

Москва, апрель 2011

Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты

Презентацию подготовил Эвинд Грэв
Главный научный сотрудник научно-исследовательской организации SINTEF
Профессор Университета науки и техники
в г. Тронхейм, Норвегия
Президент Норвежской тоннельной ассоциации
Бывший вице-президент МТА.



Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

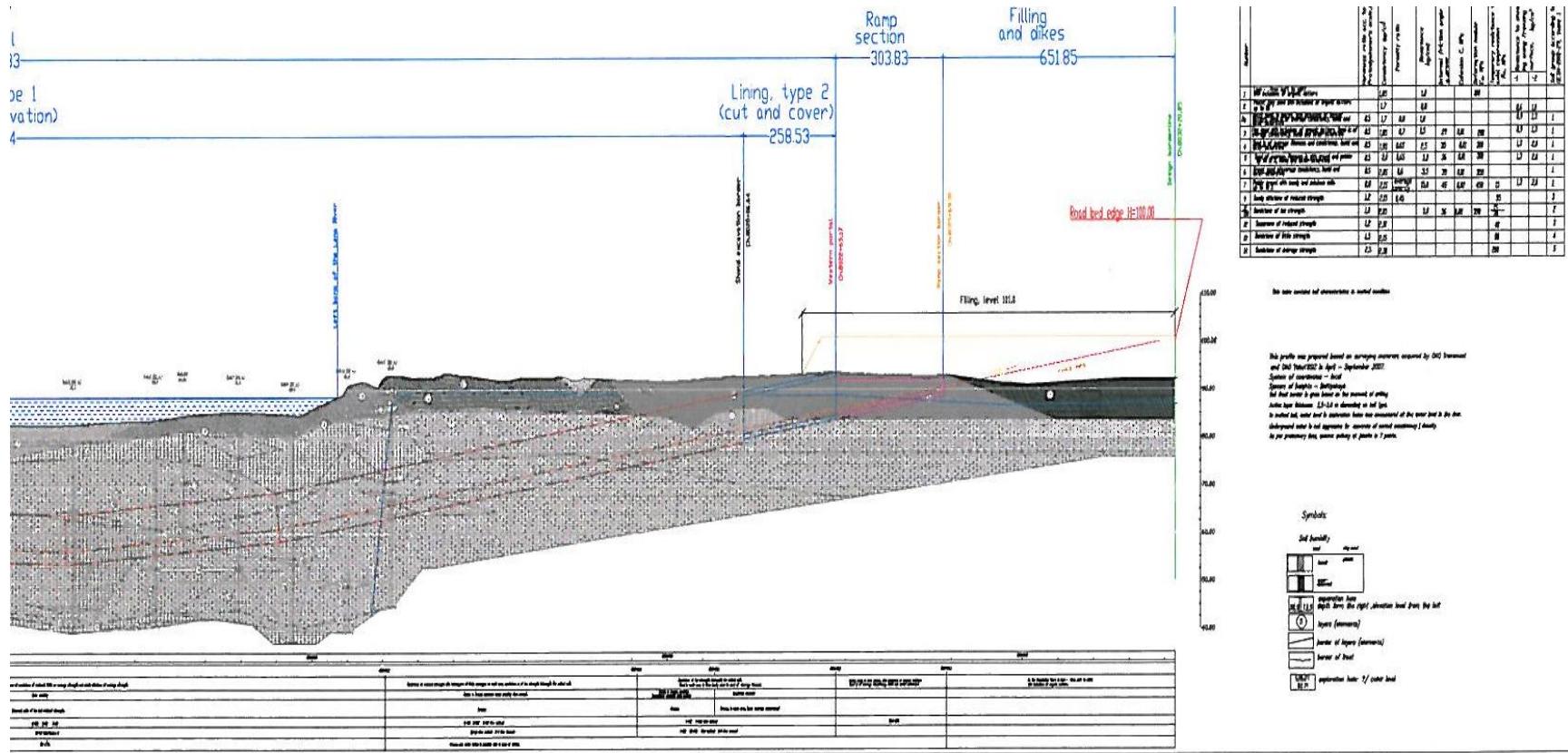
Пересечение реки Лены

Варианты транспортных переходов через реку Лена у г. Якутска.



Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Пересечение реки Лены



Содержание

- Транспортный тоннель «Свеа», Шпицберген
- Хранилище семян, Шпицберген
- Мерзлый грунт для обеспечения безопасной проходки тоннелей
- А/д тоннель под водной преградой, Анадырь
- Рудник «Блэк-Ангел», Гренландия
- Лаборатория для исследования мерзлоты (научно-исследовательская организация SINTEF)
- Норвежские холодильные хранилища
- Железная дорога Цинхай-Тибет
- Тоннель в зоне вечной мерзлоты, Аляска
- Установка изоляционных материалов
- Выводы

Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

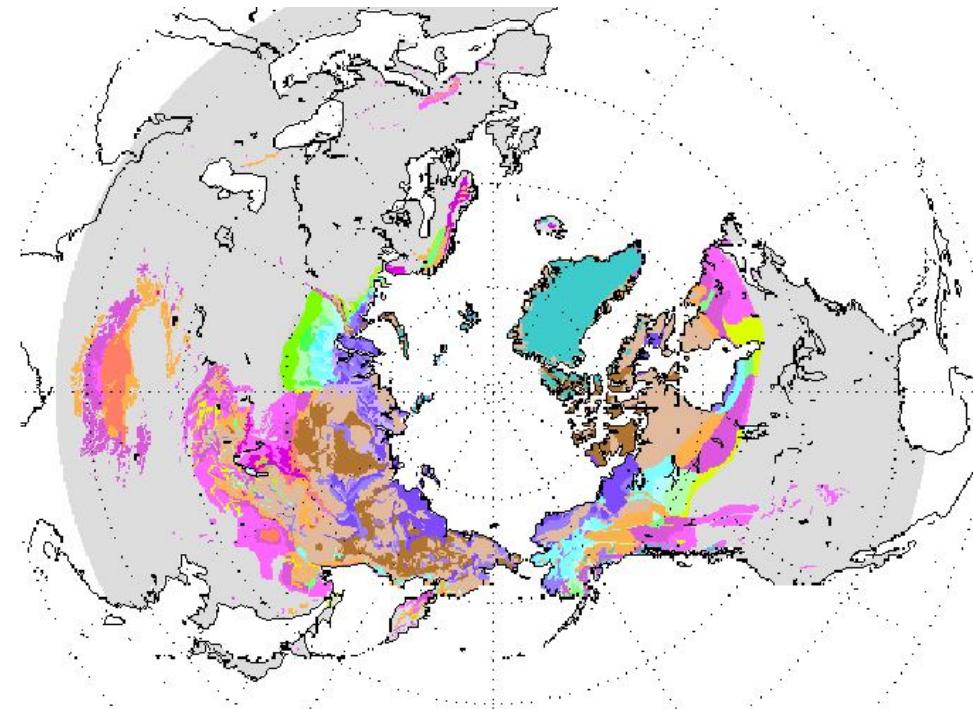
Зоны вечной мерзлоты

- Россия, в частности Сибирь
- Северная Америка, Канада и Аляска
- Гренландия
- Норвегия, особенно Шпицберген
- Китай



Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Зоны вечной мерзлоты

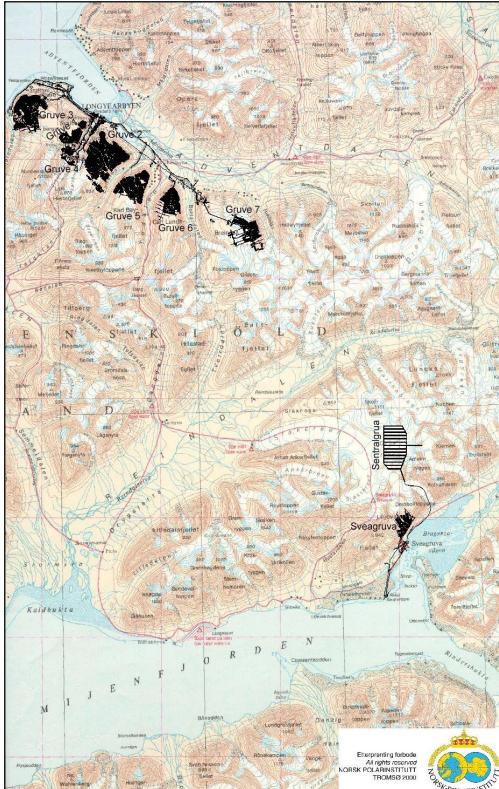


Вечная мерзлота (процент площади)	СОДЕРЖАНИЕ ЛЬДА В ПОЧВЕ (видимый ледниковый покров в верхней части (10-20 м) земли; объемный процент)				
	Низкая местность, возвышенная местность, и межгорные углубления с толстым покрытием льда (>5-10 м)			Горы, возвышенные территории, горные хребты и плато с тонким покрытием льда (<5-10 м) и обнаженная земля)	
	Высокая <th>Средняя (10-20%)</th> <th>Низкая (0-10%)</th> <th>От высокой до средней (>10%)</th> <th>Низкая (0-10%)</th>	Средняя (10-20%)	Низкая (0-10%)	От высокой до средней (>10%)	Низкая (0-10%)
Сплошная зона (90-100%)	■	■	■	■	■
Прерываемая зона (50-90%)	■	■	■	■	■
Отдельные зоны (10-50%)	■	■	■	■	■
Изолированные зоны (0-10%)	■	■	■	■	■

