



Программа «Мастер цеха: нефтегазовые технологии, лидерство и командообразование»

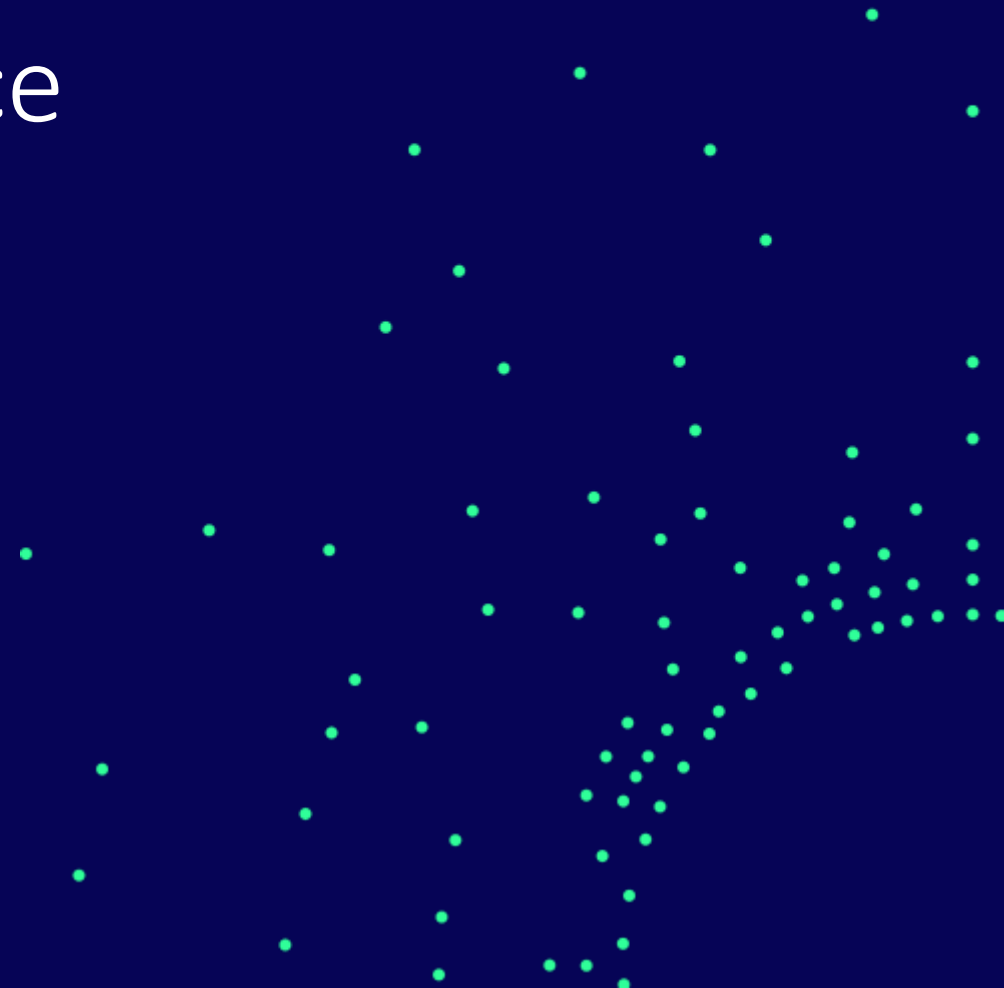
Д-р Роман Беренблюм
NORCE, Норвегия
26 января 2022 г.

www.petroleum.ru

Инновации, МУН и все – все -все

Р. Беренблюм

NORCE - Норвежский Исследовательский
Центр



Инновации – не надо изобретать
велосипед?



Инновации – не надо изобретать велосипед?



Инновации – не надо изобретать велосипед?

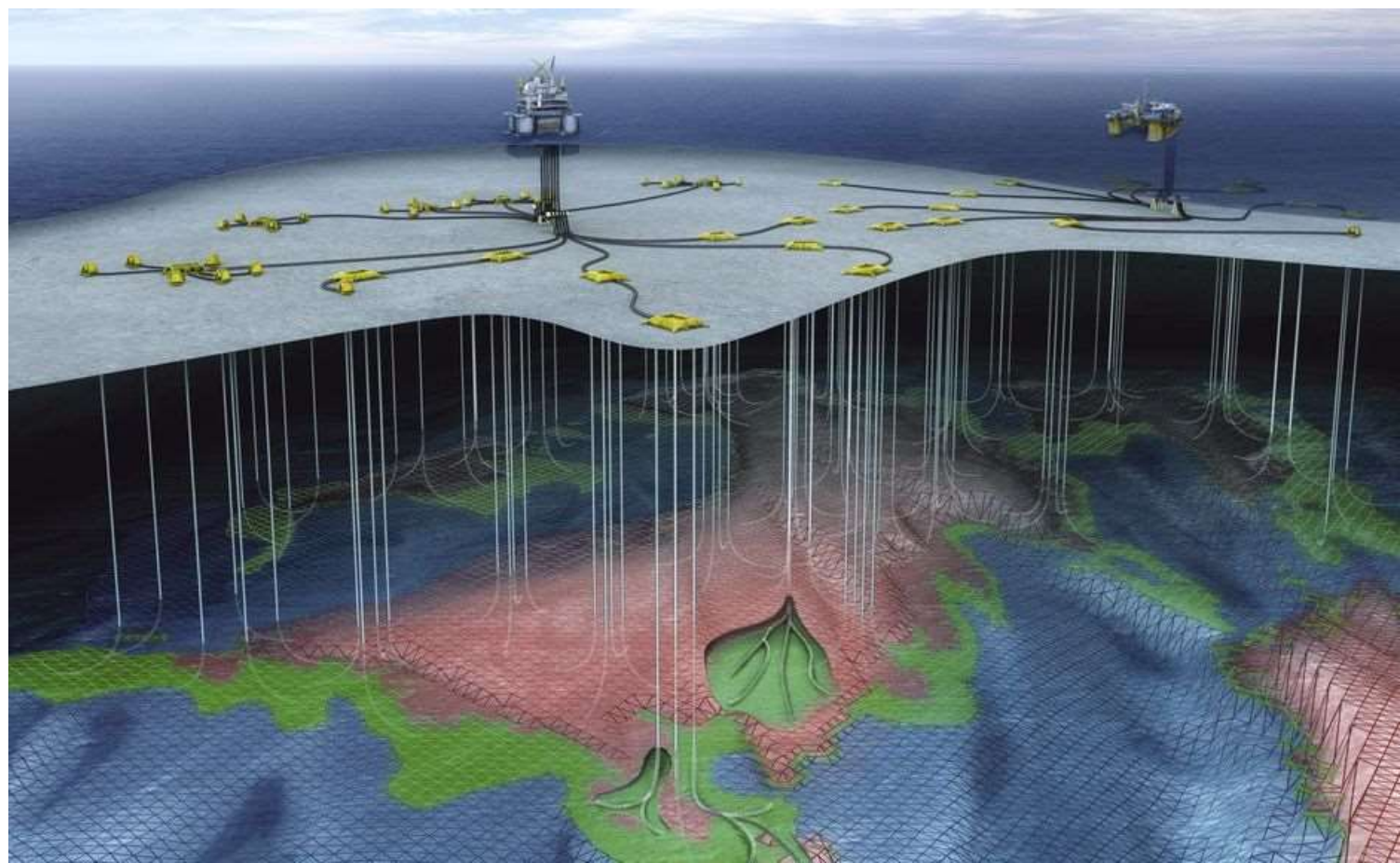
NORCE



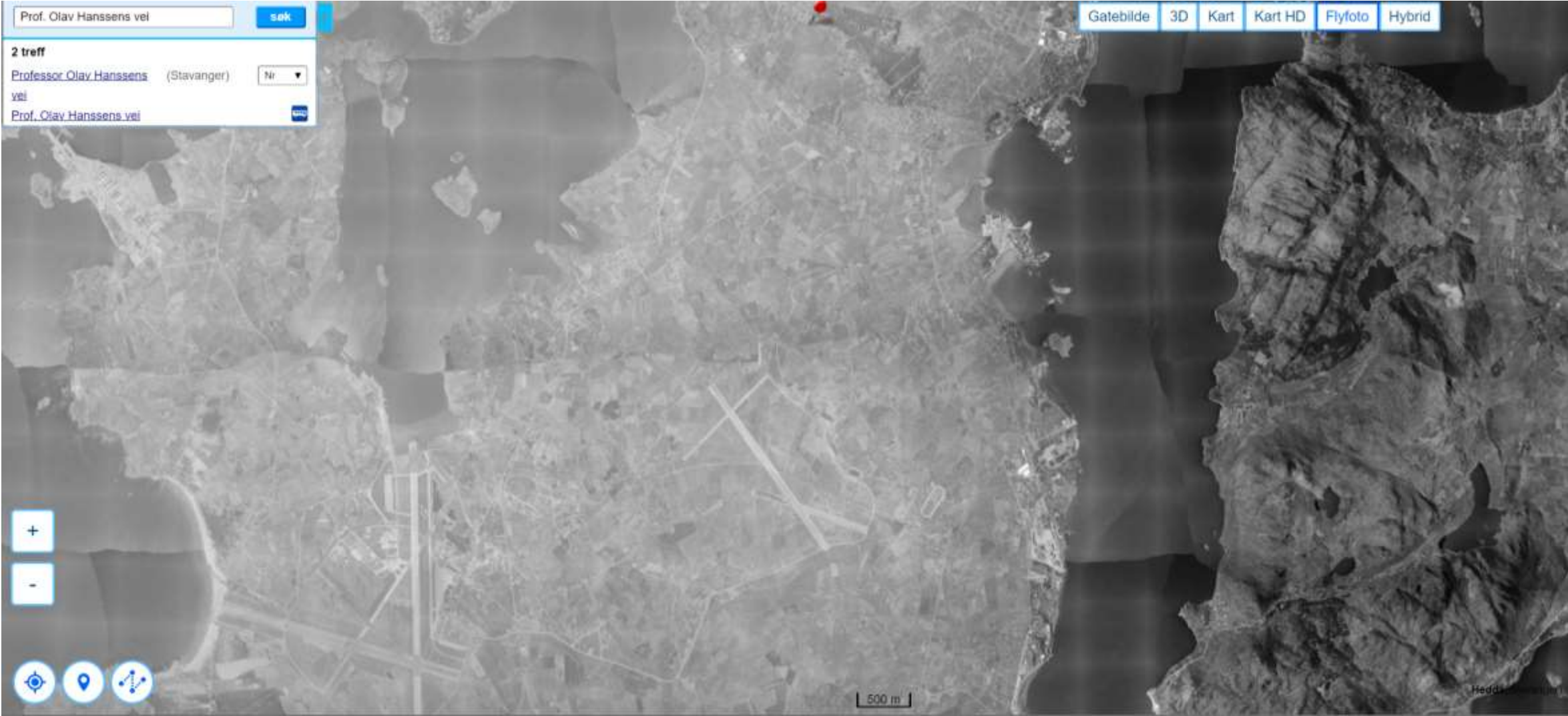
Инновации – не надо изобретать велосипед?



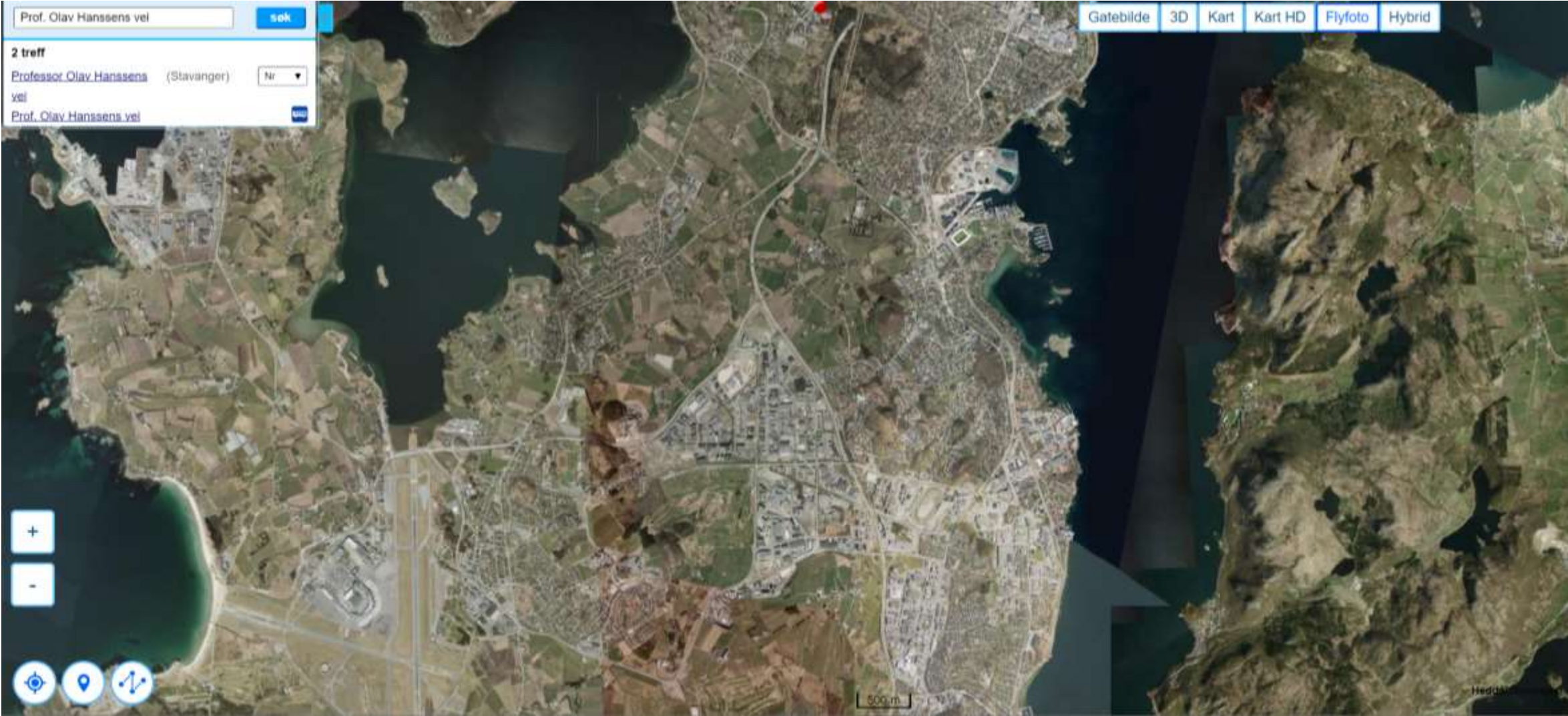
Troll: От нулевых извлекаемых запасов нефти до одного из крупнейших нефтяных месторождений на шельфе



