

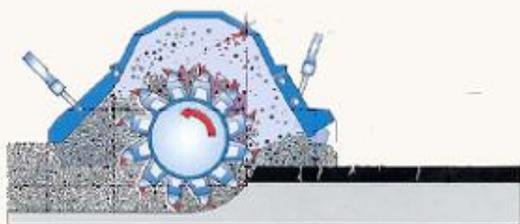
# ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ И СТАБИЛИЗАЦИИ МАТЕРИАЛОВ ПОКРЫТИЙ И ОСНОВАНИЙ



Тимо Сааренкето, доктор наук  
Управляющий директор  
компания Roadscanners Oy



# Стабилизация верхнего слоя основания на дороге с низкой интенсивностью движения в Финляндии



Данный проект частично финансируется ЕС

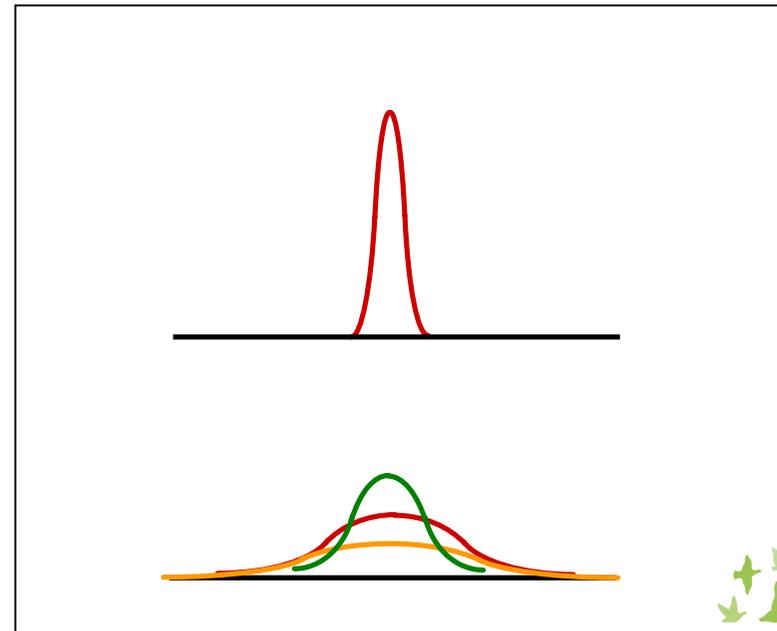
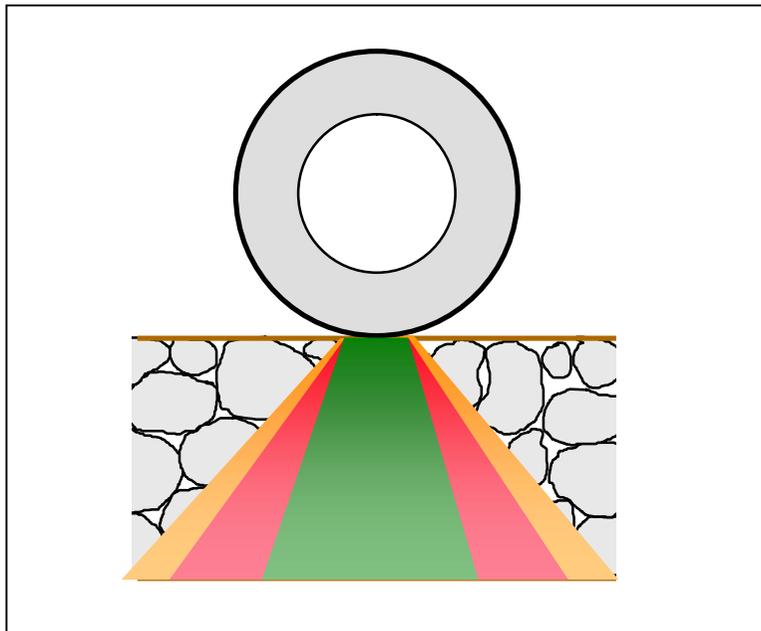
Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



# Для чего применяется традиционная стабилизация материалов?

Обычно стабилизация несвязных материалов осуществляется для придания обрабатываемому слою **жесткости** и/или **прочности** (сопротивление сдвигу).

Высокая жесткость позволяет лучше распределять нагрузку, снижая тем самым напряжения (и деформации) в нижележащих слоях дорожной одежды и земляном полотне



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



ROADEX  
Implementing Accessibility

# Почему именно традиционные виды стабилизации?

Высокое сопротивление сдвигу повышает устойчивость слоя к остаточным деформациям, т.е. колеяности



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



# Виды добавок, применяемых при традиционной стабилизации материалов

- **Пуццолановые/гидравлические**
  - Цемент (< 9% мелких частиц )
  - Порошковый доменный шлак
  - Известь (высокое содержание мелких частиц)
- **Битумы**
  - Эмульсии
  - Вспененные
- **Комбинированные битумные + гидравлические вяжущие**



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



# Стабилизация битумным вяжущим

## Битумная эмульсия



## Вспененный битум



Опыт проектов ROAD EX в области стабилизации с использованием разных битумных вяжущих:

Содержание мелких частиц:

**< 8 % - рекомендуется стабилизация битумной эмульсией**

**8-12 % возможно применение любого битумного вяжущего, определяющим критерием является стоимость**

**> 12 % рекомендуется стабилизация вспененным битумом**



# Содержание битумного вяжущего при стабилизации



Остаточное содержание битумного вяжущего при стабилизации обычно составляет 3-4%, однако наилучших результатов можно достичь путем добавления лишь 1% битума в слой основания. Фактическое содержание битума зависит от содержания в материале мелких частиц. Грубую оценку содержания битумного вяжущего определяют по формуле:

Содержание битум. вяж. =  $0.14 * \text{содержание мелких частиц (<0.063mm, \%)} + 2.6$ .

Остаточное содержание битумного вяжущего для ремиксерного метода обычно составляет 3-3.5%.



Данный проект частично финансируется ЕС

# Композитная стабилизация с использованием битумного и гидравлического вяжущего



- Обеспечивает высокую несущую способность
- Предотвращает проблемы дифференциального морозного пучения
- Создает проблемы для проезда легковых автомобилей по участку в период ремонта



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



ROADEX  
Implementing Accessibility

# Стабилизация шлаком



- **Содержание мелких частиц 5-15 %**
- **Требуется время до открытия движения**
- **Отсутствие проблем дифференциального морозного пучения**



Данный проект частично финансируется ЕС



# Ограничения по применению традиционных стабилизирующих добавок

- **Гидравлические вяжущие** (стабилизация цементом) повышают сопротивление сдвигу в стабилизированном слое. Однако, слой становится хрупким, а, следовательно, более подверженным неравномерному морозному пучению. В дорожных одеждах с ограниченной толщиной конструкции (для Финляндии < 1,0 ... 1,5 м) избежать этого невозможно.
- **Битумные вяжущие** обеспечивают большую упругость, но вместе с тем и чувствительность к остаточным деформациям, особенно на ранних стадиях эксплуатации стабилизированного слоя.
- **Композитные вяжущие** применяются в целях достижения оптимального баланса между достаточной устойчивостью к деформациям и упругостью.



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



ROADEX  
Implementing Accessibility

# Стабилизация известью и цементным вяжущим



Фотографии из Интернет-источников:



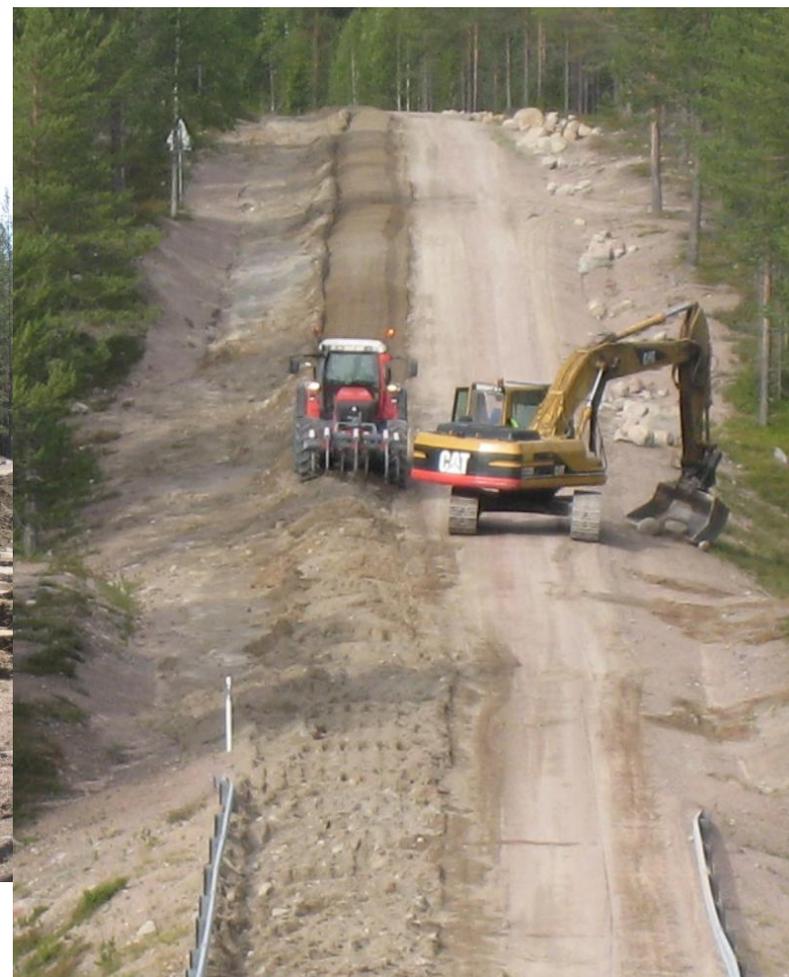
Данный проект частично финансируется ЕС

## Вариантом стабилизации является также укрупнение частиц материала



Данный проект частично финансируется ЕС

# Дробление на дороге по методу Тиркконена



Данный проект частично финансируется ЕС



# Чем вызван интерес к нетрадиционным стабилизирующим добавкам/обработке несвязных материалов?

- В районах с сезонным промерзанием грунтов основной проблемой дорожной сети является снижение несущей способности в период оттаивания. В остальное время года несущая способность дорог, как правило, достаточна.
- Главная цель применения нетрадиционных стабилизирующих добавок/обработки материалов заключается не в повышении сопротивления сдвигу или прочности (модуль упругости), а в снижении чувствительности слоев основания дорожной одежды к избыточной влаге, а, следовательно, к негативному влиянию сезонных циклов замерзания/оттаивания
- Данные технологии являются потенциально экономически эффективными методами поддержания требуемого состояния и обеспечения достаточной несущей способности дорог (например, с низкой интенсивностью движения).