Ледниковый покров и ледник

Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

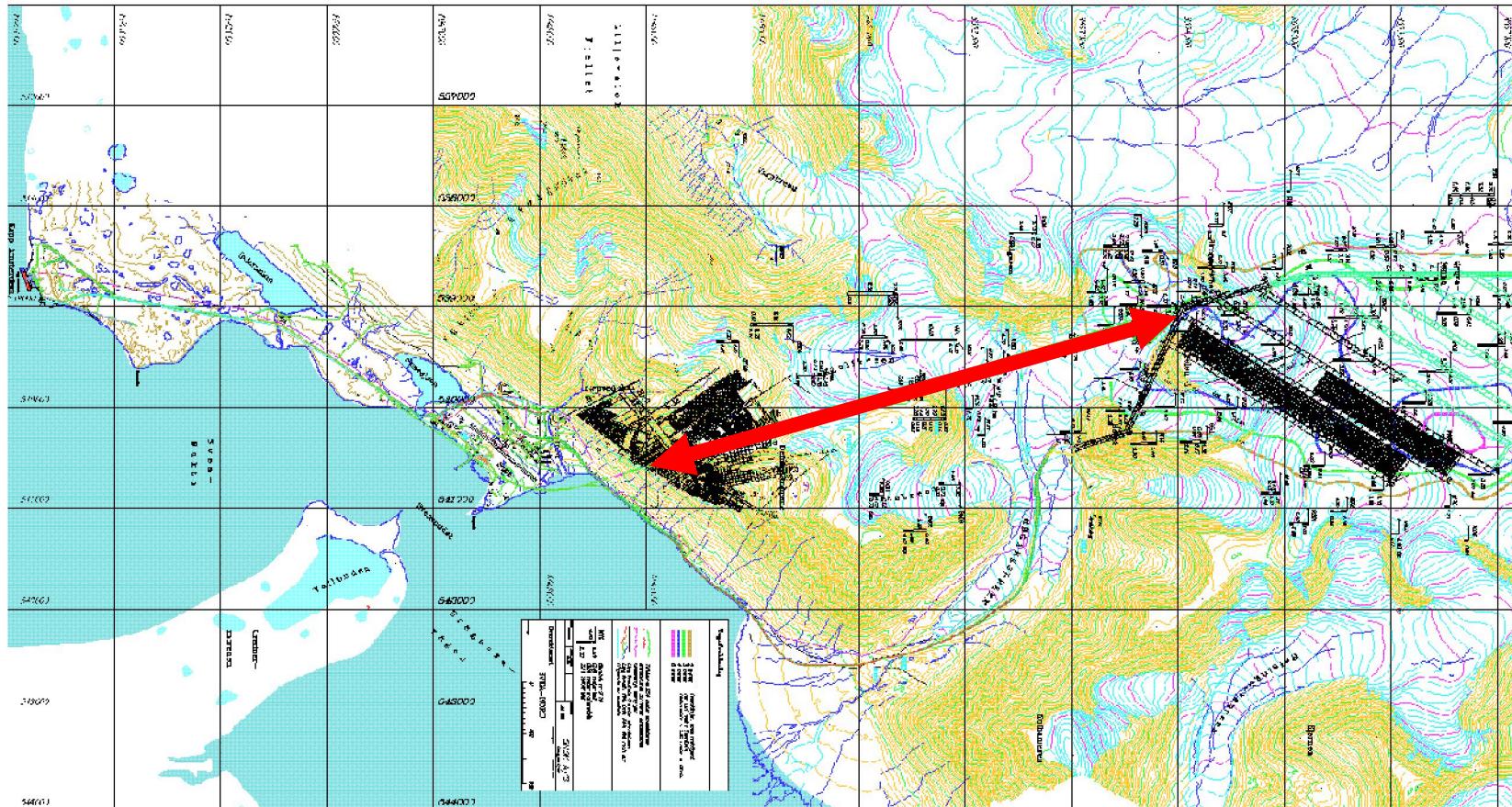
Транспортный тоннель «Свеа», Шпицберген



Store Norske Spitsbergen Kullkompani

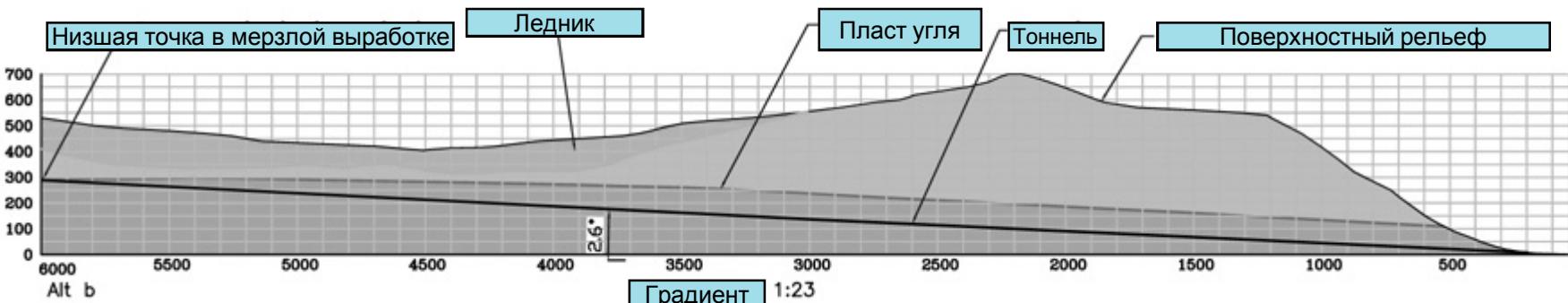
Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Транспортный тоннель «Свеа», Шпицберген



Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

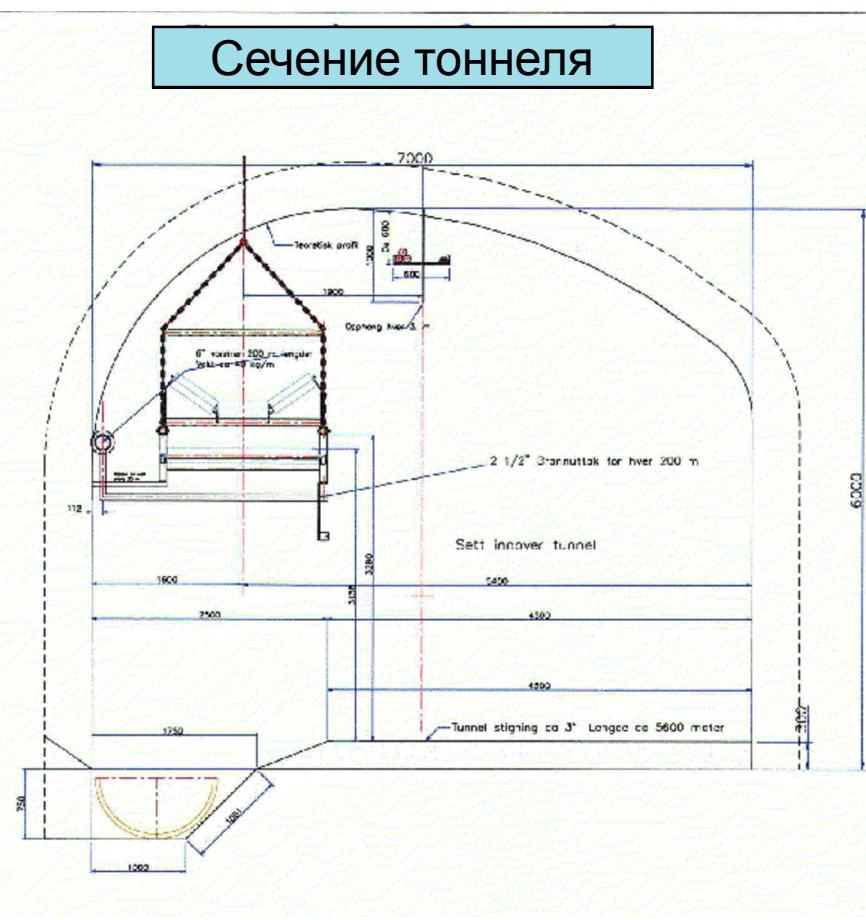
Транспортный тоннель «Свеа», Шпицберген



Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Транспортный тоннель «Свеа», Шпицберген

Сечение тоннеля



Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Транспортный тоннель «Свеа», Шпицберген

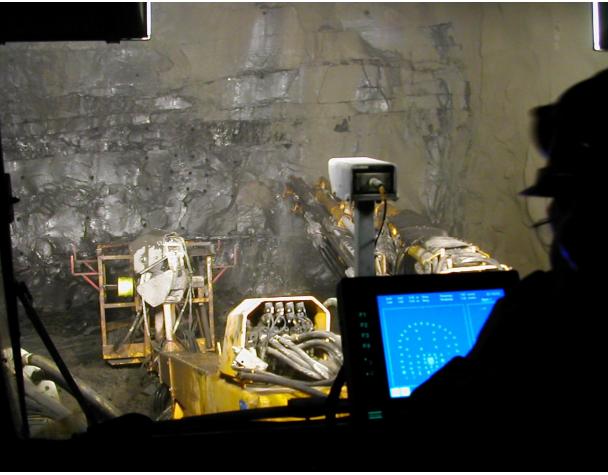


Геологические условия

- Горизонтальные слои
- Песок и алевролит
- Разломы в песчанике
- Деформации в алевролите

Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Транспортный тоннель «Свеа», Шпицберген



- Тоннель 5630 м
- Средняя скорость проходки 103.3 м/нед.
- Лучший результат за неделю 150,1 м с установкой анкеров и нанесением торкрет-бетона
- Торкрет-бетон 11200 м³
- 12000 анкеров

Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Транспортный тоннель «Свеа», Шпицберген



На слайде видно проявление льда на стене. Стена тоннеля устойчива. Видны глыбы горных пород с небольшими трещинами, но порода не ослаблена. Мерзлое состояние способствует сохранению устойчивости грунта.

Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Транспортный тоннель «Свеа», Шпицберген



На слайде показано разрушение торкрет-бетона, которое появилось в результате оттаивания мерзлого грунта.

Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Транспортный тоннель «Свеа», Шпицберген



На слайде показано ослабление грунта на поверхности стены по причине оттаивания грунта. Необходимо поддерживать грунт в мерзлом состоянии.

Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

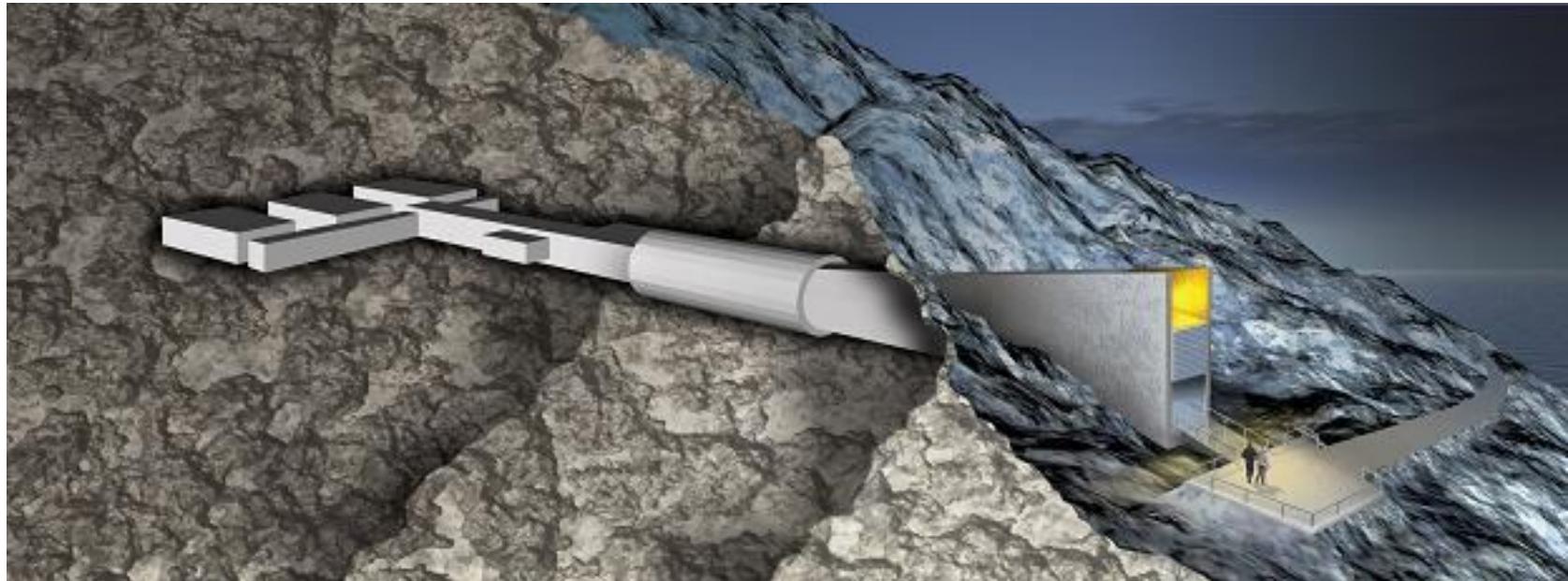
Транспортный тоннель «Свеа», Шпицберген

На слайде показано ослабленное состояние грунта по причине его оттаивания. Снова делается акцент на необходимости поддерживания мерзлого состояния грунта.



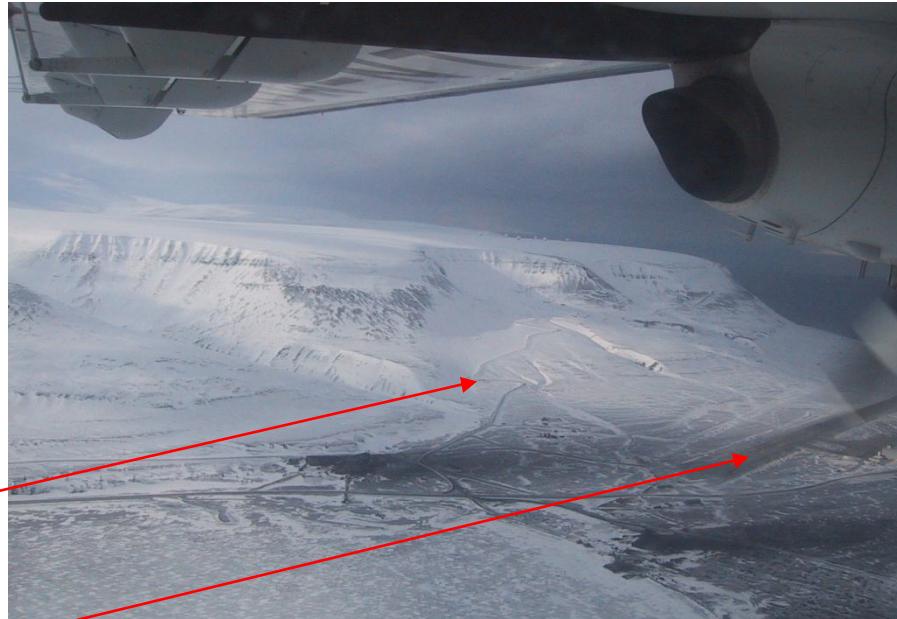
Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Всемирное хранилище семян на Сvalбарде



Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Всемирное хранилище семян на Сvalьбарде

