



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

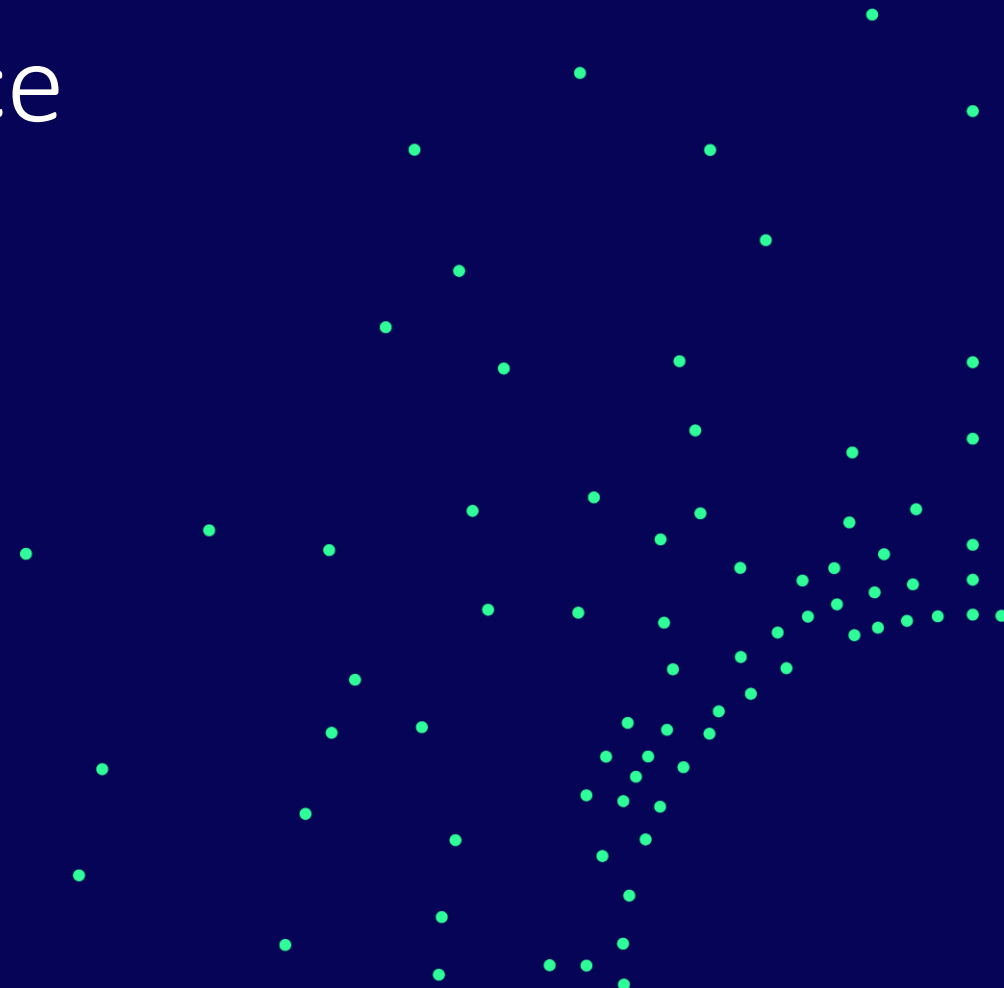
Беренблум Роман Анатольевич, NORCE
Москва, 19 ноября 2021 г.

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?



