

# Опыт работы с постоянной облицовкой из набрызг-бетона на West Connex M4-M5 Link, Сидней, Австралия

Доктор Дэвид Оливейра

Суббота, 09 сентября 2022 г.

- ❑ Дизайн футеровки - Sydney Experience
  - ❑ Путешествие: зачем переходить на высокоэффективные волокна?
  - ❑ Прогнозирование емкости футеровки с использованием высокоэффективных волокон на основе предварительных и производственных испытаний
  - ❑ Полевые испытания
  - ❑ Обратный анализ результатов
  - ❑ Резюме/выводы
-

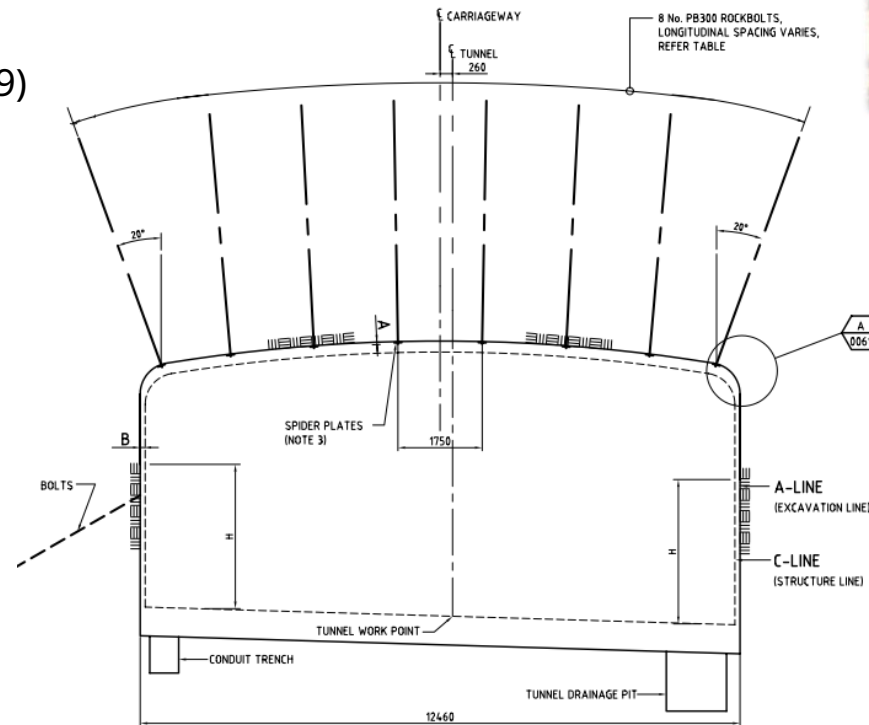
**Дизайн футеровки - Sydney Experience**



# Дизайн футеровки - Sydney Experience

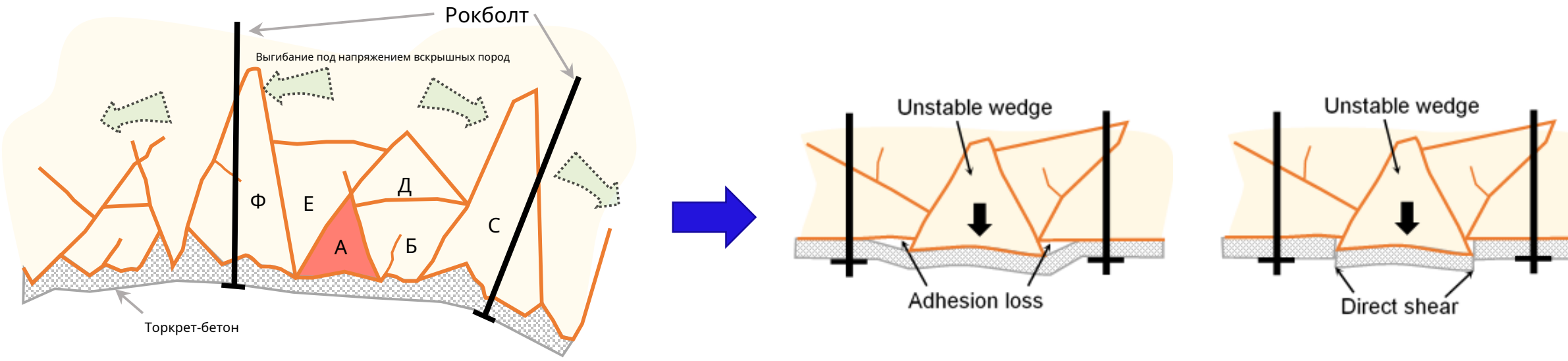
Типичный дизайн в Сиднее из-за хорошего качества породы и осушенных туннелей.

- Восточные туннели M5 (1994)
- Восточный дистрибьютор (1999)
- Городской туннель (2005)
- Туннель Лейн Коув (2007)



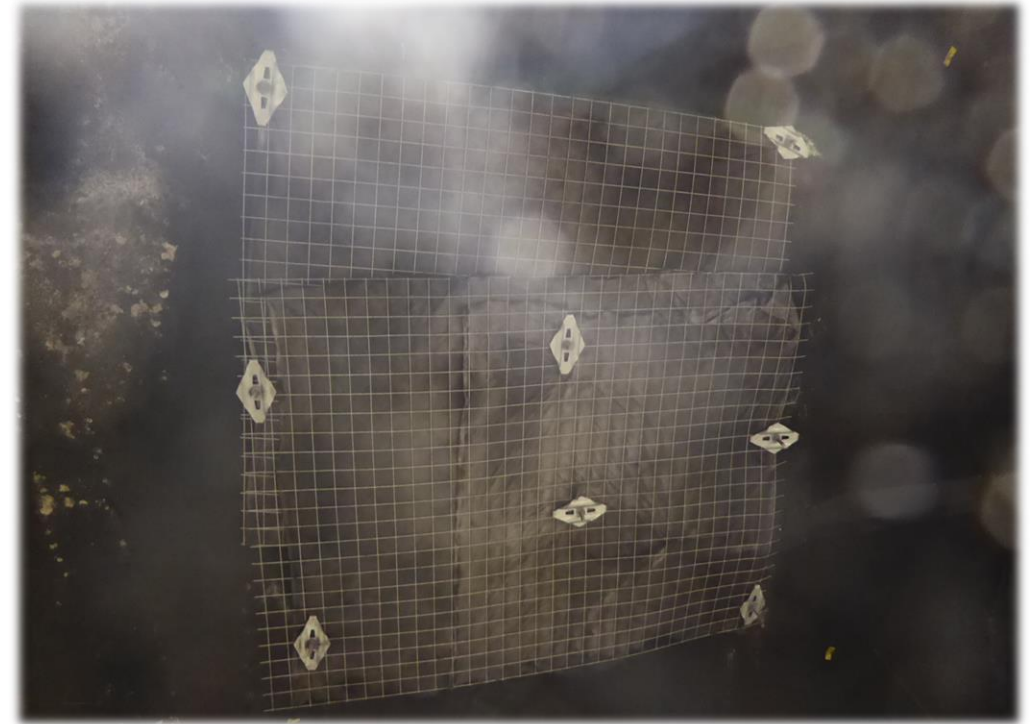
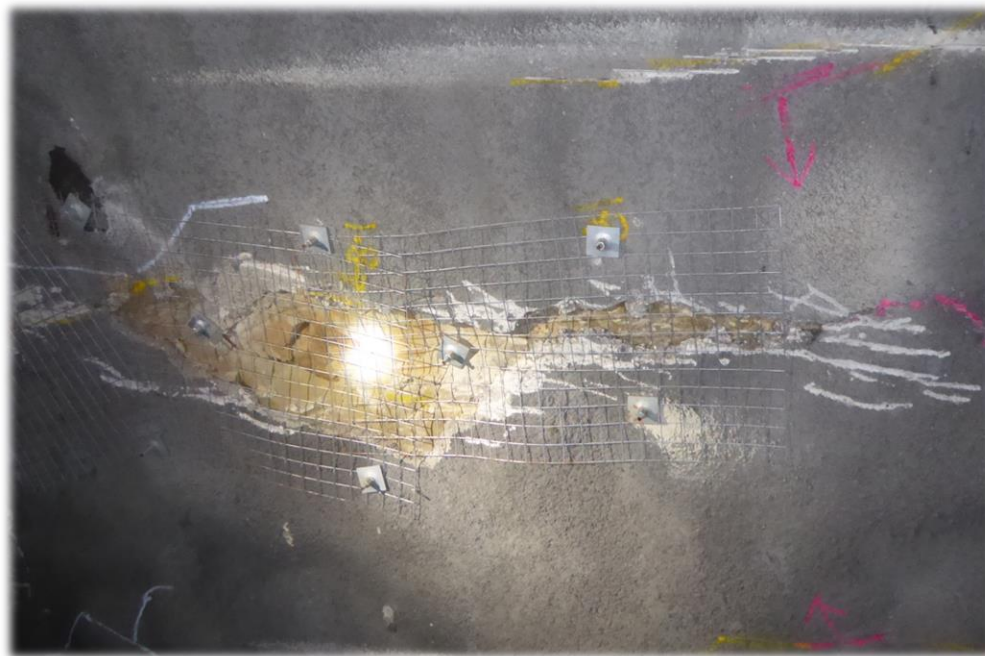
# Дизайн футеровки - Sydney Experience

Хорошее качество и небольшие нагрузки приводят к типичной зависимости от адгезии для удовлетворения тонкой (50 мм) конструкции футеровки.