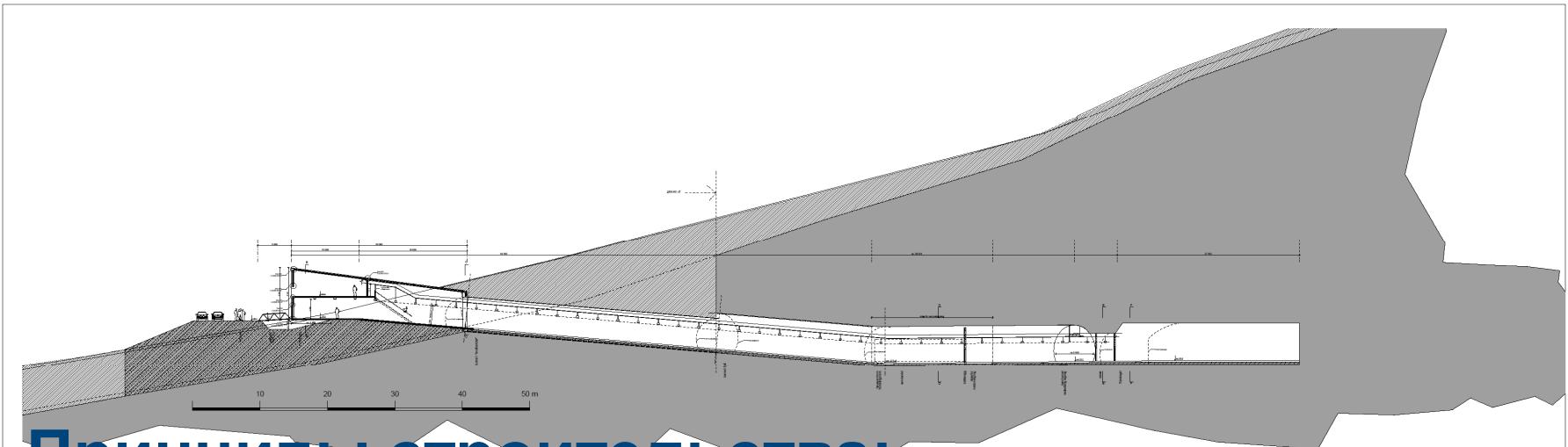


Всемирное хранилище
семян на Сvalьбарде

Аэропорт в городе
Лонгиербиен

Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Всемирное хранилище семян на Сvalьбарде



Принципы строительства:

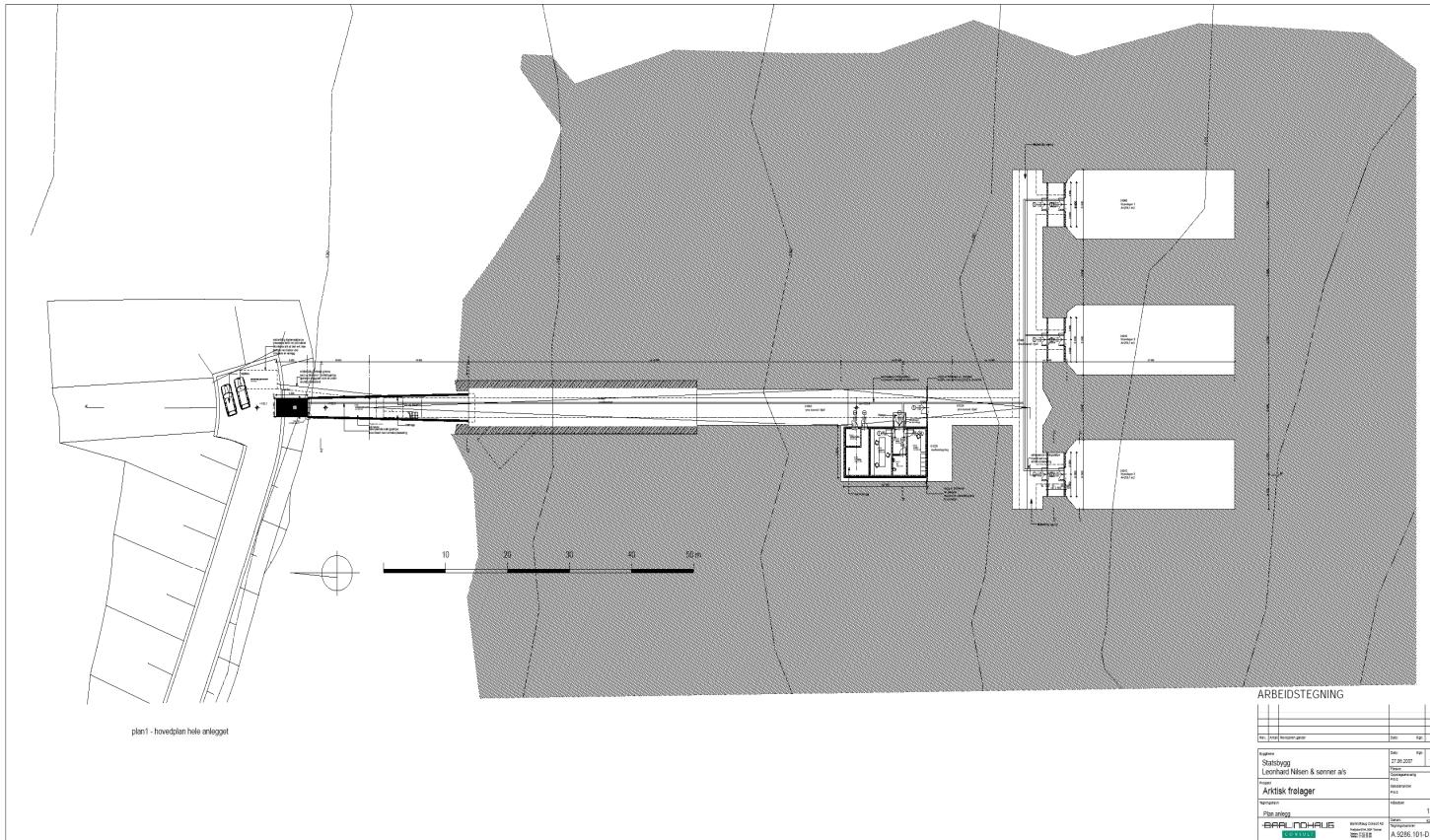
4 основных компонента:

- a) Сооружение портала (армированный бетон)
 - b) Труба из гофрированной стали в слабых грунтах
 - c) Проходка тоннеля в скальных грунтах
 - d) Сооружение хранилища в скальных грунтах



Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Всемирное хранилище семян на Сvalьбарде



3 параллельные
каверны, каждая
9,5 м шириной

Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Всемирное хранилище семян на Сvalбарде



Тоннель укрепленный
гофрированной сталью (см.
рисунок сверху)

Подходная выработка к
семенохранилищу (см. рисунок
справа)



Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Всемирное хранилище семян на Сvalьбарде



Возникла проблема в части тоннеля с гофрированной сталью. Трудно восстановить мерзлое состояние грунта. В результате появилась нестабильность трубы из гофрированной стали.

Граница м/у породой и скальным грунтом

Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Всемирное хранилище семян на Сvalбарде

Техническое описание:

- Расстояние от поверхности (глубина): 120 м
- Высота : 130 м над уровнем моря
- 3 отдельных хранилища
- Внутренняя температура : минус 18 градусов по Цельсию
- Температура вечной мерзлоты: минус 4 градуса

Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Мерзлый грунт обеспечивает устойчивость тоннеля

При замерзании грунта:

Протечка воды останавливается,

- грунт становится герметичным

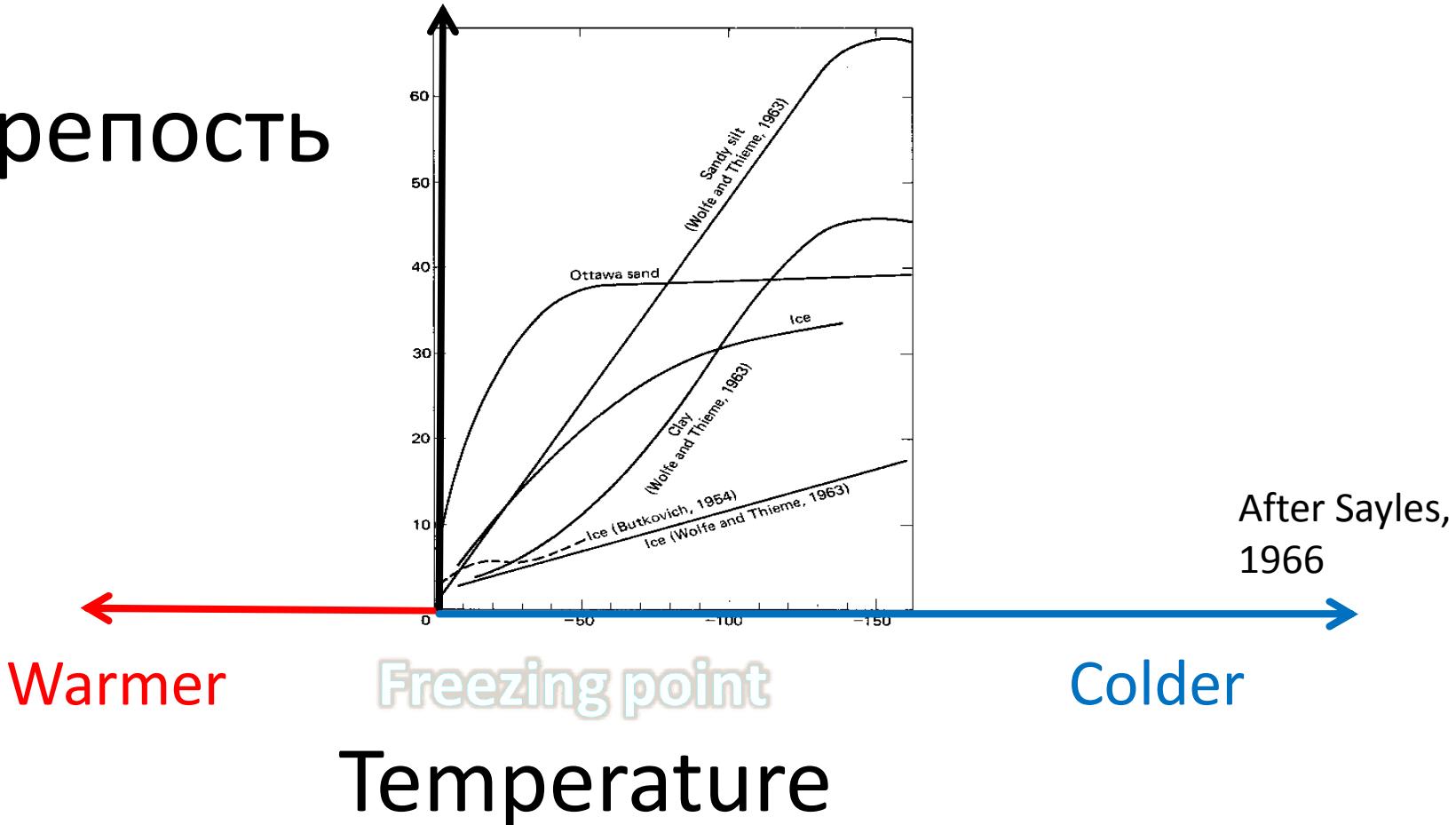
Крепость грунта увеличивается,

- и продолжает увеличиваться по мере снижения температуры

Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Мерзлый грунт обеспечивает устойчивость тоннеля