Ставангер: «нефтяной век» 1968 – 2017

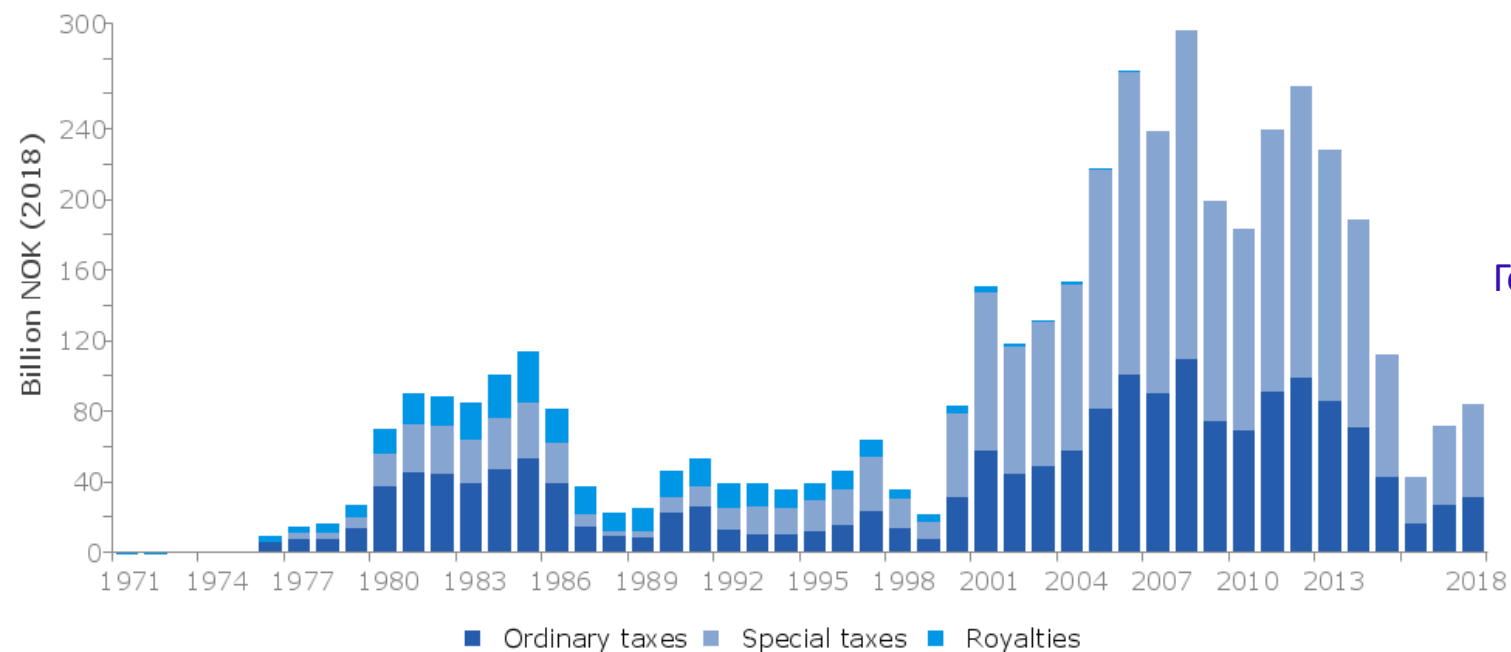


Ставангер: «нефтяной век» 1968 – 2017



Пенсионный фонд

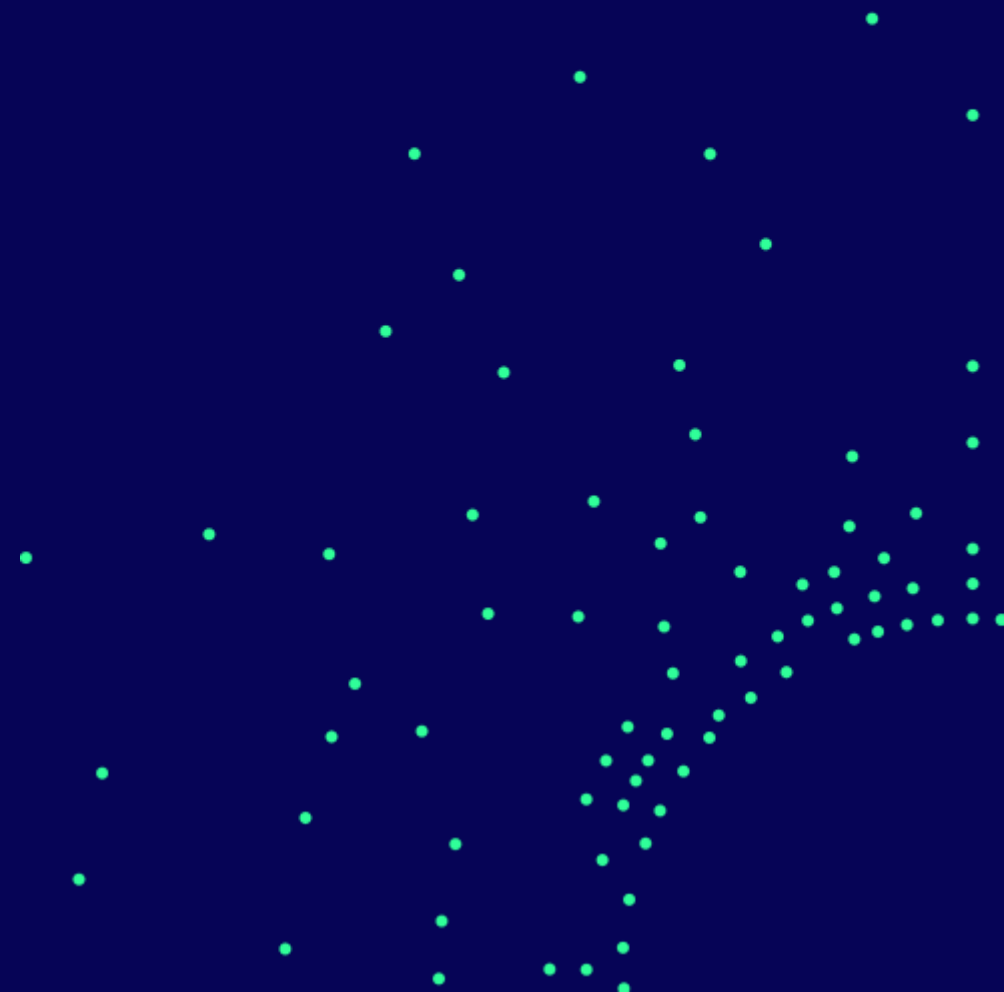
Формируется из налогов на нефтяную индустрию (23% стандартный налог, 54% специальный. Итого 78% с чистой прибыли. «Нейтральная налоговая система»)



Государственный пенсионный фонд — Глобальный
Инвестиции в мировую экономику
На сентябрь 2017 > 1.3 триллиона долларов США (x13
с 2002 года, на 30% с 2017, порядка 250 000 \$ на
каждого гражданина)

Государственный пенсионный фонд — Норвегия
Скандинавия
С 2006 года (240 миллиардов крон) фонд
пополняется только за счет собственных доходов

Цифровизация



Цифровизация - Основные темы

«Цифровые процессы»: от данных к информации.

От недостатка к изобилию данных цифрового века.

Подходы к организации и анализу данных, адаптация моделей, прогноз поведения пласта и скважин.

DIGITALISATION – Это что еще за чудище?

Важны ли измерения?

Конечно, но...



Первый этап: доступность данных

Данные с месторождений доступны сразу и всем

Правильная организация доступа к данным

Уменьшение расходов компании: эксперты могут работать с данными любого из подразделений не выходя из офиса (дома, гостиницы)

Доступ к данным в процессе бурения позволяет существенно сократить расходы на сопровождение процесса и сервисные компании

Ситуация в России схожа с Норвежской: месторождения трудно доступны из центрального офиса (только за счет расстояний, а не шельфового расположения)

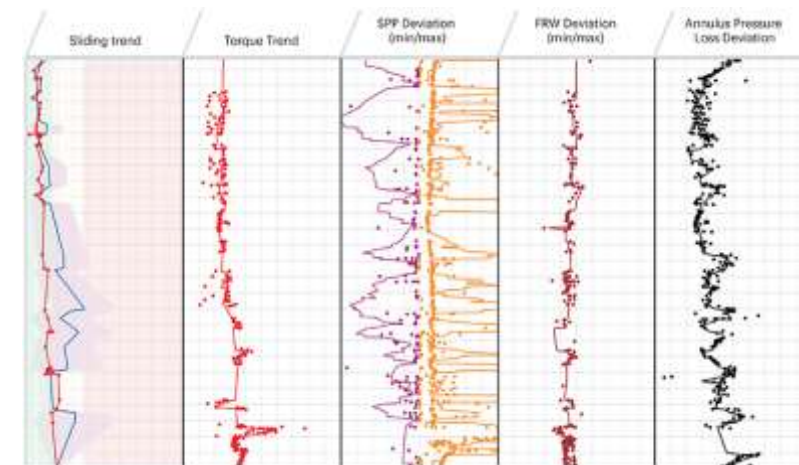
Автоматизация процессов

Бурение на несколько шагов впереди МУН

Выгода от внедрения в бурении легче монетизируется

Результат от структуризации и автоматизации

в МУН может быть огромен!



Данные и знания

Первый этап: переход от записи данных оператором в журнал до цифрового датчика записывающего данные в общую базу во многом пройден

И что дальше?

Зачастую все эти точки усредняются и учитываются как одна точка месячного давления в скважине при адаптации

Пластовые модели не достаточно детализированы и быстры для работы с такими массивами

Избыточность данных: как определить где шум а где важные данные

Разнородность данных: как вообще обработать весь этот массив?

Второй этап: big data – работа с огромными массивами данных

Структуризация, алгоритмизация

Автоматическая проверка и сортировка

Предварительный анализ

Самообучающиеся системы

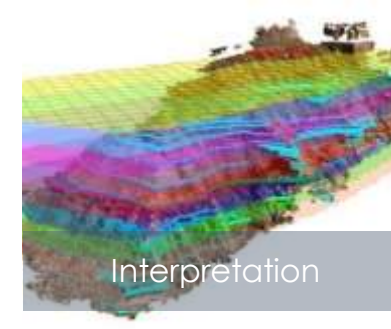
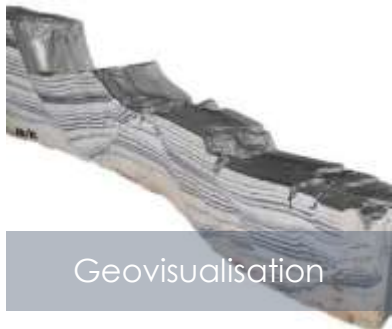
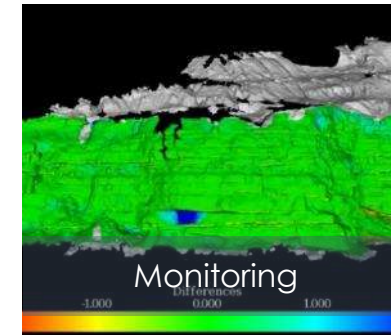
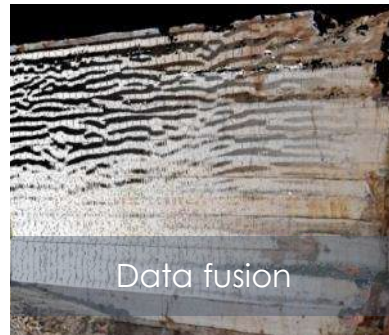
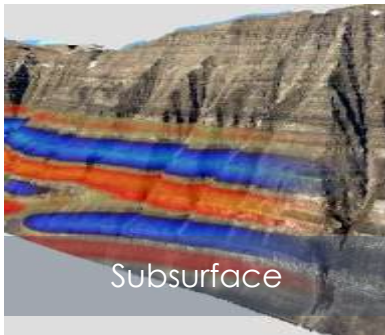
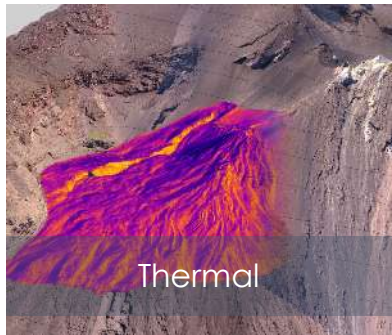
Инженер – оператор принимает решения основываясь на автоматических оценках

Он может легко найти аналоги на этом или соседних месторождениях

Он может легко запросить помощь экспертов

A geospatial innovation toolbox for earth science

Acquisition, processing, analysis, visualisation, interoperability, interpretation, *digitalisation*...