## Дизайн футеровки - Sydney Experience

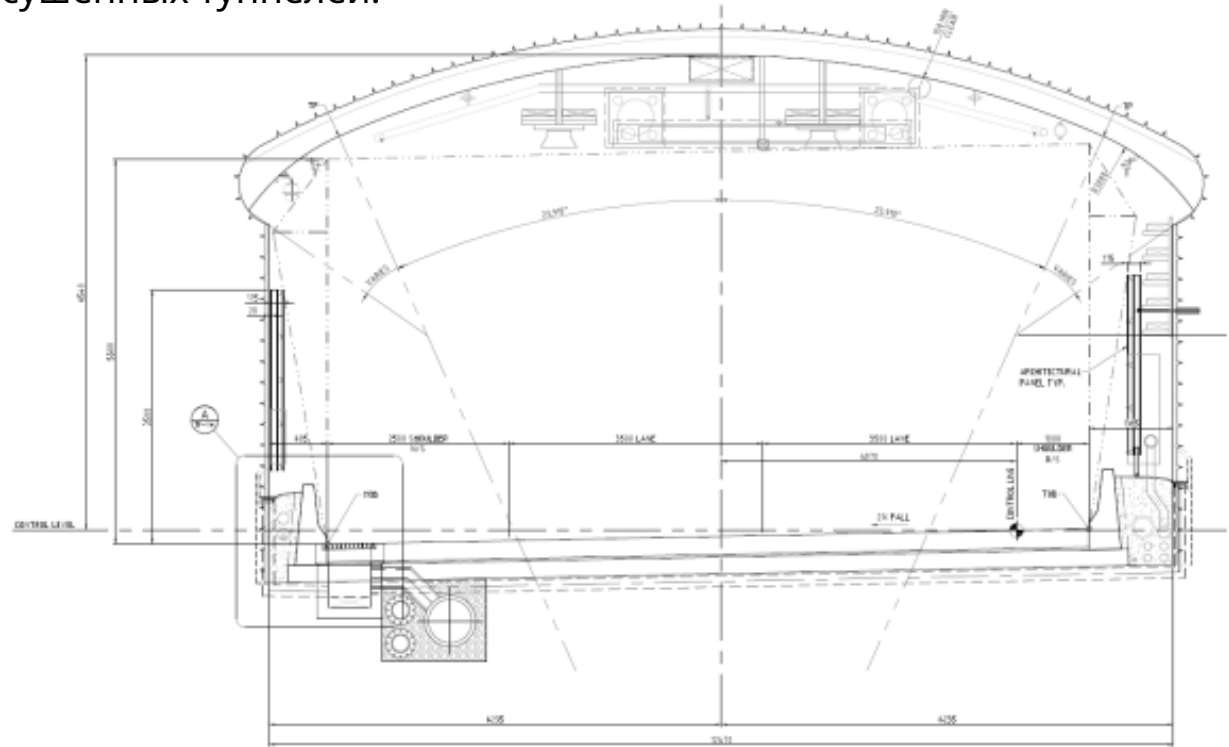
Из этих предыдущих туннелей в одном из них возникли серьезные проблемы с торкрет-обделкой, особенно в связи с тонкой облицовкой (50 мм) и зависимостью от адгезии, а также долговечности.



# Дизайн футеровки - Sydney Experience

Типичный дизайн в Сиднее из-за хорошего качества породы и осушенных туннелей.

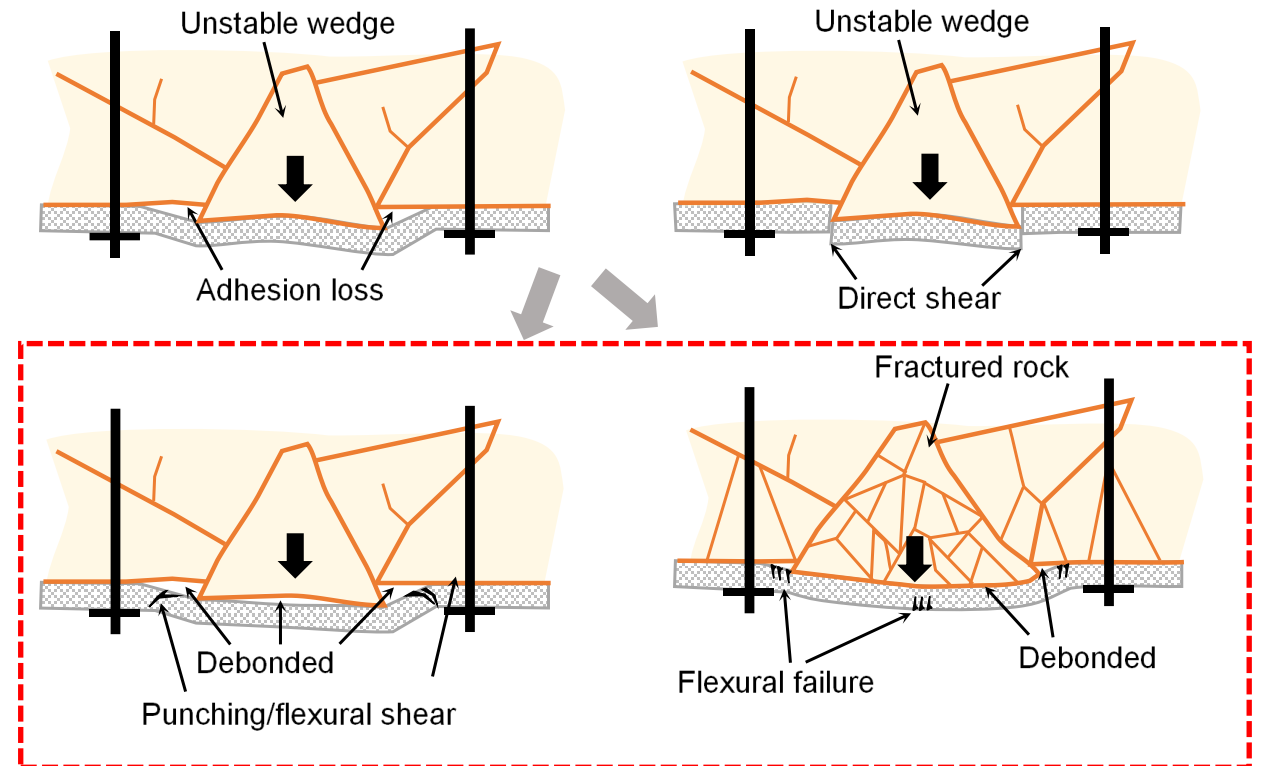
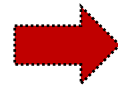
- Новые туннели M4 WCX (2019)
  - НортКоннекс (2020)
  - Туннели WCX M8 (2020 г.) (сосредоточено на улучшении обеспечения и контроля качества) для решения проблем
- Существенное изменение концепции дизайна по инициативе владельцев
- Ссылка WCX M4-M5 (2023)
  - Развязка Розелле (2023)
  - M6 Этап 1 (2025)



# Дизайн футеровки - Sydney Experience

Хотя концепции предела текучести также используются, распространенный простой метод — это подход Баррета и Маккрита (1995), в котором оцениваются следующие механизмы отказа:

Однако, если футеровки должны быть приняты **несвязанный**, это критические сбои:



**Путешествие**



# Путешествие

Типичные значения прочности, указанные для недавних австралийских рудников (Австралийское руководство по торкрет-бетону, версия 3, 2020 г.)

Тип поддержки	Минимальная прочность*
Низкая деформация	280 Дж
Умеренная наземная поддержка	360 Дж
Высокая наземная поддержка	450 Дж

\* Поглощение энергии на 40 мм в тесте ASTM C-1550 с круглыми панелями. Толщина футеровки изменяется в зависимости от местных условий и обычно составляет от 50 до 150 мм. Прочность может и часто превышает 450 Дж.

Хотя обычно это не требуется для типичного проекта в Сиднее, спецификация TfNSW Shotcrete B82 требует минимальной ударной вязкости 500 Дж для тонких постоянных облицовок из набрызг-бетона (50 мм < t < 150 мм).