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



**ROADEX**  
Implementing Accessibility



# Причины нечастого применения нетрадиционных стабилизирующих добавок

(Rauch et al. 2002)

- **Нехватка опубликованных результатов независимых исследований**; скептицизм в отношении результатов, полученных непосредственно изготовителями добавок
- **Недостаточность данных полевых испытаний**
- **Нехватка стандартных методов лабораторных испытаний**, которые позволили бы прогнозировать поведение стабилизированных материалов в реальных условиях
- **Спорность** в отношении способности лабораторных испытаний **прогнозировать реальное поведение** стабилизированных материалов в полевых условиях
- **Неточность информации, предоставляемой поставщиками** (например, в отношении химического состава продукта)
- **Отсутствие доверия** в связи с появлением/исчезновением/изменением названий стабилизирующих добавок и наименований поставщиков



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



**ROADEX**  
Implementing Accessibility

# Почему именно нетрадиционные стабилизирующие добавки?

- Потенциально – новый экономически эффективный метод повышения несущей способности дорог с низкой интенсивностью движения
- Обеспечивает снижение чувствительности материалов основания к воздействию воды



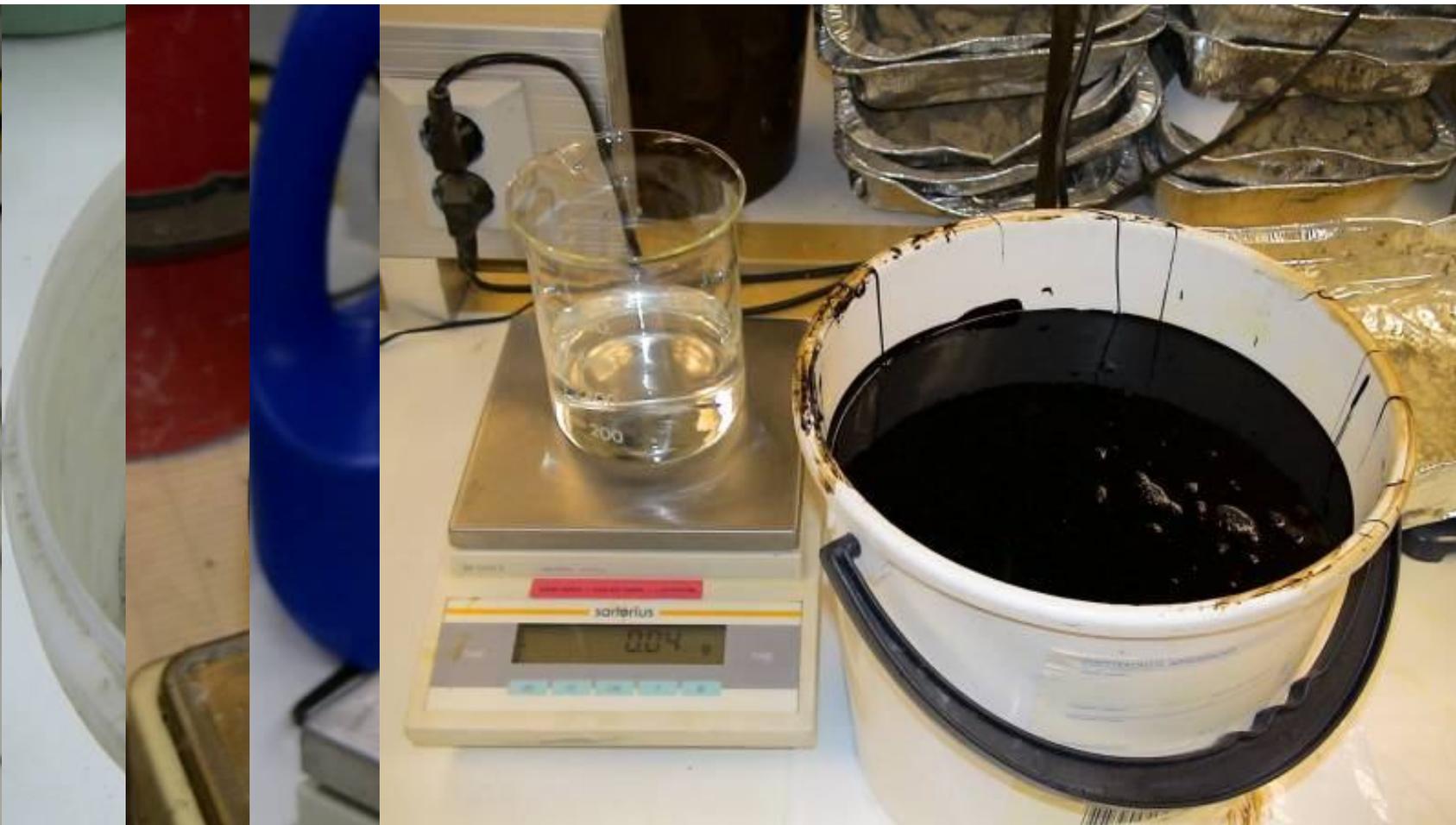
Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



**ROADEX**  
Implementing Accessibility

# Внешний вид нетрадиционных стабилизирующих добавок весьма разнообразен



Данный проект частично финансируется ЕС Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



# Классификация нетрадиционных стабилизирующих добавок, применяемых в Технологическом университете Тампере

- Полимеры
- Энзимы
- Ионные добавки
- Лигнины
- Каучуки
- Комбинированные добавки



# Полимеры

- Большое разнообразие видов
- Большинство полимеров производятся в виде эмульсии (содержание полимеров 40 – 45 % (винилацетаты, акриловые сополимеры), эмульгатора - 1 – 2 %, остальное – вода)
- Акриловые полимеры набирают прочность при высыхании (в результате химической адгезии частиц)
- Обладают потенциалом стать эффективным решением при стабилизации даже средне- и крупнозернистых материалов, но необязательно для очень мелкозернистых грунтов



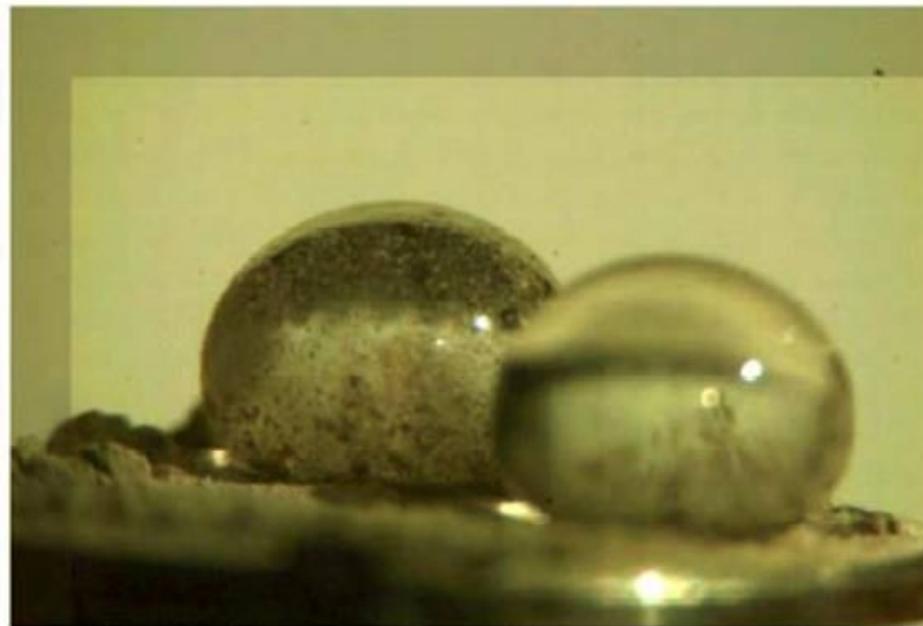
Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



# Полимеры

- Одним из полимеров, потенциально применимых для стабилизации крупнозернистых материалов, является **гидрофобная, покрытая полимером порошкообразная зола уноса**. Результаты испытаний по применению этой добавки в слоях оснований в Финляндии признаны многообещающими.



Water droplets on polyroad treated Yass pavement material.  
Base reference - mid point of mount to edge is 6.35mm.

Image by M. Greaves CSIRO, Clayton, Vic.



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



ROADEX  
Implementing Accessibility



# ЭНЗИМЫ



- Содержат белки
- Действуют как катализаторы, постоянно вступая в реакции. Не становятся частью конечного продукта
- Крупные органические молекулы оседают на поверхности глинистых частиц, создавая эффект покрытия, что предотвращает последующие реакции.
- Поскольку применение энзимов требует значительного количества мелких/пылеватых частиц в грунте, лучше их не применять для материалов с содержанием мелких частиц менее 20%
- Требуется выдержать время перед открытием движения



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



ROADEX  
Implementing Accessibility

# Ионные стабилизирующие добавки

- Электролиты переносятся осмосом и выводят адсорбированную воду из глинистых частиц, которые коагулируют как плотная безводная масса
- Содержание мелких частиц должно составлять не менее 35%, при этом определенная их доля должна быть представлена глинистыми минералами
- При успехе стабилизации полученный грунт ведет себя как песок (с частицами из укрупненных зерен исходного материала).