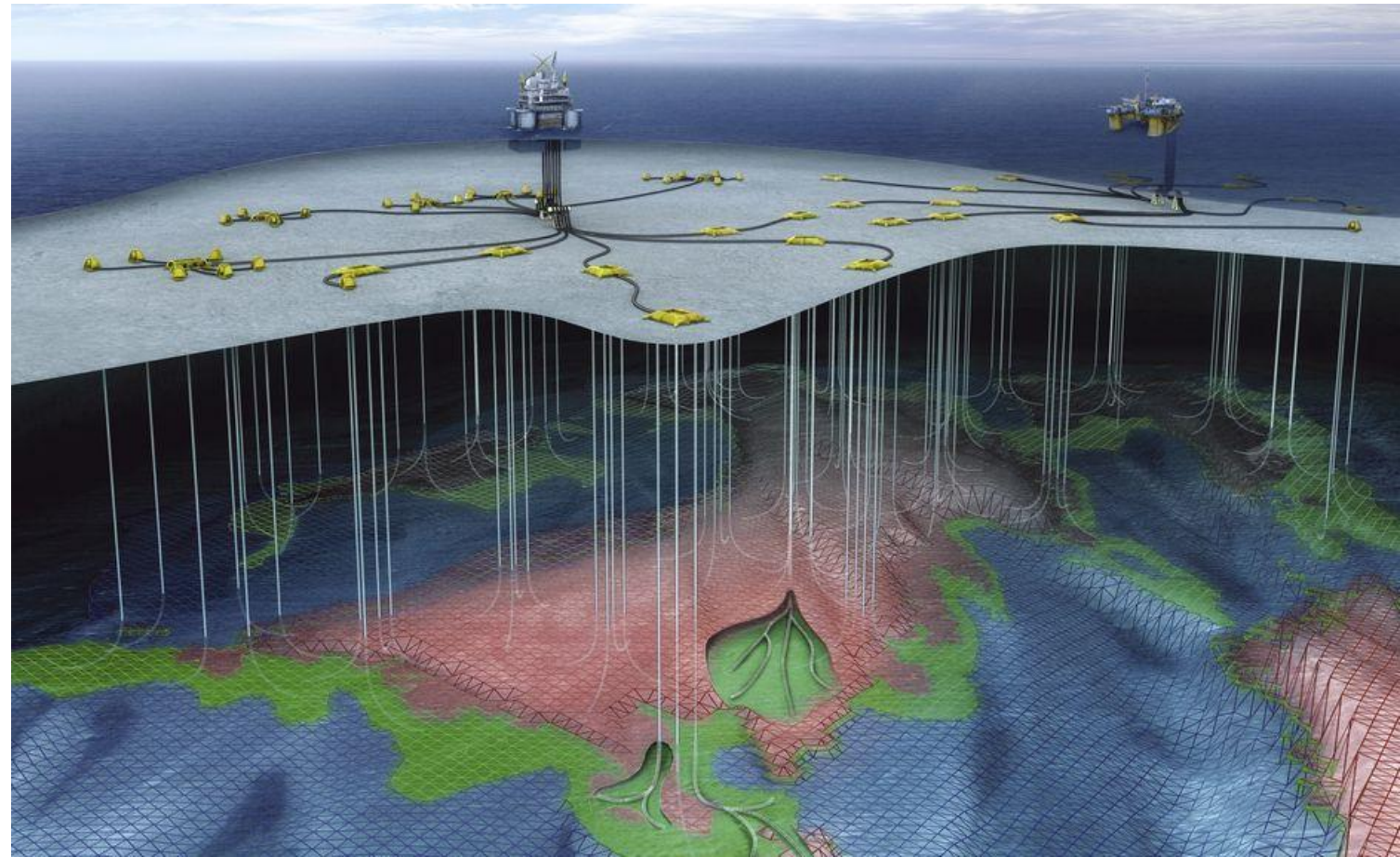
Инновации – не надо изобретать велосипед?



