



Методы исследования для оценки состояния торкретбетона в (дорожных) туннелях

14.09.2021

Кристобаль Манкехуаль
Аспирант НТНУ

Главный супервайзер: Пол Древланд Якобсен
Со-супервайзеры: Карл Холтер и Амунд Бруланд

Аспирантура: Устойчивость каменной опоры в норвежских автодорожных туннелях

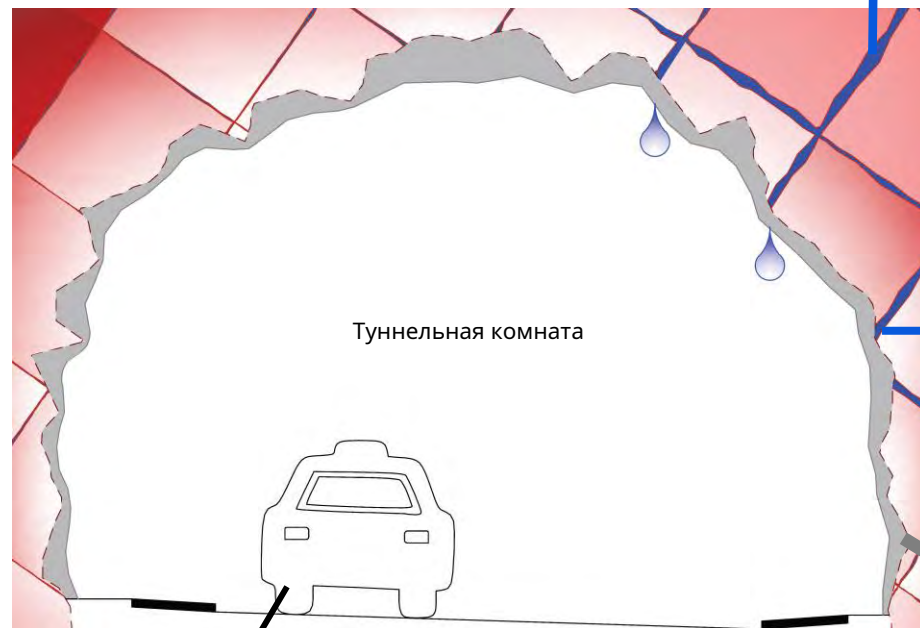
↳ Срок службы каменной опоры в автодорожных туннелях

↳ Изучите условия торкретирования в норвежских автодорожных туннелях.

↳ Чтобы лучше понять между:

- Различные условия (сухие / влажные пресные грунтовые воды / влажные соленые грунтовые воды)
- Влияние технологии строительства (типа ускорителя)

Факторы окружающей среды, влияющие на долговечность торкретбетона:



С точки зрения химии грунтовые воды могут:

- Перенести хлорид-ионы (коррозия стальных волокон)
- Перенести ионы сульфата (этрингит, гипс, таумазит)
- Перенести ионы магния (Брусит, MSH) Перенести ионы карбоната (внутренняя карбонизация) Изменить pH в поровом растворе (кислая вода) Перенести бактерии / биоту
-

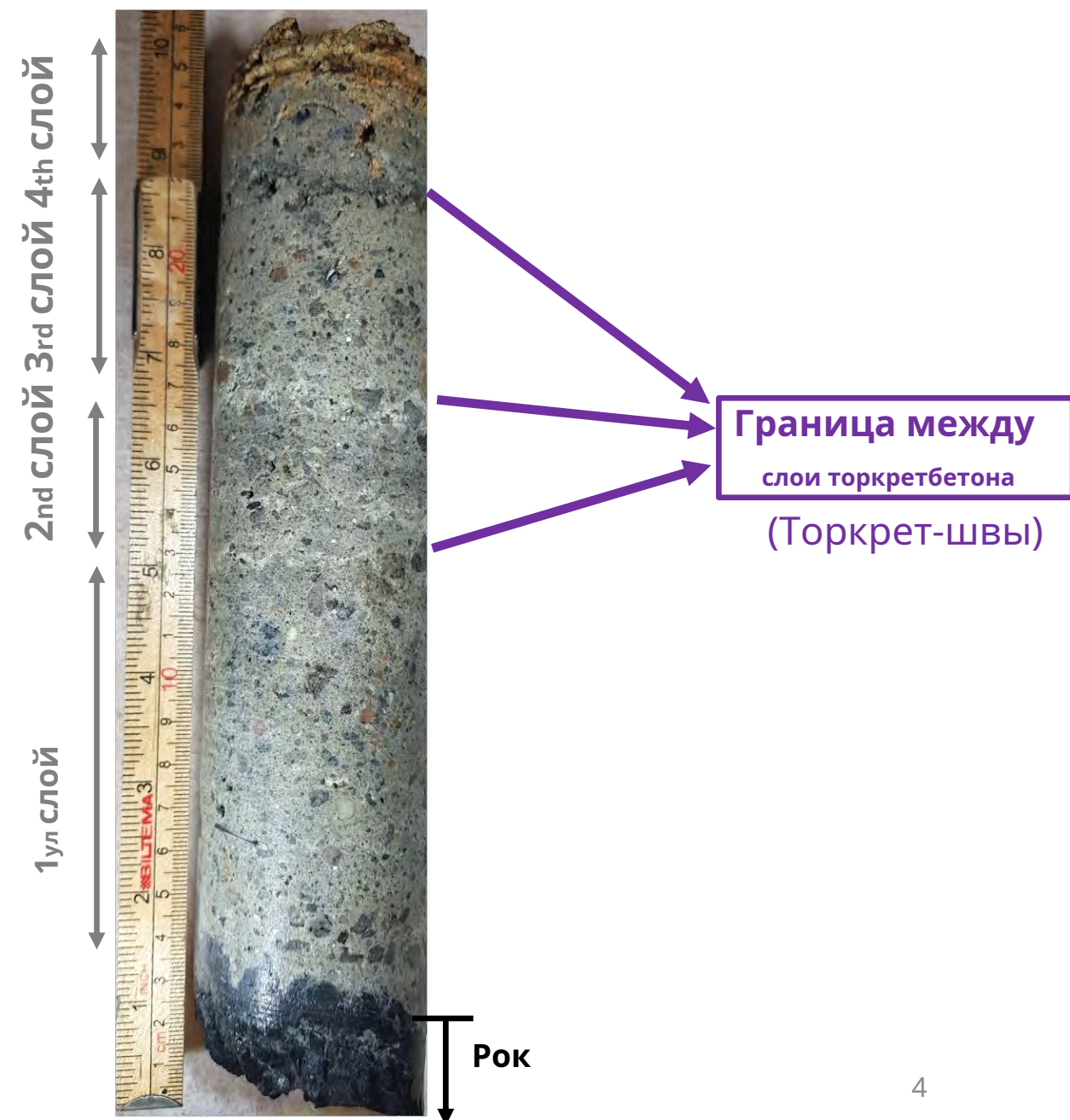
Физически грунтовые воды могут приводить к выщелачиванию (гидравлический градиент в сторону туннельного помещения заставляет грунтовые воды просачивать торкретбетон).