Крепость



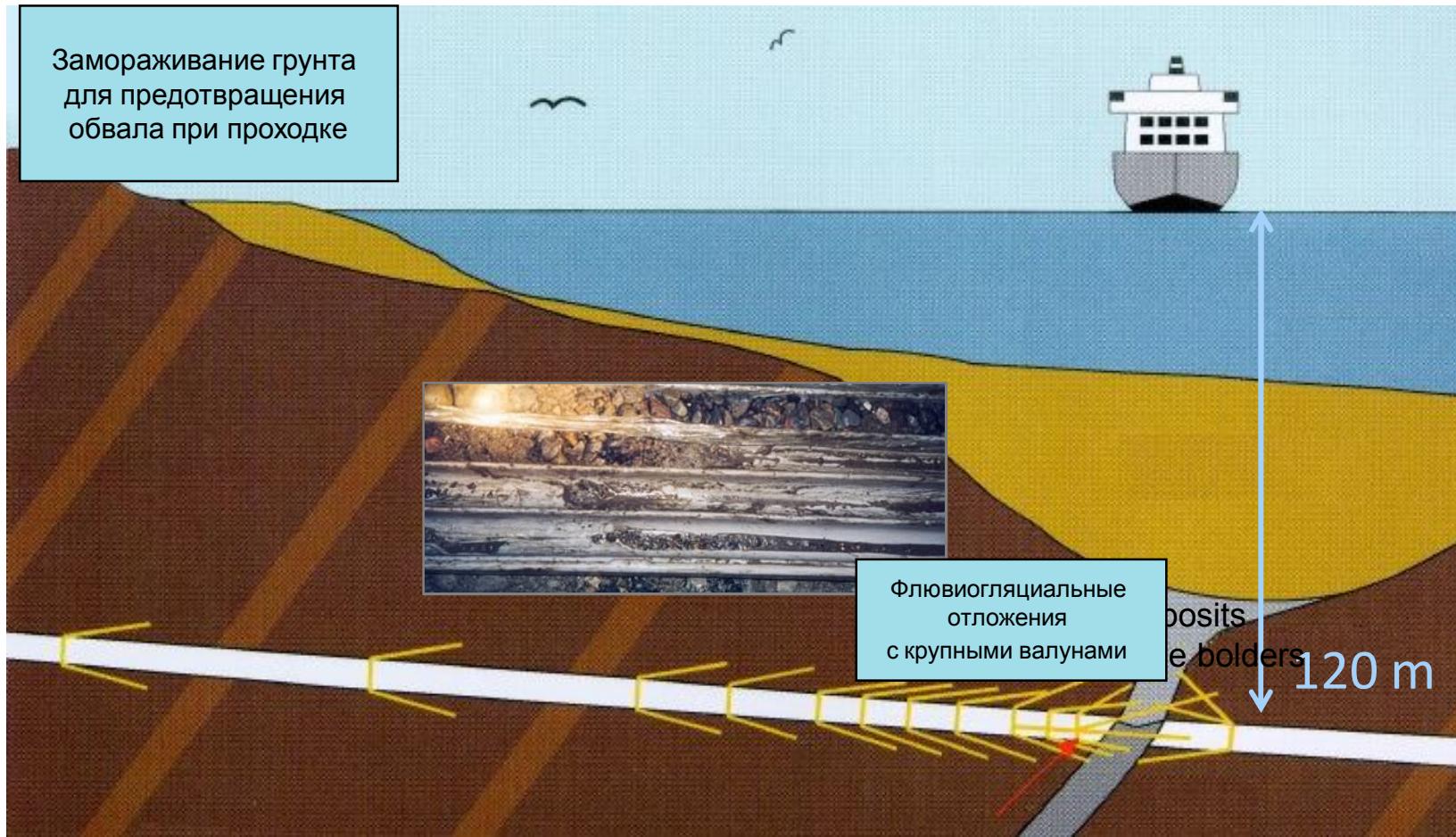
Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Мерзлый грунт обеспечивает устойчивость тоннеля



Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Мерзлый грунт обеспечивает устойчивость тоннеля



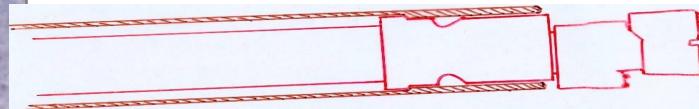
Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Мерзлый грунт обеспечивает устойчивость тоннеля



Ослофьордский тоннель, построенный под морской преградой. Проходка велась в слабой зоне с высотой давления воды 120 метров

Мерзлый грунт обеспечивает устойчивость тоннеля



При высоком давлении воды,
необходимо бурение
обсадными трубами через
запорные клапана.

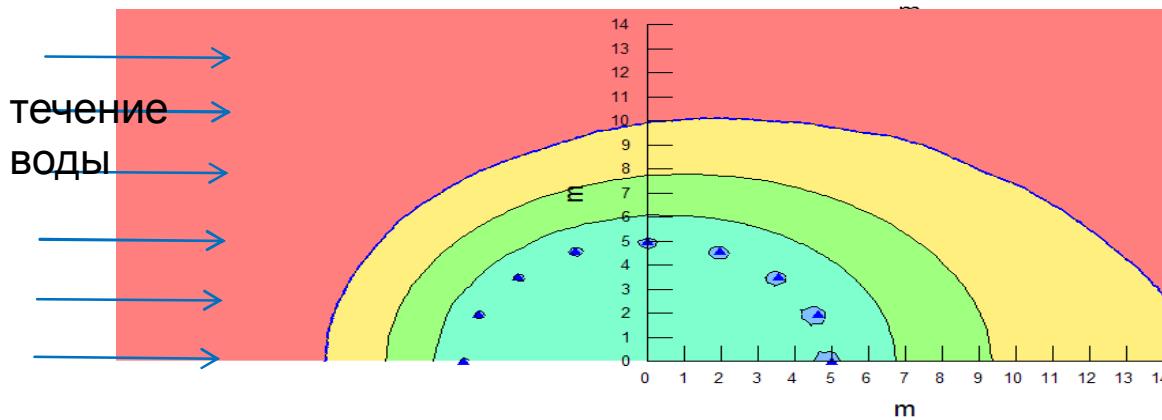
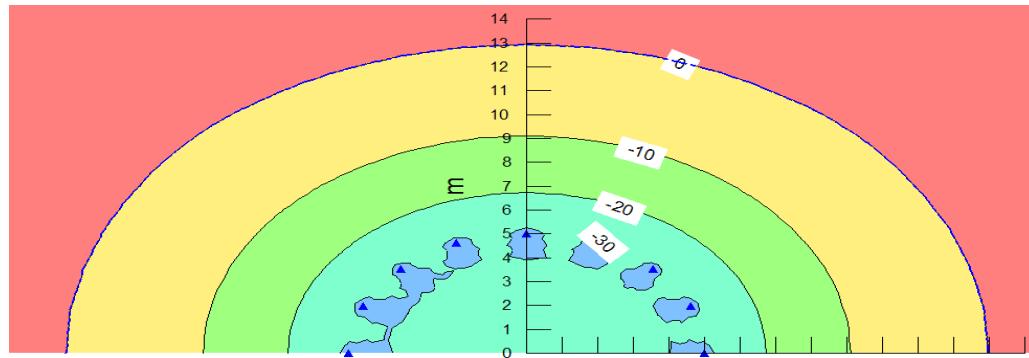
Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Мерзлый грунт обеспечивает устойчивость тоннеля



Установка
замораживающих
колонок из забоя
тоннеля

Мерзлый грунт обеспечивает устойчивость тоннеля



Численные
анализы для
термальных
расчетов на
глубине
нулевой
изотермы

Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Мерзлый грунт обеспечивает устойчивость тоннеля

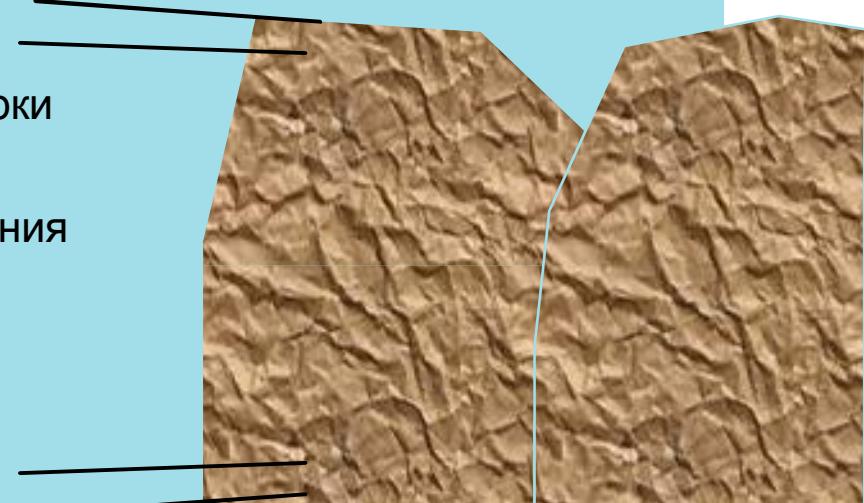


Взорванная
порода из
мерзлого участка
тоннеля

Мерзлый грунт обеспечивает устойчивость тоннеля

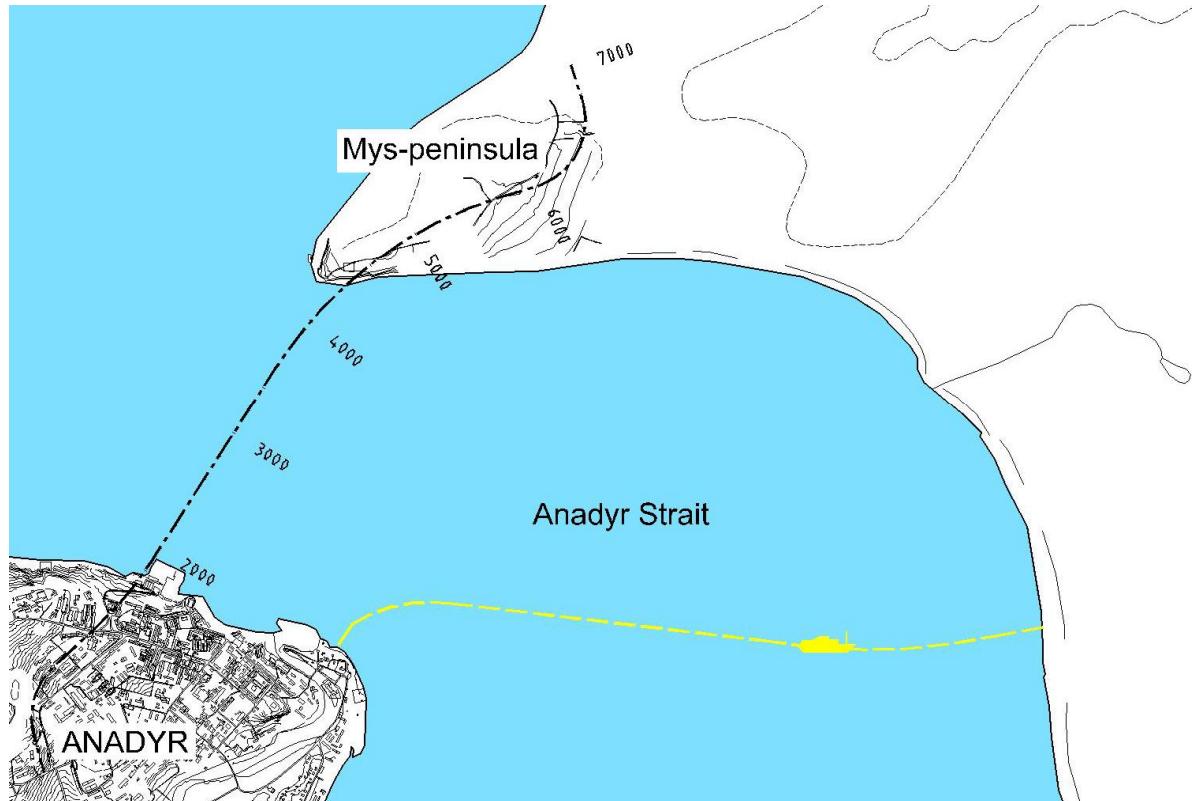
Типичный цикл проходки тоннеля выглядит следующим образом:

Замораживание
Взрывание
Набрызг-бетонирование
Выемка грунта
Бурение по контуру
Бетонирование обратного свода
Бетонирование арки и линии пят
Завершение бурения
Заряд
Взрывание



Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Тоннель под водной преградой, Анадырь, Россия



Предпроектные
разработки и
технико -
экономические
исследования были
выполнены в 2002
г. по инициативе
губернатора
Чукотки

Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Тоннель под водной преградой, Анадырь, Россия



Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

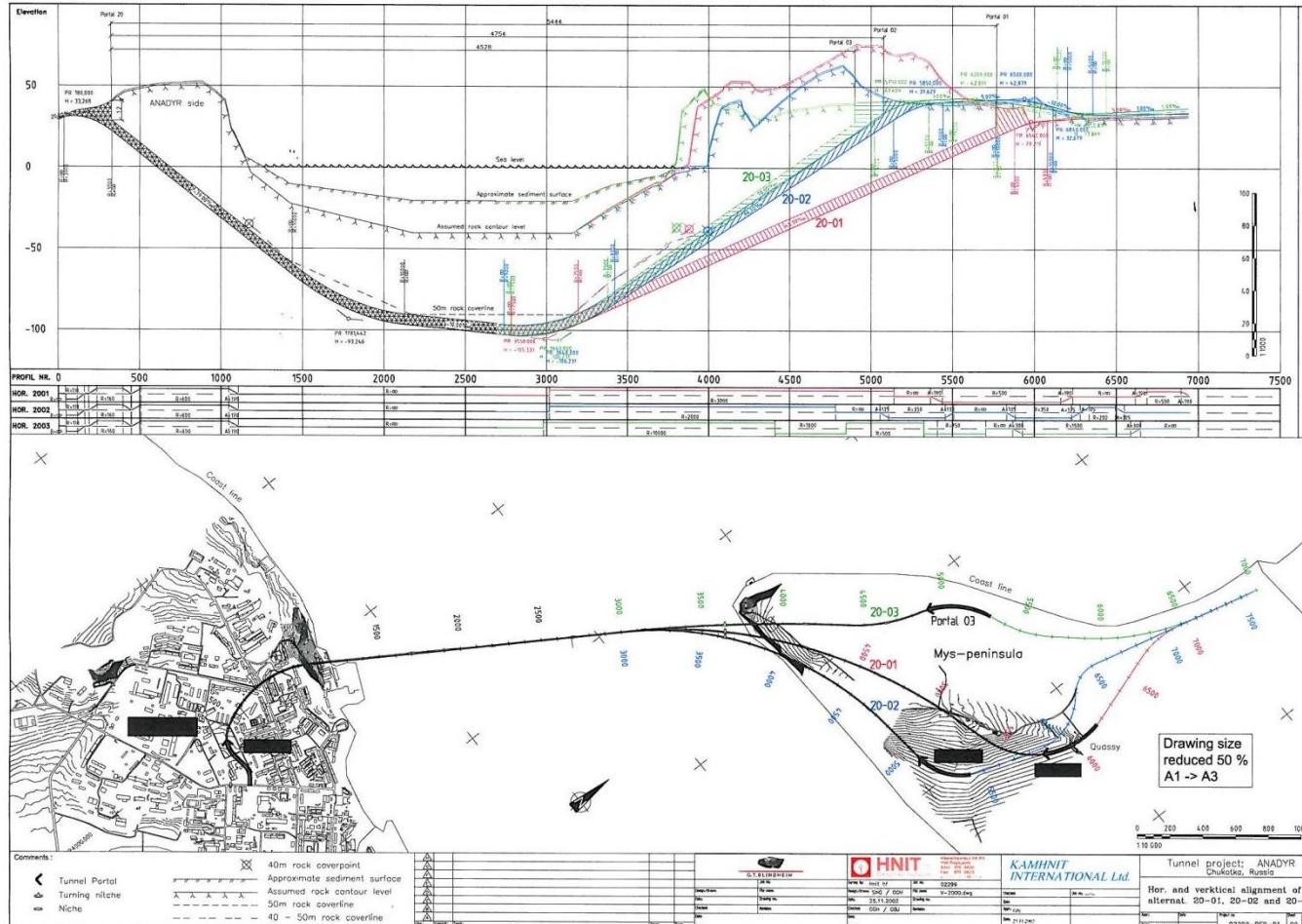
Тоннель под водной преградой, Анадырь, Россия

Требования к проекту и факторы неопределенности:

- Порталы/входы тоннеля должны быть спроектированы и построены так, чтобы они соответствовали окружающим условиям, особенно там, где они располагаются в плоском рельефе местности.
- Вечная мерзлота в береговой зоне тоннеля.
- Сохранение стабильности горных пород в массиве.
- Предотвращение попадания воды в токопроводящие материалы.
- Возможны субледниковые зоны с отложениями осадочных пород.
- Неподтвержденные документально зоны разломов в проливе (их протяженность, расположение и состояние).
- Безопасная среда для персонала, задействованного на строительстве тоннеля.
- Создать комфорт и безопасность в тоннеле, для того, чтобы люди пользовались данным тоннелем.
- Уровень и расположение самого низкого залегания поверхности пород в заливе.
- Подтверждение данных по геологическим условиям.

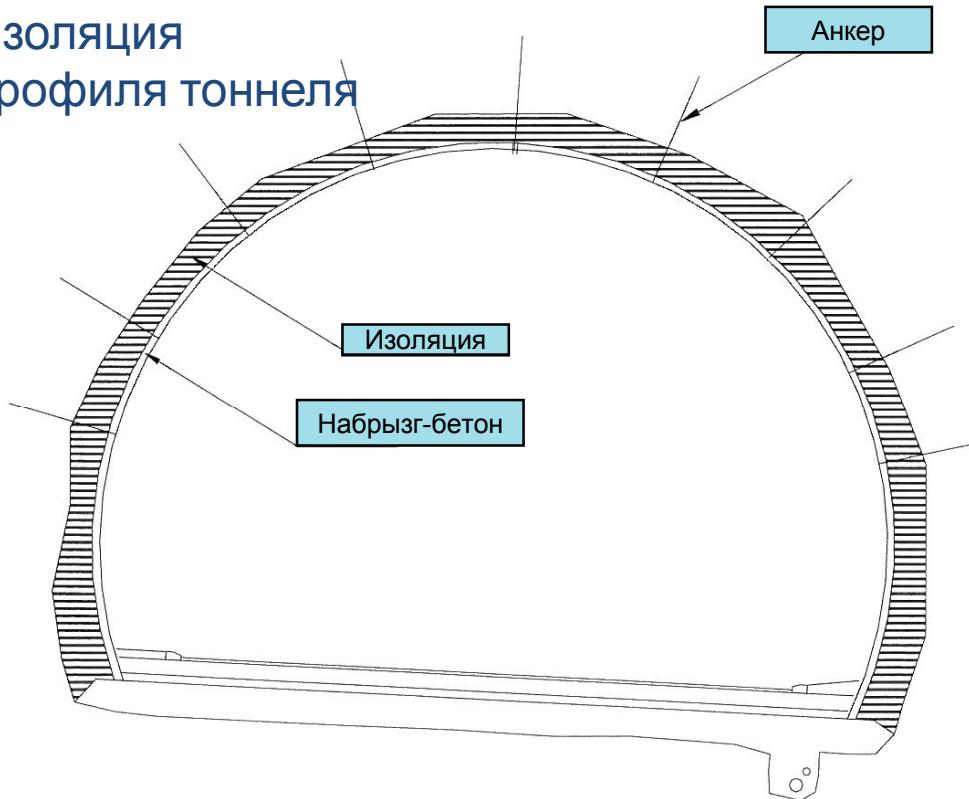
Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Тоннель под водной преградой, Анадырь, Россия



Тоннель под водной преградой, Анадырь, Россия

Изоляция профиля тоннеля



Двойственная задача:

Необходимо:

поддерживать мерзлое состояние грунта на одних участках тоннеля.

и защищать воду от замерзания на других участках тоннеля

Требуется:

установка теплоизоляционного материала

Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Тоннель под водной преградой, Анадырь, Россия

На основании предпроектных исследований:

Учитывая вечную мерзлоту и ее уникальную возможность сохранения грунта герметичным, проект должен включать меры по изоляции окружающих грунтов тоннеля от теплого воздуха, который может появиться в тоннеле летом.

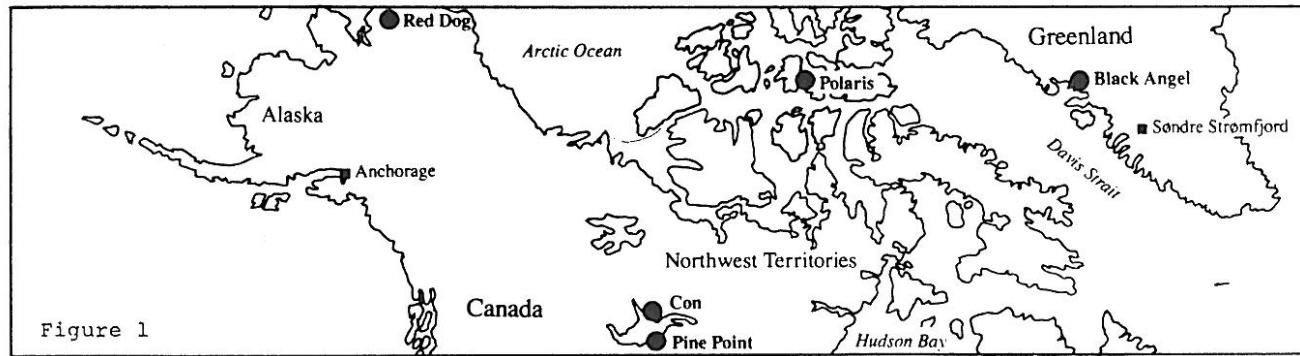
Для проекта тоннеля в Анадыре морозозащитная система необходима также для восстановления мерзлоты после ее нарушения в процессе проходки.

Нужно учитывать, что во время строительства мерзлый грунт вокруг тоннеля может начать таять. Причиной таяния грунта является высвобождение энергии во время взрывания, а также теплообразование при работе тяжелой техники в тоннеле.

Также во время строительства нужно стараться максимально поддерживать мерзлое состояние грунтов. Гидро и морозозащитные системы должны быть установлены сразу после проходки для того, чтобы тепло образуемое в тоннеле не успело оказать большого воздействия на грунт. При условии, что гидро и морозозащитные системы установлены, мерзлое состояние грунта вокруг тоннеля должно восстановиться само.

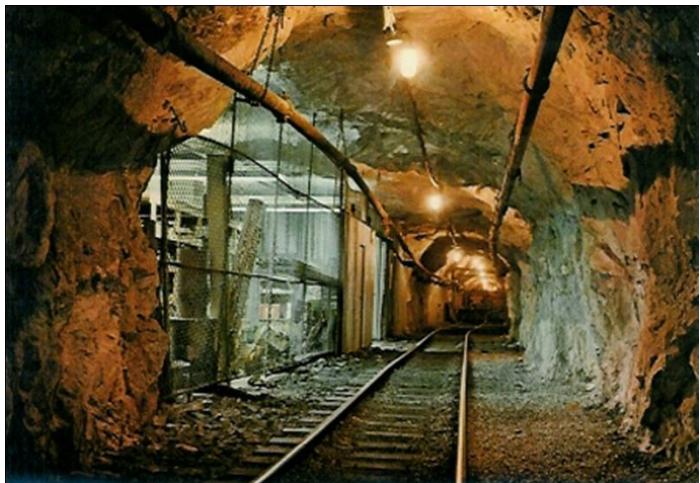
Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Рудник «Блэк-Ангел» в г. Маарморилик, Гренландия



Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Рудник «Блэк-Ангел» в г. Маарморилик, Гренландия



Уроки полученные при осуществлении проходки в Канаде и Гренландии:

Большие затруднения были связаны с решением проблем вечной мерзлоты, или с применением ее уникальных инженерных свойств

В зонах где мало воды, практически не было проблем с вечной мерзлотой. Однако можно использовать преимущества вечной мерзлоты в подземных разработках и методах крепления

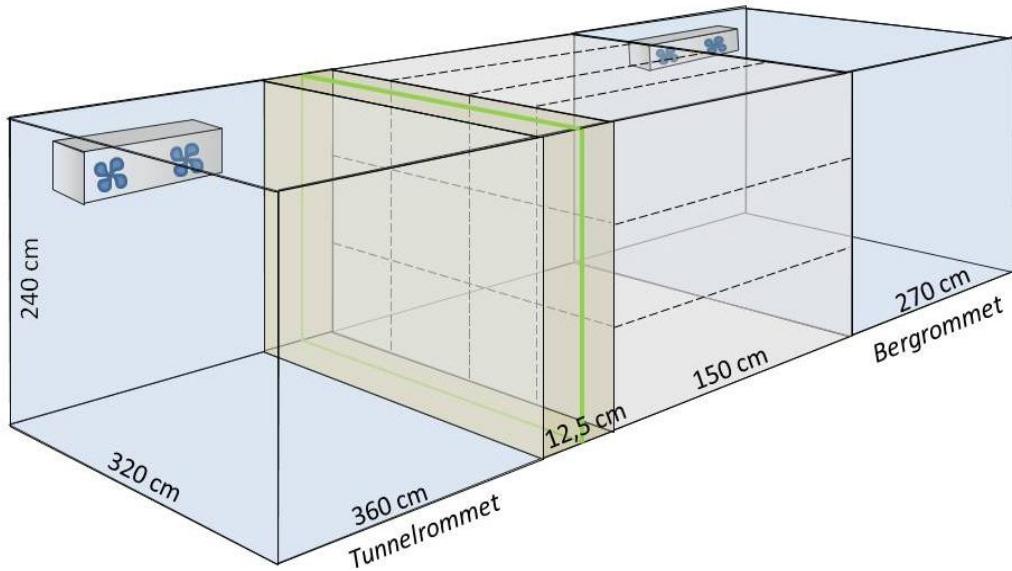
В зонах с «тающей» мерзлотой, потребовалась разработка особых проектных решений для предотвращения таяния грунта

При бурении, потребовалось охлаждение буровых головок, борьба с запылением и вынос разрушенной породы из забоя скважины при помощи жидкости, т.е. концентрированного раствора с содержанием хлористого кальция - 7%. В связи с чем возникли такие вопросы, как цена и коррозия.