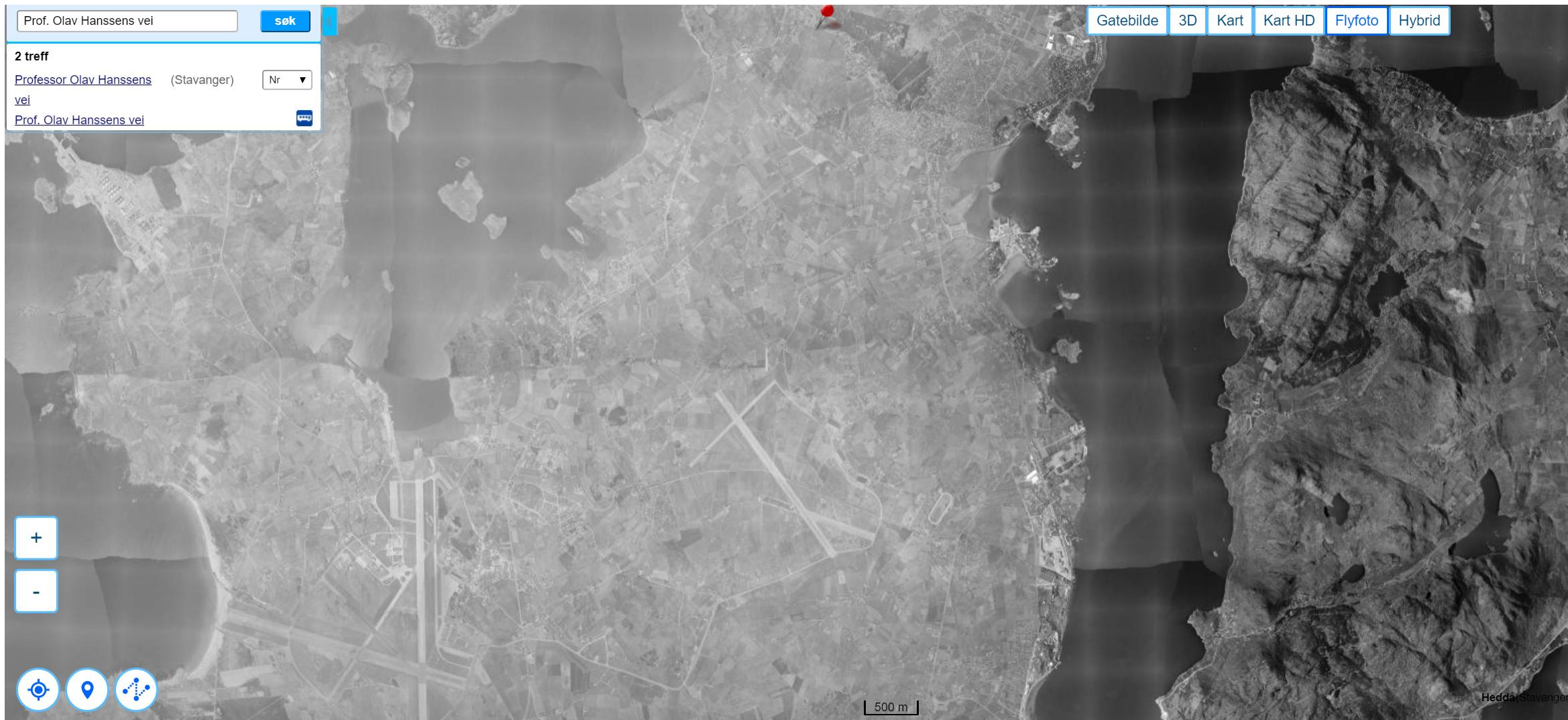
Инновации – не надо изобретать велосипед?