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере

# Каучуки

- широкий ряд продуктов, представленный:

- акриловыми
- полиуретановыми
- латексными
- нефтяными каучуками и
- натуральными и искусственными смолами



- «окутывают» и связывают частицы материала

- часть каучуков - биоразлагаемы

- нефтяные каучуки могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



ROADEX  
Implementing Accessibility

# Лигнины

- В основном – побочные продукты бумажных производств
- Доступны в форме водных растворов, реже – в порошках
- При сушке лигнины затвердевают и связывают мелкие частицы материала. Следует учесть, углеводы склонны к адсорбированию воды
- Биоразлагаемы, поэтому эффективны в течение ограниченного времени
- В основном применяются при обеспыливании, однако не применимы для долгосрочной обработки оснований, особенно в условиях влажного климата



# Лабораторные испытания новых стабилизирующих добавок в Технологическом университете Тампере

- Оценка применимости новых стабилизирующих добавок для снижения чувствительности материалов основания к воздействию воды. Примененные методы испытаний включили (см. подробности в отчете Вуоримиеса и Колисойи 2005):
  - минералогический анализ
  - оценку удельной поверхности (SSA)
  - определение коэффициента водопоглощения (WAI)
  - способность к катионному обмену (CEC)
  - водородный показатель pH
  - испытания всасывающей трубкой (Tube Suction tests)
- Изучение влияния обработки материалов на величину морозного пучения и механику поведения некоторых неудовлетворительно функционирующих материалов дорожных оснований



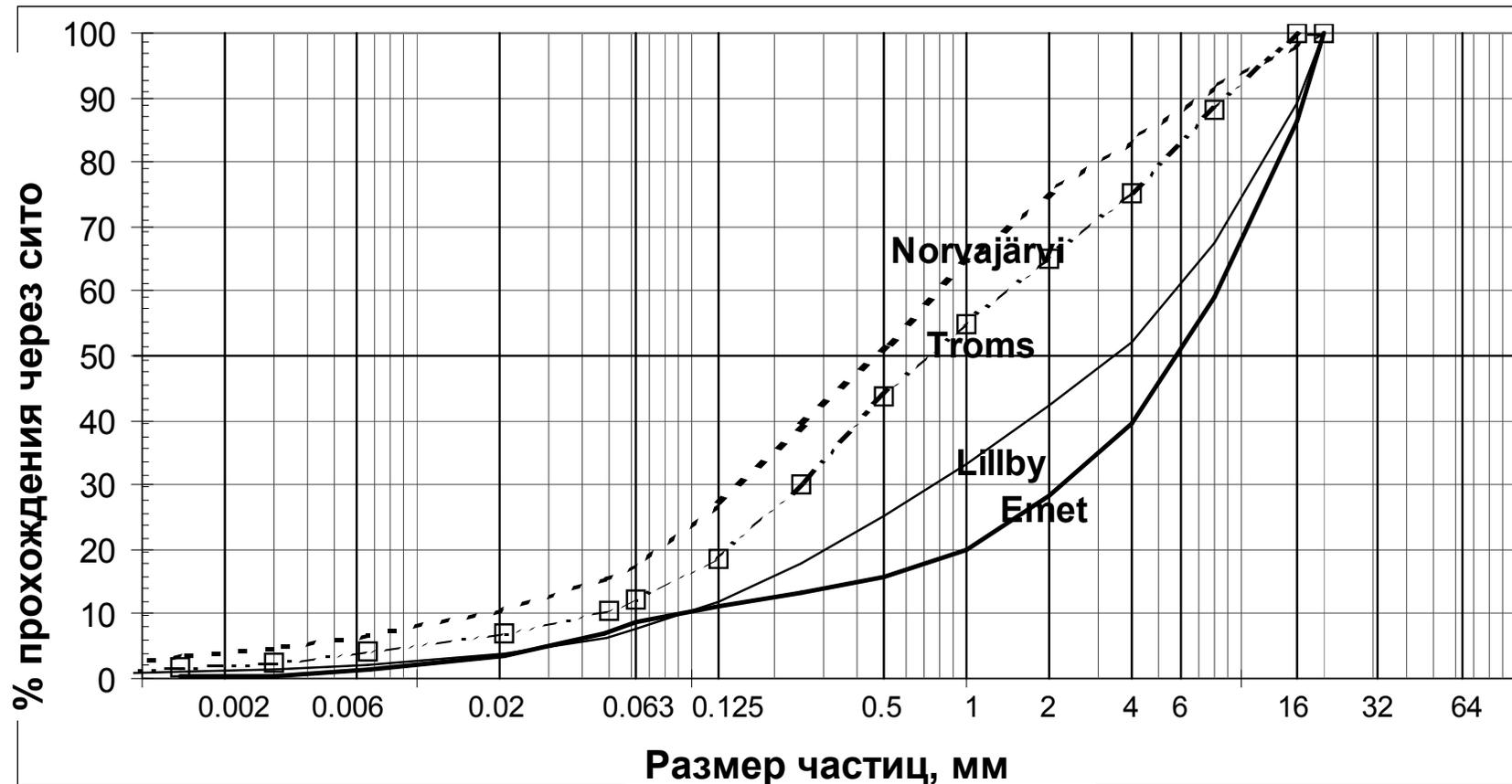
Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере





# Результаты испытаний материалов



Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



Данный проект частично финансируется ЕС



**ROADEX**  
Implementing Accessibility

## Процедура испытаний методом всасывающей трубки

- Уплотнение образца толщиной 180-200 мм в пластиковой трубке с внутренним диаметром 150 мм
- Сушка при температуре +40...+45°С до полного высыхания образца, обычно в течение недели



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



**ROADEX**  
Implementing Accessibility

# Процедура испытаний методом всасывающей трубки

- После сушки образца, помещение его в закрытый контейнер с 20мм слоем воды на дне. Образец оставляют для впитывания влаги.
- Мониторинг абсорбции образцом воды посредством измерения диэлектрического показателя и электропроводимости на поверхности образца через равные промежутки времени в течение 10-14 суток



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



**ROADEX**  
Implementing Accessibility

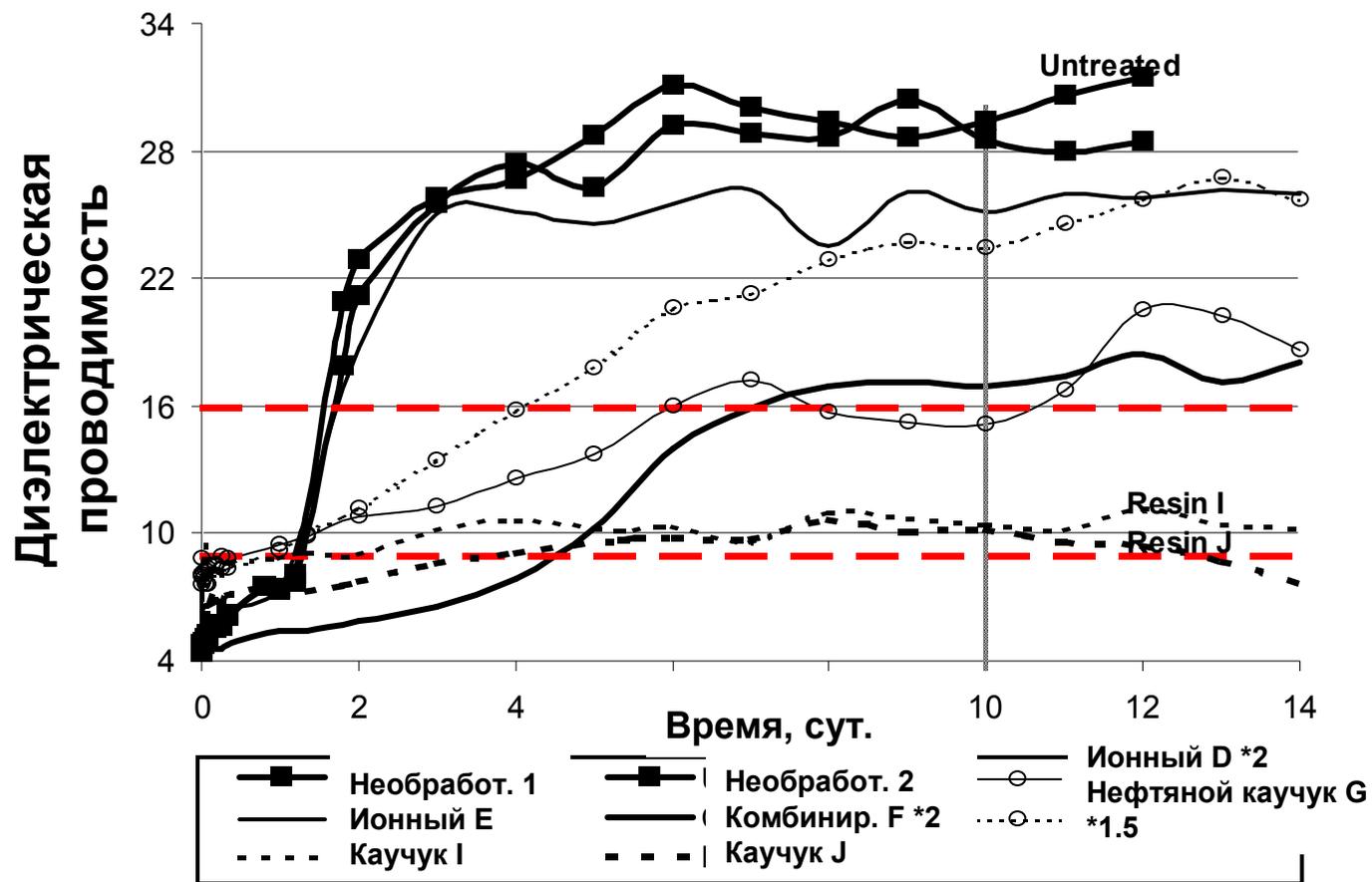
# Процедура испытаний методом всасывающей трубки

- Диэлектрический показатель характеризует количество свободной воды, адсорбируемой образцом.
- На основании имеющегося опыта диэлектрический показатель, свидетельствующий о высоком качестве материала основания, не должен превышать 9.