Физические, химические и механические последствия в торкретбетоне

Транспортные средства могут:

- Увеличение CO₂ концентрация в атмосфере (ускорение карбонизации)
- Принесите в туннели антиобледенительные соли (обычно они содержат Cl, иногда также используется Mg)

Возможные «слабые места» торкретбетона:



Условия торкретирования должны включать:



1- Поверхность, выходящая на туннельную комнату

2- Сыпучий торкретбетон

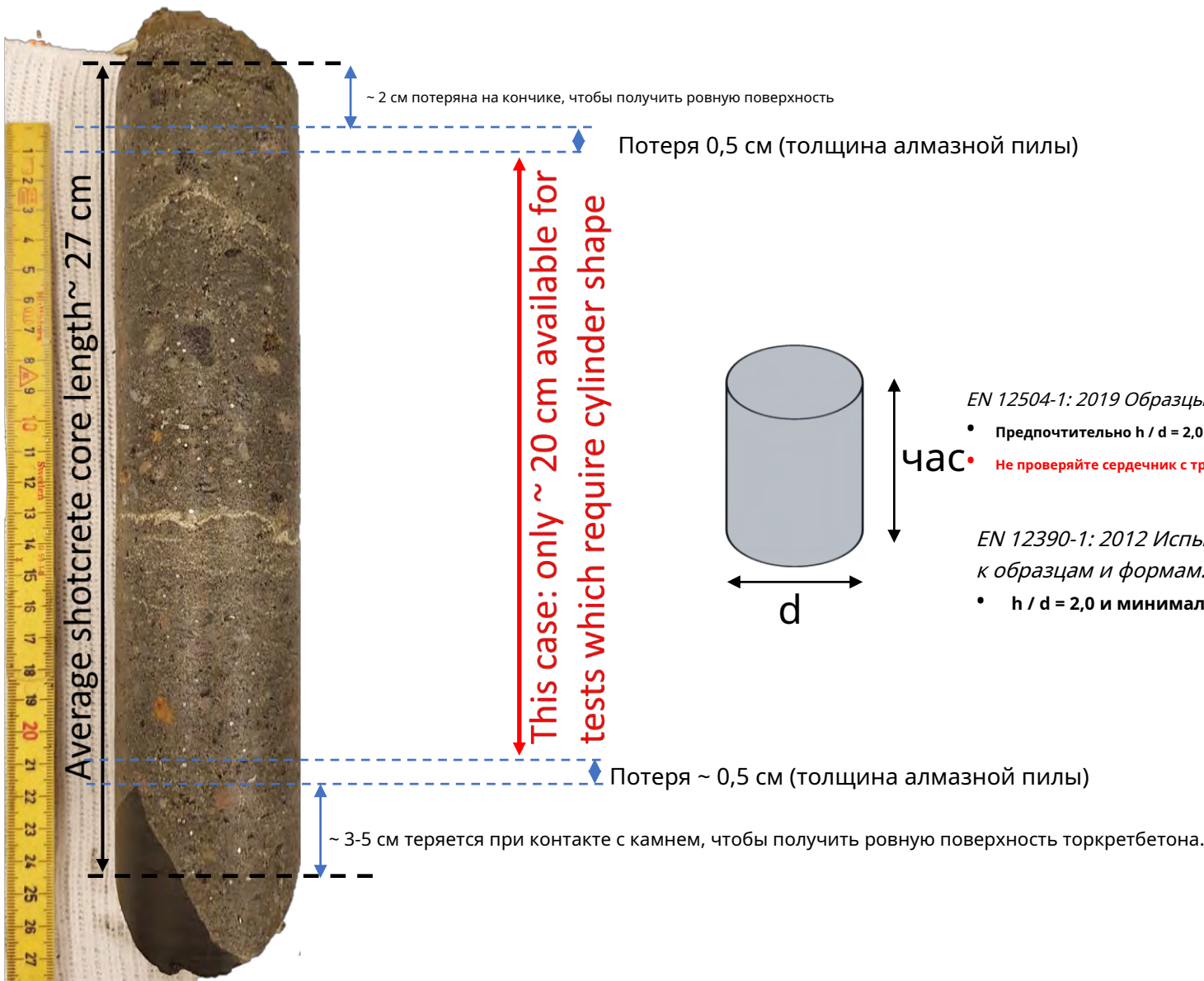
3- Слабые зоны

+ Химия подземных вод

+ Дизайн мокрой смеси во время строительства

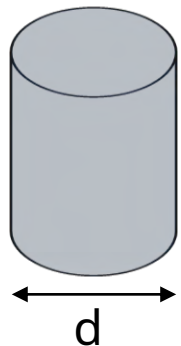
+ Условия при строительстве

Сложные требования, если к образцам торкретбетона применяются традиционные стандарты испытаний бетона:



This case: only ~ 20 cm available for tests which require cylinder shape

час



EN 12504-1: 2019 Образцы с сердечником - Испытания на сжатие:

- Предпочтительно $h / d = 2,0$ (прочность цилиндра).
- Не проверяйте сердечник с трещинами, пустотами, или свободные кепки

EN 12390-1: 2012 Испытания затвердевшего бетона - форма, размеры и другие требования к образцам и формам:

- $h / d = 2,0$ и минимальный номинальный диаметр = 10 см.
- => минимальная номинальная высота $h = 20$ см.