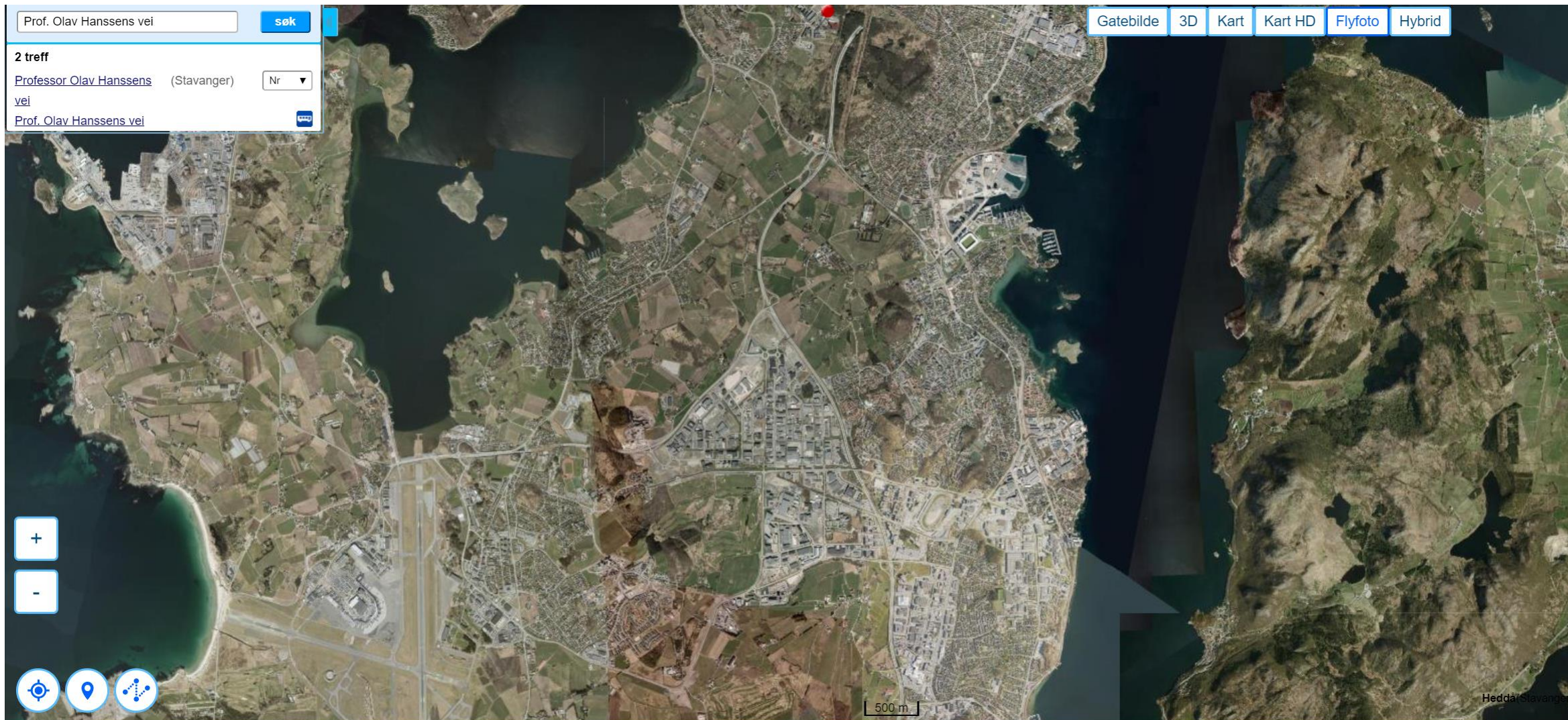
Troll: От нулевых извлекаемых запасов нефти до одного из крупнейших нефтяных месторождений на шельфе