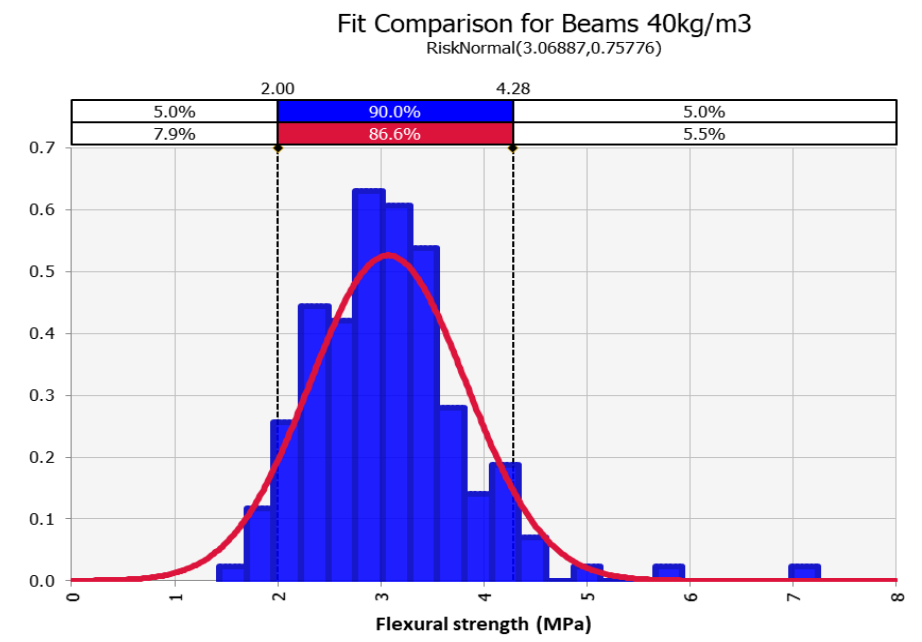
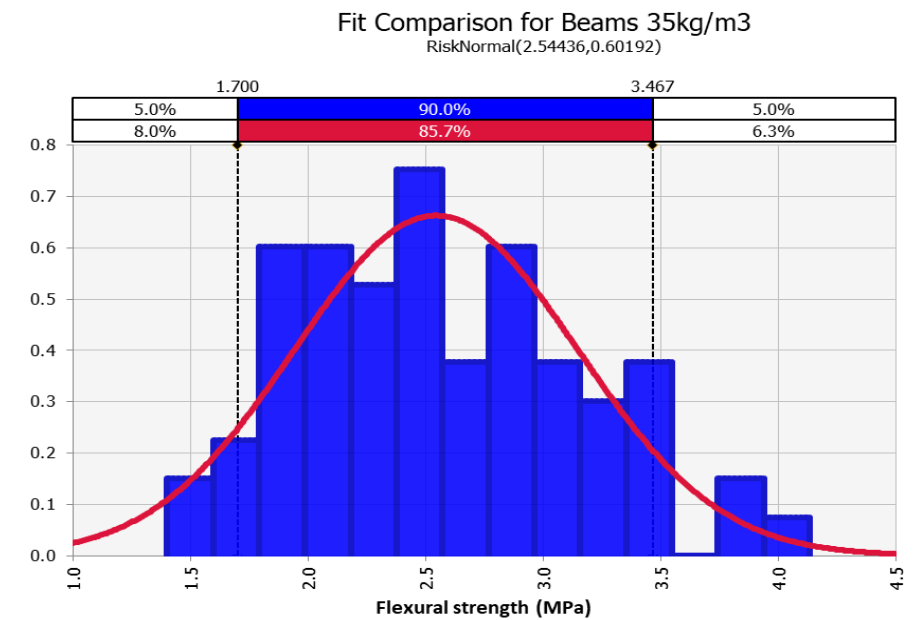
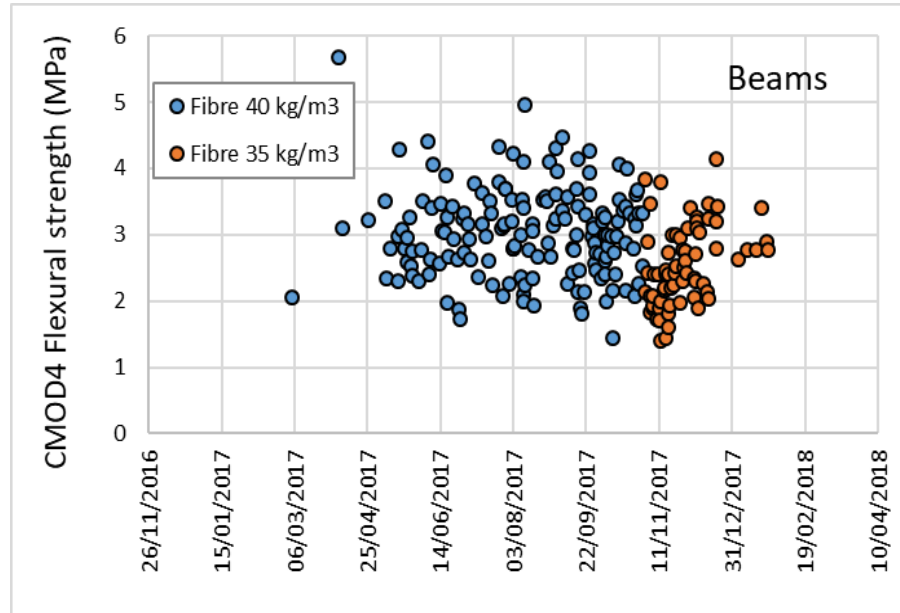
При тестировании на EN это значение обычно требует  $f_{p4} \geq 3$  МПа (т.е. при прогибе 3мм и CMOD4).

# Путешествие

В начале туннельного бума в Австралии примерно в 2015 году в Сиднее началось строительство трех дорожных проектов с приблизительной общей длиной туннеля 65 км. Двое нацелены на  $f_{pr}$  знак равно производительность 3 МПа, но...



Tensile strength:  $R_{m, nom}$ : 1.345 N/mm<sup>2</sup>  
 Tolerances: ± 7,5% Avg  
 Young's Modulus: ± 210.000 N/mm<sup>2</sup>



# Путешествие

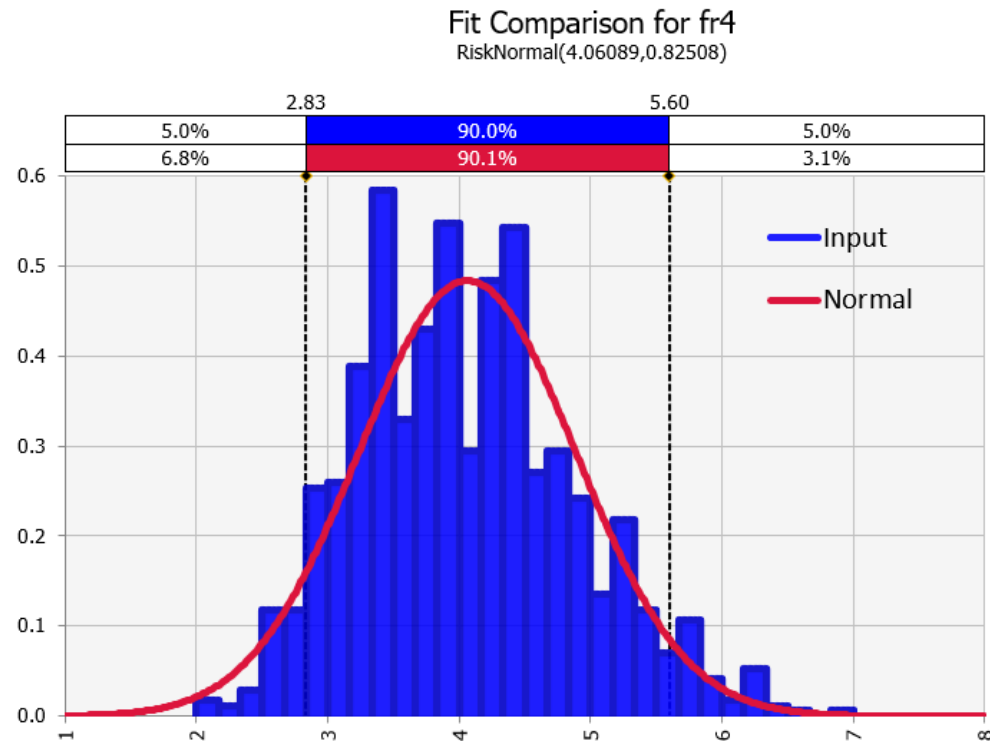
Помимо несоответствий, с 2018 года к новым проектам были введены новые требования клиентов, что еще больше увеличило потребность в более производительном сочетании PSCL. Двумя основными изменениями были:

- Набрызг-бетон больше не может полагаться на сопротивление адгезии (сцепление) для долгосрочной работы.
- Все тонкие футеровки должны выдерживать огневые воздействия 4 часа ISO и 2 часа HC как во время возникновения пожара, так и после пожара с остаточной несущей способностью.

Дальнейшие обсуждения аспектов дизайна

# Путешествие

Переход на высокопроизводительную стальную фибру с загнутыми концами (лучшее «связывание» и большая прочность на растяжение) в 2018 г. до 35 кг/мз...

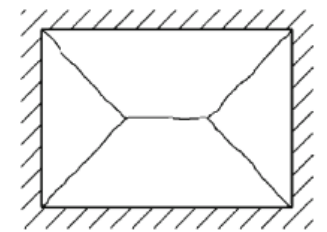
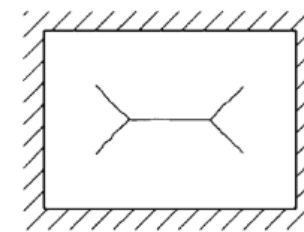
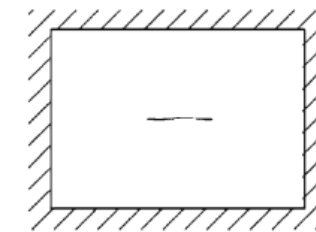
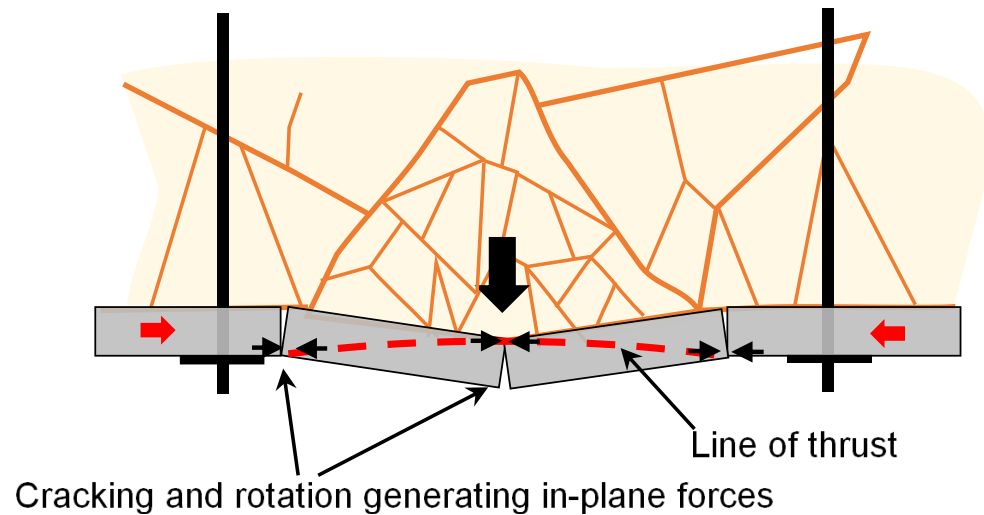


Nom. tensile strength: 1.850 (N/mm<sup>2</sup>)  
Young's modulus: 200.000 (N/mm<sup>2</sup>)  
Strain at ultimate strength: 0,8 %

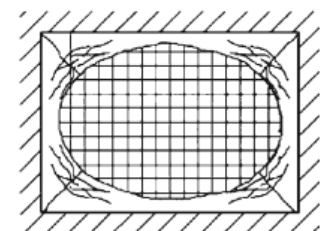
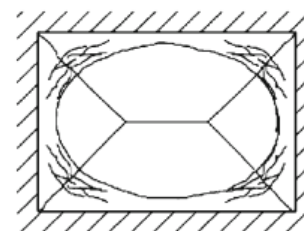
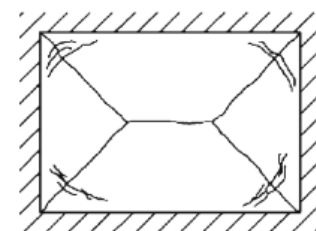
Но теперь, когда используется оптоволокно с более высокими характеристиками, почему бы не использовать его по максимуму и не довести его пропускную способность до приемлемых пределов...