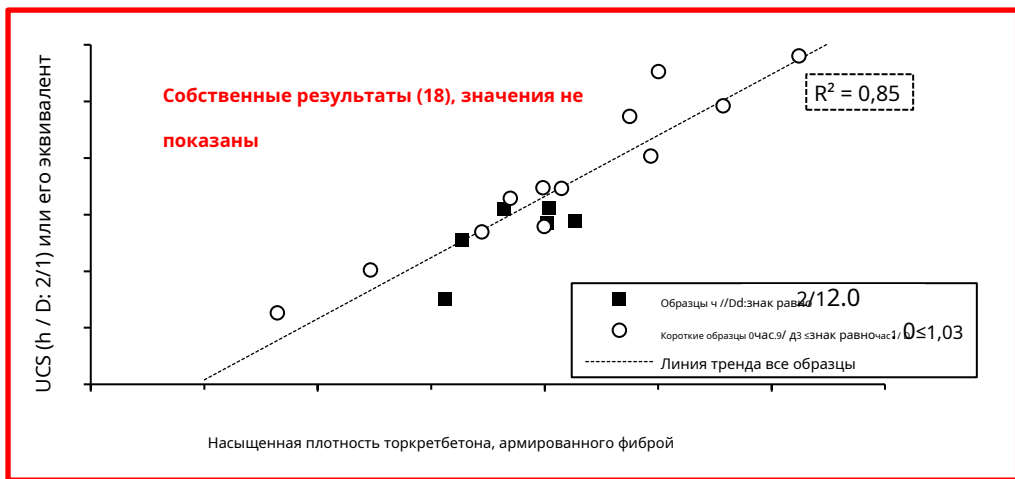
В этом случае: в конечном итоге только 1 тест



Коэффициент длины сердечника: $h / d = 1$

Height/diameter	Correction factor
2	1
1,75	0.97
1,50	0.95
1,25	0.93
1,1	0.89
1	0.87

Норвежская бетонная ассоциация - Напыляемый бетон для опоры скальной породы (2011 г.)

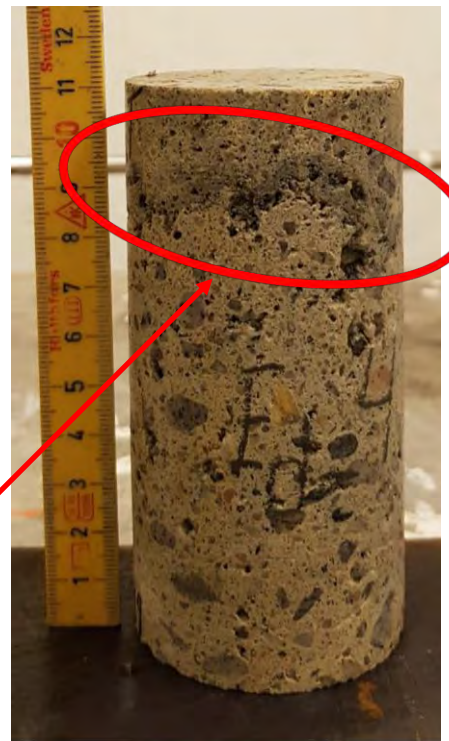


Неплохая корреляция между образцами торкретбетона из разных:

- туннели
- окружающая среда (соленые и пресные грунтовые воды)
- Режимы разрушения
- Тип ускорителя (жидкое стекло и без щелочи) Применяемая
- скорость деформации
- **С торкрет-швами и без них**



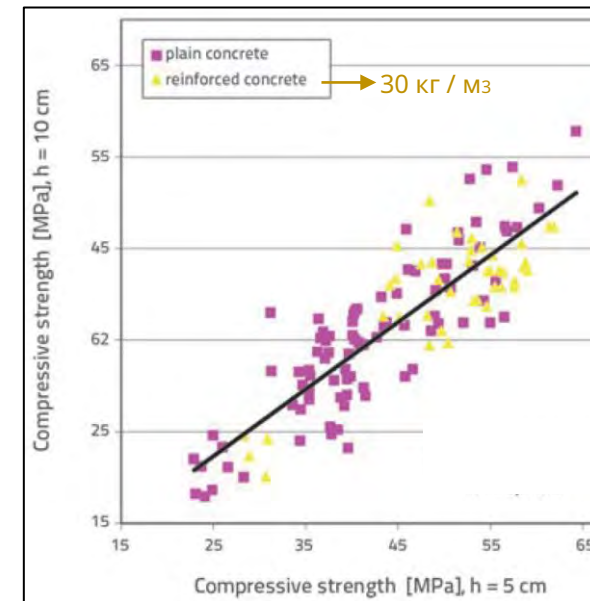
Department of Civil and Environmental Engineering



$h / d = 2,0$



$h / d = 1.0$



Matulic, P et al. (2016) Влияние размера испытательного образца на механические свойства торкретбетона.

Минимальный диаметр сердечника d

Согласно EN 12390-1: 2012 Испытания затвердевшего бетона - форма, размеры и другие требования к образцам и формам

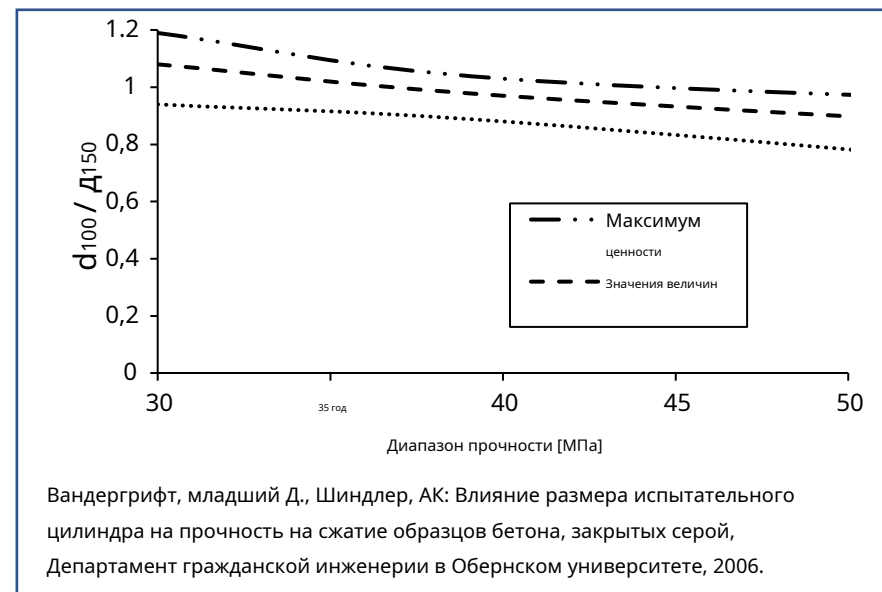
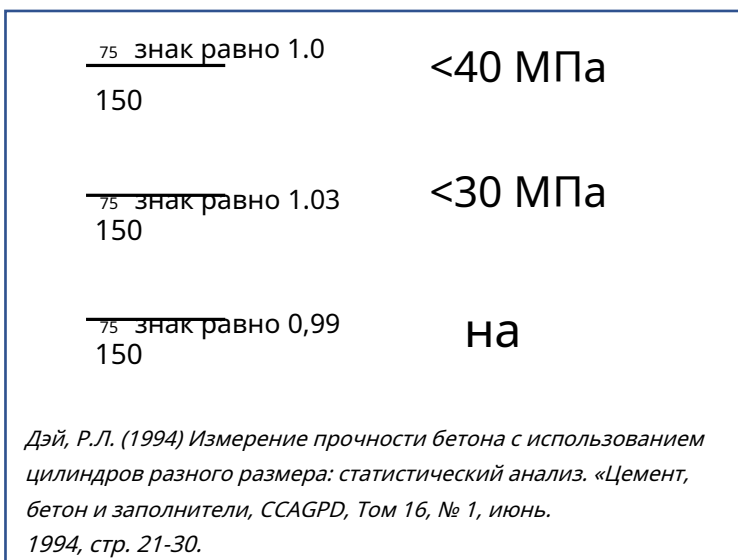
Номинальный диаметр $d \geq 3,5$ (знак равно максимальный размер агрегата)

Это означает: максимальный размер заполнителя 16 мм => $d \geq 56$ мм.