При потере мерзлого состояния грунта возникали проблемы с его стабильностью.

Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Лаборатория для исследования мерзлоты, SINTEF

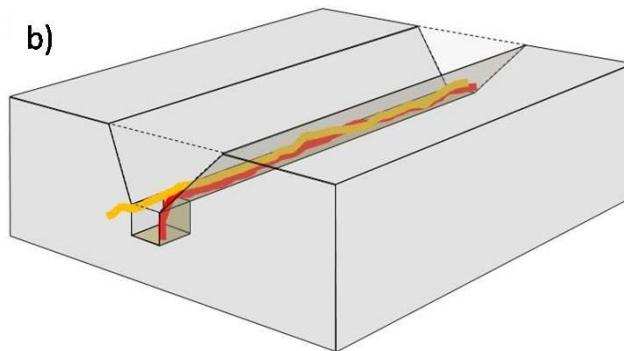
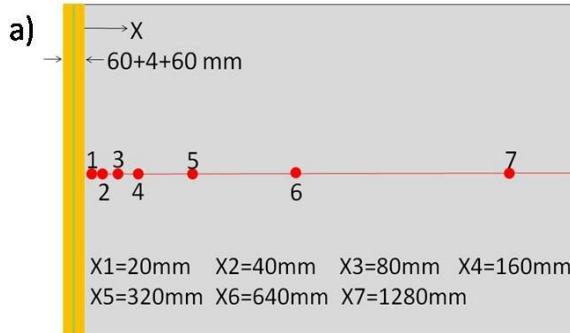
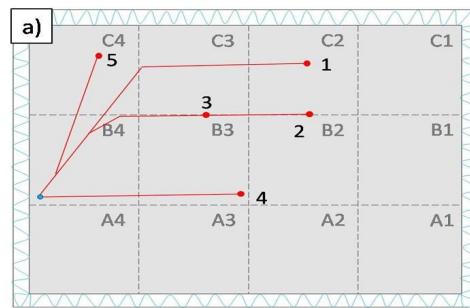


Цель: узнать больше

- О проникновении мерзлоты в горный массив
- О том, как порода реагирует или противодействует
- О границе соприкосновения тоннеля и горного массива

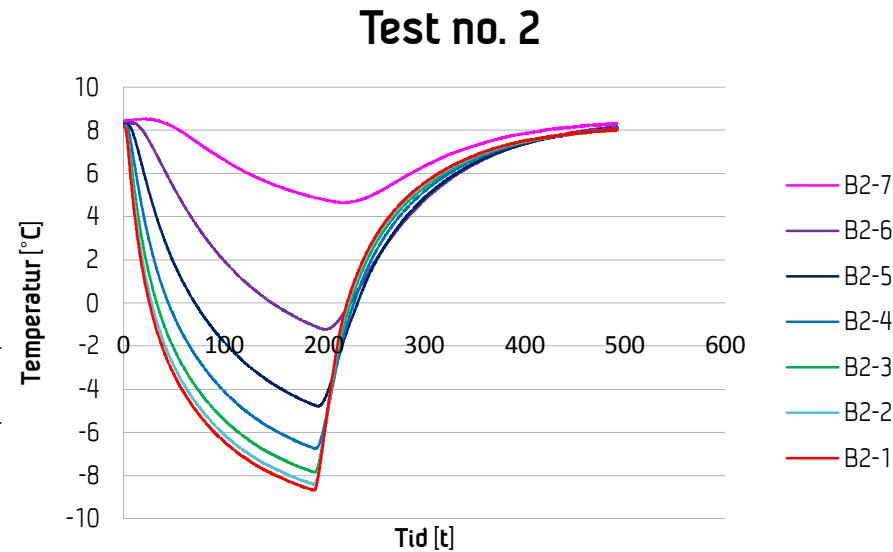
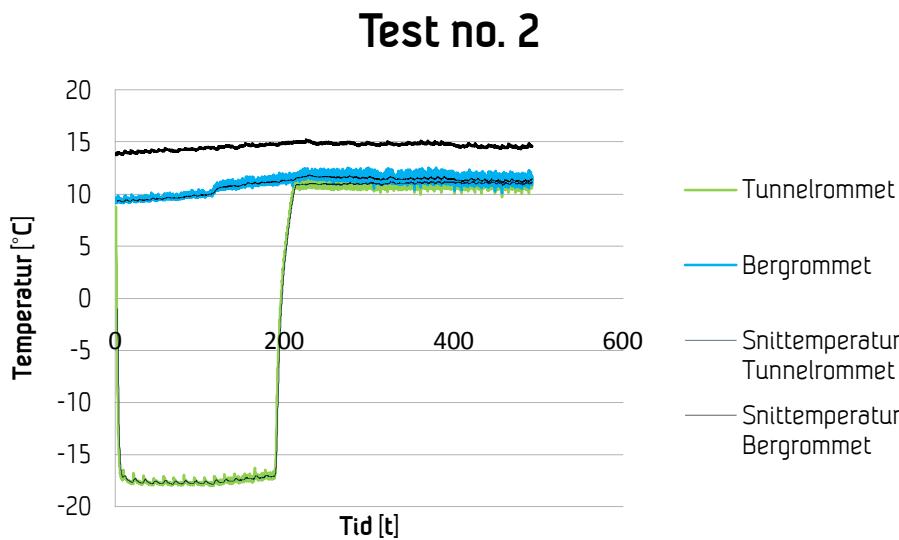
Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Лаборатория для исследования мерзлоты, SINTEF



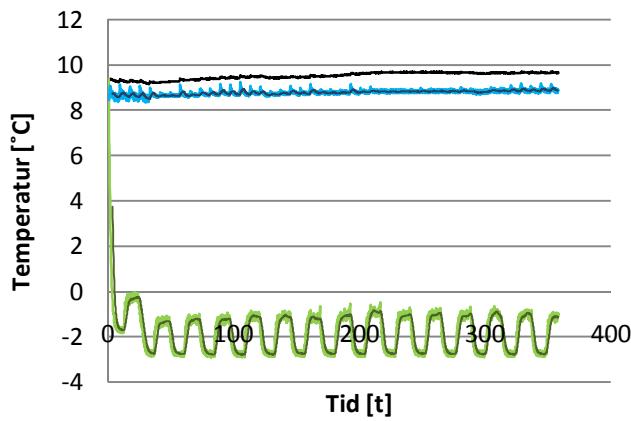
Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Лаборатория для исследования мерзлоты, SINTEF

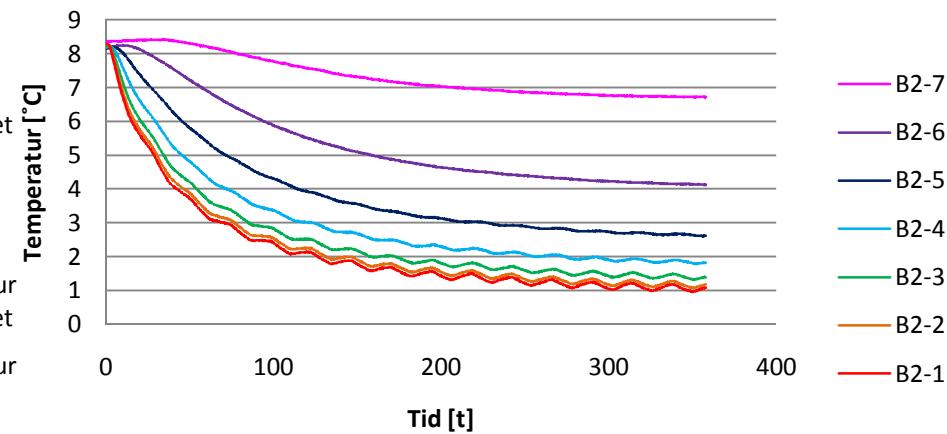


Лаборатория для исследования мерзлоты, SINTEF

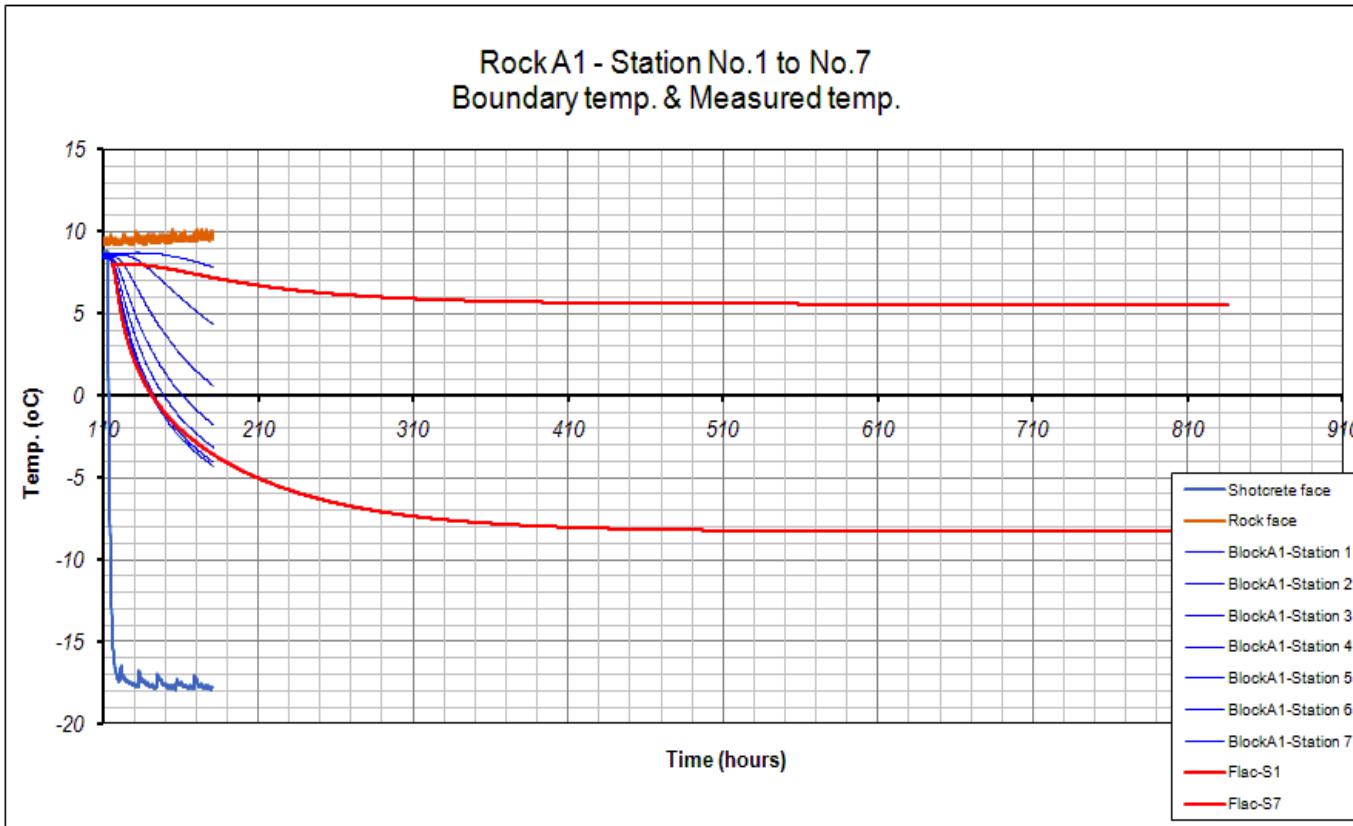
Test no. 3



Test no. 3



Лаборатория для исследования мерзлоты, SINTEF



- 2 красные линии являются результатом FLAC3D. Они остановились после 720 часов (30 дней).
- Семь тонких синих линий являются результатами подсчета нашей лаборатории. Они остановились после 181 часа (около 7.5 дней)
- Толстая голубая линия показывает температуру холодной комнаты в нашей лаборатории.
- Толстая желтая линия показывает температуру теплой комнаты в нашей лаборатории.

Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Лаборатория для исследования мерзлоты, SINTEF

Выводы, сделанные лабораторией:

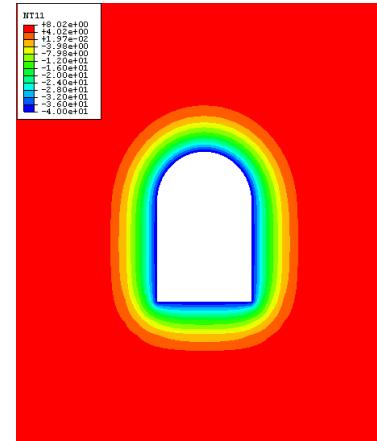
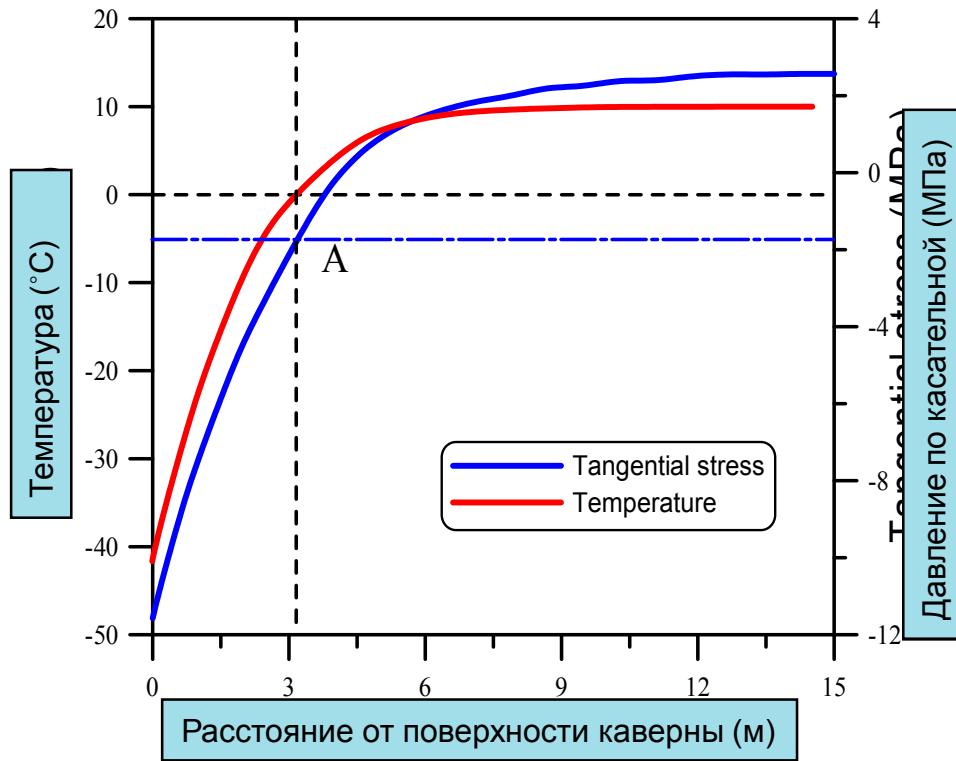
- Когда нулевая изотерма стабилизировалась, температура в горном массиве немного изменилась
- Самая низкая/высокая температура в одном цикле является определяющей для глубины залегания нулевой изотермы
- Кривая реакции изменяется мгновенно, движется вверх и вниз при изменении температуры
- Данные наблюдения подходят для вечной мерзлоты, в обратном режиме

Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

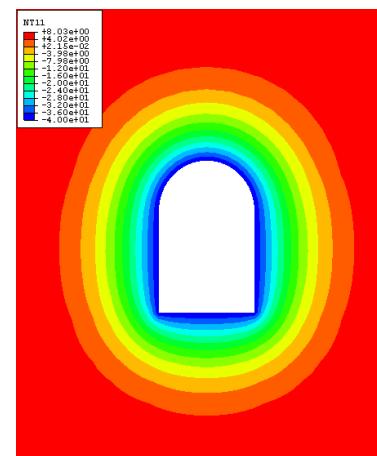
Норвежские холодильные хранилища

Наименование объекта	Сдан в эксплуатацию	Основной тип породы	Объем хранилища, м ³	Ширина×высота×длина, м	Температура, °C	Давление, МПа	Опыт
Рафнес	1977	Гранит	100,000	19×22×256	~9	0.65, тестирование при 0.79	Отсутствие протечки
Монгстад	1989	Гнейс	3 каверны, итого 30,000	13×16×64	6-7	До 0.6	Отсутствие протечки
Монгстад	1999	Гнейс	60,000	21×33×134	- 42	0.15	Пониженная производительность, формирование льда, каверна выведена из эксплуатации
Стуре	1999	Гнейс	60,000	21×30×118	- 35	0.1	Нет информации
Карсто	2000	Филлит	2 каверны, итого 250,000	Примерно 20×33×190	- 42	0.15	Отсутствие протечки
Монгстад	2003	Гнейс	60,000	21×33×134	-42(пропан) +8 (бутан)	0.15	При строительстве
Монгстад	2005	Гнейс	90.000	22x33x140	6-7		Начало строительства 2005
Аукра	2007	Гнейс	63.000/ 180.000	21x33x95 21x33x270	6-7	0,2	Проблемы не зафиксированы

Норвежские холодильные хранилища



(A) Распределение температуры после охлаждения каверны -150 дней



(B) Распределение температуры после охлаждения каверны – 3 года

Норвежские холодильные хранилища



Before excavation:

- Ground water observation wells
- Drill hole extensometer for each cavern



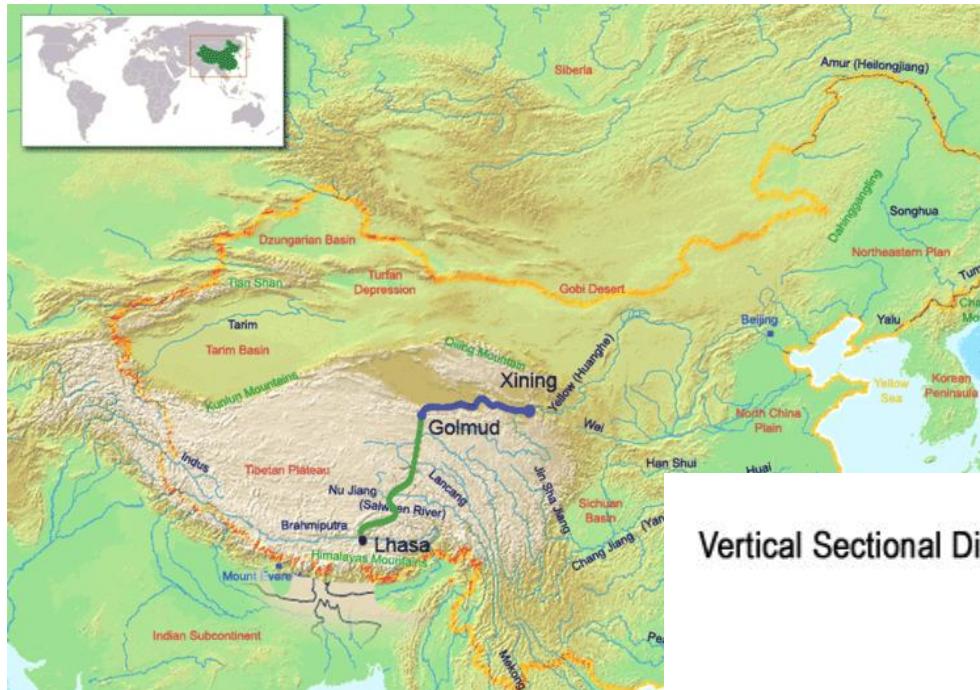
До проходки:

- Скважина для контроля грунтовых вод
- Скважинный экстензометр для каждой каверны

Мерзлая зона - 35 м
после 10 лет эксплуатации

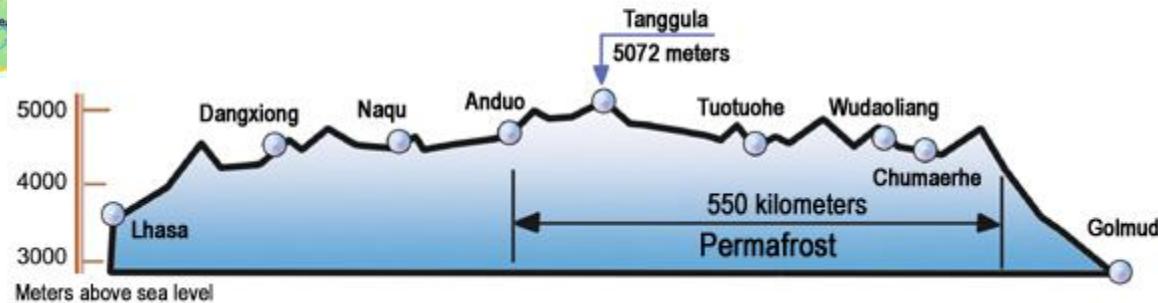
Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Железная дорога Цинхай-Тибет



Портал Лхаса, тоннель Кунь-Лунь

Vertical Sectional Diagram (Golmud - Lhasa section of Qinghai-Tibet Railway)



Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

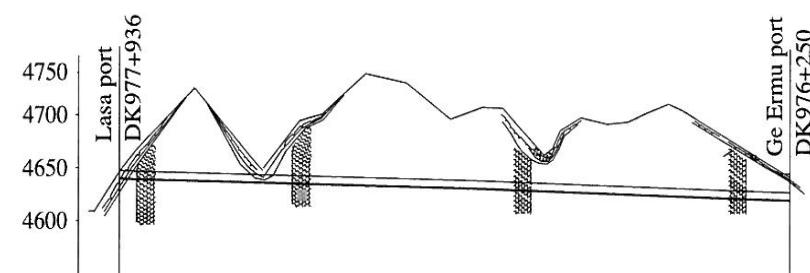
Железная дорога Цинхай-Тибет

Тоннели расположены в районе плоской возвышенности и вечной мерзлоты, с которыми связаны следующие проблемы :
Холодный климат, плоская возвышенность, мерзлый грунт, отсутствие кислорода, всучивание грунта от мороза.

Основной интересующий вопрос:
Контроль температуры в тоннеле в условиях вечной мерзлоты.

Решением является установка:
Теплоизоляции м/у обделкой и черновой крепью тоннеля, слоя гидроизоляции и дренажной системы, а также применение специальных технологий и оборудования для снижения повреждения бетона от действия мороза.

На магистрали Цинхай - Тибет расположены следующие тоннели:
Тоннель Фэнхошань 1338 м – самый высокогорный тоннель в мире, проходит на высоте 4905 м над уровнем моря;
Тоннель Гуанъяо 4010 м – самый длинный тоннель на данном участке;
Тоннель Янгбажинг – 3345 м;
А также Тоннель Кунь-Лунь – 1686 м, проходящий через горы Кунь-Лунь на высоте 4800 м над уровнем моря



Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Железная дорога Цинхай-Тибет

Дilemma:

Вечная мерзлота сохраняет устойчивость тоннеля. Но может снизить эффективность строительства, так как могут возникнуть проблемы с выдержкой бетона, применением воды и т.д.

Как найти баланс между:

Использованием преимуществ вечной мерзлоты для эффективного завершения проекта

И применением морозоизоляционного материала в подходящий момент

Из опыта строительства требуется, чтобы температура на железной магистрали Цинхай -Тибет была:

-5°C до +5°C, и никогда не превышала +10°C

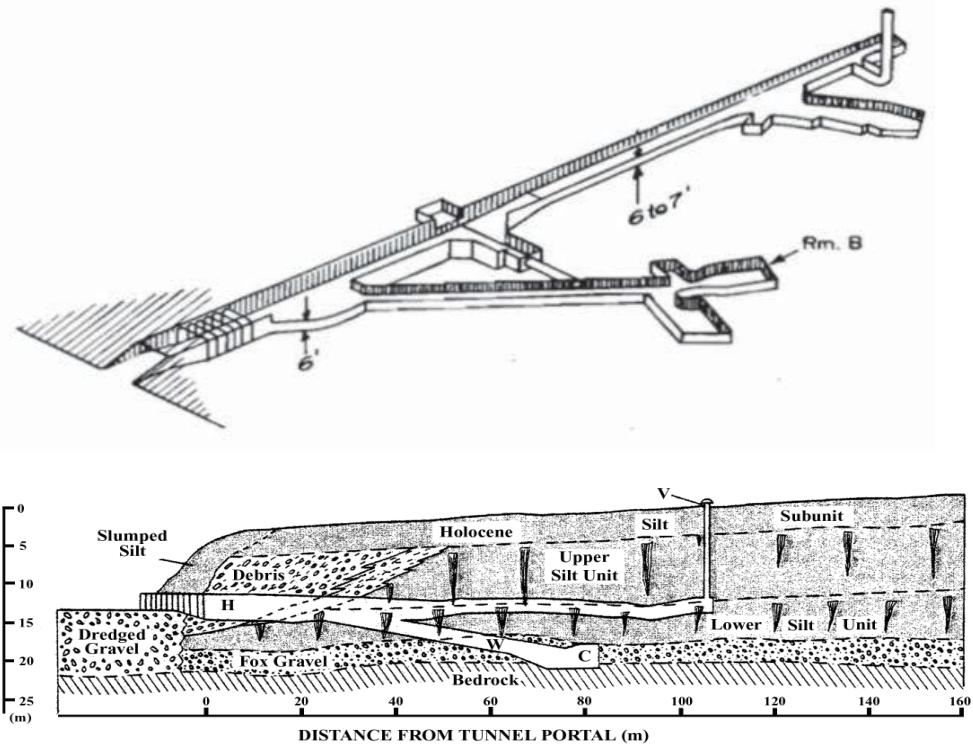
Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Тоннель в зоне вечной мерзлоты, Аляска

Научно-техническая лаборатория по изучению северных районов (CRREL)



Тоннель в зоне вечной мерзлоты, Аляска



Тоннель расположен в зоне вечной мерзлоты в районе Фокс - 16 км севернее г. Фэрбанкс на Аляске. Тоннель был построен 40 лет назад в начале 1960 – ых научно-технической лабораторией по изучению северных районов (CRREL) принадлежащей армии США с целью тестирования разработки месторождений и проходки тоннелей в условиях вечной мерзлоты.