# Путешествие

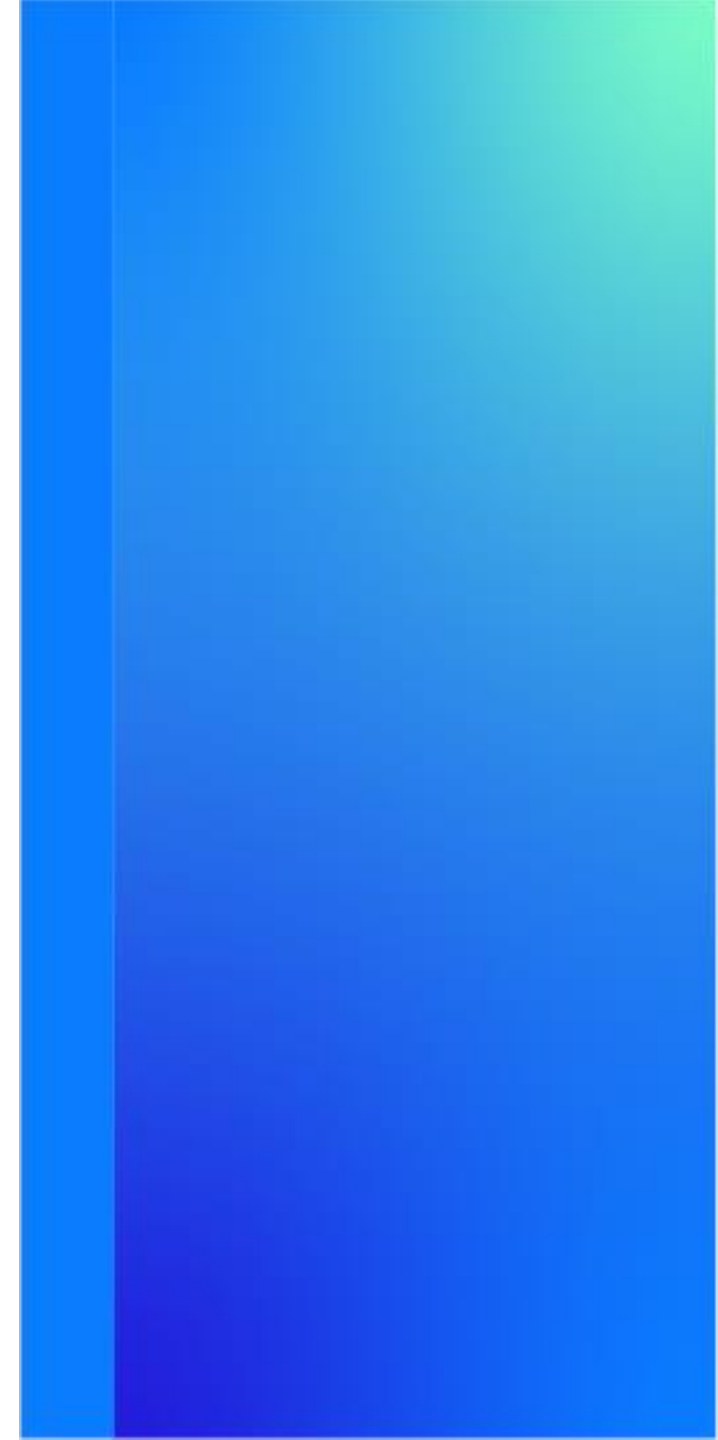
Типичные методы сосредоточены исключительно на способности к изгибу и игнорируют положительный эффект боковых ограничений сплошной крепи. Подобно конструкции плиты, она может создавать плоскостное сжатие (т. е. сжимающее действие мембраны), что повышает пропускную способность.



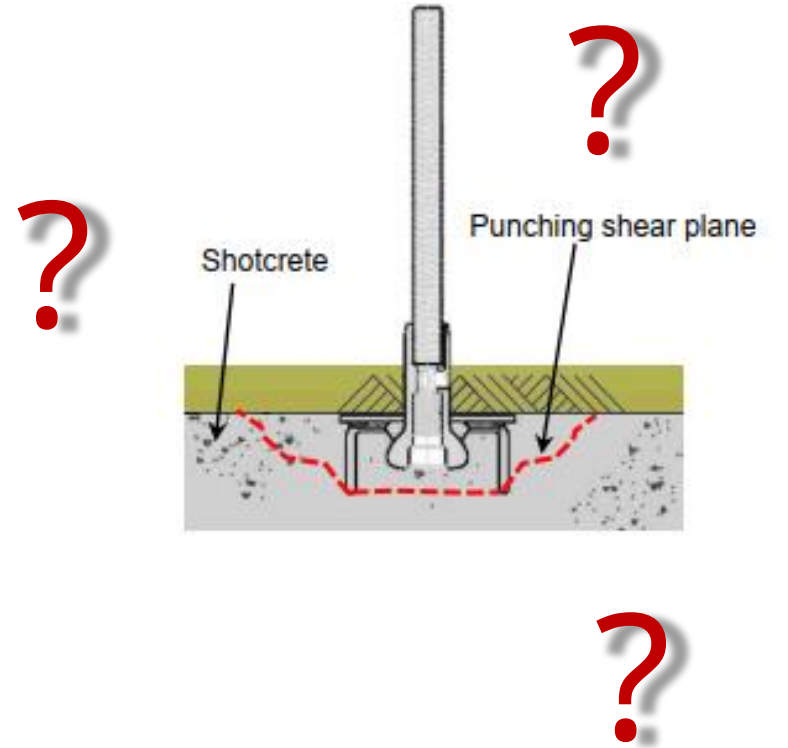
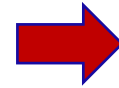
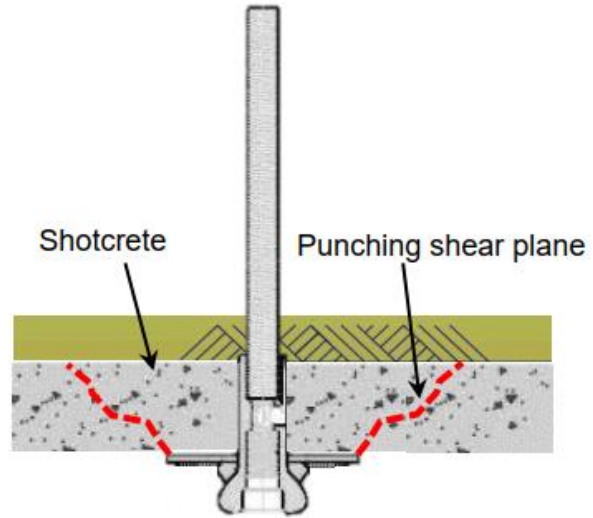
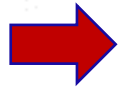
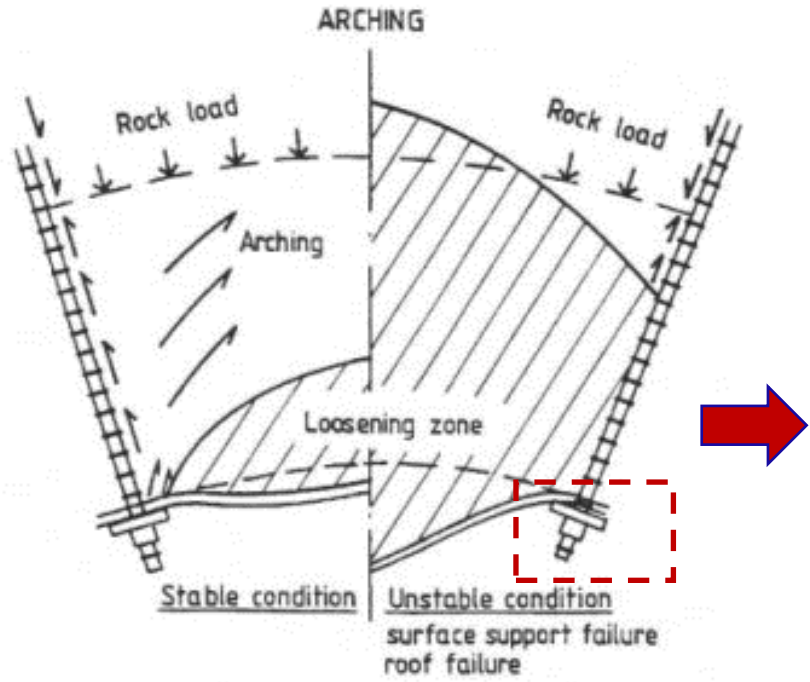
Чжан и Цян (2010)