Automation

Real-time

Big data & machine learning

Digitalisation

FAIR

*Findable, Accessible,
Interoperable, Reusable*

От данных к информации

Один из (частных) вариантов перехода от данных к информации

Разработка формата для стандартизации хранения, доступа и интерпретации скважинных данных

Автоматическая обработка (в реальном времени) скважинных данных с системой предупреждения и выдачи рекомендаций для инженеров

Анализ данных скважин включая адаптацию к истории и прогноз производительности

Агрегация знаний: кластеризация скважин по различным факторам

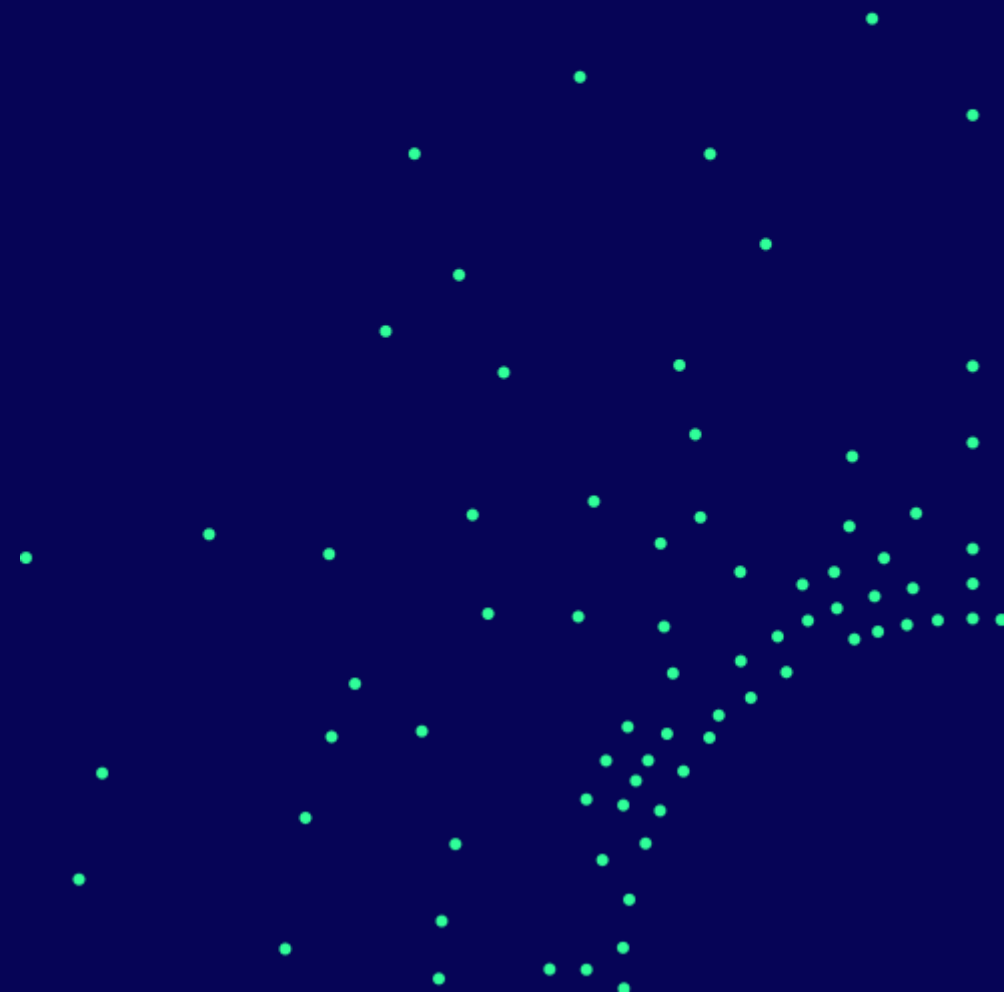
Анализ агрегированных данных, определение характерных типов поведения и построение прогнозных моделей поведения

Анализ неопределенности и снижение рисков принятия решений

Анализ рисков исходя из имеющихся примеров и истории скважин

Подготовка вводных данных для моделей различного уровня улучшающих описание поведения скважин

MYH



МУН в NORCE – Основные темы

- **Полимеры**

- Исследование механизмов в карбонатах и песчаниках
- Тесное сотрудничество с поставщиками (SNF, BASF, и т.д.)
- Механически- и био- деградация полимеров

- **«Умная вода»**

- Моделирование геохимических реакций
- Исследование механизмов в карбонатах и песчаниках

- **Управление подвижностью воды**

- Закачка силикатов
- Управление подвижностью воды

- **CO₂ МУН**

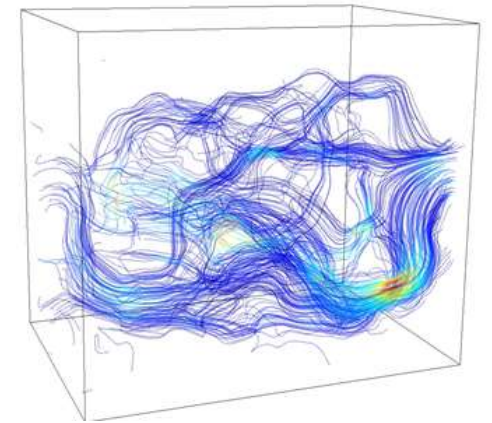
- МУН и захоронение CO₂
- МУН с использованием водо-газовых смесей

- **ПАВ**

- Изучение механизмов ПАВ

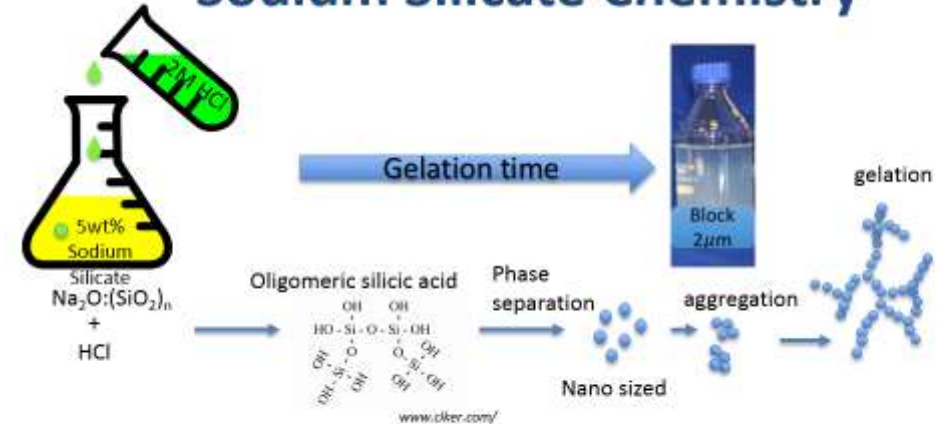


Chalk sample



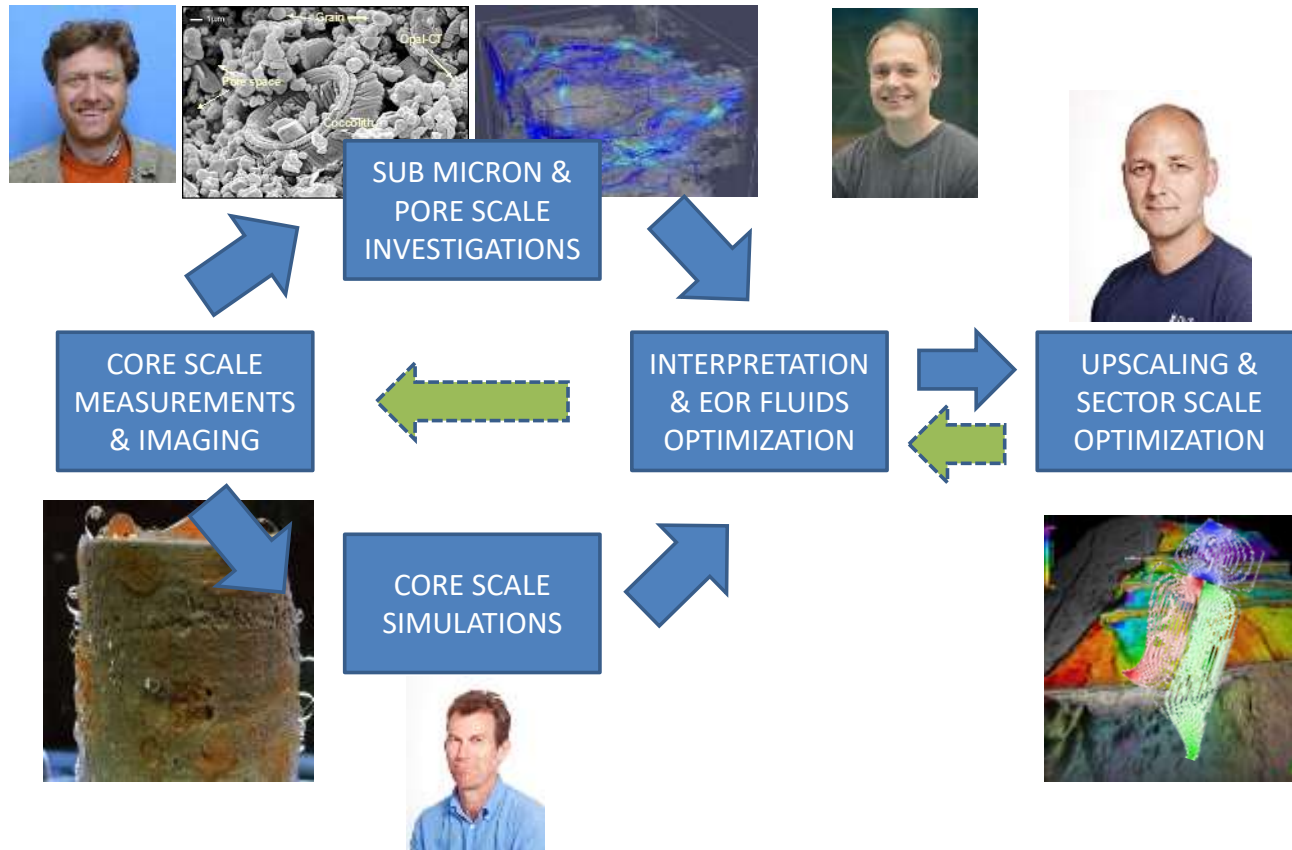
Streamlines showing the fluid flow path in a real chalk geometry (Stevens Klint at 10nm resolution).

Sodium Silicate Chemistry



A. Stawland, H. Jansbrøden, O. Vikane, E. Skrettingland and H. Fischer, In-depth Water Diversion Using Sodium Silicate – Preparation for Single Well Field Pilot on Snorre, 16th European Symposium on Improved Oil Recovery Cambridge, UK, 12-14 April 2011
Sebastian Wilhelm and Matthias Kind, *Polymers* **2015**, 7, 2504–2521; doi:10.3390/polym7121528

Silicate based water diversion



Первое направление:

- Тема 1: Керновые исследования
- Тема 2: Реакции на микроуровне
- Тема 3: Поровое пространство
- Тема 4: Масштабирование и влияние на окружающую среду

Второе направление:

- Тема 5: Трейсеры
- Тема 6: моделирование
- Тема 7: Пластовые исследования и адаптация к истории разработки

NCS2030 – National Centre for Sustainable Subsurface Utilization of the Norwegian Continental Shelf (2022-2029)

Vision: Facilitate an energy-efficient, multi-purpose utilization of the subsurface of the NCS

Research Partners: University of Stavanger (Host), NORCE, IFE, University of Bergen

Funding: The Research Council of Norway, 7 main O&G operators and 2 large service providers

Total budget: ~ 300 MNOK (~ 40 MNOK / year)

Education: ~ 25 PhD/Postdoc



NCS2030 Specific Objectives

	Secondary objectives	Research domains / WPs	Main deliverables / Key Performance Indicator
SO1	Build integrated near field subsurface holistic models for increasing reserve base and evaluating the potential of geological CO₂ and H₂ storage and renewable energy production	Subsurface energy systems: WPs 1-2-5	Surface hub models, workflows, and methodologies; geological scenarios to reduce uncertainty
SO2	Develop new IOR solutions for improved and accelerated HC production at low environmental footprint to help reach 50% emission reduction by 2030	NZE production, Society: WPs 3-4-5-6	Proposed new solutions with large increased reserve and reduced emissions by 50%.
SO3	Develop data-driven and machine learning approaches to integrate subsurface characterization, uncertainty quantification and management workflows for better decisions	Digitalization: WPs 1-2-3-4-5	New digitalization workflows with improved functionalities and computational efficiencies.
SO4	Recommend field cases on the NCS with high potential for NZE production based on renewable energy and the Sustainable Subsurface Value Chain	Subsurface energy systems: WPs 1-3-5-6	At least 5 potential cases in collaboration with center's industry partners.
SO5	Strengthen the business climate, create awareness and establish acceptance of NCS2030 activities and NCS exploitation	Society: WPs 1-2-3-4-5-6	White papers to policy makers, society, stake holders. News articles in national media.
SO6	Establish an innovation platform as catalyst for new technology development in collaboration with industrial players on the NCS.	Innovation, collaboration: WP7	10-15 innovation projects for new technology development and field implementation.
SO7	Attract and train the next generation of scientists and skilled professionals for the energy transition, together with user partners and disseminate results of high quality and impact	Education, Outreach, All WPs	27 PhDs/Postdocs, 40 master theses, workshops, conferences, > 200+ peer-reviewed publications