Тоннель до сих пор обслуживается научно-технической лабораторией с целью проведения исследований.

Тоннель в зоне вечной мерзлоты, Аляска

Тоннель был пройден горным методом (сплошным забоем) в зимнее время. Затем была пройдена наклонная штольня буровзрывным методом, с осуществлением термо -и - гидро контроля.

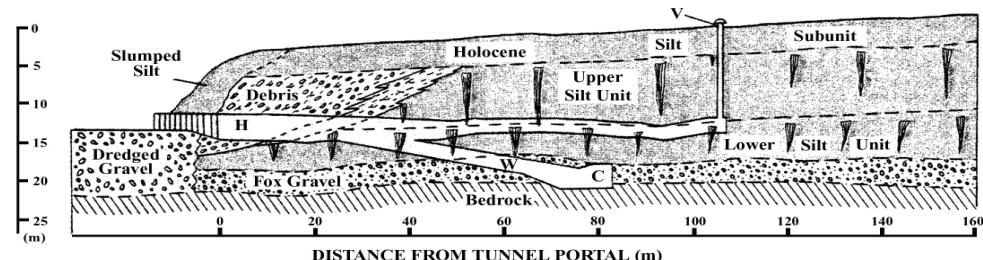
Основная часть тоннеля расположена в зоне мерзлого алевролита.

Сначала штольня проходит через зону мерзлого гравия, а затем через выветрившиеся скальные породы, где была построена Гравийная комната.

Во время проходки некоторые участки грунта над крышей Гравийной комнаты состояли из 2 метрового мерзлого слоя гравия находящегося под слоем алевролита.

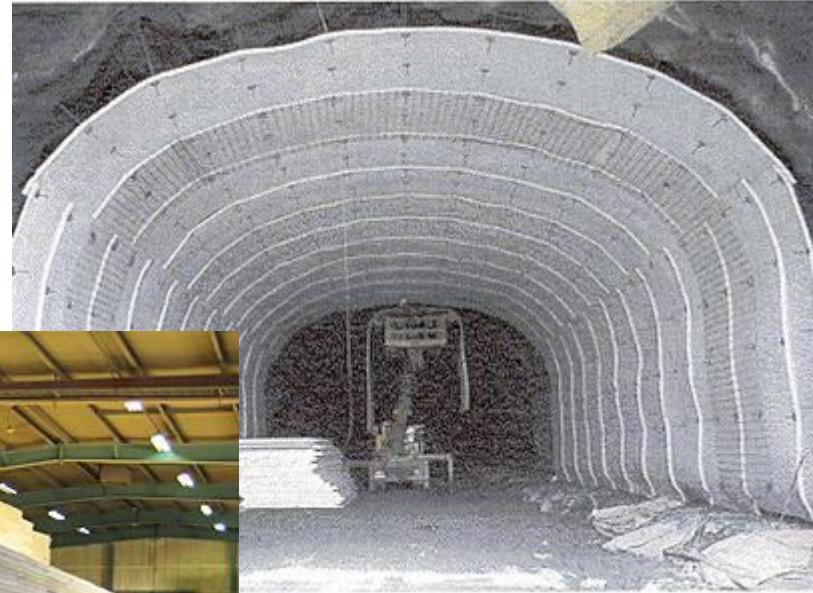
После того, как штольня выходит на один уровень с Гравийной комнатой, она проходит еще на 10 метров в так называемую комнату CRREL (комнату научно-технической лаборатории).

Тоннель охлаждается естественной вентиляцией зимой и искусственным охлаждением летом, которое поддерживает мерзлоту.

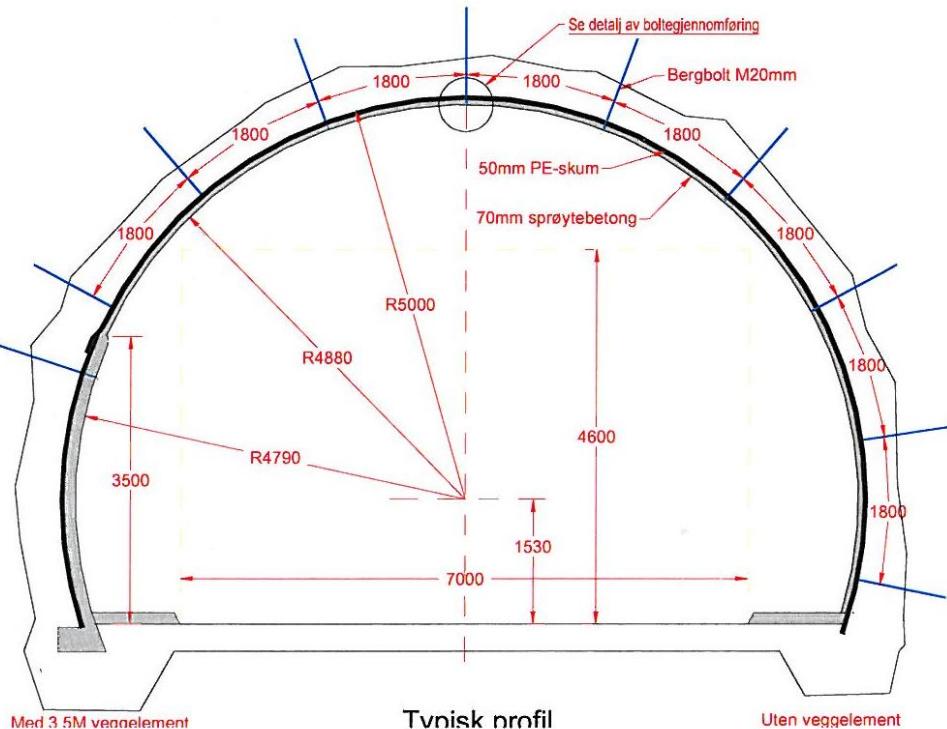


Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Установка изоляционных материалов



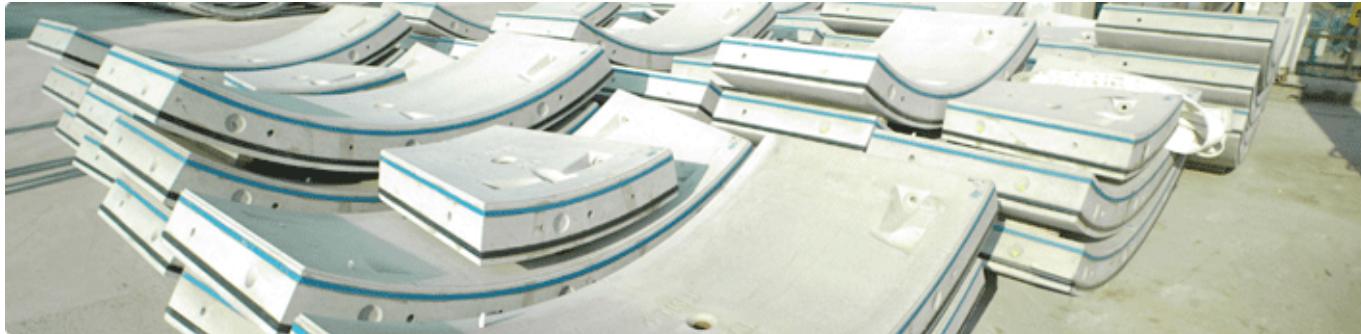
Установка изоляционных материалов



Изоляция обделки при помощи пенополиэтилена, который не крепится на стену тоннеля, а устанавливается свободно и закрепляется слоем торкрет-бетона.

Международный опыт строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в условиях вечной мерзлоты. Москва, апрель 2011

Установка изоляционных материалов

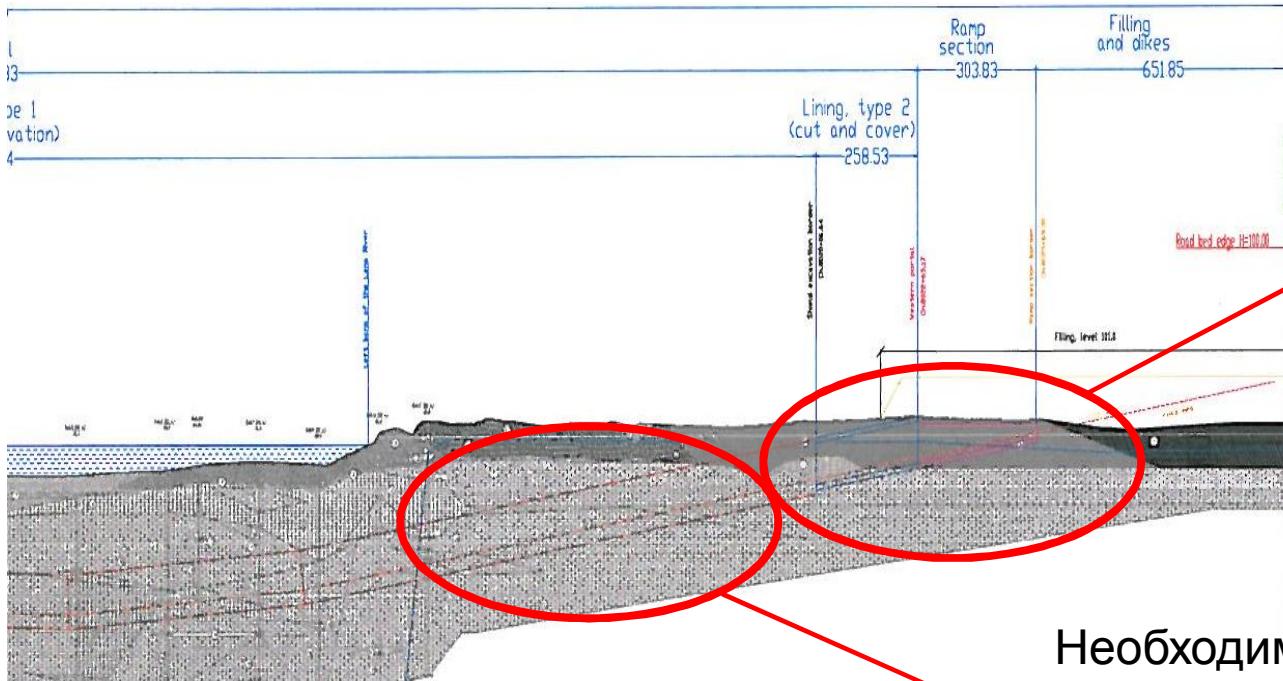


Специально предназначенный изоляционный материал должен быть установлен на обратную сторону блоков сборной железобетонной обделки

Выводы

- Опыт строительства тоннелей в условиях вечной мерзлоты с применением различных методов проходки существует во многих странах
- Проходка тоннелей в условиях вечной мерзлоты практически осуществима, но требует специальной подготовки
- Мерзлый грунт является положительным фактором для стабильности грунта
- При использовании воды во время строительства можно добавить антифриз, а также необходимо контролировать теплый воздух в тоннеле
- Потеря мерзлого состояния грунта приводит к нарушению устойчивости
 - Неустойчивость и обвал породы в забое
 - Необходимо поддерживать мерзлое состояние грунта
 - Изолировать мерзлые породы вокруг тоннеля от теплого воздуха внутри тоннеля
- Потеря мерзлого состояния грунта при проходке открытым способом
 - Трудно восстановить мерзлое состояние грунта

Рекомендации по строительству тоннеля через р. Лена



Свести к
минимуму кол-во
работ и размер
разрушений на
входе в
トンнель, для
избежания
нарушения
вечной мерзлоты

Необходимо сразу же
применить
морозозащитные системы
при проходке тоннеля