Диэлектрический показатель по методу всасывающей трубки	Классификация (Скаллион и Сааренкетто 1997)
< 10 (9 в зонах с сезонным промерзанием)	Качественный материал слоя основания
10-16	Качество материала под вопросом
>16	Материал непригоден для устройства дорожного основания

# Пример проведения испытаний методом всасывающей трубки (материал из Норвеярви)



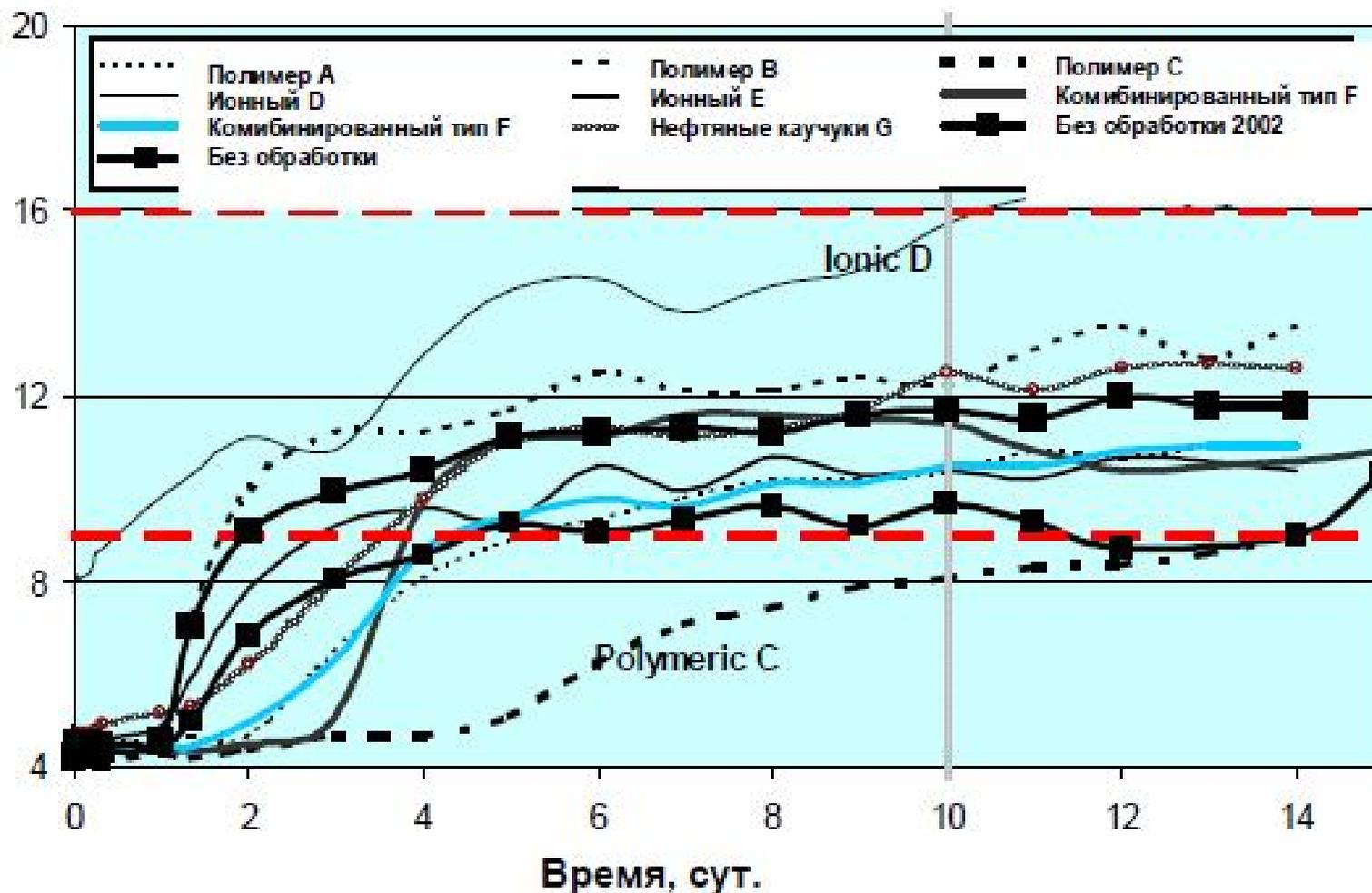
Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



**ROADEX**  
Implementing Accessibility

# Испытания всасывающей трубкой материалов из Тромса (содержание мелких частиц 11 %)



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



# Сводные результаты проведения испытаний методом всасывающей трубки (пояснения на следующем слайде)

Aggregate	Lillby		Emet		Troms		Norvajärvi	
	$\epsilon_r$	$W_{35mm}$ %	$\epsilon_r$	$W_{35mm}$ %	$\epsilon_r$	$W_{35mm}$ %	$\epsilon_r$	$W_{35mm}$ %
Untreated	17	4.9	24	3.7	11.5	5.0	30	6.3
Polymer A	20	5.0	19	4.0	10.5	5.2	18.5	5.2
Polymer B	17	4.9	17	3.2	12	5.6		
Polymer B *2	16	5.5	18	3.4			15	5.3
Polymeric C	8.5	3.7	6	1.7	8	2.7	17	3.8
Ionic D	22	5.0 *)	14	3.1 *)	15.5	5.2 *)		
Ionic D *2	19.5	4.3 *)	21	3.2 *)			15	5.3 *)
Ionic E	17	4.0	15	2.8	10.5	4.0	25	5.5
Combined F	15	4.7 *)	15	3.5	11.5	4.9		
Oil Resin G	18	4.7 *)	12.5	2.5	12.5	4.9		
Oil Resin G *1.5	16	4.7 *)	18	3.3			17	5.1
Resin I	23	3.5 *)	6	0.4	11	2.8	10.5	3.1
Resin J			7	0.9	5.5	1.5	10	2.5
Polymer K	9.5	1.8 *)	6	0.7 *)	5.5	1.9	7.5	3.1
Polymer L			24	3.5	5.5	1.7	18.5	5.1
Polymer M	20	4.0 *)	7	1.6 *)	5.5	2.2 *)	9	3.4 *)

\*) Влажность выше в начальной фазе абсорбции  $\epsilon_r$  = диэлектрический показатель;  $W_{35mm}$  = влажность на глубине 35мм от поверхности



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисоия и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



ROADEX  
Implementing Accessibility

## Пояснения к предыдущему слайду

- $\epsilon_r$  диэлектрический показатель материала, определяемый в конце испытаний всасывающей трубкой
- $W_{35mm}$  конечная влажность верхней части образца, испытываемого по методу всасывающей трубки
- **Красным цветом** отмечено увеличение диэлектрического показателя более чем на 20%
- **Зеленым цветом** отмечено снижение диэлектрического показателя более чем на 40% или до показателей менее 9



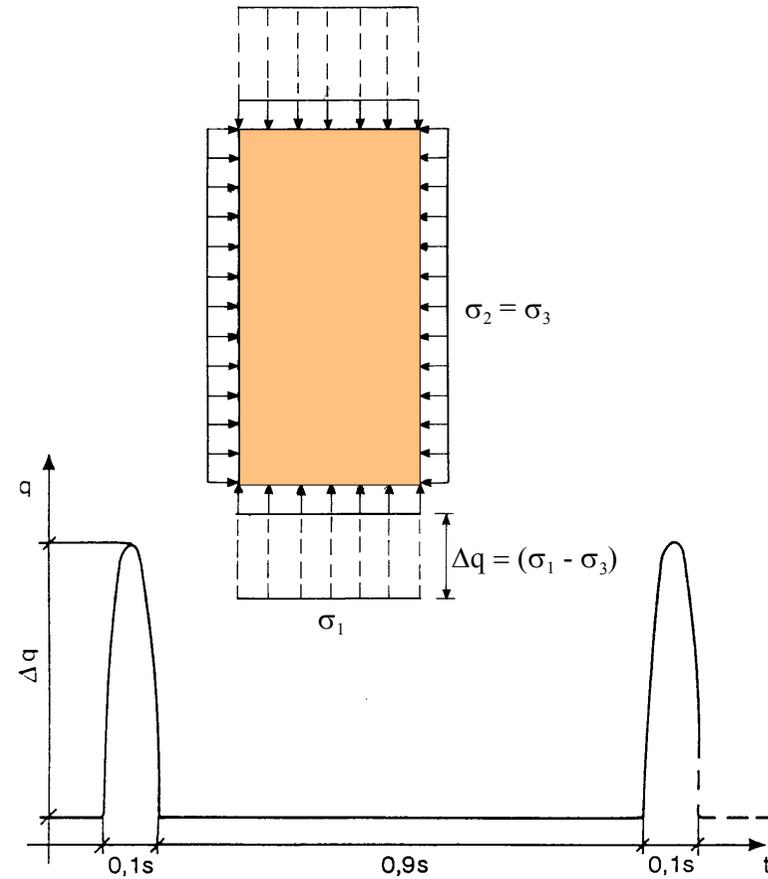
Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисоья и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет  
Тампере