Industry and Society are facing urgent challenges

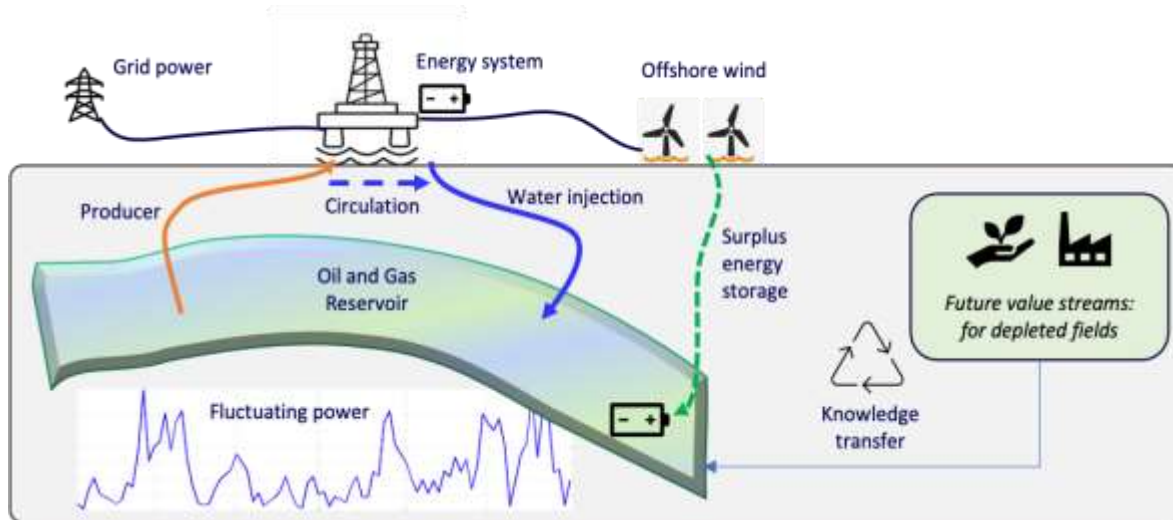
Electrification of the NCS by renewables is a key climate-neutral strategy

+

Long-term reorganization of petroleum activities is needed for the green shift



will provide the essential **subsurface understanding** and improved **digital methods** to:



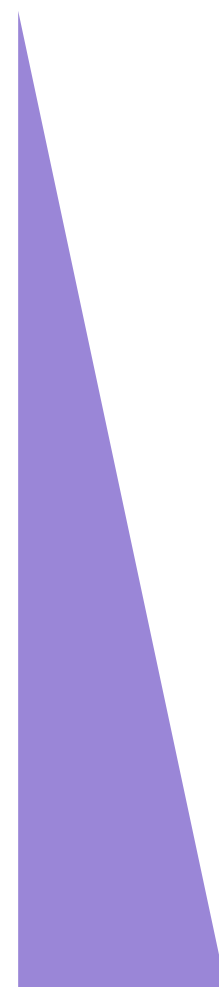
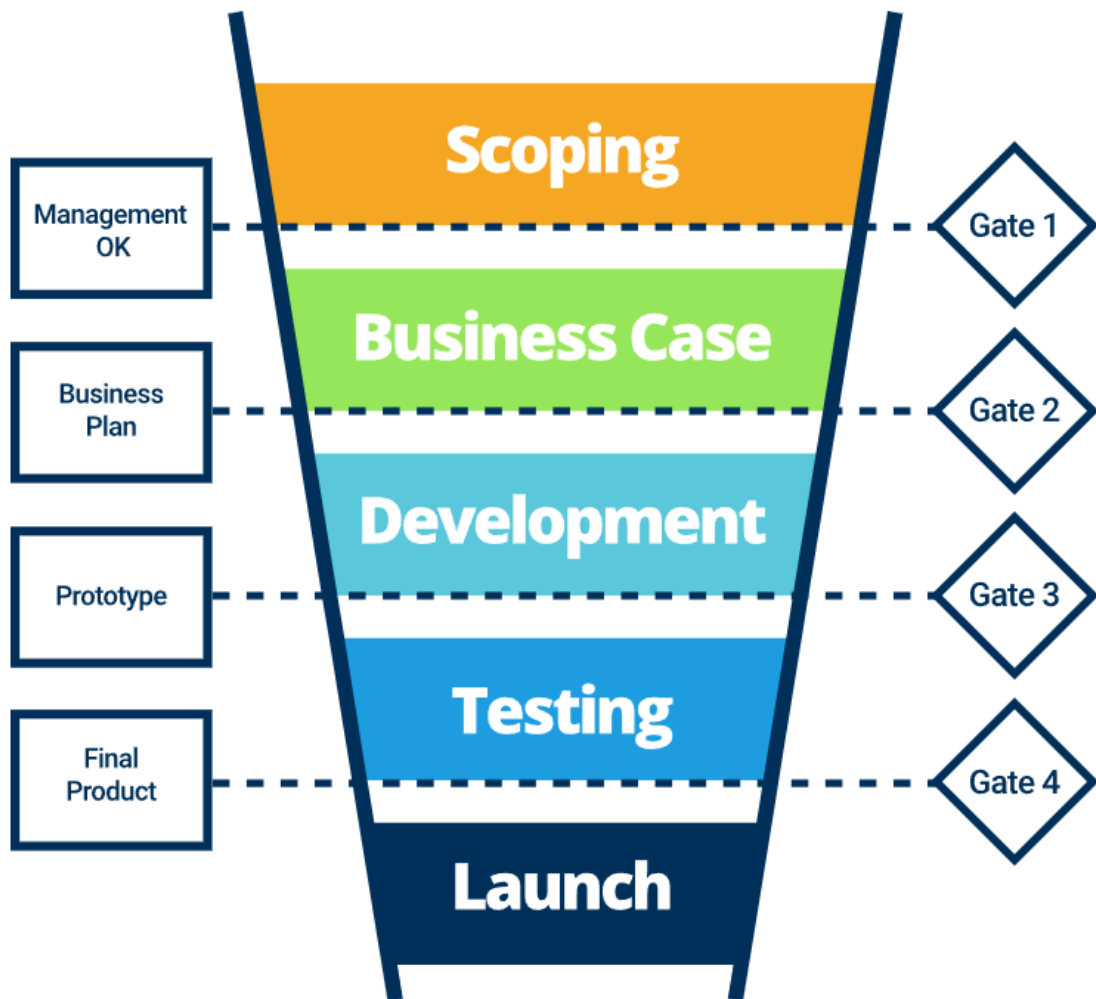
Appraise reservoir behavior for **energy-efficient drainage** under fluctuating power

Develop **subsurface H₂ energy storage** to supply back-up power to platform

Adapt digital workflows for **optimal reservoir management** in supply-driven renewable energy context

Leverage gained knowledge under electrification to secure long-term value for declining assets via **energy / carbon storage**

Оценка МУН и decision gates



Рост детализации и расходов

Подходы к моделированию МУН

- Использование коммерческих пакетов (Eclipse, CMG, Kappa, TOUGHReact, ...)

- И разработка новых

- Для быстрой оценки

- [SWORD](#)

- Моделирования порового пространства

- [Cap3Trap project](#)

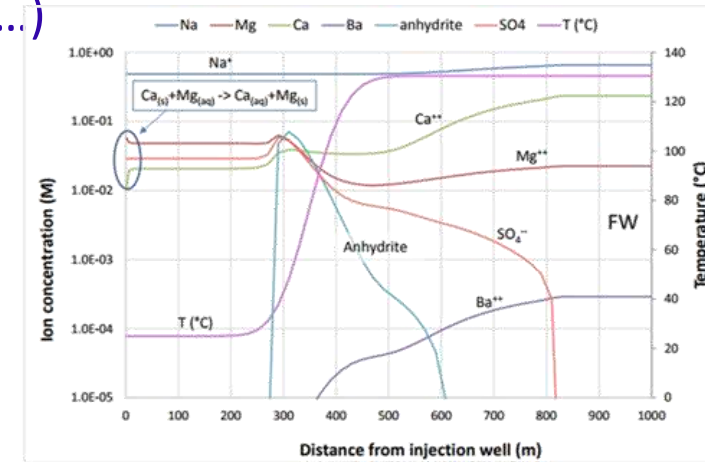
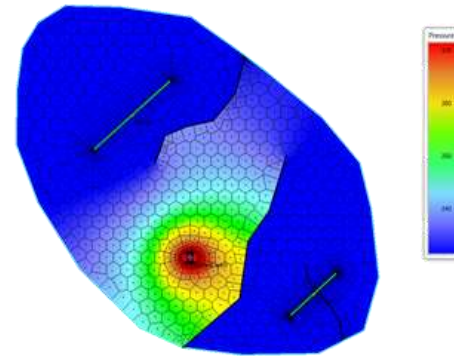
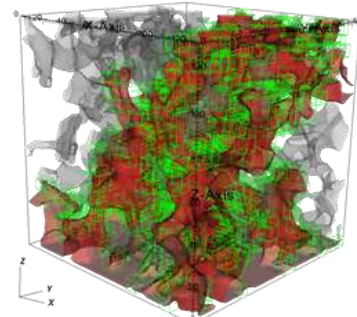
- Моделирования лабораторных исследований

- IORCoreSim (NIORC)

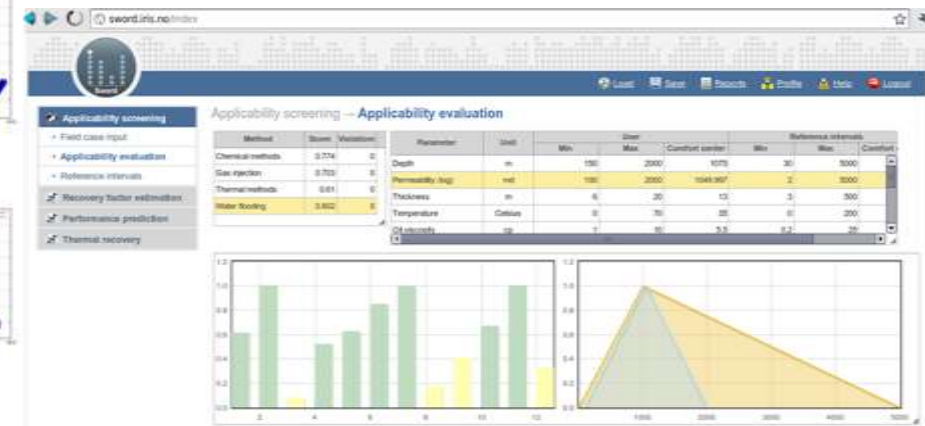
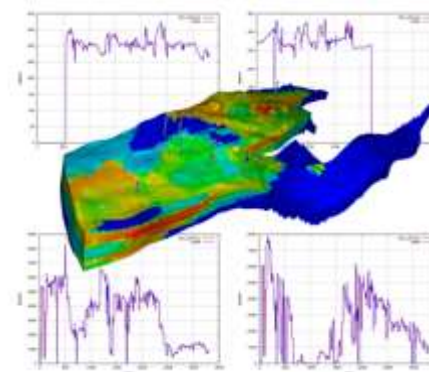
- Для полномасштабного моделирования

- Open Porous Media (www.opm-project.org)

- IORSim ([NIORC](#))



Simulated profiles of temperature and selected ions in a streamline between wells (IORCoreSim)



Основная классификация МУН

Классификации не однозначные:

Первичные (внутренняя энергия пласта) – вторичные (ППД) – третичные (изменение физико-химических условий) методы добычи нефти

Что делать с закачкой газа начинающейся в несмешивающемся режиме и переходящей в смешивающиеся вытеснения после роста давления?

Куда отнести воду с подобранными физико-химическими свойствами? А если эта вода выбрана «случайно»?

Основная классификация МУН

Классификации не однозначные:

«Улучшенная» (improved закачка флюидов уже имеющихся в пласте) vs.
«Повышенная» (enhanced, то же что третичные методы или закачка альтернативных реагентов)

Куда отнести воду с подобранными физико-химическими свойствами? А если эта вода выбрана «случайно»?

Закачка CO_2 в смешивающемся режиме если его изначальная концентрация в пласте 0.2%?

А если 5%?

А 20%?

Классификация МУН

Методы основанные на закачке воды

- Химические

- Циклическое воздействие на пласт

- Подбор состава воды

Газовые методы

- Смешивающееся / Несмешивающееся вытеснение

Тепловые методы

- Закачка пара

- Внутрипластовое горение

Комбинированные методы

- ВГВ

- Внутрипластовые изменения

Коэффициенты нефтеотдачи

Первичная (истощение / внутренняя энергия пласта)

Максимальный КИН: 15 - 20 %

Вторичная (Вода, химия, несмешивающийся газ)

дополнительно 15 - 45 %

Третичная (смешивающийся газ, например, CO₂)

(ещё) дополнительно 2 - 15 %

Внутрипластовое горение / конверсия (почти до 100%)

Экономика и конкурентность процесса внутри компании – решающий фактор



Подход от простого к сложному

Предварительная оценка

Аналитика и аналоги

Подход от данных к информации

Оценочные модели

Выбор кандидатов и участков

Что такое хороший кандидат?

Что нужно о нем знать и почему?

Базовые исследования

Керн, логи, что и когда делать?

Обновление моделей

Всегда ли нужны детальные полноразмерные модели пласта?

Снижение количества кандидатов

Более детальные исследования (полевые и в лаборатории)



Decision gates
«Шаги»

Выбор кандидатов

ШАГ1: Аналитические аналоги, литература и понимание процессов ограничило выбор кандидатов несколькими (десятками) месторождениями(ий).

Что дальше?

Основные задачи первого применения

Демонстрация успешности процесса

Интерпретируемость результатов

Почему получилось или не получилось?

Почему результат лучше (хуже) оценочного?

Как перенести результаты на все месторождение / аналоги / другие регионы...