Ставангер: «нефтяной век» 1968 – 2017



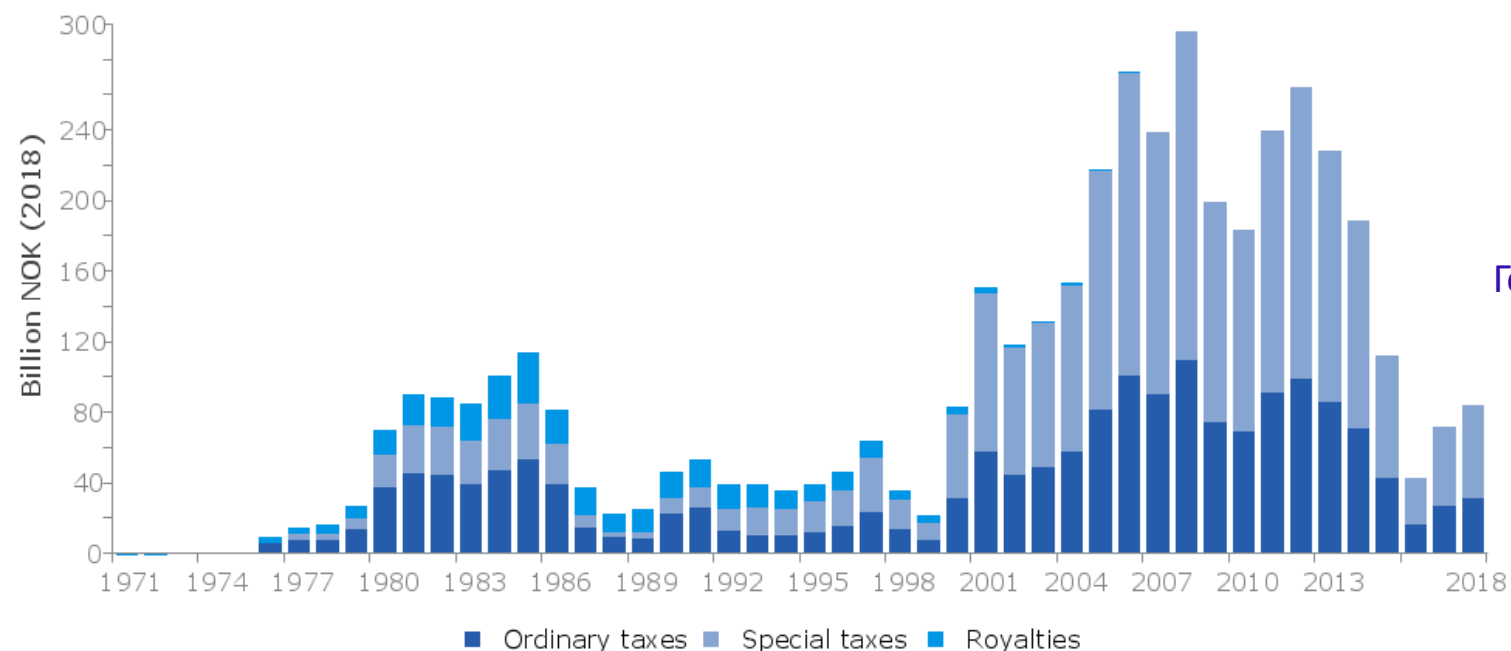
Ставангер: «нефтяной век» 1968 – 2017



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 - 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)

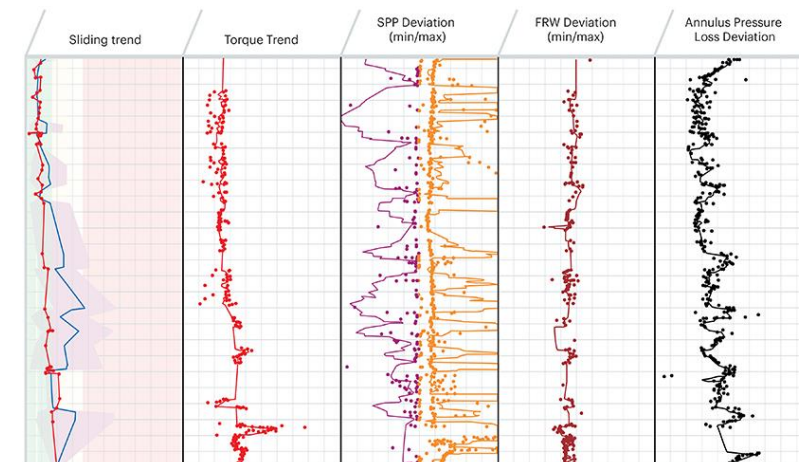
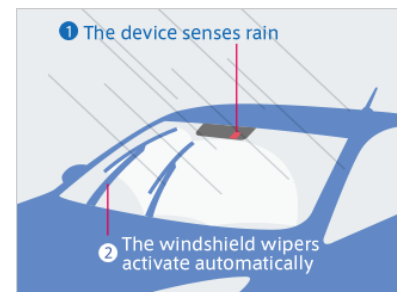
Автоматизация процессов