Максимальный размер заполнителя 8 мм => $d \geq 28$ мм

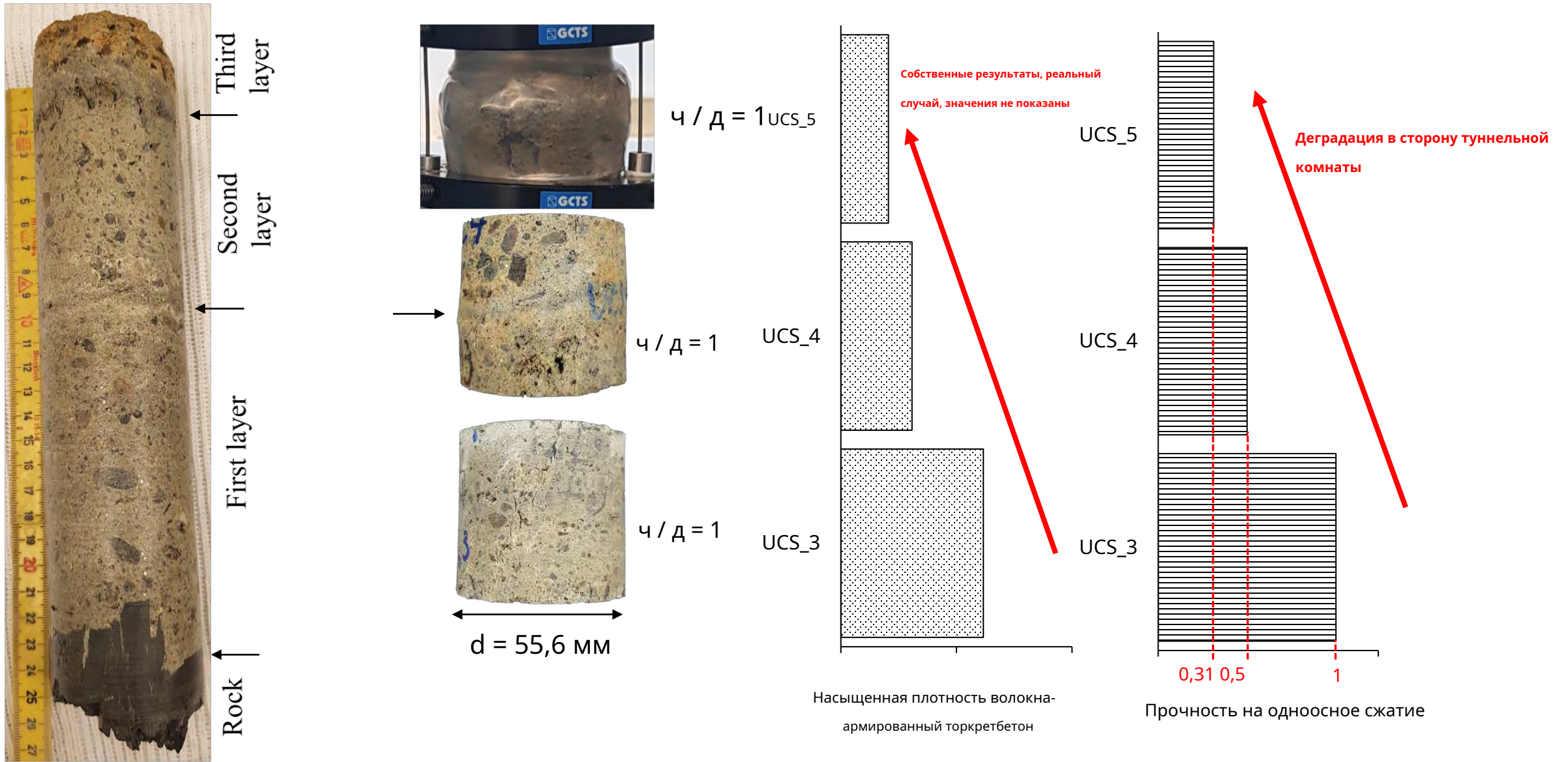
С коронкой диаметром 62 мм => бетонная сердцевина ~ 56 мм

В обычном бетоне типичный диаметр составляет 150 мм. Меньший диаметр - проблема?



