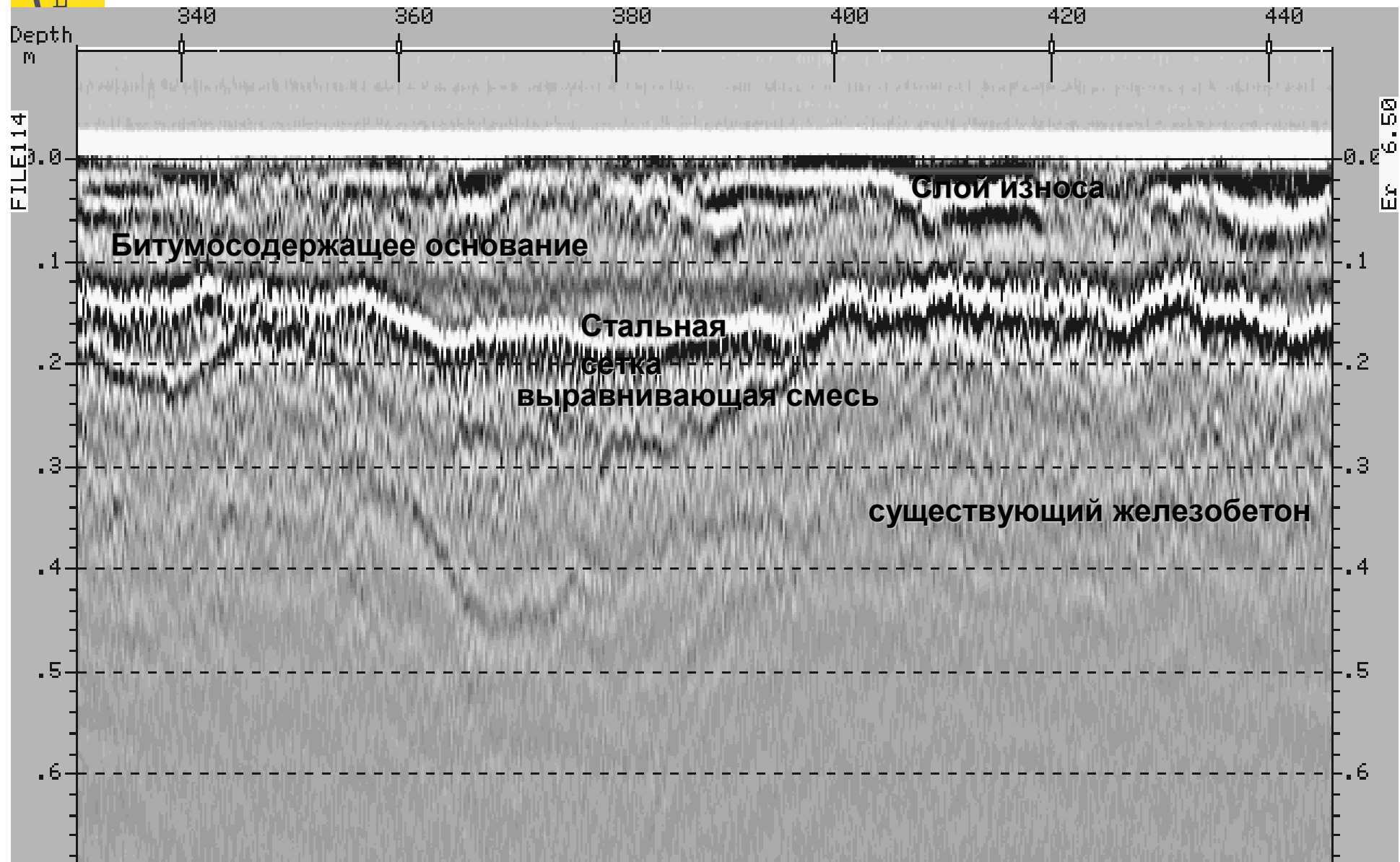








НОВАЯ ДОРОЖНАЯ КОНСТРУКЦИЯ: КИЛЛИМСТЕР МОСС, участок 330-450м. Правая полоса. Георадарограмма с антенны 1.5 ГГц





This Project is financed by EU

РЕЗЮМЕ

Рекомендации:

- **Выявление проблем и их причин в результате обследования**
- **Понимание процессов, приводящих к возникновению проблемы**
- **Применение инновационных решений – поиск адресных, ориентированных на решение данной конкретной проблемы решений**
- **Следование врачебному принципу «Не навреди»**
- **Фиксирование всех обстоятельств и информирование партнеров о полученном опыте, даже негативном!**



This Project is financed by EU



ROADEX
Implementing Accessibility

Спасибо!



***Автомобильная дорога, построенная в Железном веке, 4000 лет
д.н.э., Дерраган, Лонгфорд, Ирландия.
«Дороги сквозь время», Археологические исследования ирландских
дорог, построенных на болотах***



This Project is financed by EU



ROADEX
Implementing Accessibility