**ROADEX**  
Implementing Accessibility

# Испытания на трехосное сжатие



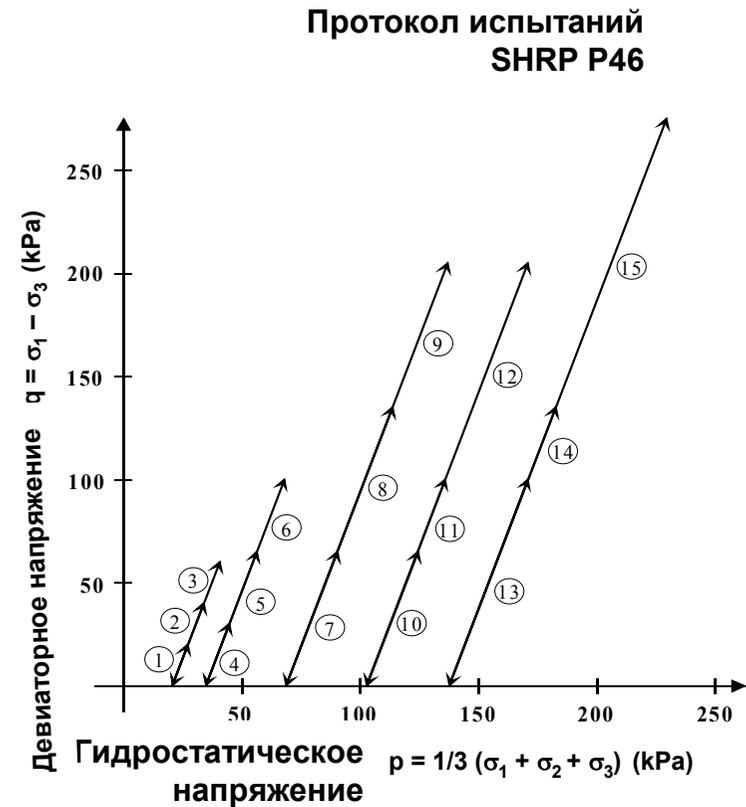
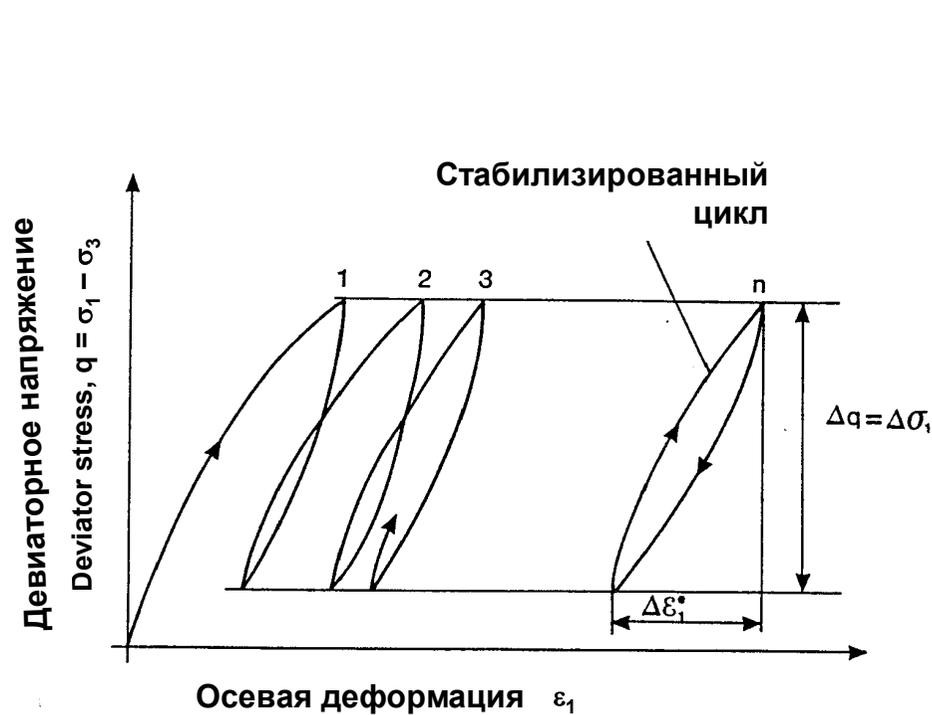
Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисоья и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



ROADEX  
Implementing Accessibility

# Масштабные испытания на трехосное сжатие



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



ROADEX  
Implementing Accessibility



## Масштабные испытания на трехосное сжатие

- При определении свойств упругой деформации применялся американский протокол American SHRP protocol P46 (AASHTO 1992) – воздействие на образцы в сухом и влажном состоянии, после циклов заморозания/ оттаивания
- Испытания на остаточные деформации заключались в 100 000-кратном приложении нагрузки (предельное давление 50кПа, девиаторное напряжение 300 кПа)



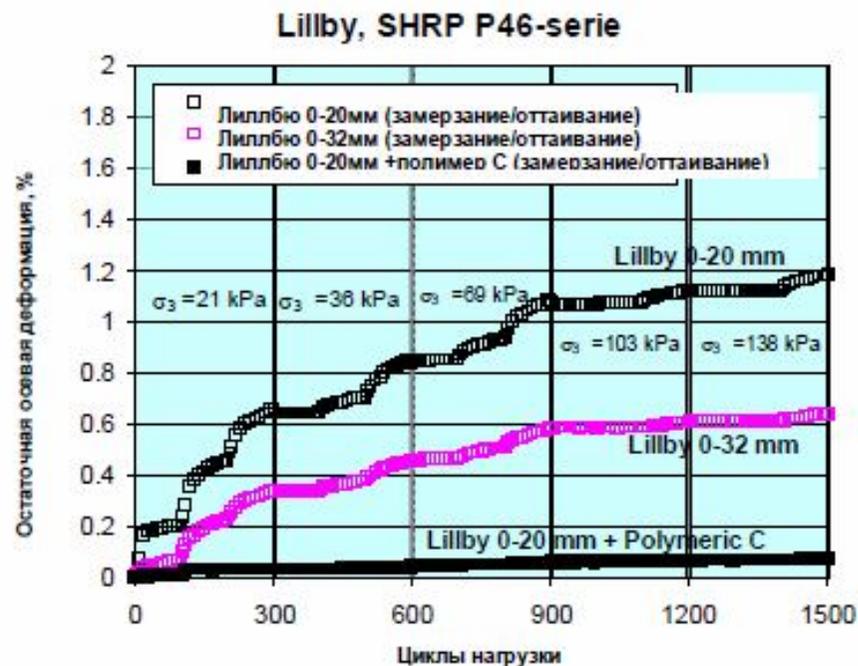
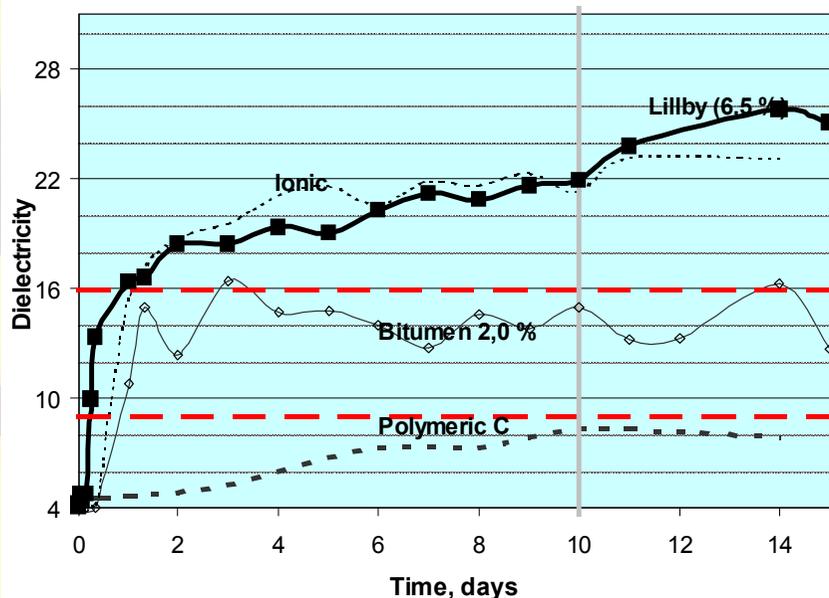
Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



# Результаты испытаний образца из Лиллбю методом всасывающей трубки и масштабного трехосного сжатия под многократным приложением нагрузки

## Испытания методом всасывающей трубки



Данный проект частично финансируется ЕС

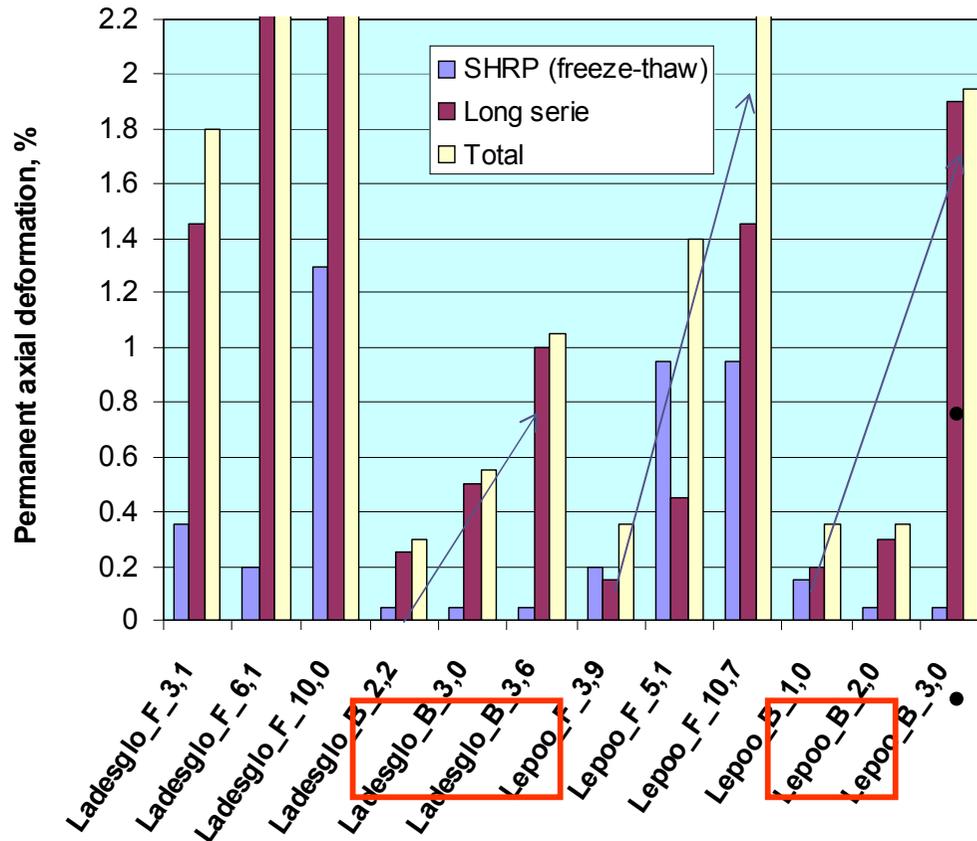
Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



ROADEX  
Implementing Accessibility



# Обработка дробленой горной породы битумной эмульсией



- Остаточные деформации в оттаивающем материале могут быть значительными после нескольких циклов приложения нагрузки, по причине увеличения содержания мелких частиц