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

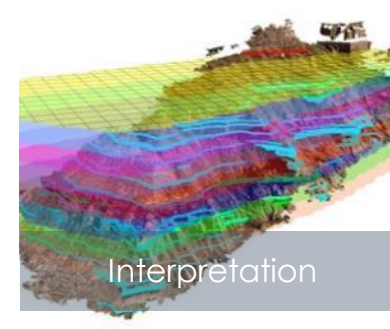
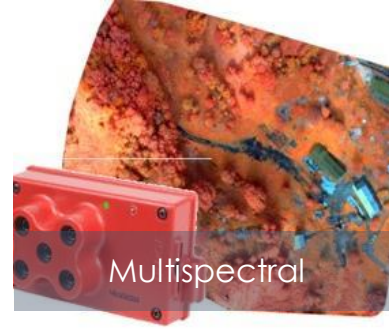
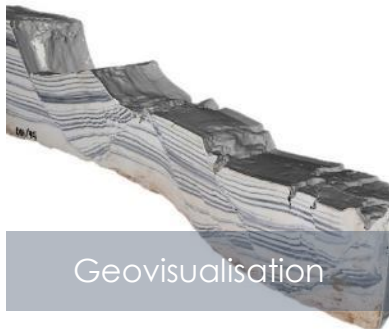
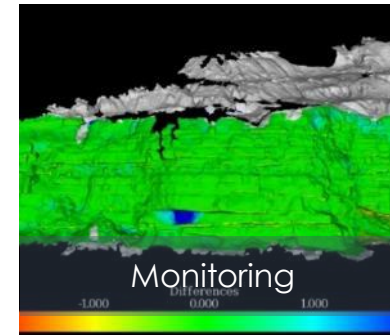
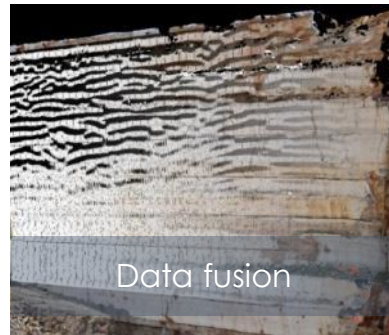
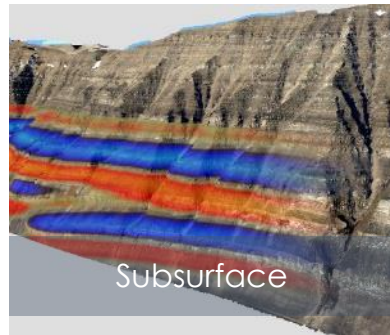
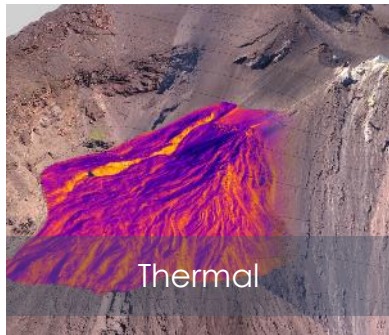
Инженер – оператор принимает решения основываясь на автоматических оценках

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

Современные вызовы

ROE: переходная зона с остаточной нефтью

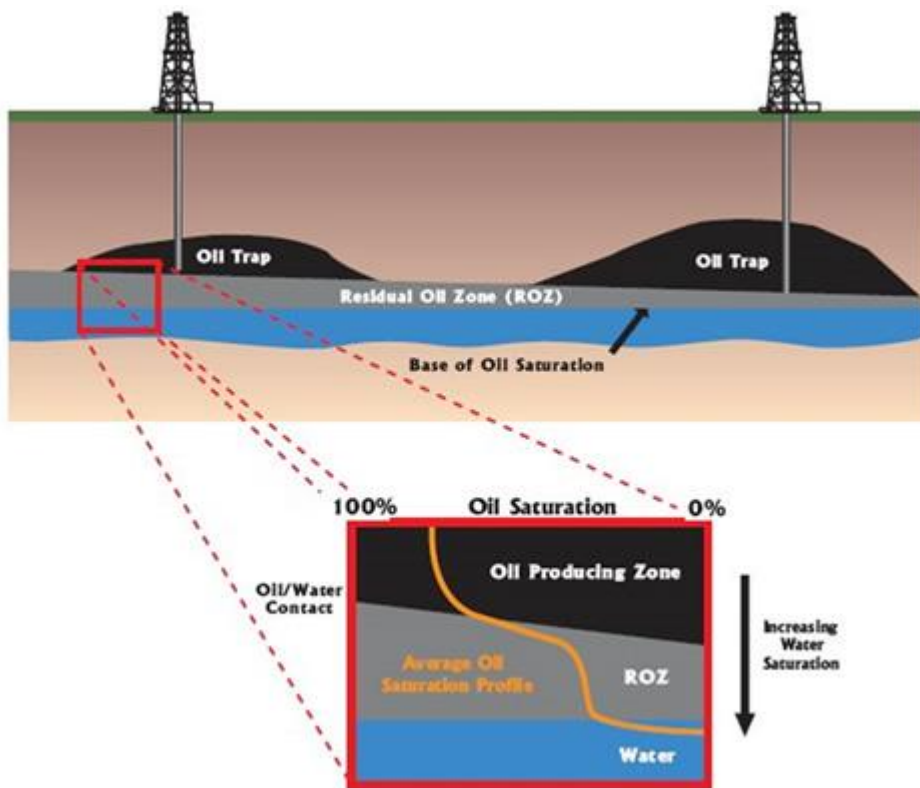
Борьба с изменением климата

Внутрипластовые процессы

Необходимый набор знаний и умений

ROE

По оценка министерства энергетики США 1.24 миллиарда баррелей
извлекаемых запасов