Пример – два года на поиска кандидата

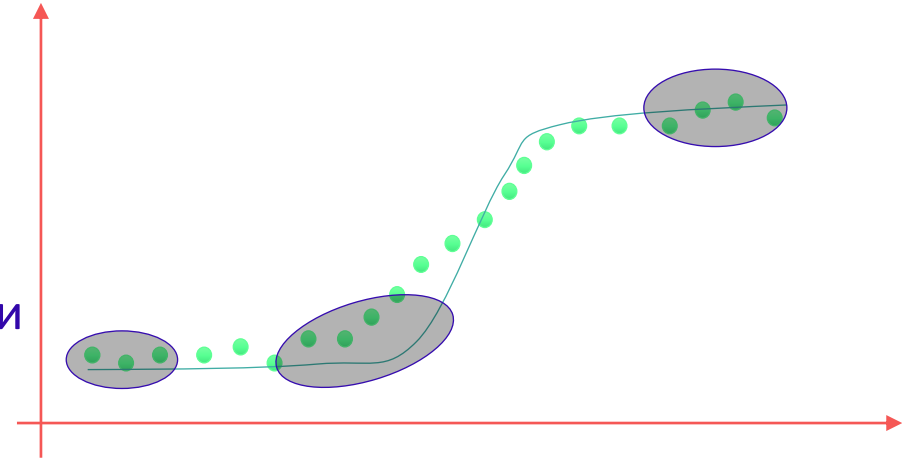
Базовые знания и понимание месторождения кандидата

Оценка и моделирование МУН

До выбора месторождения, во время выбора, при проведении и интерпретации процесса

Понимание процесса, а не погоня за цифрами

Автоматизация процесса адаптации к истории разработки



Множественные реализации

Модели соответствующие задачам

От порового пространства к керну к скважине к зоне дренирования к пласту

Основные экспериментальные методы

Керн:

Восстановление начальных условий / смачиваемости

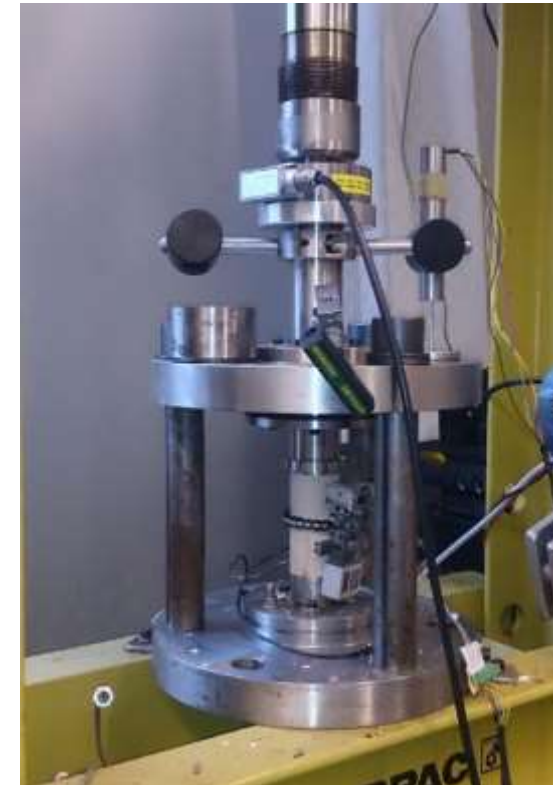
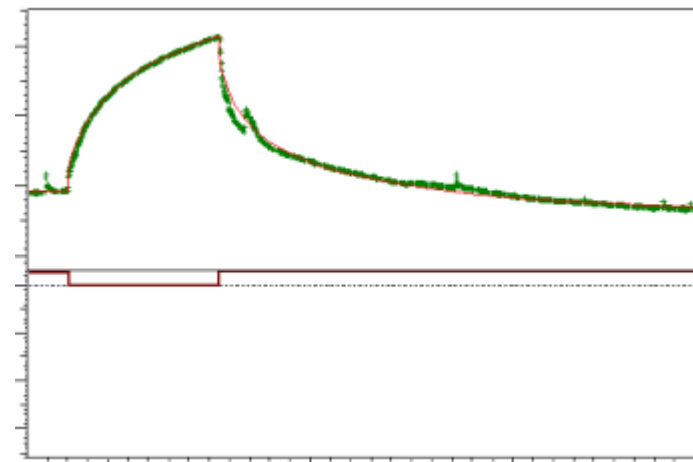
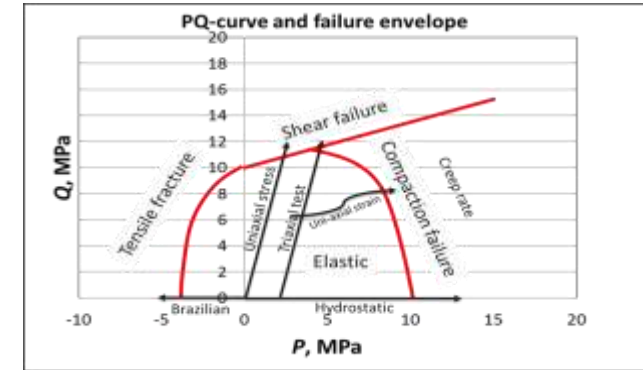
Полное вытеснение (прокачка с разных сторон)

Эксперименты по вытеснению

Двухфазное? Трехфазное течение?

Керн – геофизика – гидродинамика

И связка между ними:



Вода и газ

Заводнение.

Вода – что может быть проще?

Подбор и изменение химического состава воды: изменение солевого состава воды, полимеры, пены, силикаты.

Несовместимость воды – последствия и методы их предотвращения.

Газовые методы.

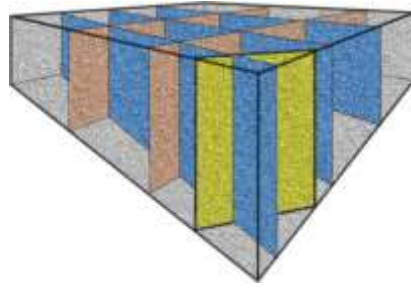
Особенности

экспериментальные подходы

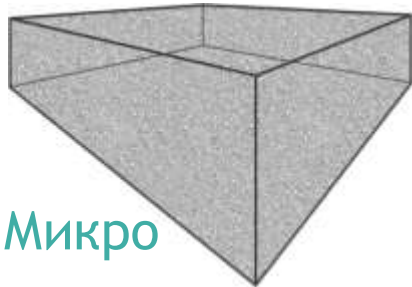
Контроль подвижности: водогазовое и циклическое воздействие на пласт.

Динамический, в данном случае, - это зависящий от распределения напряжений в пласте, в упрощенной постановке - от давления

Пласт-коллектор

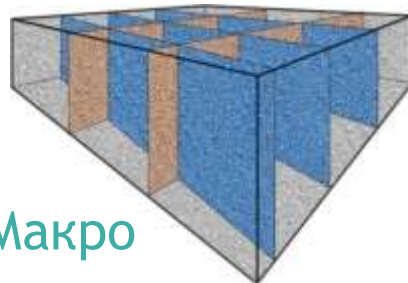


Пористая матрица



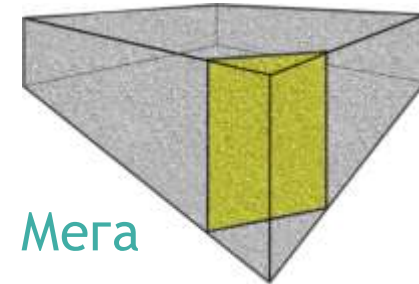
Микро

Естественные трещины



Макро

Разломы или трещины гидроразрыва



Мега

Динамические параметры на стадии идентификации и моделирования

- ⇒ Проницаемость
- ⇒ Пористость
- ⇒ Тензор проницаемости
- ⇒ Пористость

- ⇒ Раскрытие трещин
- ⇒ Эффективная проницаемость
- ⇒ Вторичная пористость
- ⇒ Тензор проницаемости
- ⇒ Вторичная пористость

- ⇒ Проницаемость
- ⇒ Толщина
- ⇒ Тензор проницаемости

Заводнение

От вторичного к третичному методу

Изначальное применение: ППД с механической очисткой. Проблемы:

Прорывы (трещины, вязкостные «языки»)

Вертикальный охват

Применение различных схем заводнения

Устоявшиеся схемы (пятиточечная, рядная, и т.д.)

Законтурное заводнение (управление балансом добычи и закачки)

Индивидуальные схемы (учет особенностей коллектора, морские скважины)

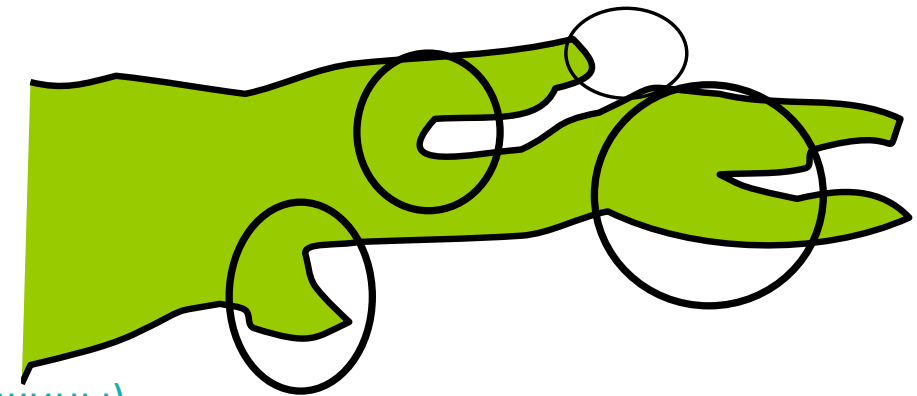
Контроль подвижности (анализ охвата и связи между скважинами, трейсеры, анализ состава солей, динамика пластового давления)

Управление фронтом

Пены, гели, полимеры

Силикаты

Циклическая закачка



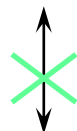
Заводнение

Брент (Veslefrikk, Statfjord ...)



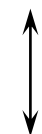
Ограниченная связь

Статфьорд (Snorre, Statfjord ...)



Отсутствие связи

Cook Formation (Gullfaks)

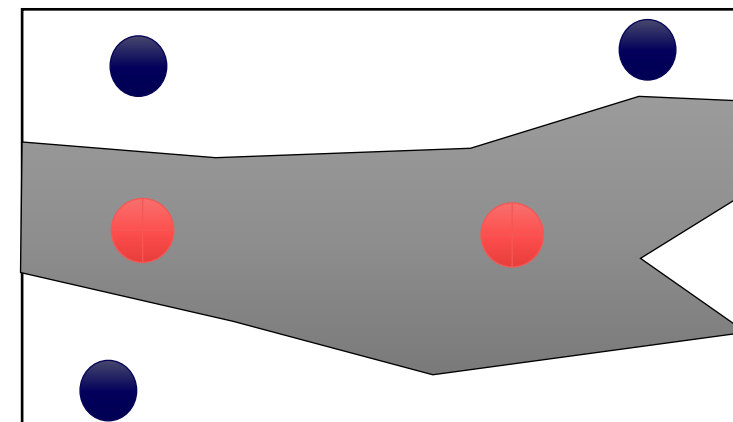


Ограниченная связь

Гравитация Кап.силы



Смачиваемость?



Заводнение: химия и микробиология воды

Изменение смачиваемости

влияние на экспериментальные исследования

восстановление смачиваемости, старение керна,

Микробиология и H_2S и что с этим делать?

Биоциды: использование и альтернативы?

Несовместимость воды и выпадение солей

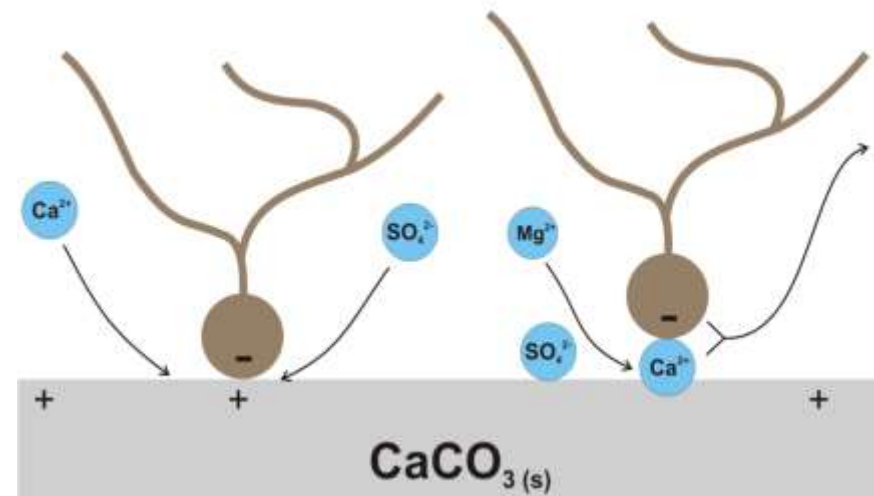
Кто виноват и что делать?