Даже низкое содержание битумного вяжущего может значительно снизить остаточные деформации

Особое значение имеет качественное уплотнение обработанного материала



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере

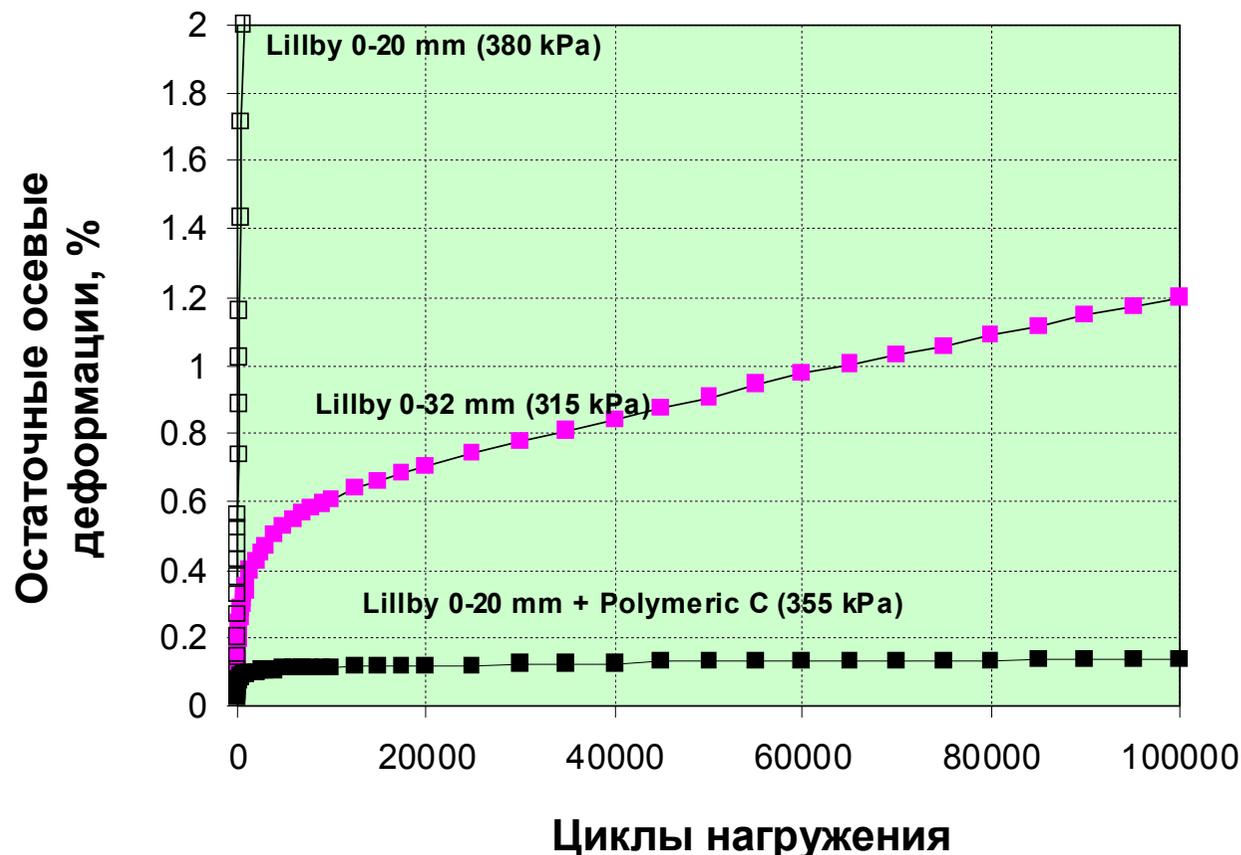


ROADEX  
Implementing Accessibility

# Дробленый материал из Лиллбю

Результаты испытаний на остаточные деформации с оттаявшим материалом

Обработанные образцы характеризуются отсутствием остаточных деформаций



Данный проект частично финансируется ЕС Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



ROADEX  
Implementing Accessibility

# Упрощенные испытания на морозное пучение

- Испытания на влияние морозного пучения выполнялись для образца после тестирования методом всасывающей трубки ( $h=180$  мм)
- Материал помещался в воду на глубину 10мм с последующим понижением температуры до  $+1$  °С
- С началом испытаний на влияние морозного пучения осуществлялся контроль за поддержанием температуры на поверхности образца  $-3$  °С, на подошве образца  $+1$  °С
- Испытания на морозное пучение занимают не менее 3 суток



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиеес  
Технологический университет Тампере



**ROADEX**  
Implementing Accessibility

# Применение стабилизирующих добавок при проведении испытаний на морозное пучение

- Добавка А – сухой порошкообразный полимер, содержащий известь
- Добавка В – каучукосодержащий дисперсионный продукт, применяемый в бумажном производстве



Данный проект частично финансируется ЕС

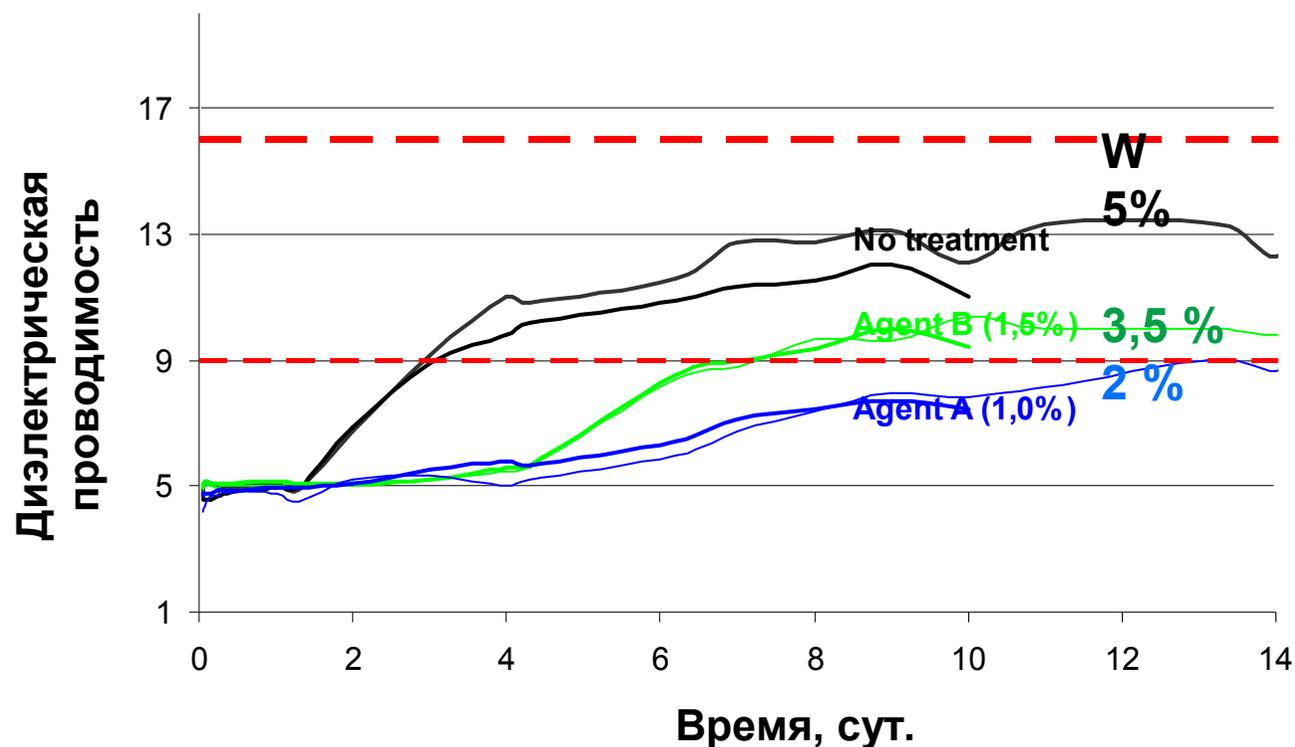
Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере





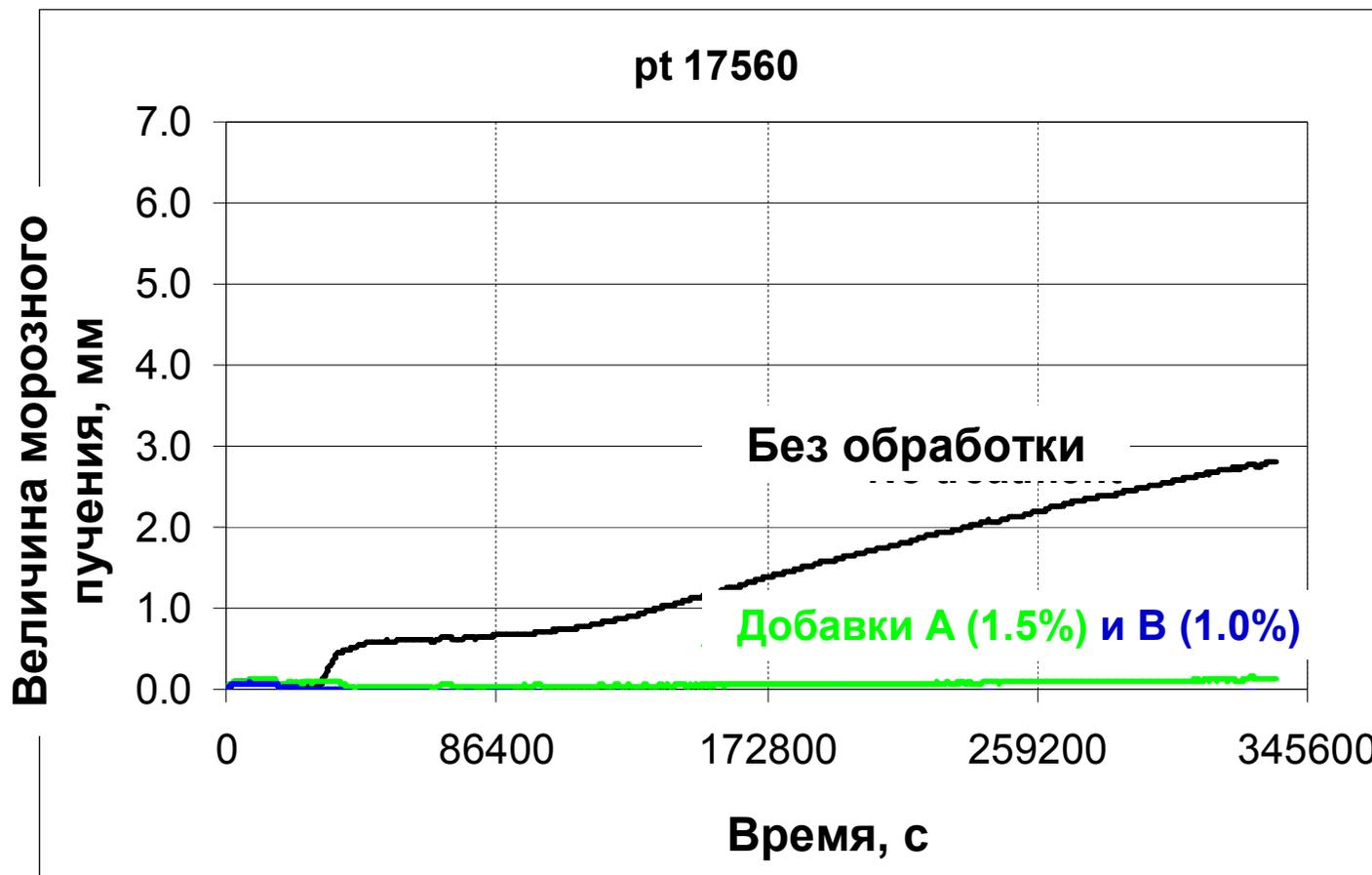
# Пример результатов испытаний методом всасывающей трубкой (материал Rd 17560)