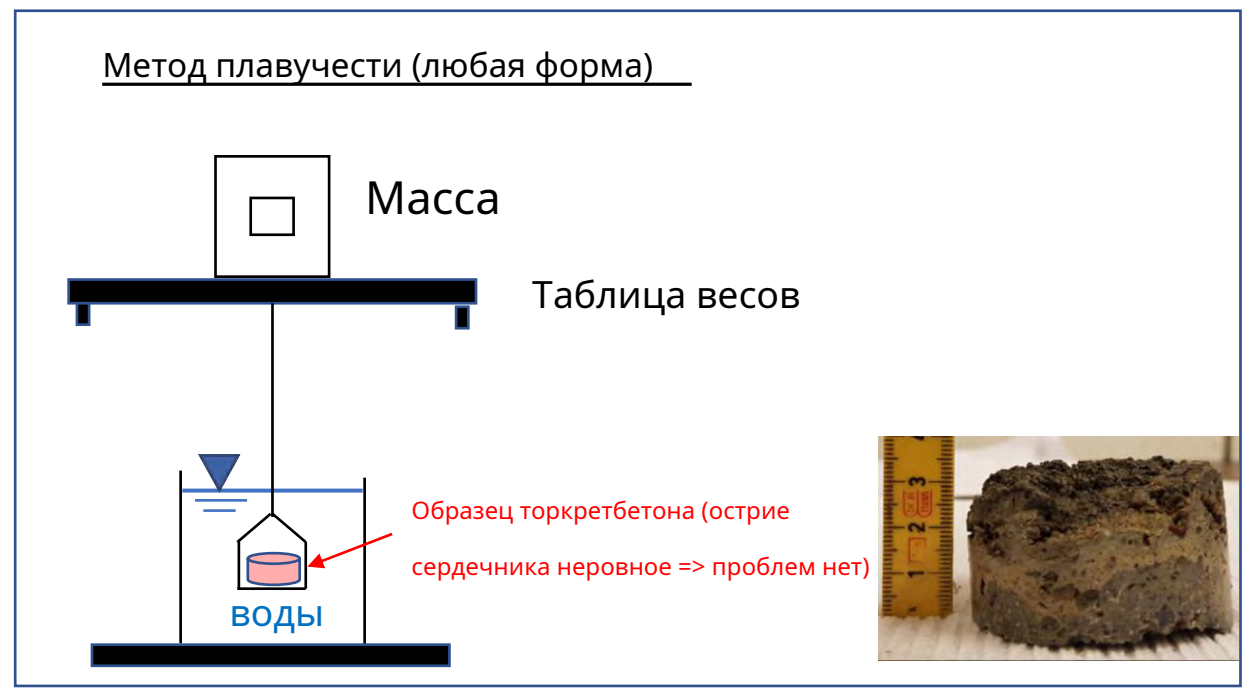
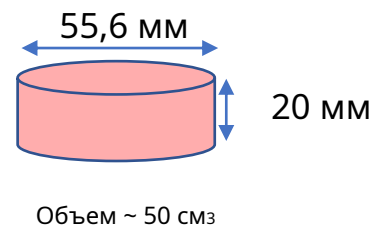
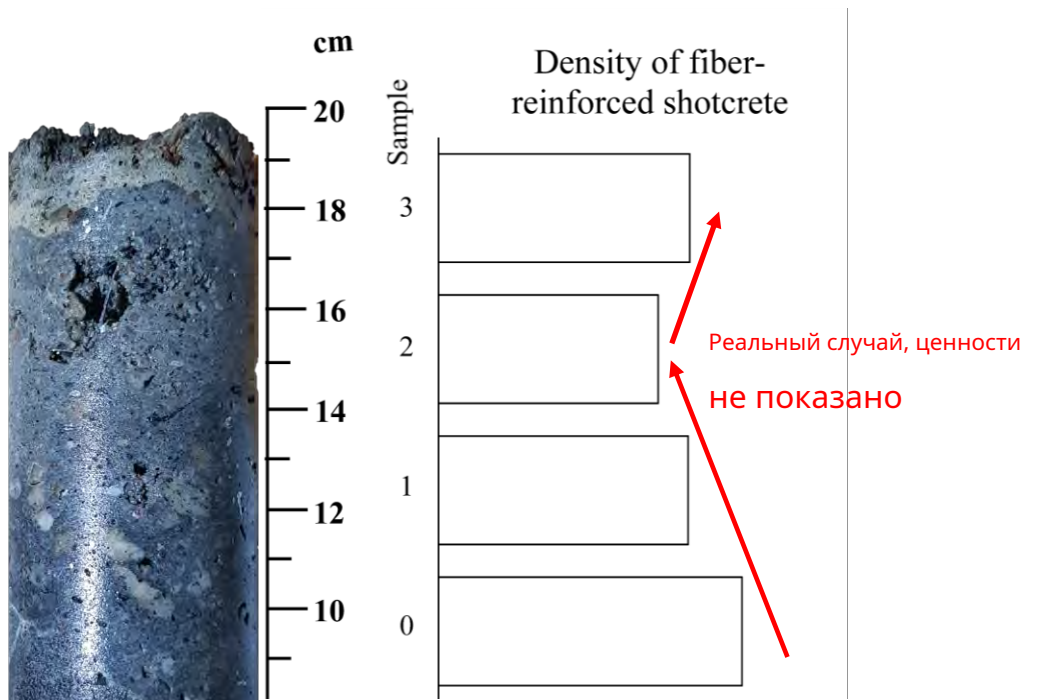
Изученная литература показывает, что деградированный бетон (с низкой прочностью на сжатие) для образцов с диаметром меньше 150 мм даст несколько более высокие результаты по прочности на сжатие.

Наливные торкретбетон и швы торкретбетона (профили ПСК и плотности по сердцевине):



Поверхность, подверженная воздействию туннельного помещения, насыпного торкретбетона и швов торкретбетона (профили плотности торкретбетона по сердцевине):

Если керн разрезан перпендикулярно его оси (алмазной пилой), на дальнем конце, контактирующем с атмосферой (туннельная комната), наблюдается увеличение плотности.