Другие источники воды

Изменение состава воды

Ингибиторы (в закачиваемую воду, постоянная закачка в добывающие скважины, регулярные обработки)

NORCE

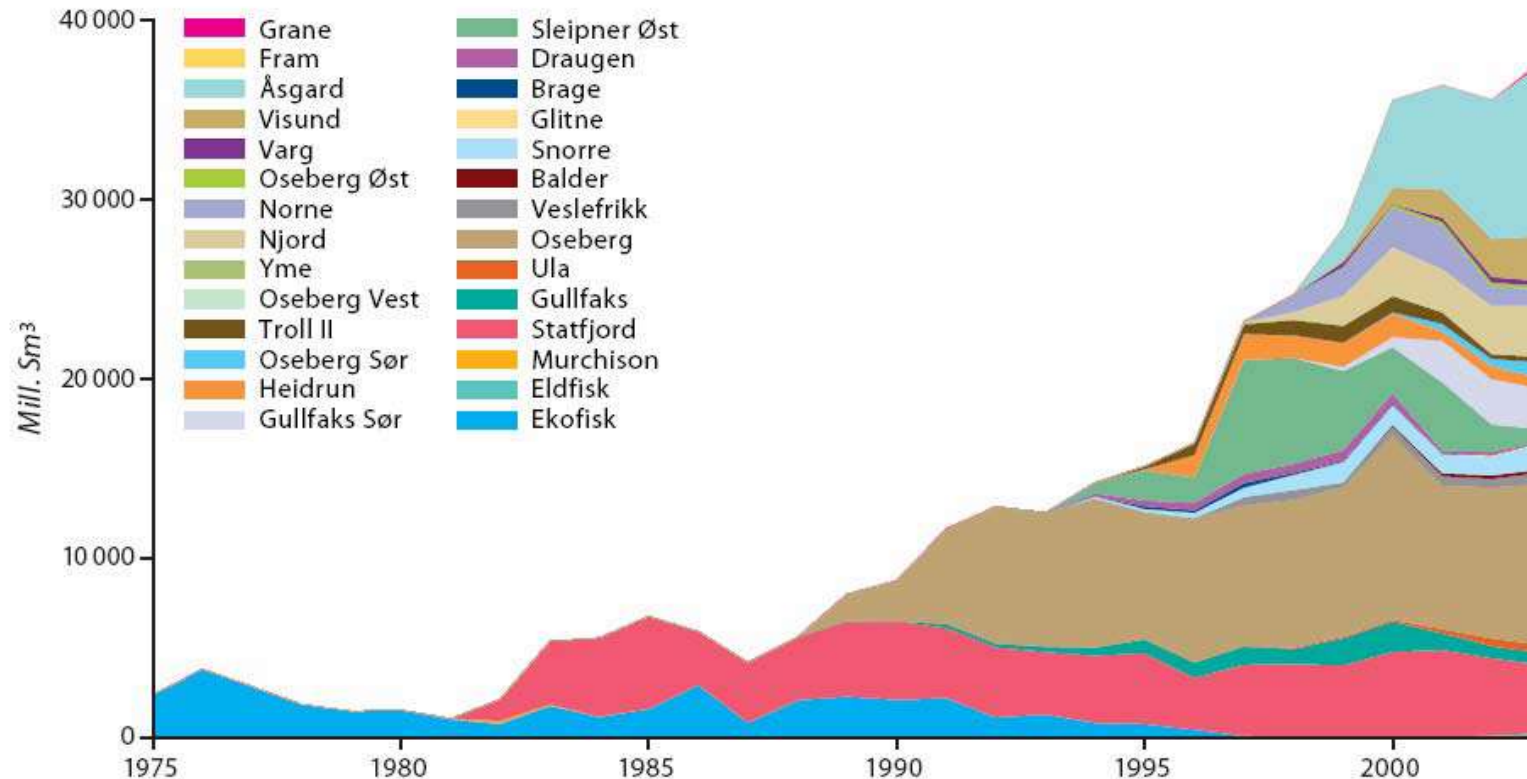


1X Speed

Закачка газа в Норвегии

Закачка газа дала Норвегии дополнительно около 180-220 миллионов кубов нефти и конденсата

Ожидается до 300 миллионов дополнительной добычи согласно текущим планам



Газовые методы

Особенности и отличия от заводнения

Низкая вязкость

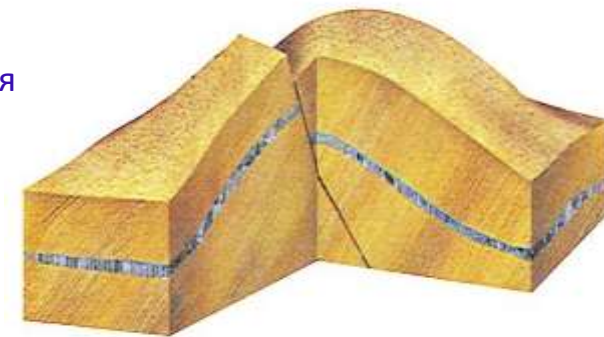
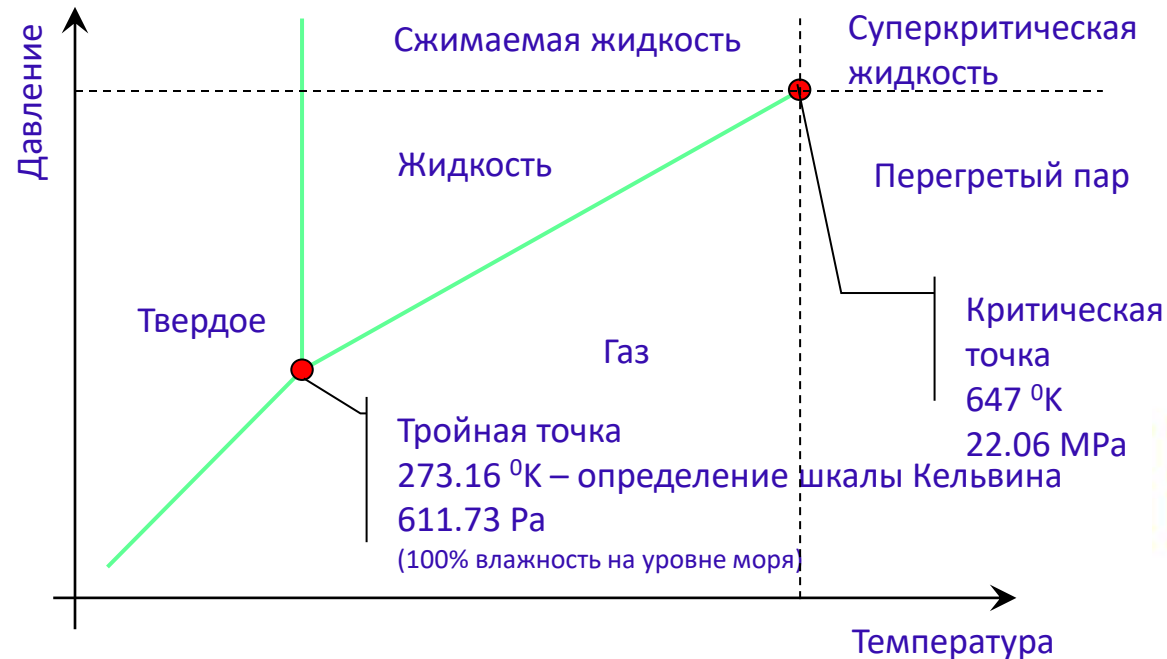
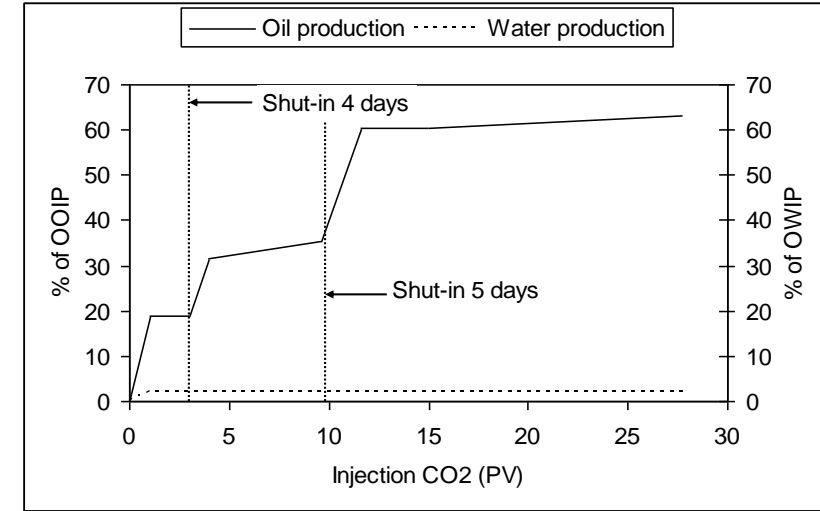
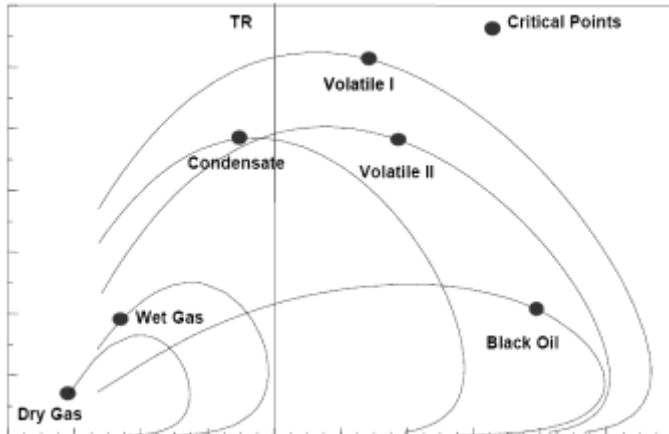
Композиционные эффекты

Растворимость в нефти, диффузия

Обмен компонентами

Смешиваемость

Смачиваемость



Газовые методы - эксперимент

Многофазное течение в пласте

Стационарный и не стационарный режим измерений

Гистерезис

Фазовые переходы

CME – эксперимент при постоянной массе

Differential Liberation – дифференциальное разгазирование

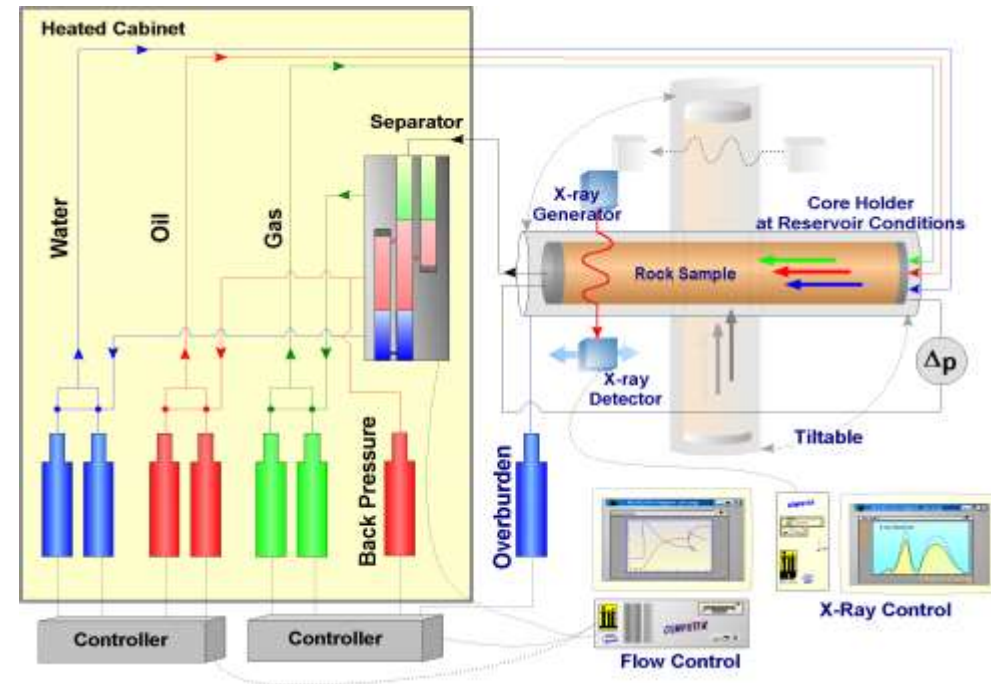
CVD – разгазирование при постоянном объеме

Separator – сепараторы

Эксперимент в тонкой (капиллярной трубке)

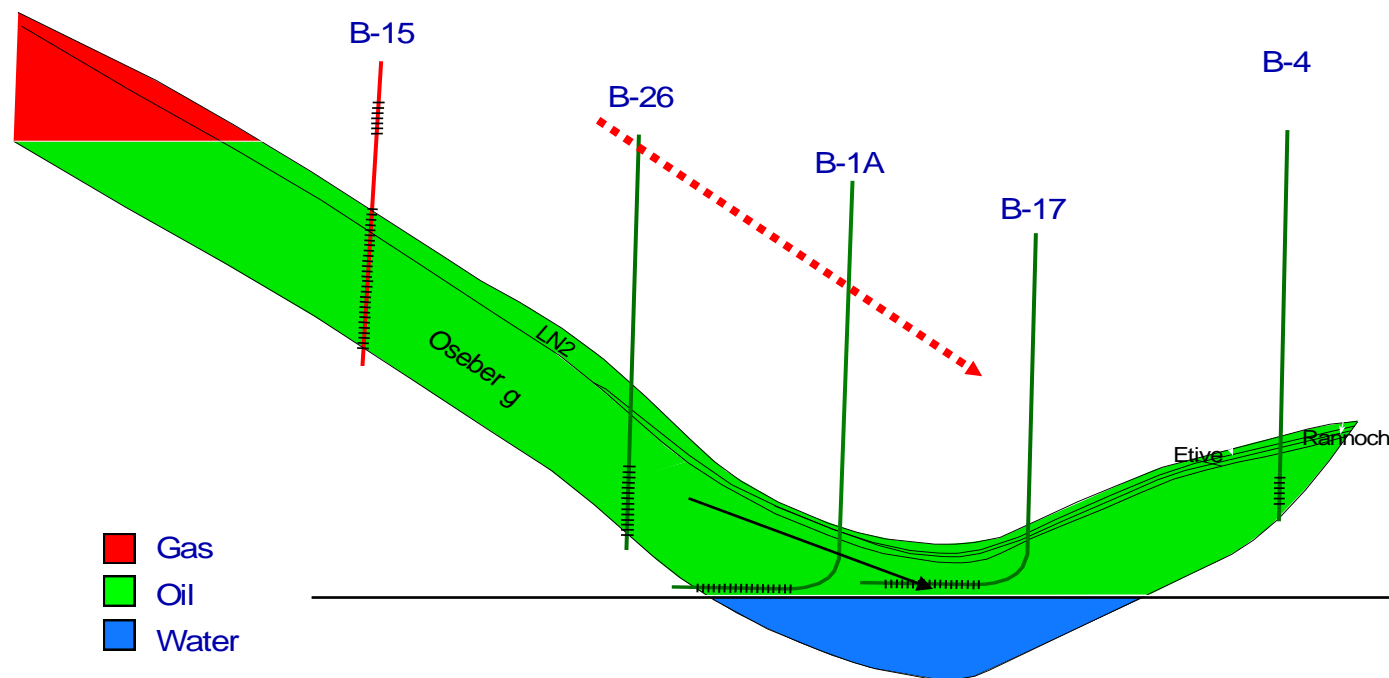
Эксперимент на разбухание нефти

NORCE



Well strategy

- FDP assumed deviated (conventional) wells
- first horizontal well completed in 1992 (B-1A)