pt17560, 0-25 mm; Dielectricity



Данный проект частично финансируется ЕС

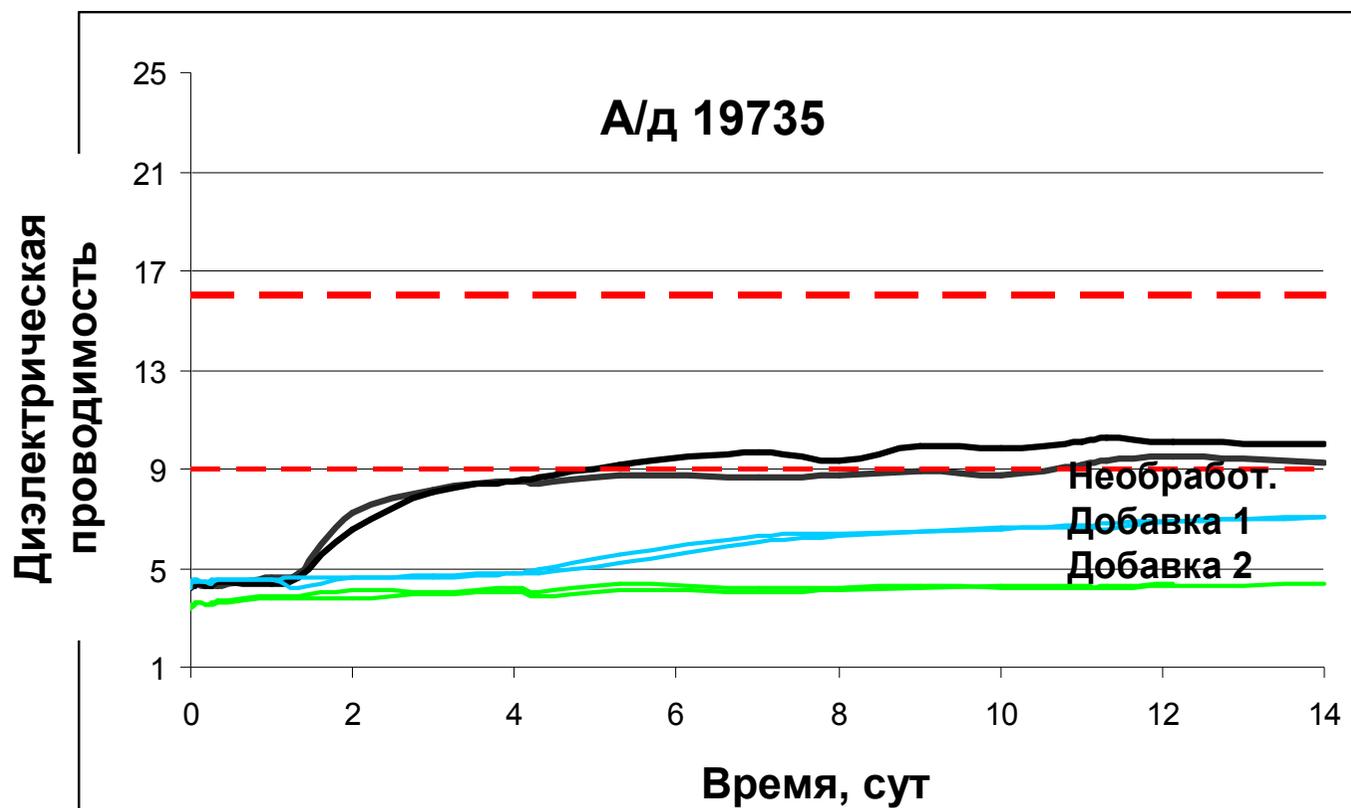
# Результаты упрощенных испытаний на морозное пучение с использованием различных стабилизирующих добавок





# ПРОЕКТ ПРОЦЕДУРЫ ВЫБОРА СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ

## Испытания методом всасывающей трубки



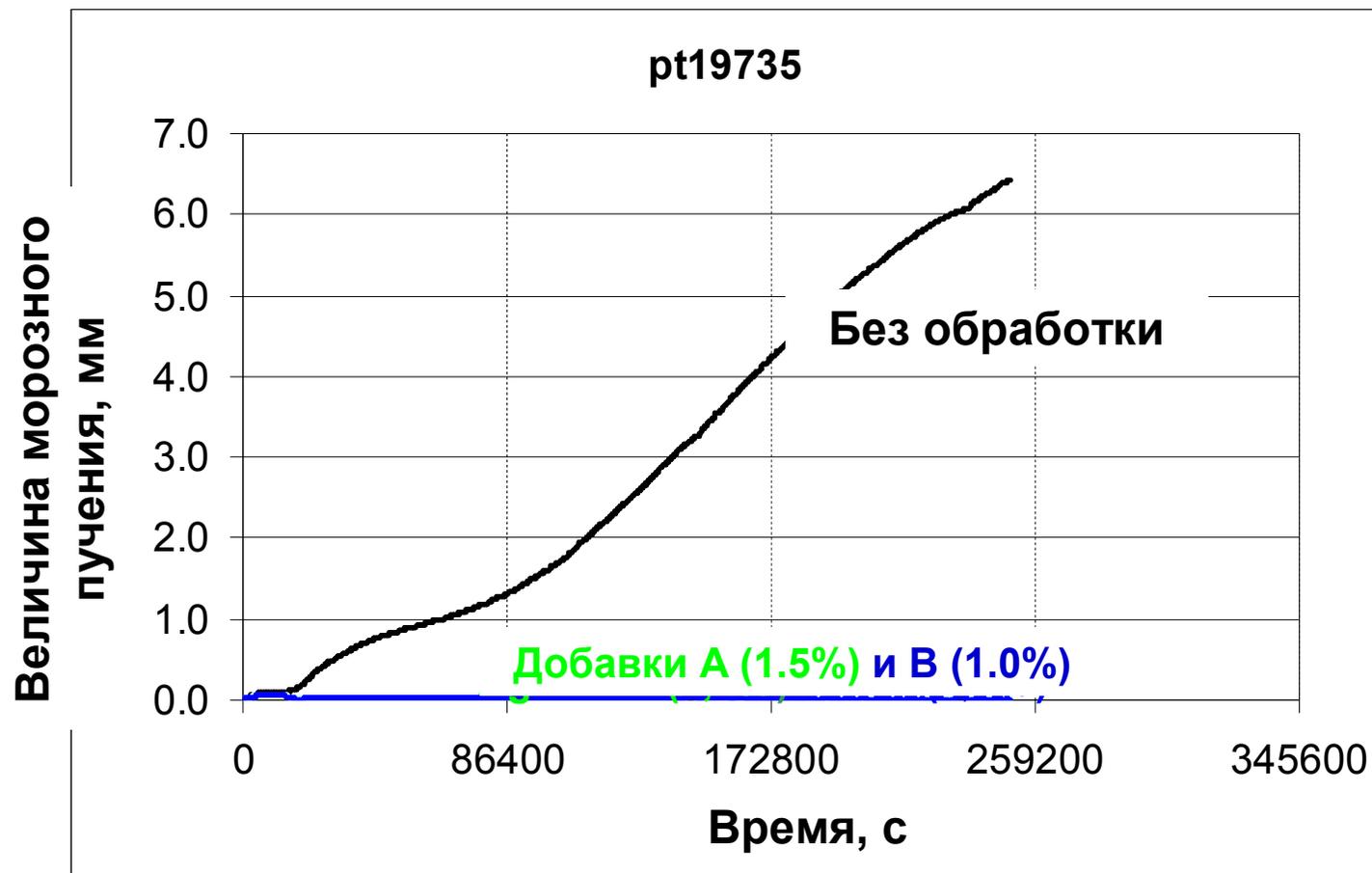
Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере





# Результаты упрощенных испытаний на морозное пучение с использованием различных стабилизирующих добавок



Данный проект частично финансируется ЕС



# Проект процедуры выбора стабилизирующей добавки для обработки материалов дорожного основания в зонах сезонного промерзания

- Базовая информация о дороге, включая интенсивность движения, данные обследований с указанием толщин слоев дорожной одежды, например, измеренных при помощи георадара
- Отбор образцов для проведения лабораторных испытаний
- Лабораторные испытания необработанных материалов
- Лабораторные испытания материалов, обработанных нетрадиционными стабилизирующими добавками
- Выбор наилучшей стабилизирующей добавки