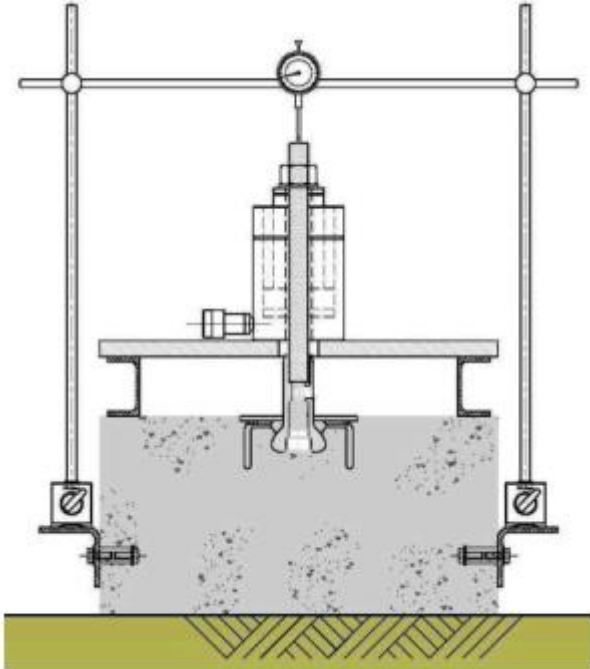
**Прогнозирование емкости футеровки с использованием  
высокоэффективных волокон**



# Прогнозирование емкости футеровки



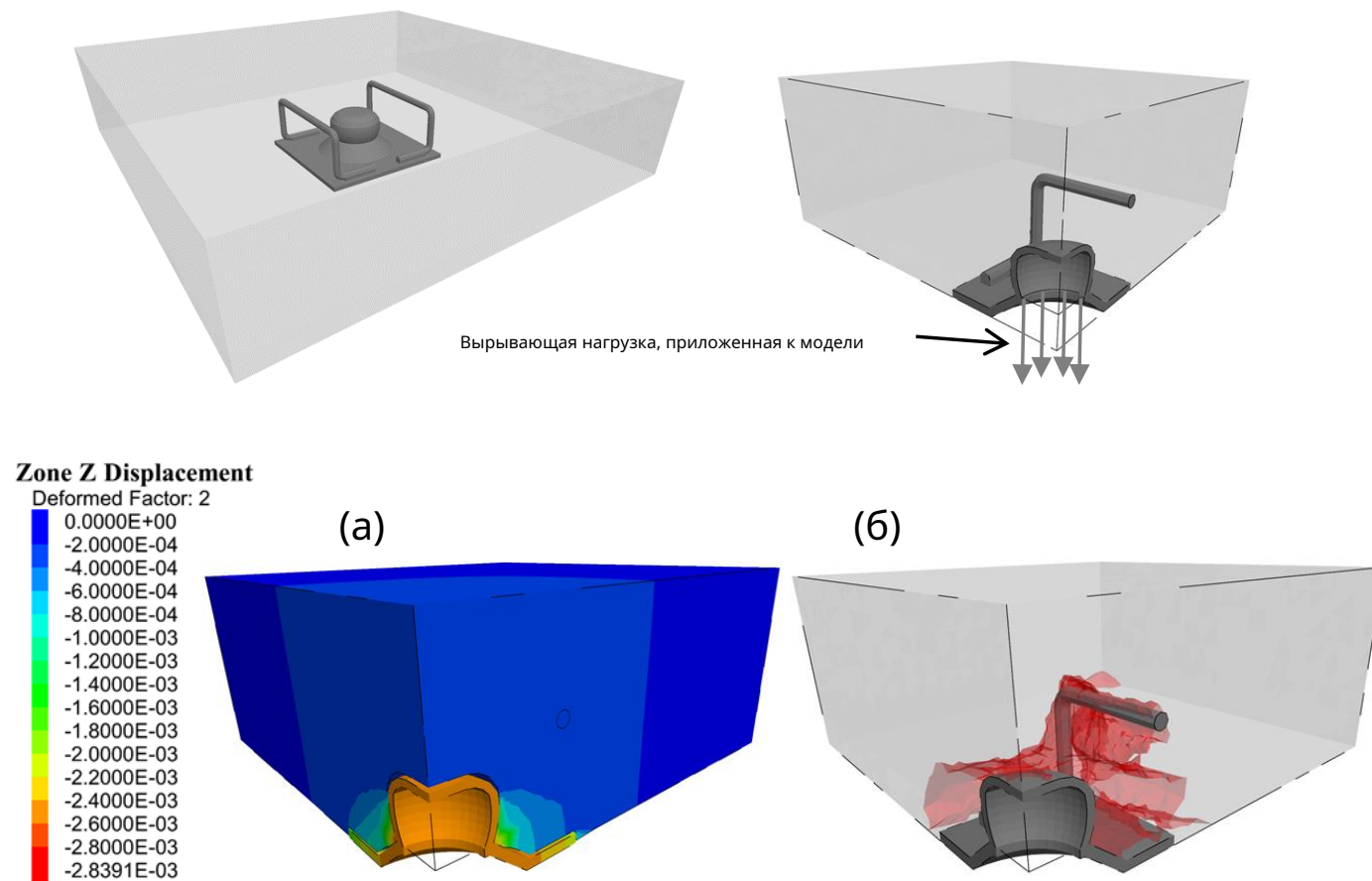
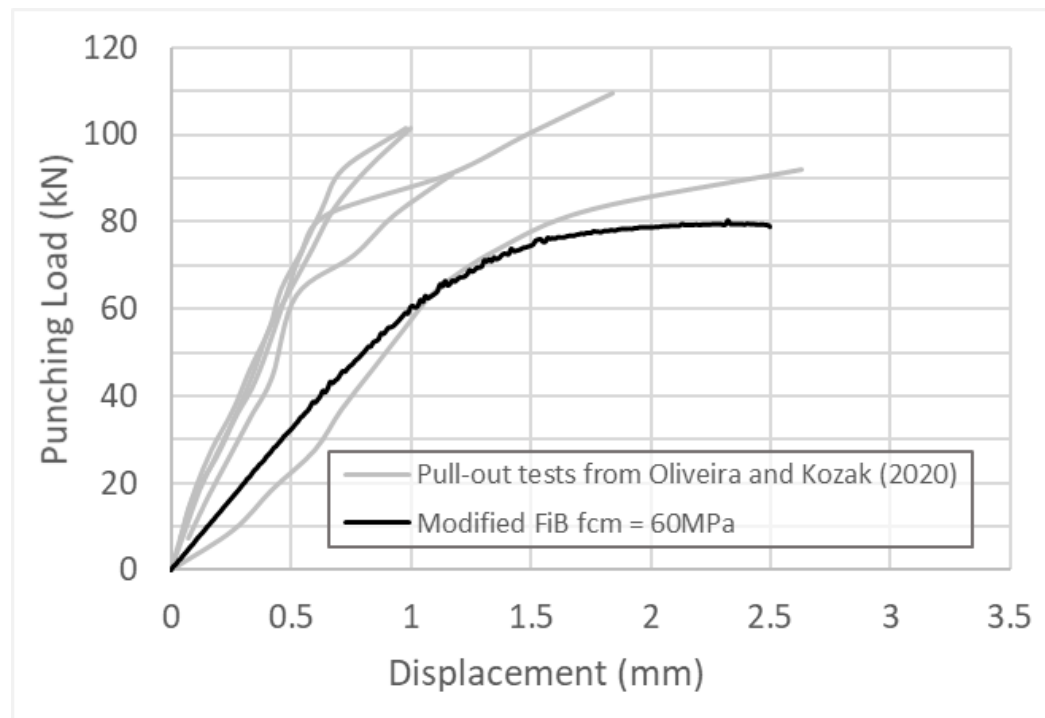
# Прогнозирование емкости футеровки