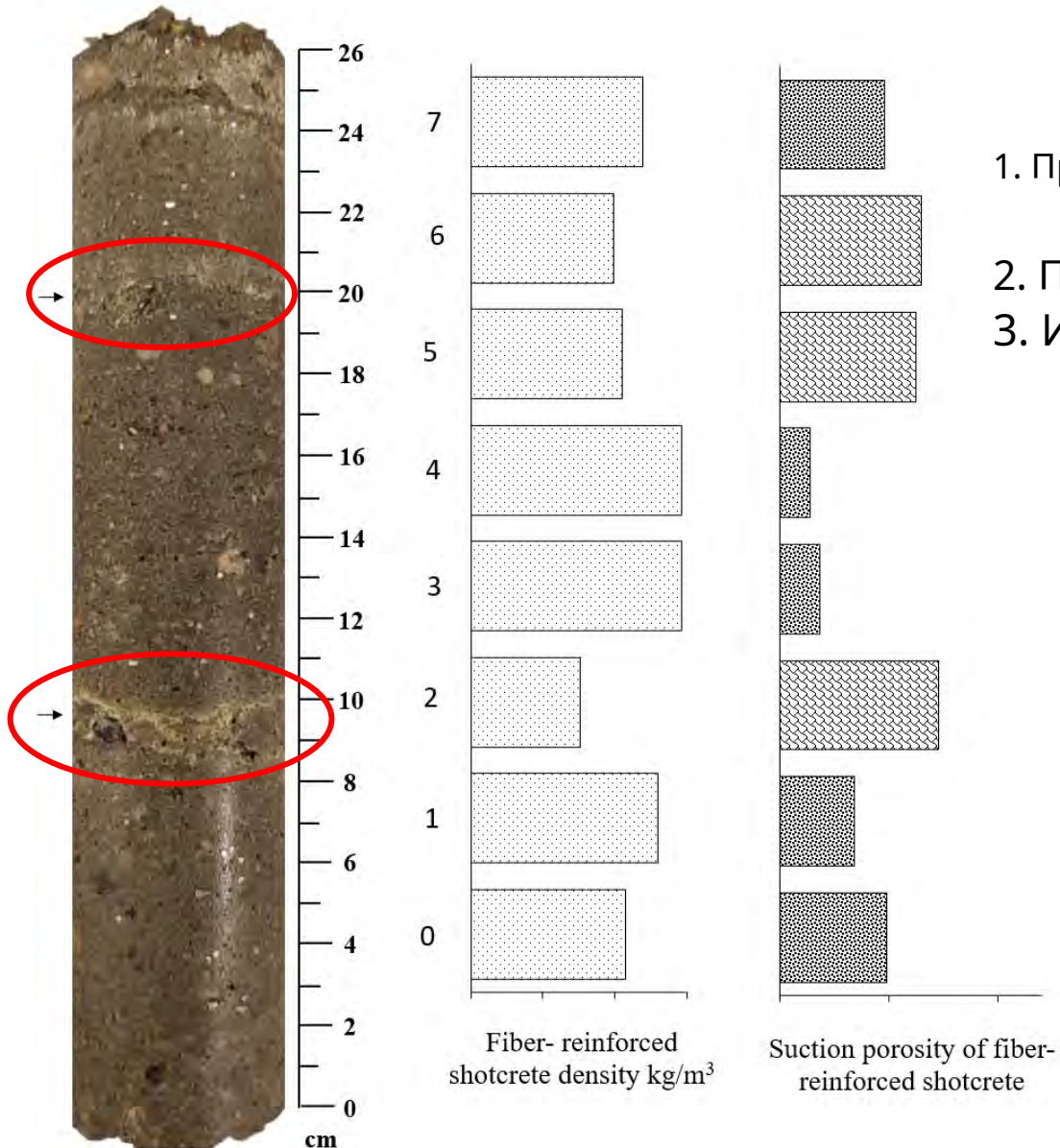


$$= \frac{\text{—}}{\text{—}}$$

= Масса образца торкретбетона

знак равно Кажущаяся масса образца торкретбетона, погруженного в воду

Соединение насыпного торкретбетона и торкретбетона (профили всасывающих образцов пористости по сердцевине):



Процедура SINTEF KS 70110

1. Просушите образец в печи при 105 ° C. пока он не потеряет менее 0,01% в 1 час. (1).
2. Погрузите образец бетона в воду на семь дней.
3. Измерьте вес образца (2) и кажущийся вес погружен в воду (' 2).

$$\text{знак равно} \frac{2 - 1}{2 - ' 2}$$

Между пористостью на всасывании и плотностью торкретбетона существует хорошая корреляция.

Обе переменные определяют швы торкретирования и зону карбонизации.

Поверхность, контактирующая с туннельным помещением (индикатор pH):

В зоне карбонизации наблюдается снижение pH



Стандарт EN 14630: 2006 установлен для фенолфталеина в качестве индикатора pH. Однако в настоящее время он считается канцерогенным (Норвежское агентство по окружающей среде, 2015). Тимолфталеин безвреден и обеспечивает аналогичные результаты по глубине карбонизации. (Revert. Et al, 2016) «Определение карбонизации строительного раствора с портландцементом и летучей золой, Сравнение методов».

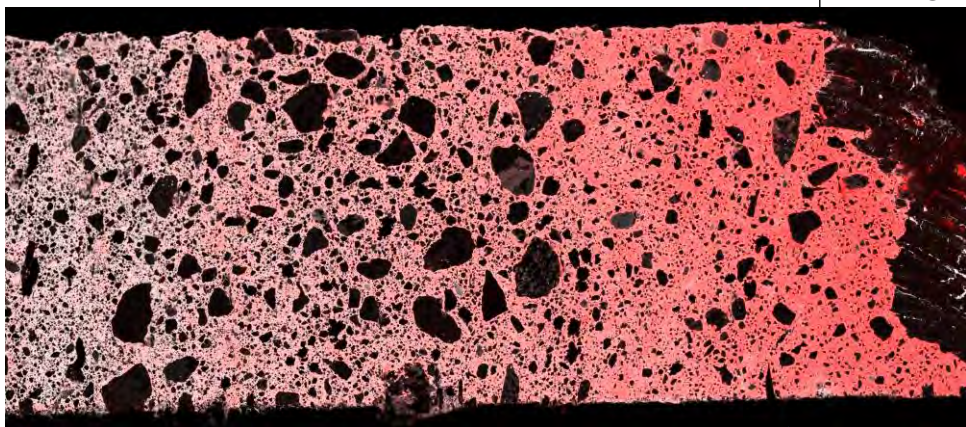
скала μ -XRF):