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



**ROADEX**  
Implementing Accessibility

# Проект процедуры выбора стабилизирующей добавки для обработки материалов дорожного основания в зонах сезонного промерзания

Лабораторные испытания необработанных материалов:

- 1й: Влажность, гранулометрический состав, содержание органических веществ
- 2й: Испытания методом всасывающей трубки (а также, по возможности, оценка удельной поверхности и коэффициента водопоглощения)
- 3й: Определение плотности материала по методу Проктора



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисоья и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



ROADEX  
Implementing Accessibility



# Проект процедуры выбора стабилизирующей добавки

Испытания, проведенные в целях выбора стабилизирующей добавки. Пунктирными линиями отмечен подбор дозирования стабилизирующей добавки для последующих испытаний

БОЛЕЕ ДЕТАЛЬНОЕ СРАВНЕНИЕ С ДРУГИМИ МЕТОДАМИ, ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И, ВОЗМОЖНО, ОПТИМИЗАЦИЯ ДОЗИРОВАНИЯ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиес  
Технологический университет Тампере



# Обработка материала жидким полимером



Данный проект частично финансируется ЕС

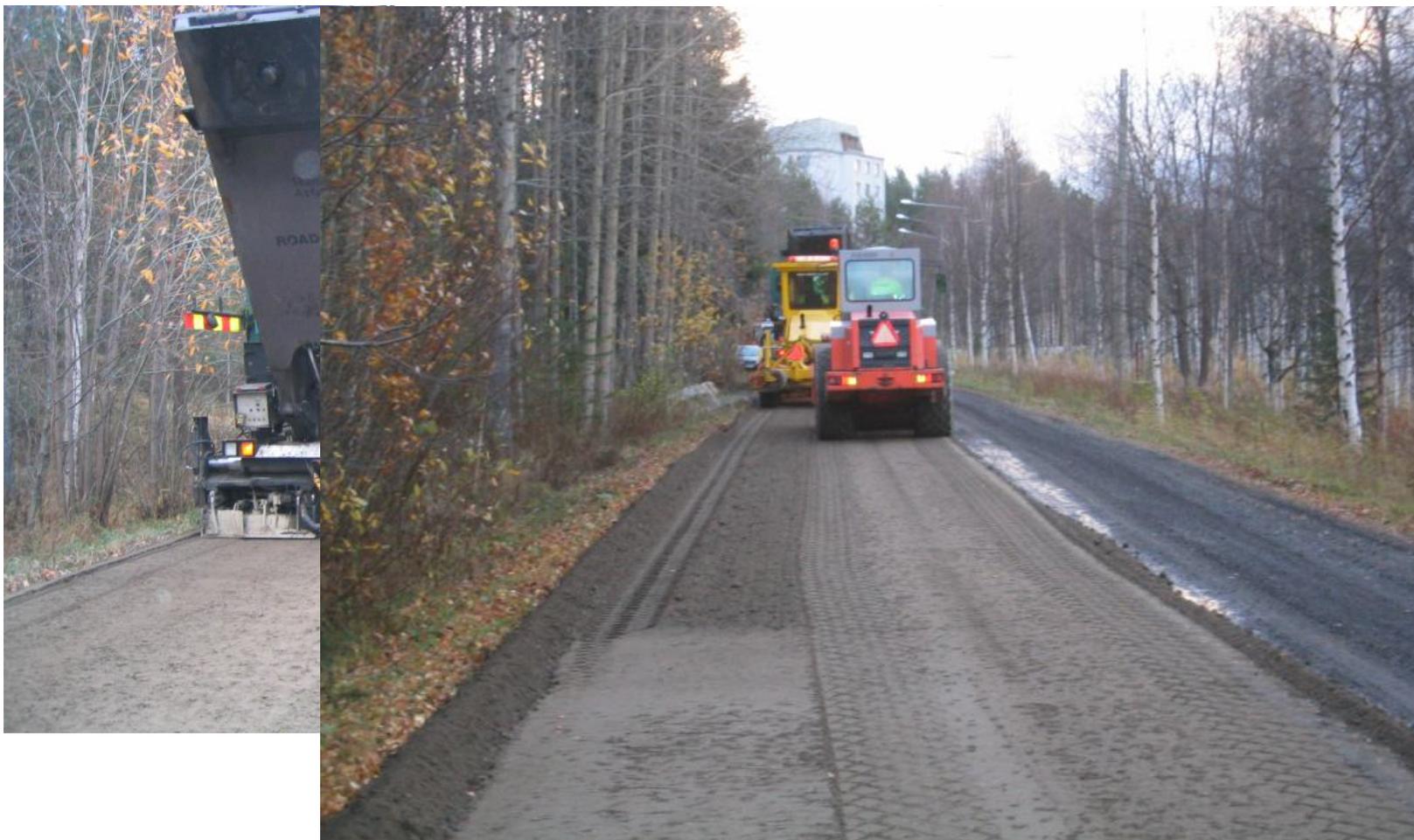
# Испытания по стабилизации дорог полидобавками в Рованиеми, 2006



Данный проект частично финансируется ЕС



# Испытания по стабилизации дорог полидобавками в Рованиеми, 2006



Данный проект частично финансируется ЕС

# Испытательный участок, Рованиеми, 2007



Данный проект частично финансируется ЕС



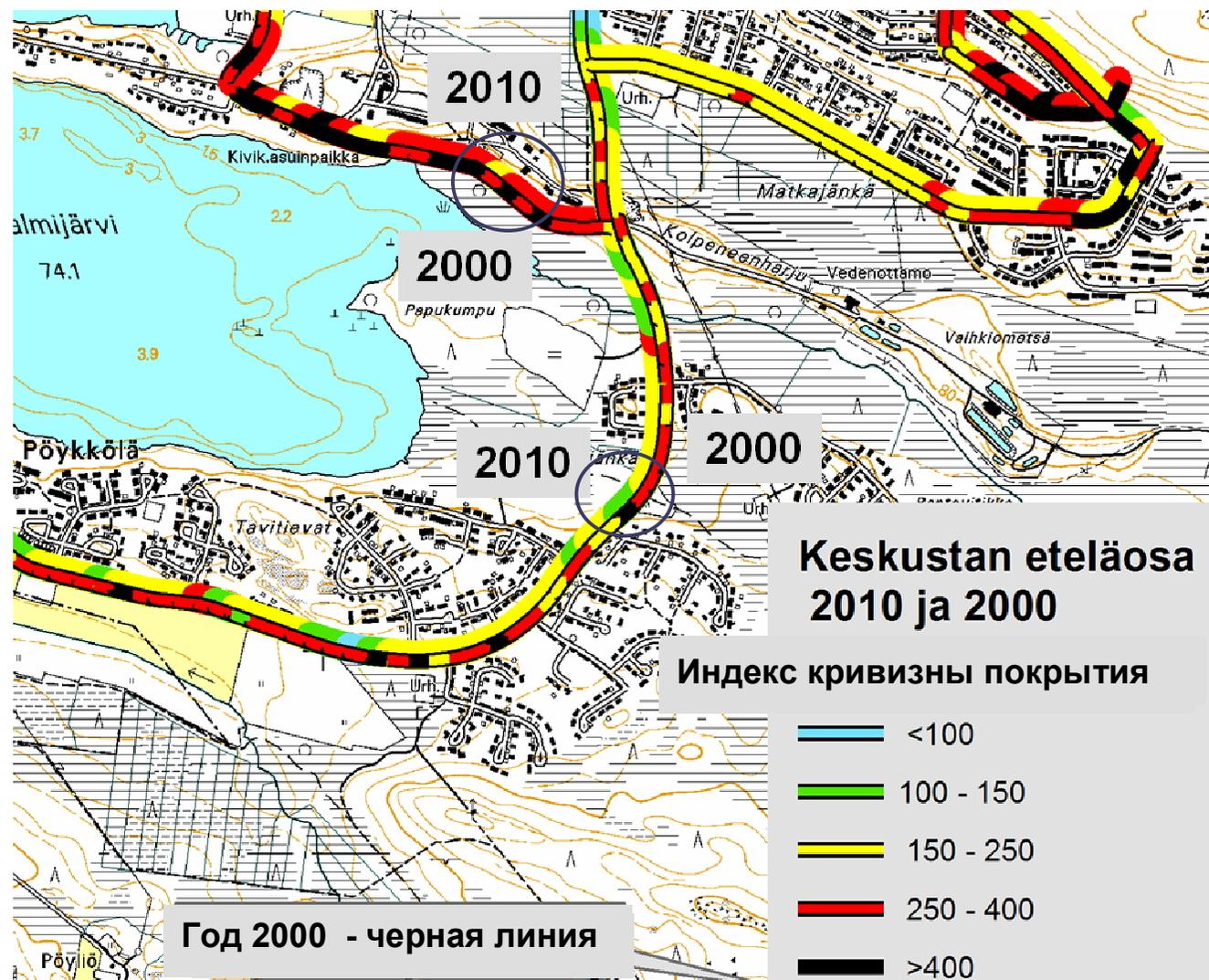
# Испытательный участок, Рованиеми, 2007



Данный проект частично финансируется ЕС



# Испытания по стабилизации дорог полидобавками в Рованиеми – влияние на прочность покрытия (SCI)



Данный проект частично финансируется ЕС

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Большинство коммерчески доступных нетрадиционных стабилизирующих добавок эффективны при высоком содержании в материале мелких/пылеватых частиц => поэтому они не подходят для материалов дорожных оснований в районах с сезонным промерзанием грунтов
- Для большинства стабилизирующих добавок требуется выдерживать достаточно долгий период перед открытием движения
- В целом, полимеры имеют шансы стать наиболее популярным видом стабилизирующих добавок, по крайней мере, один из испытанных гидрофобных полимерных стабилизирующих образцов



Данный проект частично финансируется ЕС

Паули Колисойя и Нуутти Вуоримиеес  
Технологический университет Тампере



ROADEX  
Implementing Accessibility

# Спасибо!



Данный проект частично финанс...