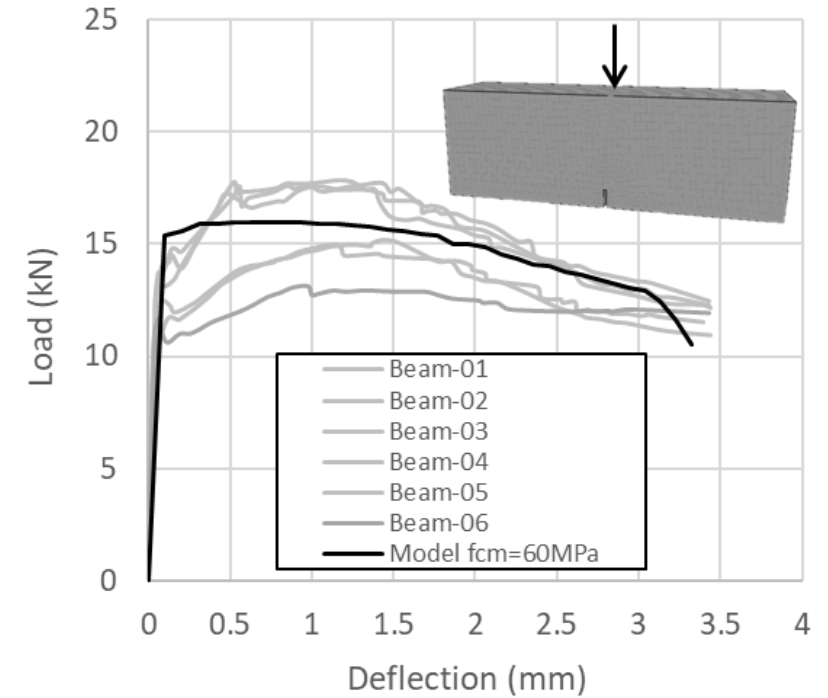
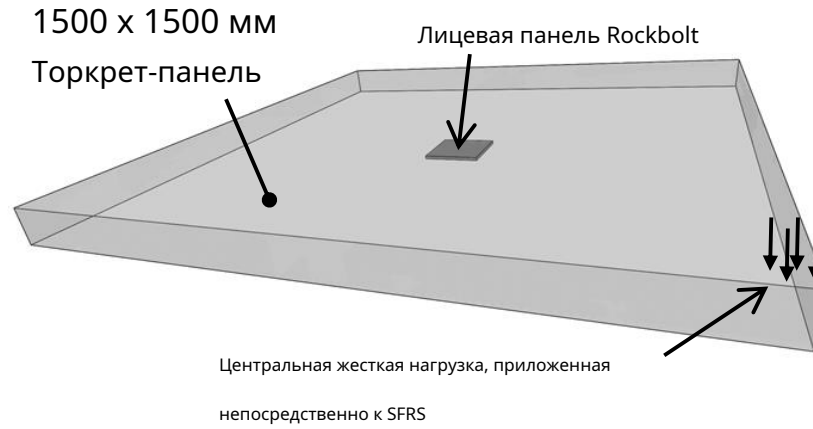
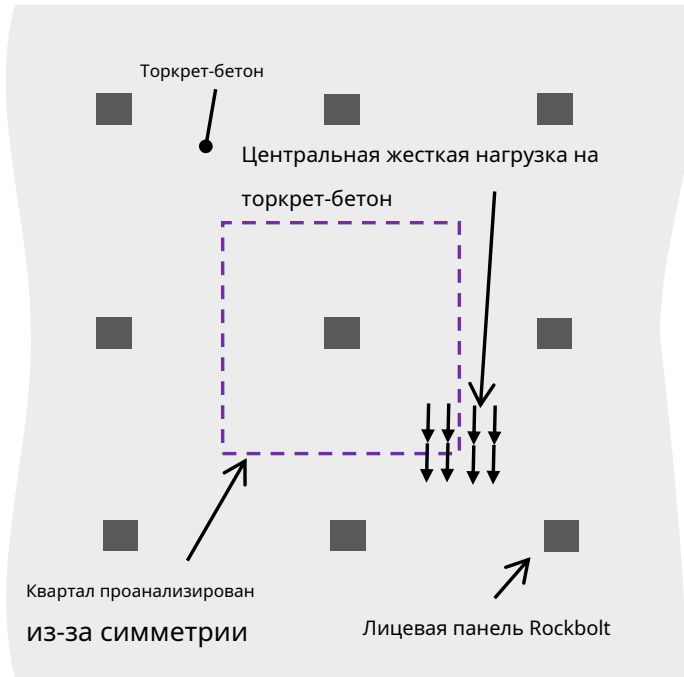
Кларк и Зидер (2017)



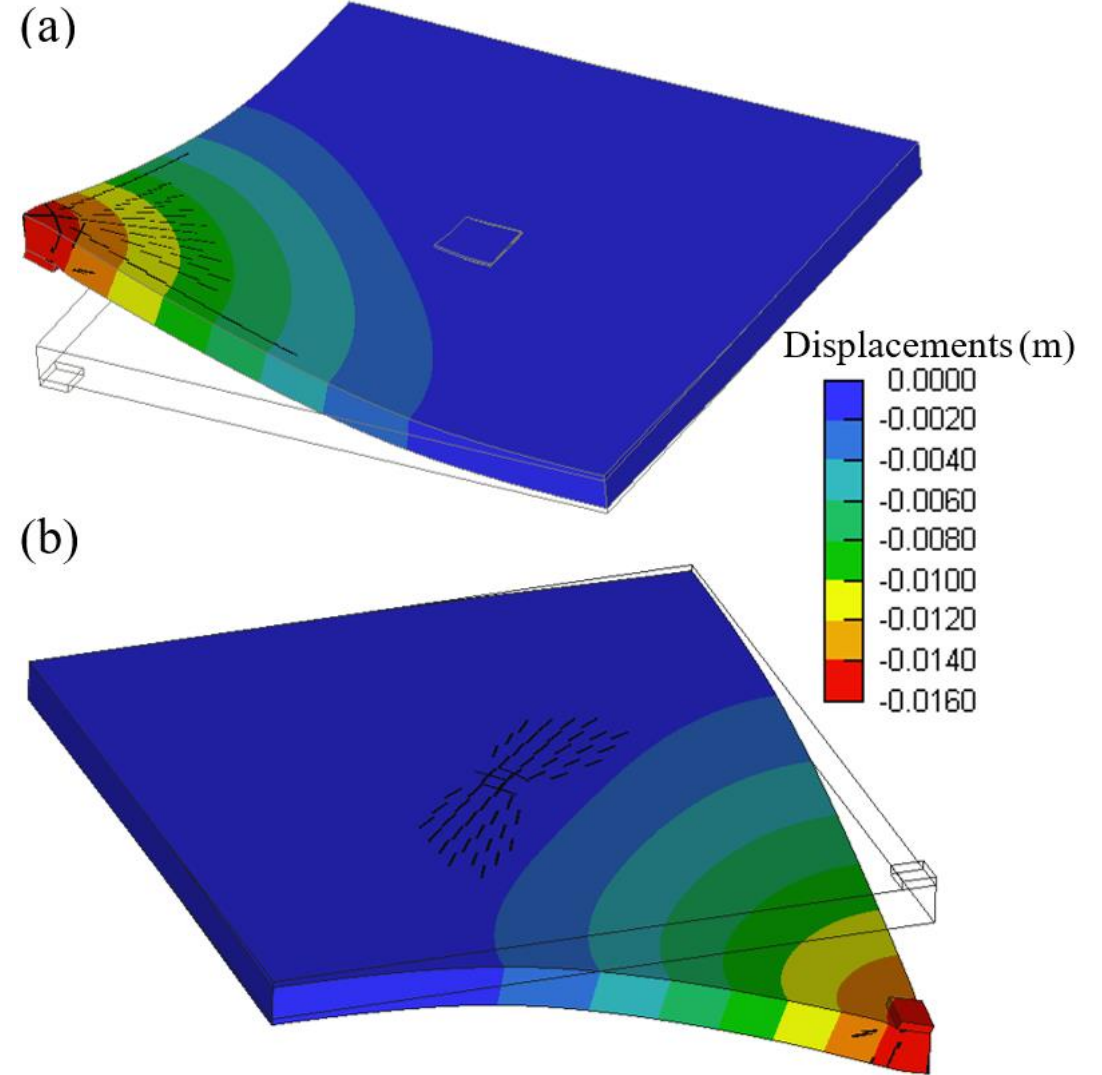
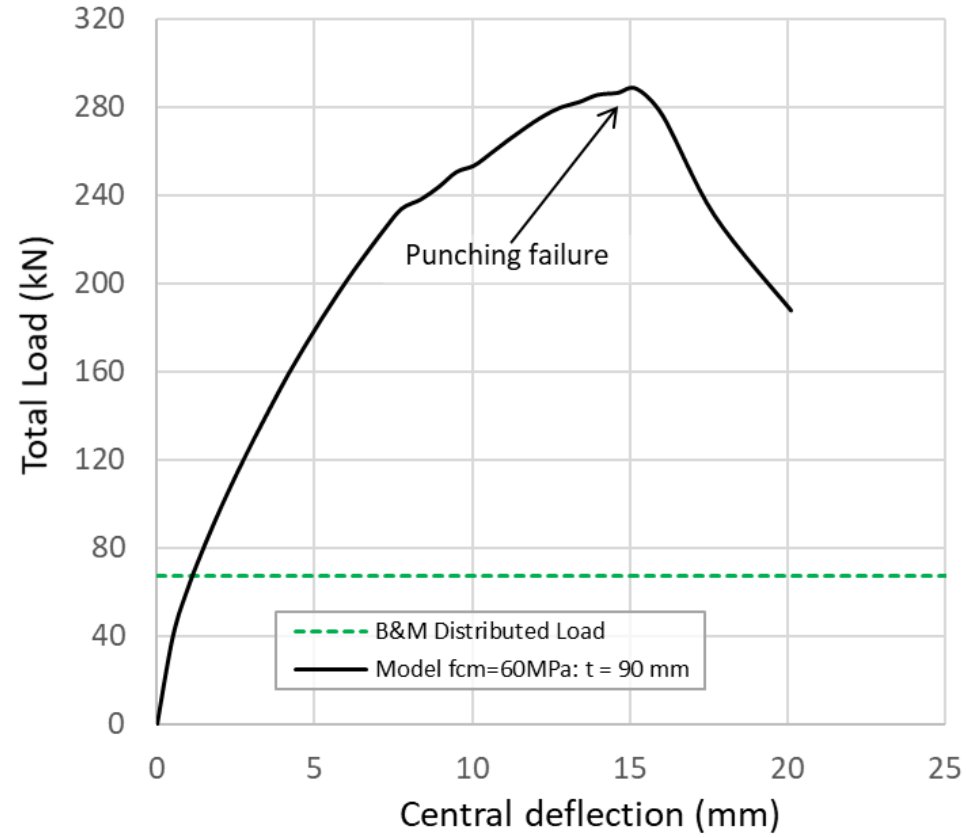
## Прогнозирование емкости футеровки