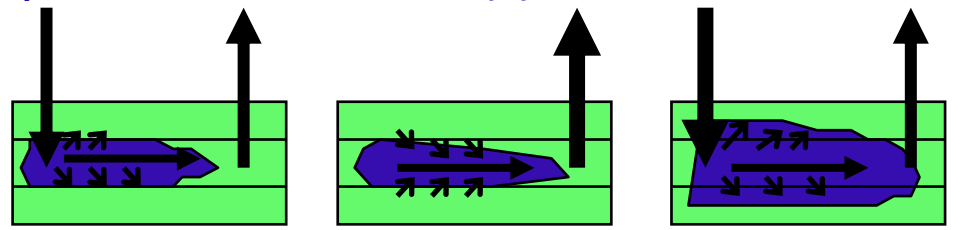


Добыча 65% от начальных запасов нефти

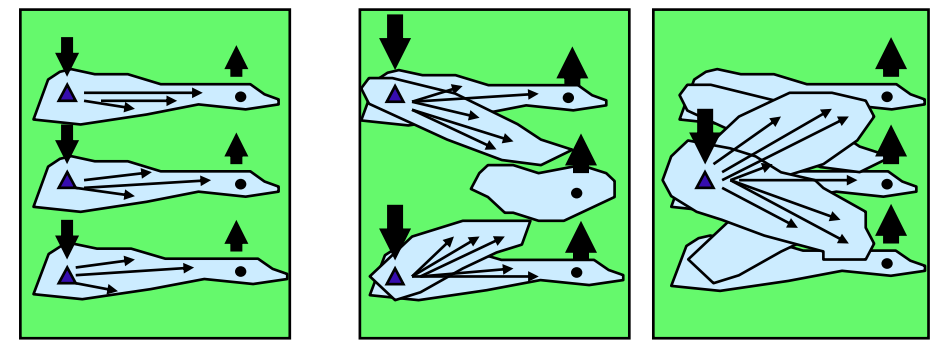
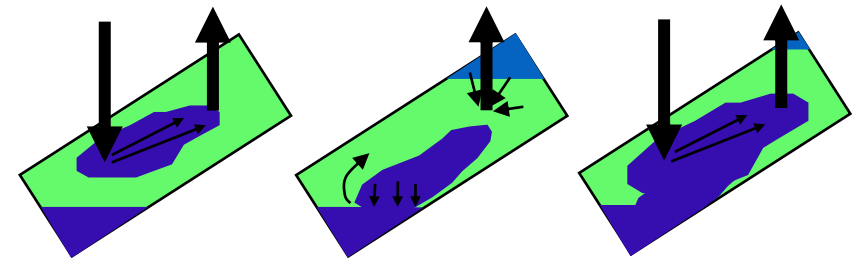


Комбинированные методы

Циклические воздействие на пласт

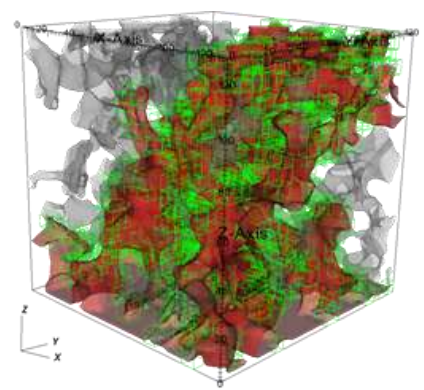
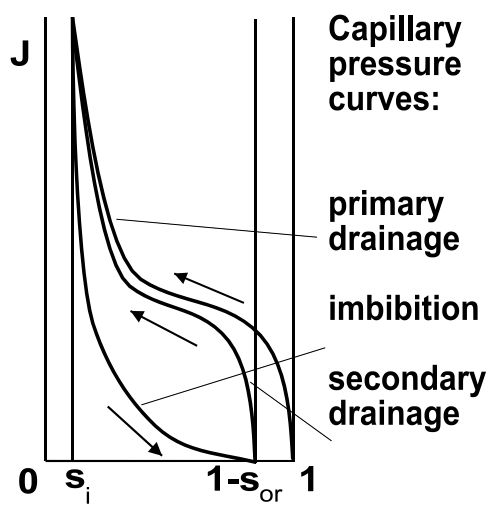


De-pressurizing half cycle Pressurizing half cycle



ВГВ

На макро-уровне
 На микро-уровне
 Гистерезис



ВГВ

Гульфакс

1991, КИН + 10%

Браге

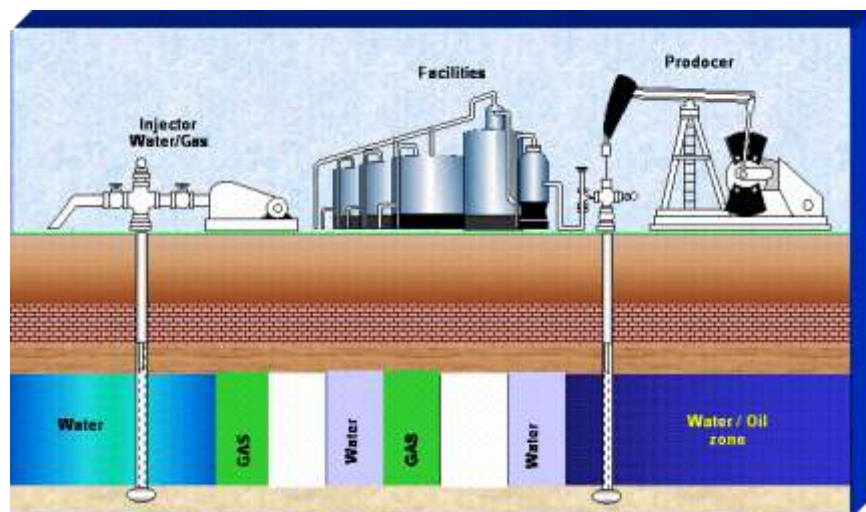
1994

> 1.5 MSm³ доп. нефти

Снорре

1994

> 1.5 MSm³ доп. нефти



NORCE

Снорре

Цель:

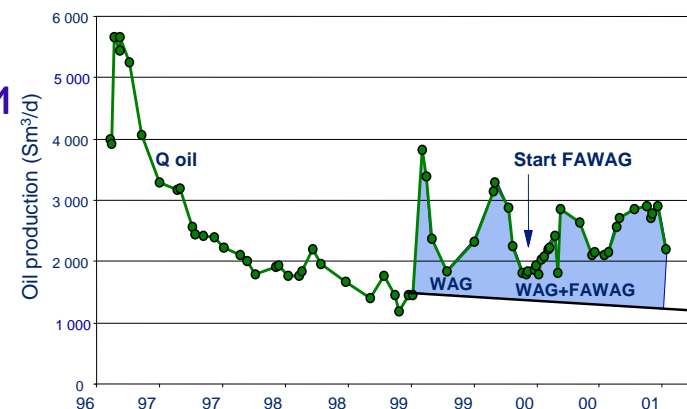
Увеличение охвата, снижение остаточной нефти
Избыток газа на экспорт

Стратегия:

Снизу в Статфьорд, центральный блок
Смешивающиеся, 3х месячные циклы
по 3 нагнетательных и добывающих

Результаты:

Быстрый рост дебитов по нефти
Снятие ограничений по ГФ
при добыче нефти



Силикаты (силикат натрия)

Щелочная жидкость

Вызывает выпадение осадка при смешивании с морской водой

При высоких концентрациях формирует «жидкое стекло»

Низкая растворимость кремниевых минералов по сравнению с другими жидкостями

Буферный раствор

Экологически безопасный (PLONOR)

Низкая вязкость

При наличии активаторов формирует агрегаты или гель

Размер частиц от нано до микро-метра

Активируется кислотами или солями (температура)

Опыт использования

Управлению подвижностью воды в призабойной зоне

Снижение межфазного натяжения, изменение смачиваемости

Консолидация песка

Буровые растворы

Осаждается на поверхность сланцев и предотвращает потери бурового раствора

Закачка морской воды долго считалась препятствием

Исследования в области воды с низкой соленостью восстановила интерес

Использование подушек свежей воды до и после

Один из немногих «зеленых» химикатов

Управление подвижностью воды в пласте

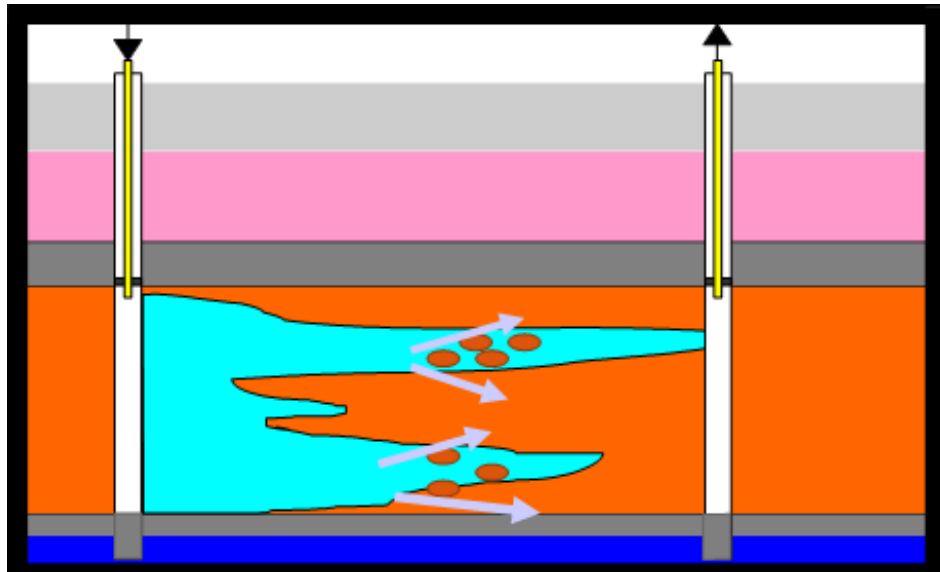
Проект со Statoil с 2008 года

Результат многолетнего сотрудничества на Snorre

Демонстрация эффекта глубоко в пласте
контролируя кинетику гелеобразование

Перенос результатов лабораторных исследований

Тест в 2011 году, SPE 154004 (две скважины)



Dette er tidenes kjemiforsøk

Publisert 28.05.2013 10:17 av [Glenn Skjoneveld](#)



Aldri forsøkt før, verken i Norge eller internasjonalt.

På Snorre-feltet forbereder Statoil det som vil være tidenes største kjemiprojekt på norsk sokkel.

Дизайн пилотного применения

Силикатная «заглушка» на расстоянии около 40 метров от скважины

Закачка морской воды остудила зону до ~ 40-50°C

Подушка KCl

Активация силикогеля HCl

Подушка после

КВД до и после до оценки расположения и устойчивости геля

Пилот Р-7 в 2011 году

Критерии успеха

Операционная: Доставка, смешения и закачка силиката без осложнений. **Успех**

Пластовая: Глубокое (порядка 40м) расположение геля. **Успех**

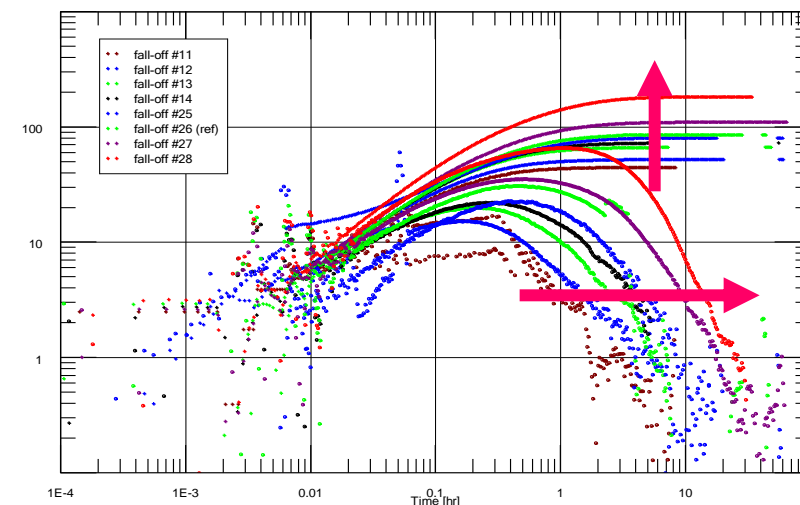
Высокая степень блокировки потока в пласте. **Успех: RRF>>100**