Картирование хлора

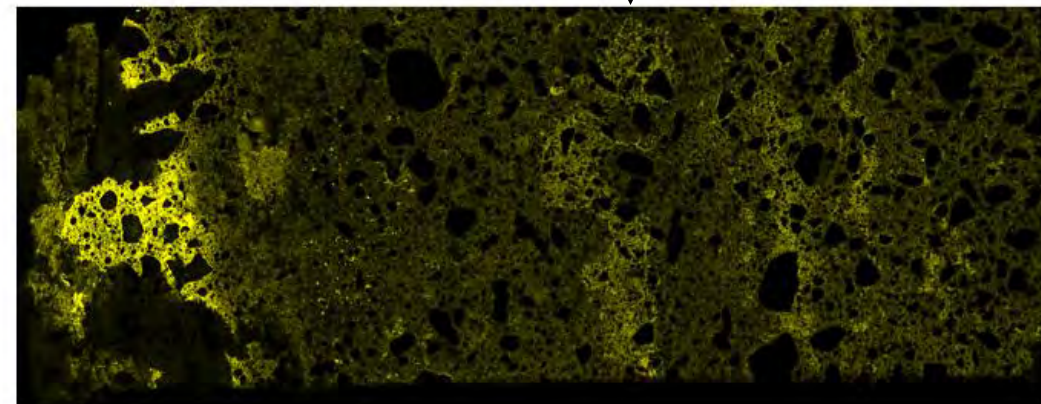
Рок



Рок



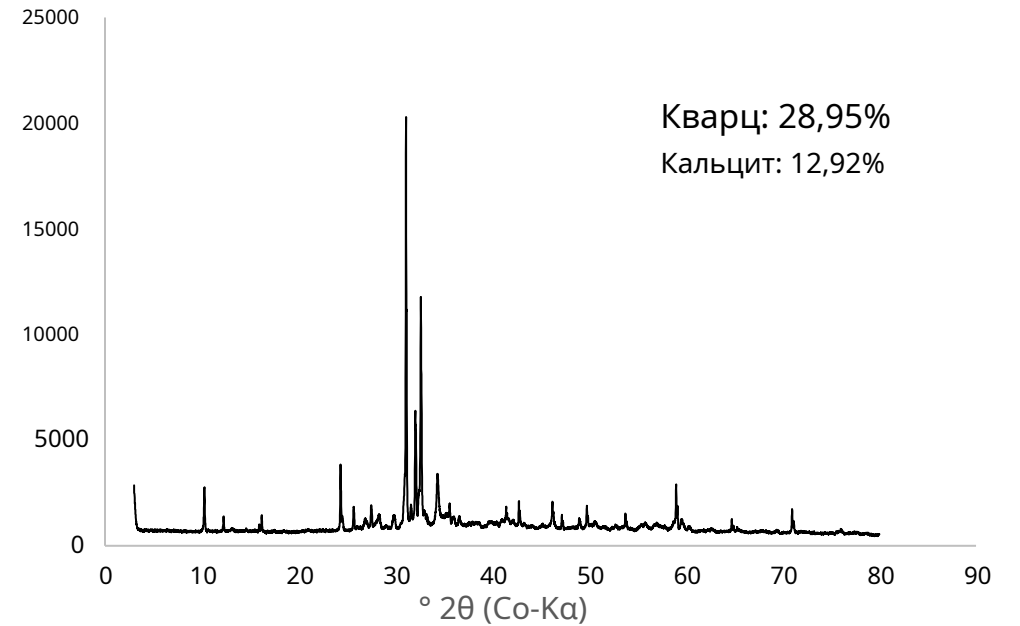
Картирование серы



180 160 140 120 100 80 60 40
mm

XRD-анализ может идентифицировать следующие минералы:

- Кальцит (карбонизация)
- Этtringит (вероятно, сульфатная атака)
- Таумазит (возможно, сульфатная атака)
- Брусит (возможно, атака магнием)



Граница между торкретбетоном и камнем



«Т» = в сторону туннельной комнаты

Слой торкретбетона

Контакт торкрет-скала

«R» = рок

Т
Икс
О
Я
Т



Станок колонкового бурения просверлил больше, чем было извлечено

буду мудро проверить



Станок колонкового бурения достиг породы, и керн сломался в месте контакта.

Акустические методы оценки качества торкретбетона: динамический модуль Юнга.

Основная резонансная частота бетонных образцов - Динамический Е-модуль - ASTM C 215:

Поперечный метод

$$= \frac{m \cdot v^2}{10^9} \quad [\text{ГПа}]$$

= Масса образца, кг

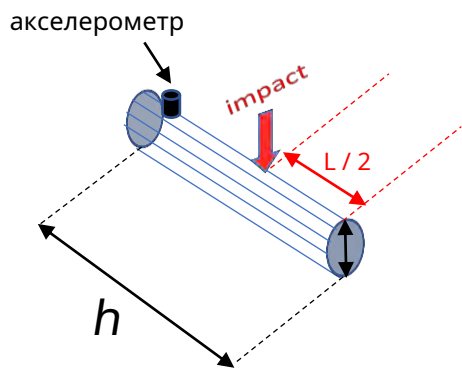
= Коэффициент формы (цилиндр) = $1,6067 \cdot \frac{h^3}{4}$

= Цилиндр поправочного коэффициента ($[\frac{L}{4}] / h; \mu = 0,17$) = 2,03

= Основная поперечная частота, Гц.



Это было невозможно определить для этого образца его собственную частоту удерживание двух торкрет-швов



ч / д минимум 2, а наилучшие результаты - от 3 до 5.

Акустические методы оценки качества торкретбетона: Скорость ультразвукового импульса.

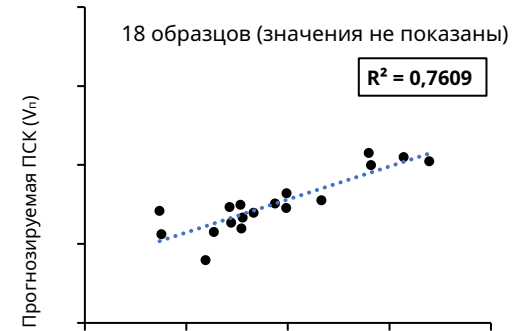
Прямая передача скорости импульса (EN 12504-4: 2004)

$$= * 1000$$

= Скорость импульса, м / с

= Длина пути, мм

= Время, затраченное пульсом на
поперечная длина мкс



Прогнозируемый бетонный цилиндр UCS

МПа <UCS <40 МПа)

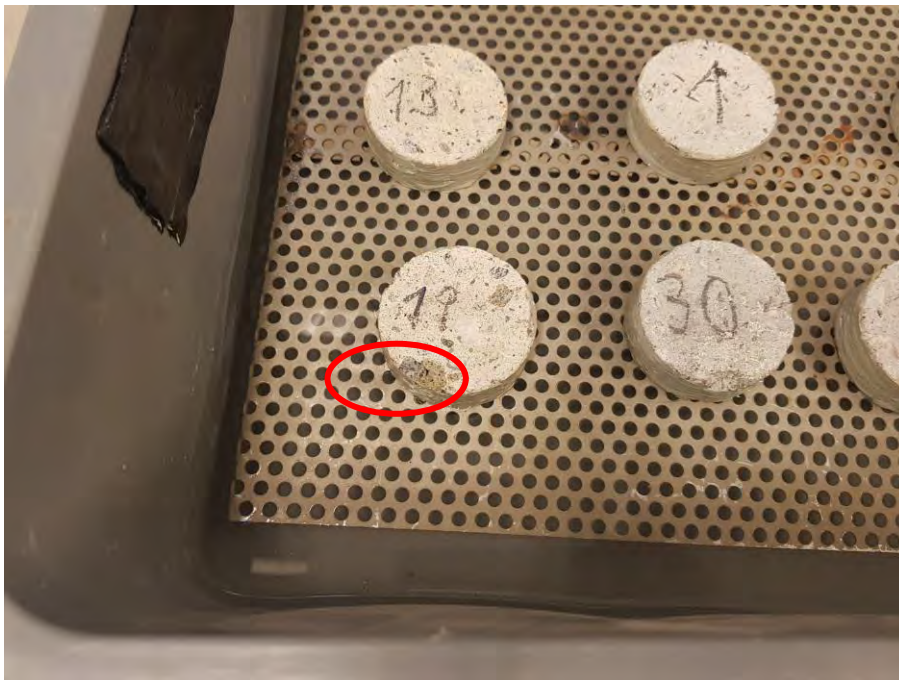
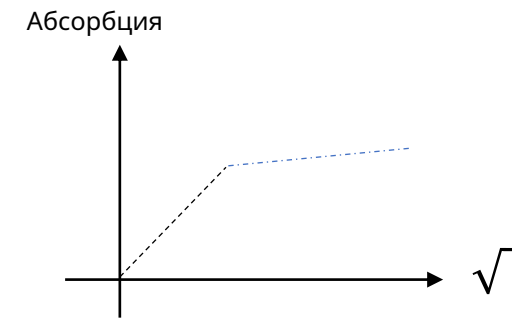
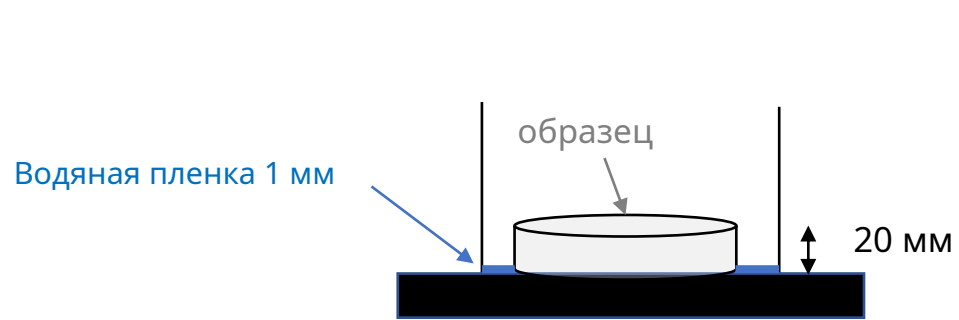
Тарун Р. Найк, В. Мохан Малхотра и Джон С. Поповикс, «Метод измерения скорости ультразвукового импульса» в Руководстве по неразрушающему контролю бетона, глава 8, 2004 г.