# Прогнозирование емкости футеровки



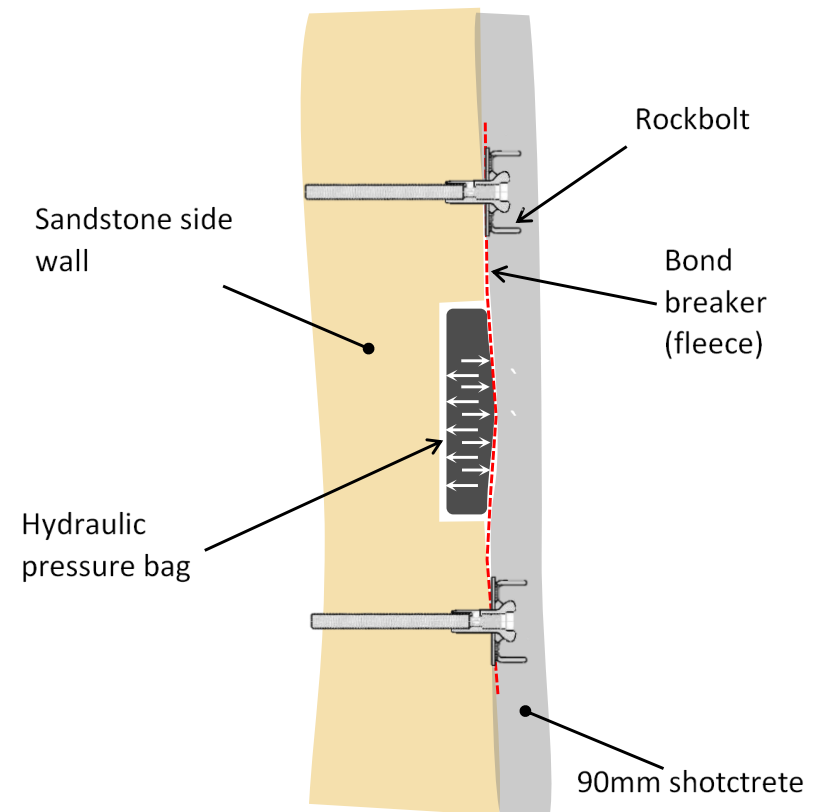
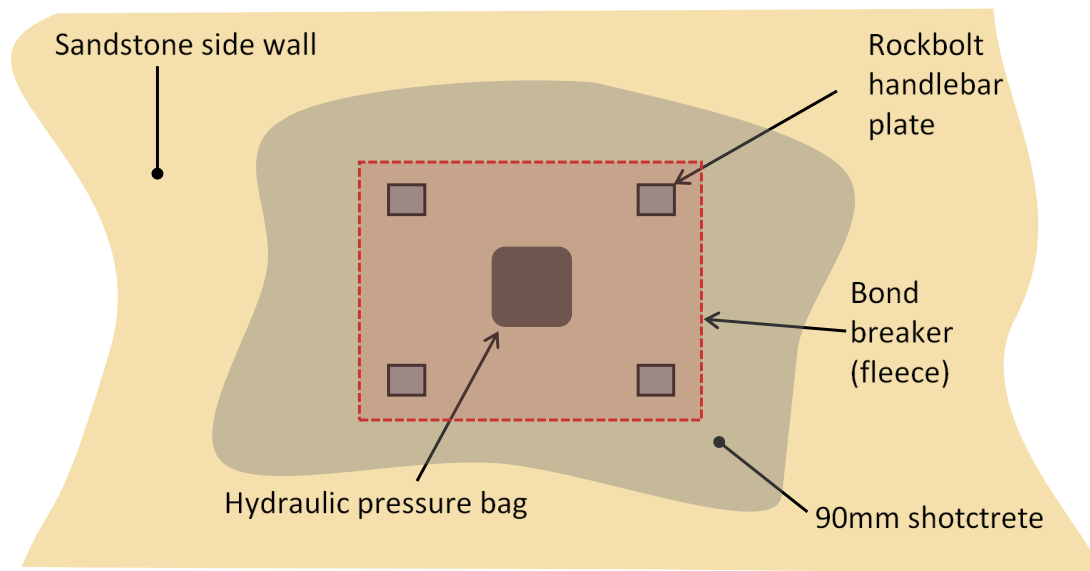
## Прогнозирование емкости футеровки



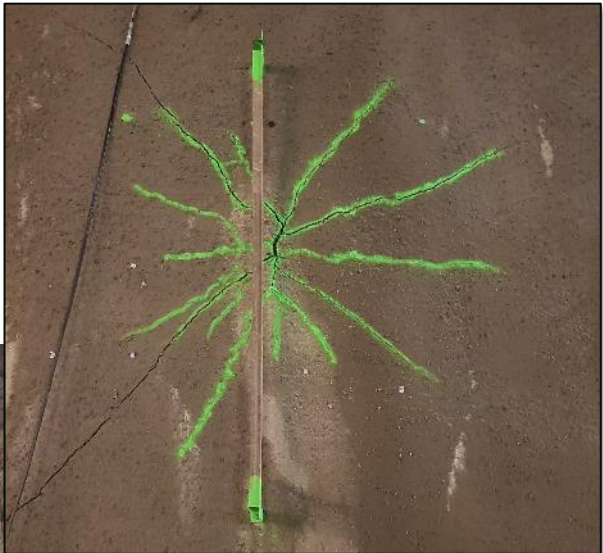
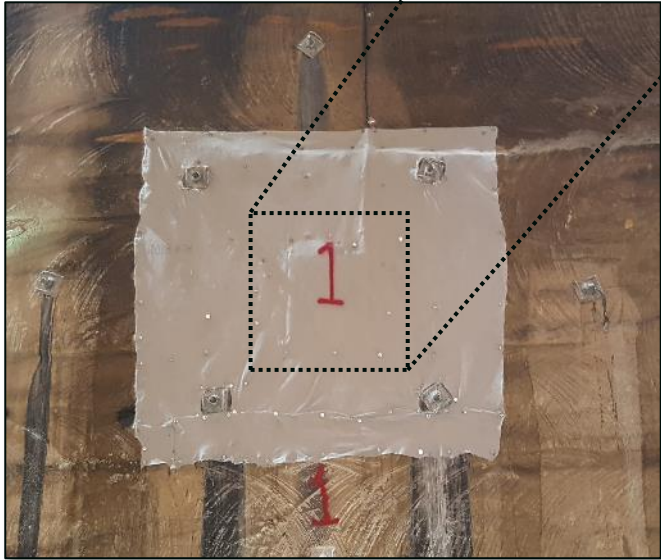
**Полевые испытания**



# Полевые испытания



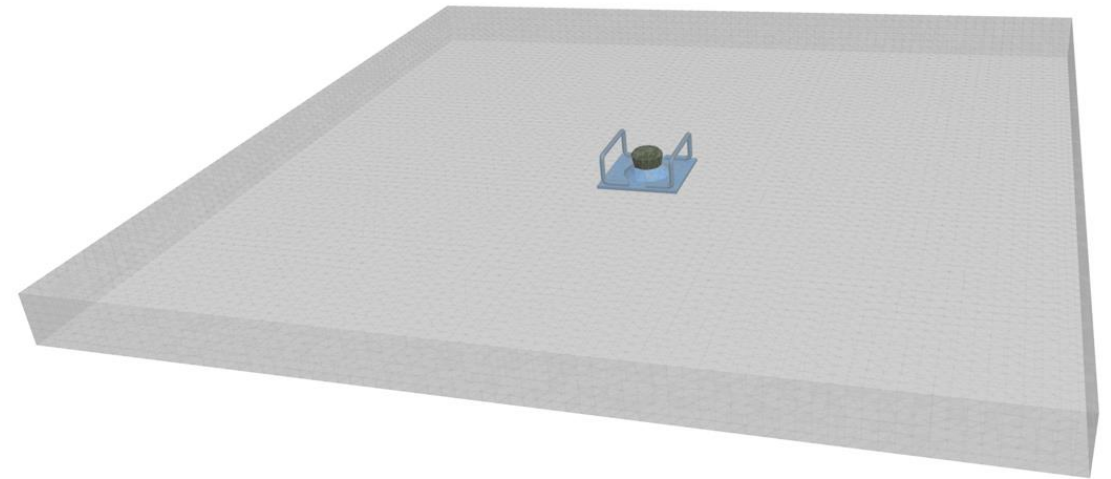
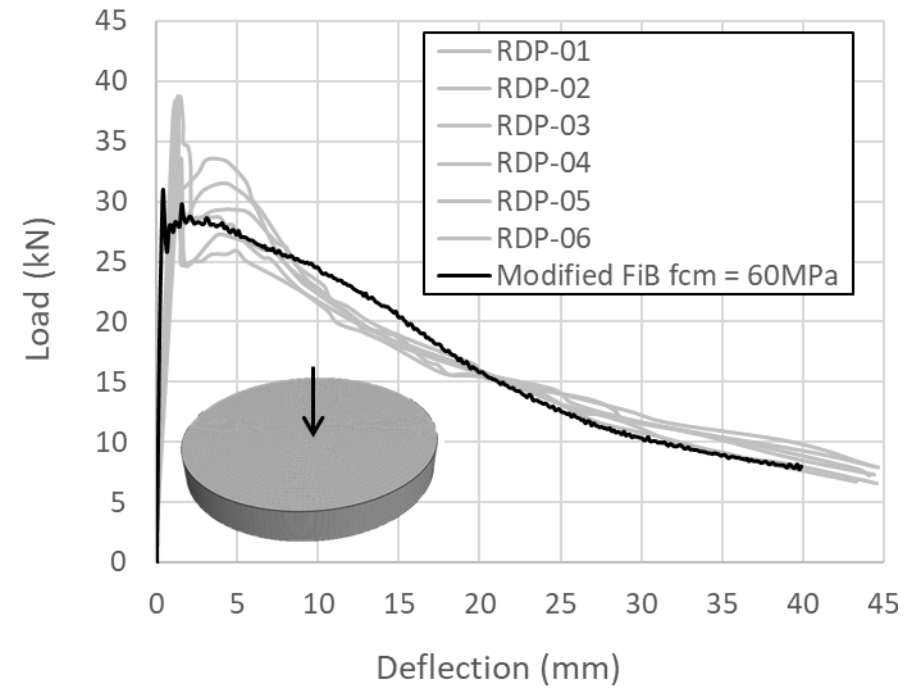
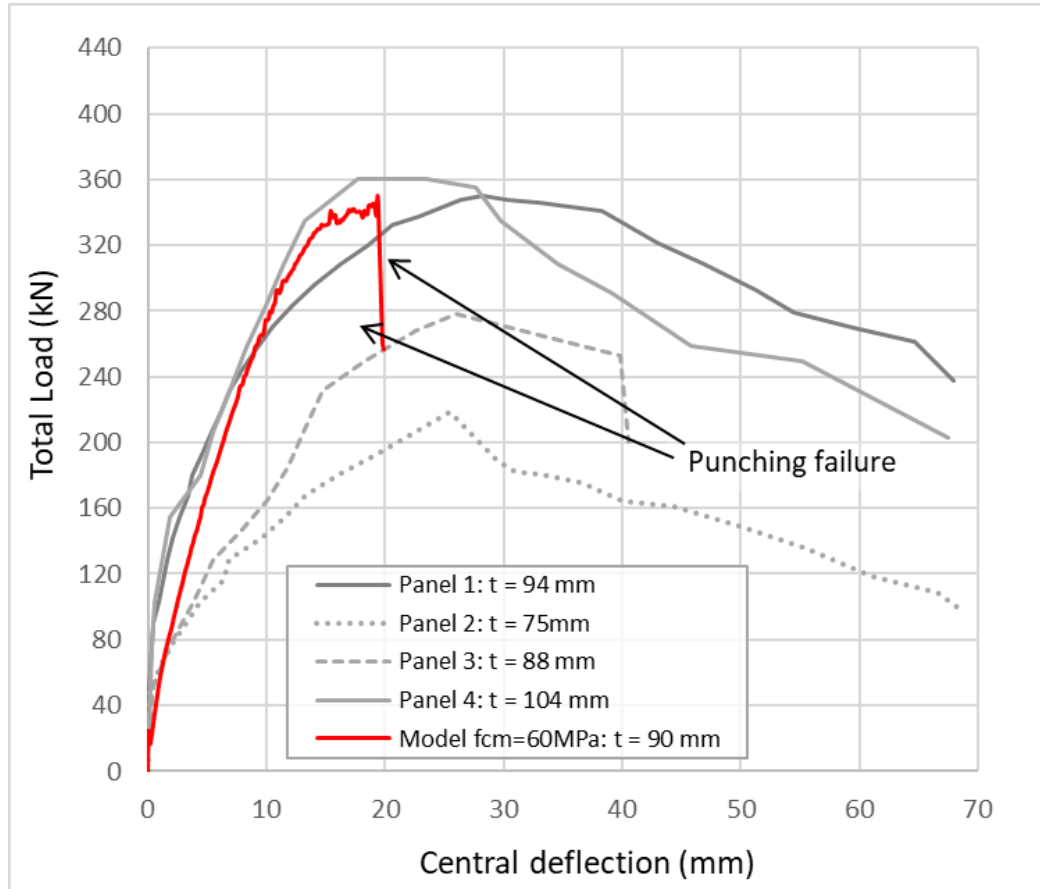
# Полевые испытания