Отклик пласта

Снижение дебита нагнетания при сохранении давления **Успех**

КВД подтверждает блокировку потока в пласте. **Успех**

Skrettingland et al. SPE 154004



Современные вызовы

ROE: переходная зона с остаточной нефтью

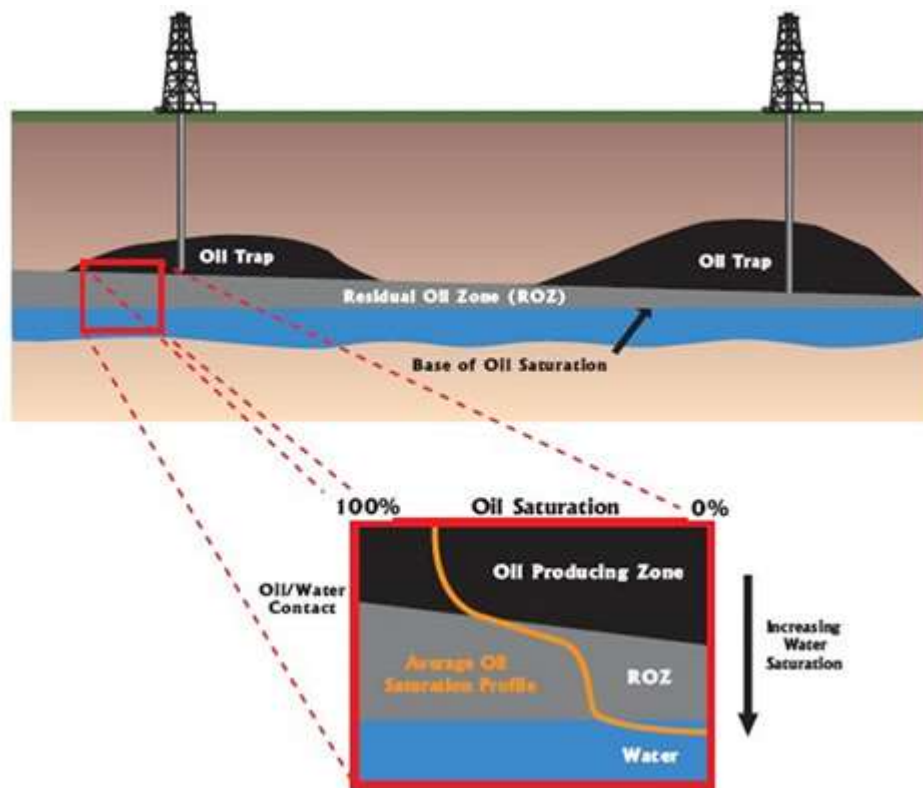
Борьба с изменением климата

Внутрипластовые процессы

Необходимый набор знаний и умений

ROE

По оценке министерства энергетики США переходные зоны содержат около 1.24 миллиарда баррелей извлекаемых запасов



Снижением давления

Изменением смачиваемости

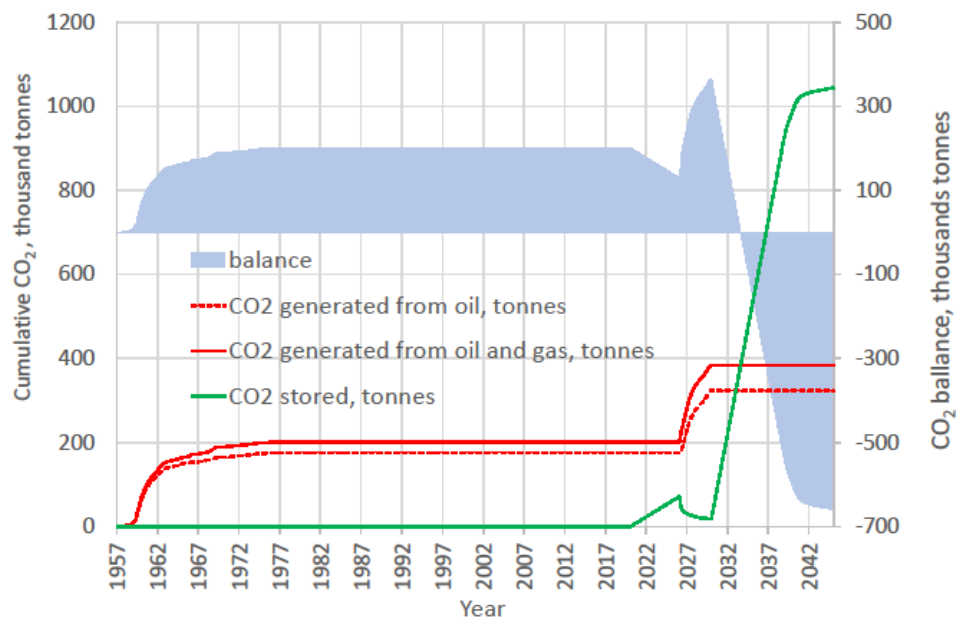
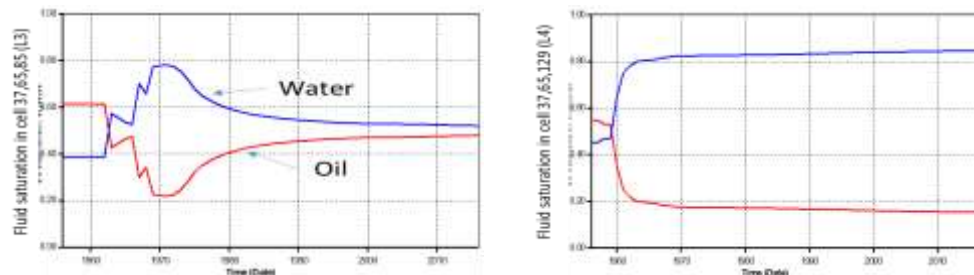
За счет подъема зеркала воды

Закачка CO₂ (!!!)

Старые новые месторождения



Старое месторождение с добычей истощением в 60х-70х



Возобновление разработки месторождений

Field	Produced (from – to)	oil			gas			current oil in place, mill. sm3	current gas in place, bn. sm3	O + G in place, mill. sm3 o.e.
		initially in place, mill. sm3	produced, mill. sm3	recovery factor, %	initially in place, bn. sm3	produced, bn. sm3	recovery factor, %			
TOR	1978 - 2015	119.8	24.5	20.5%	31.7	10.9	34.4%	95.3	20.8	116.1
ALBUSKJELL	1979 - 1998	55.7	7.4	13.3%	63.7	15.5	24.3%	48.3	48.2	96.5
VEST EKOFISK	1977 - 1998	84.5	12.2	14.4%	44.9	26	57.9%	72.3	18.9	91.2
YME	1996 - 2001	54.2	7.9	14.6%	3.3	0	0.0%	46.3	3.3	49.6
FRIGG	1977 - 2004	0	0	0.0%	150.2	116.2	77.4%	0	34	34
FRØY	1995 - 2001	33.5	5.6	16.7%	6.4	1.6	25.0%	27.9	4.8	32.7
NORDØST FRIGG	1983 - 1993	0	0	0.0%	35.1	11.6	33.0%	0	23.5	23.5
ODIN	1984 - 1994	13.2	0	0.0%	37.3	27.3	73.2%	13.2	10	23.2
MIME	1990 - 1993	15.9	0.4	2.5%	3.2	0.1	3.1%	15.5	3.1	18.6
EDDA	1979 - 1998	16.3	4.8	29.4%	5	2	40.0%	11.5	3	14.5
TOMMELITEN GAMMA	1988 - 1998	12.1	3.9	32.2%	14.9	9.7	65.1%	8.2	5.2	13.4
ØST FRIGG	1988 - 1998	0	0	0.0%	21.4	9.2	43.0%	0	12.2	12.2
Total		405.2	66.7	16.5%	417.1	230.1	55.2%	338.5	187	525.5

Лабораторные исследования перераспределения флюидов в пласте

Численная интерпретация экспериментов и масштабирования до размеров пласта

Оценка новых возможностей

- Современные скважины (включая многоэтапный ГРП, fishbones, умные скважины);
- CO₂ EOR combined with CCS;
- Использование ветряков

Изменения климата: роль МУН

Как снизить климатический эффект от добычи нефти и газа?

Продление жизни месторождения - более эффективное использование ресурсов

Компенсация выбросов ассоциированных с добычей нефти и газа (МУН и захоронение CO₂)

Альтернативные способы использования месторождений (внутрипластовые процессы)

Изменения климата: роль МУН

Как снизить климатический эффект от добычи нефти и газа?

Продление жизни месторождения - более эффективное использование ресурсов

Компенсация выбросов ассоциированных с добычей нефти и газа (МУН и захоронение CO₂)

Альтернативные способы использования месторождений (внутрипластовые процессы)

Необходимость сокращения выбросов CO₂ + эффективность CO₂ как вытесняющего агента = двойная выгода?

- **Объемы**
 - Большие объемы и многократная циркуляция
- **Экономическая оптимизация**
 - Поставщики
 - Потребители
 - EOR vs. Захоронение?
- **Ответственность**
 - В случае выбросов CO₂
- **Государственное регулирование**
 - Требования безопасности

Внутрипластовые процессы



Нефтехимия+нефтедобыча

Улучшение свойств нефти в пласте

Закачка воздуха (внутрипластовое давление) + катализатор в добывающей скважине

Взвешенные частицы металлического катализатора в зоне высоких температур

Каталитический реформинг

Каталитический крекинг

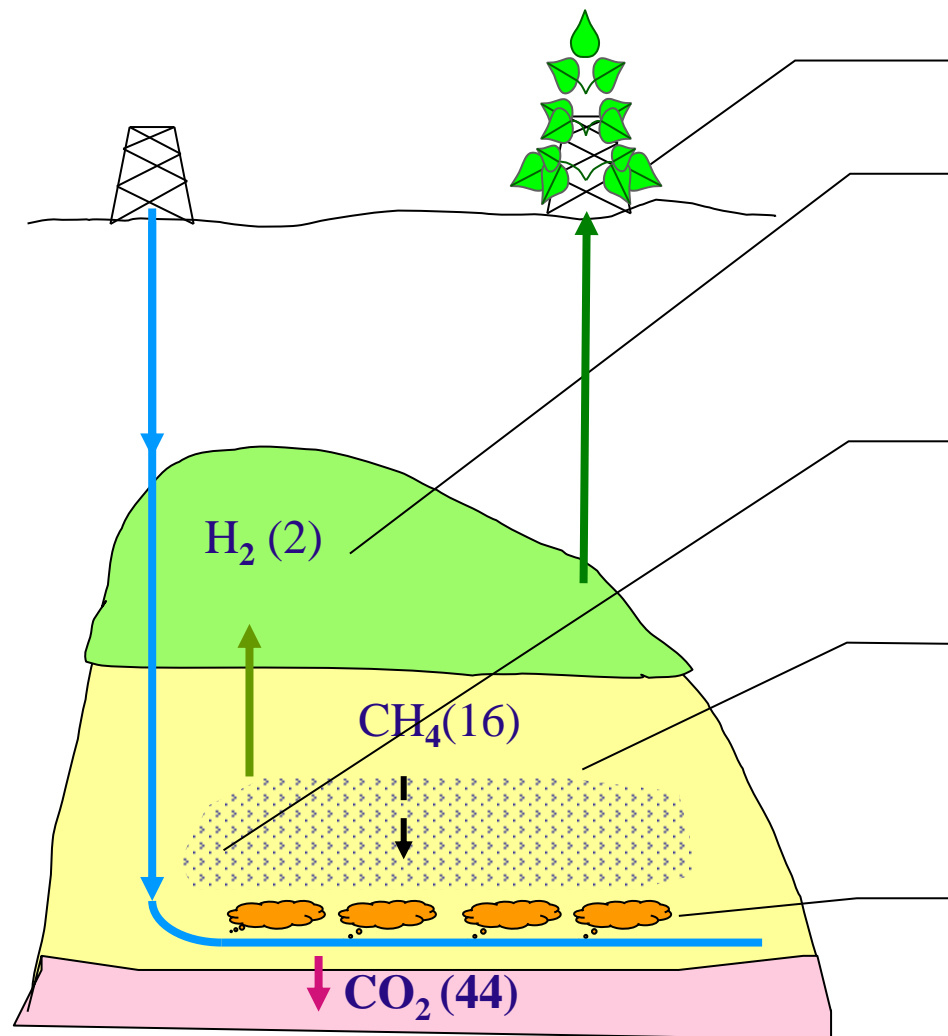
Газ в водород

Истощенная газовая залежь превращается в **месторождение с водородом** высокого давления

Снижение расходов на подготовку и транспорт газа при производстве водорода

Сокращение энергозатрат на производство водорода

Отсутствие затрат на улавливание и захоронение CO₂



Добыча водорода

Гравитационное разделение водорода, метана, CO₂ и воды

Закачка водного раствора реагента

Конверсия метана в водород

Прогрев пласта

Необходимый набор знаний и умений

На стыке знаний и технологий

Хим. Реакции: Константы равновесия

Фазовые переходы: Вода, нефть, газ, твердое вещество

Энергетический баланс, температурные эффекты

Хороший лабораторный потенциал и надежные процессы

Фундаментальная наука + прикладная наука + сервисные компании + нефтяные компании

Кадры, кадры, кадры!

Передача знаний между поколениями

От фундаментальных исследований до внедрения: десятилетия?

И самое главное!

Работа с персоналом компании

Есть ли у Ваших сотрудников доступ к современной информации и мотивация работы с ним?

Понимают ли они стратегию компании и зачем все это вообще нужно?

Насколько хорошо налажены потоки информации в компании?

Когда производственное подразделение узнает о том что им предстоит работать с новой технологией?

Видят ли сотрудники компании во внедрении новых методов возможности профессионального и карьерного роста?

Выделяется ли сотрудникам достаточное время на внедрение новых технологий и методов? Не превращаются ли они в обузу?

Все люди разные. Консерваторы могут быть отличными сотрудниками и прекрасными специалистами, но они зачастую плохо подходят для внедрения новых методик.

Здоровый баланс между оптимистами и пессимистами.