Пропускная способность:

250 кГц

Отсос воды / капиллярный отсос (процедура SINTEF KS 70110)



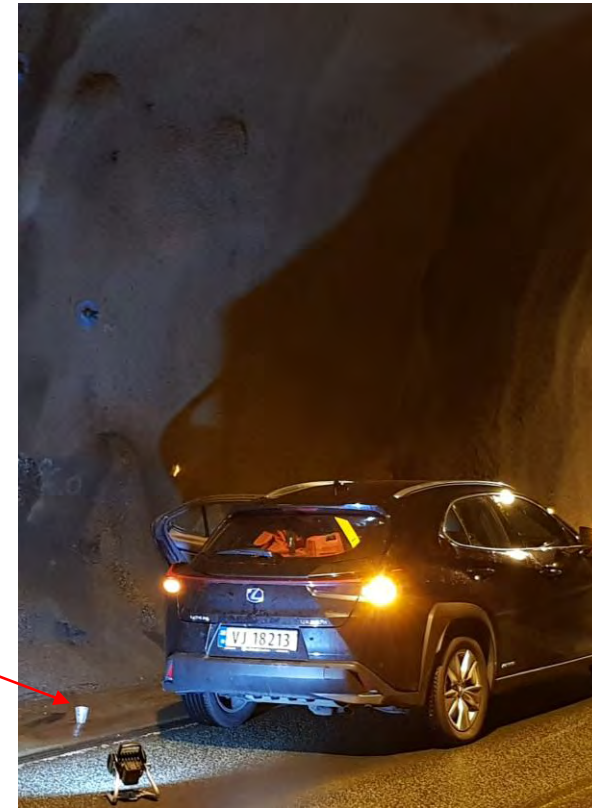
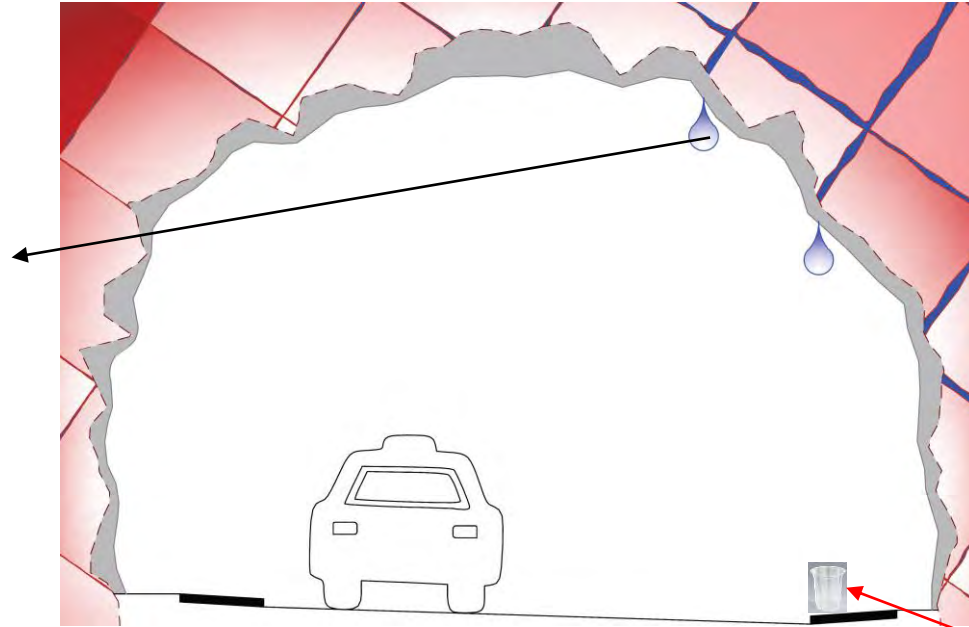
После 30 минут



Через 3 часа

Если стальная фибра пересекает весь образец, образуется легкий путь для воды (без извилистости), что влияет на результаты.

Химия подземных вод



Не существует стандарта для минимальных параметров химического состава грунтовых вод, которые должны быть проверены в туннеле. Тем не менее, это считается как минимум:

- pH
- Соленость (проводимость, Cl- содержание, удельное электрическое сопротивление)

Если возможно (ионы сульфата, кальция, магния и карбоната)

Замечания по сверлению:



Соседние образцы керна для представления в различных тестах. (1 ядро для резервного копирования)

Просверлите стержни перпендикулярно поверхности и с помощью подставки.

После извлечения керна образцы нумеруются, фотографируются, обертываются стрейч пластиковой пленкой (предотвращает коррозию стальных волокон и дальнейшую карбонизацию) + пузырчатая пленка для транспортировки

Заключительные комментарии:

Прочность на одноосное сжатие чувствительна к разрушению торкретбетона.

Швы торкретбетона являются слабым звеном в слое торкретбетона.

Показано, что плотность торкретбетона в насыщенном состоянии достаточно хорошо предсказывает значения пористости на всасывании и прочности на сжатие.

Плотность торкрет-бетона можно измерить в любой форме.

Плотность торкретбетона проста и чувствительна к швам торкрет-бетона, выщелачиванию и карбонизации.

Скорость ультразвукового импульса может уменьшить количество тестов UCS (с предыдущей калибровкой для данного туннеля)

XRD и μ -XRF дополняют друг друга и могут отражать большинство механизмов деградации, которым может подвергнуться бетон.

Бактериальная атака была описана в некоторых подводных туннелях. (Я не освещал эту тему).

Спасибо за внимание

Корончатая коронка 62 мм