**Обратный анализ результатов**



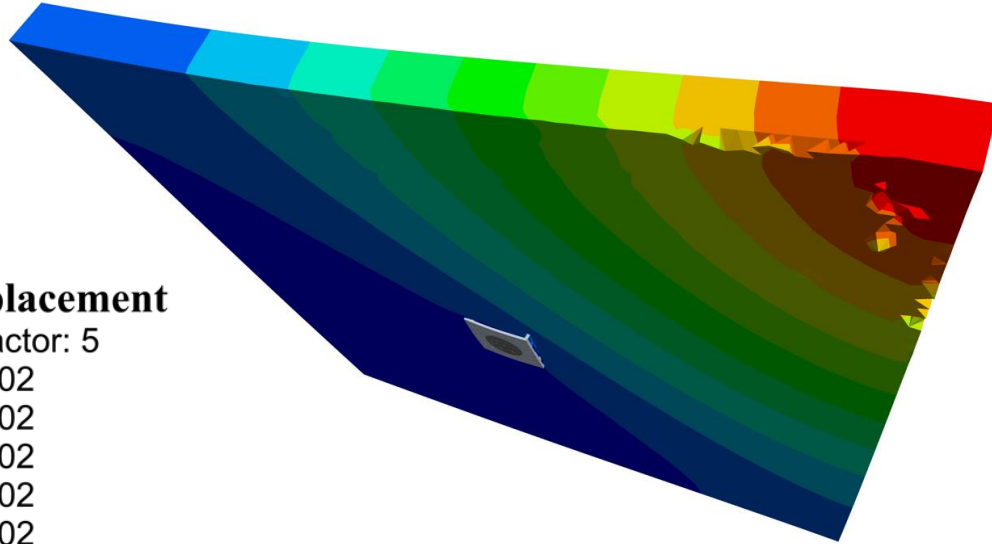
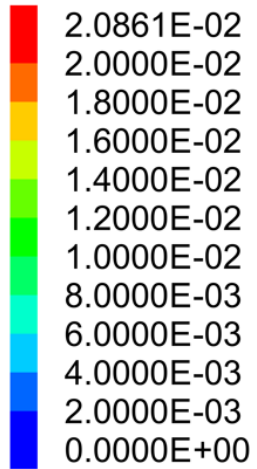
## Обратный анализ результатов



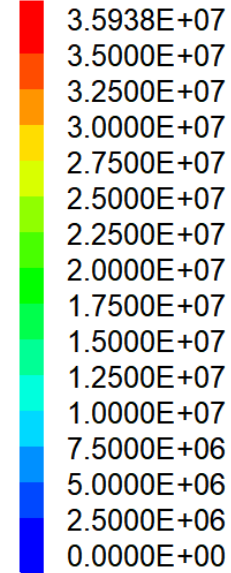
# Обратный анализ результатов

## Zone Z Displacement

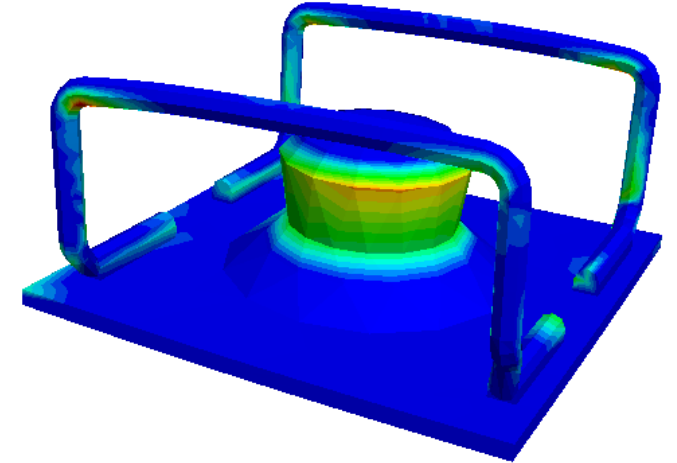
Deformed Factor: 5



## Interface Normal Stress



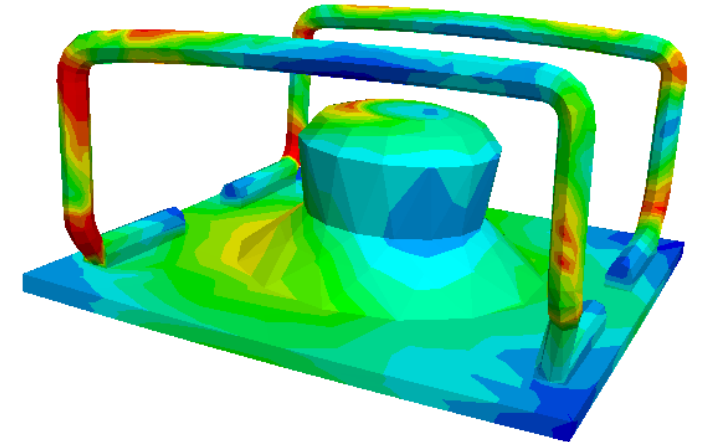
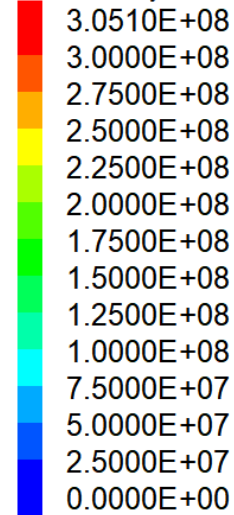
Deformed Factor: 5



## Zone Von Mises Equivalent Stress

Deformed Factor: 5

Calculated by: Volumetric Averaging



# Резюме/выводы

- ❑ Использование высокопроизводительной стальной фибры с загнутыми концами было эффективным для достижения желаемого высокого уровня поддержки грунта с характерной прочностью при отклонении на 40 мм более 500 Дж (ASTM C-1550) и характерной конструкцией.  $f_{p43}$  знак равно 3 МПа.
- ❑ Производственные испытания подтвердили производительность только с незначительными и ожидаемыми выбросами.
- ❑ Высокоэффективное волокно в сочетании с учетом компрессионного действия мембраны (СМА) позволило создать очень тонкую PSCL ( $t$  знак равно 90 мм) с предполагаемым несвязанным состоянием с высокой пропускной способностью, продемонстрированной как численным моделированием, так и крупномасштабными полевыми испытаниями.
- ❑ Учет эффектов СМА был подтвержден несущей способностью, которая была примерно в 3-6 раз выше, чем рассчитанная традиционными методами проектирования, основанными на чистом сопротивлении изгибу/изгибу.

Контакт:

David.Oliveira@jacobs.com [https://www.linkedin.com/in/  
david-oliveira-95609a21/](https://www.linkedin.com/in/david-oliveira-95609a21/)

**Jacobs**

Challenging today.  
Reinventing tomorrow.



**in**



**f**



© Джейкобс 2019