Снижением давления

Изменением смачиваемости

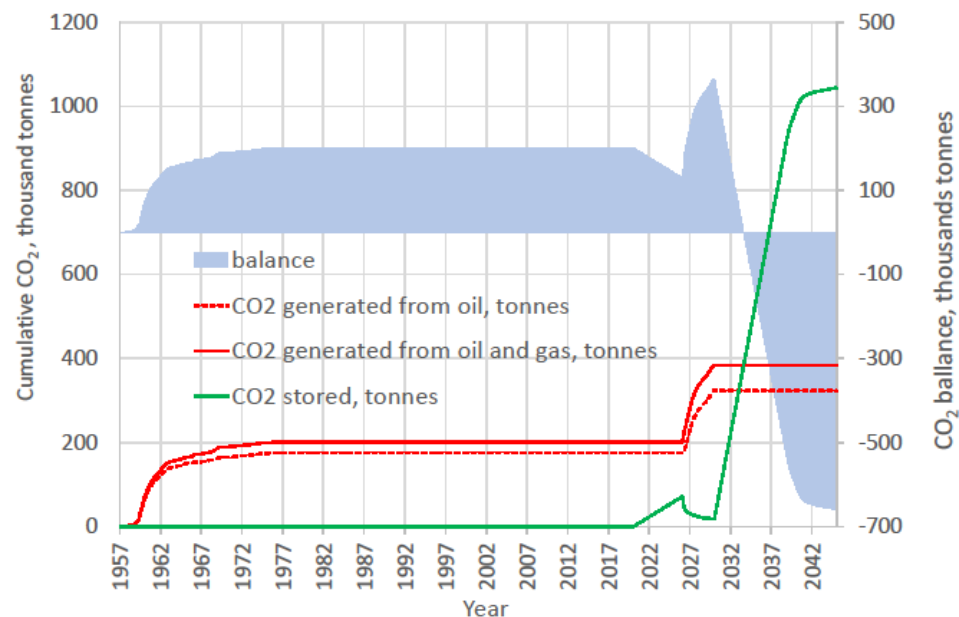
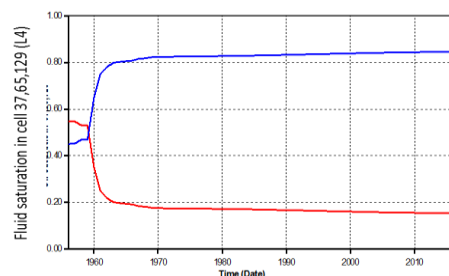
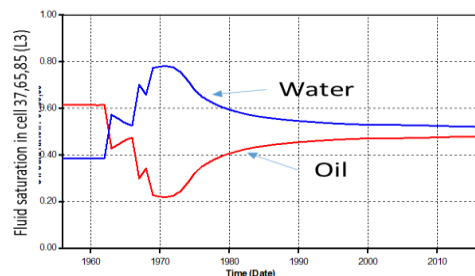
За счет подъема зеркала воды

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

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?

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**

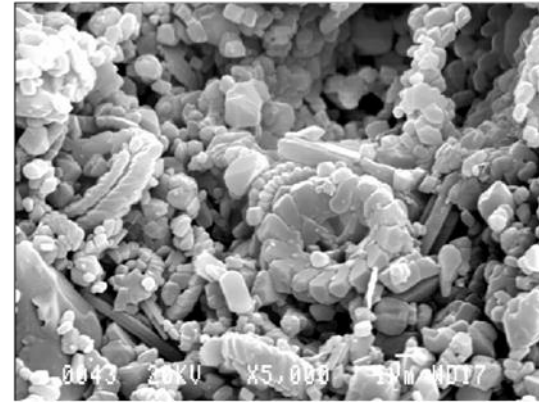
- Закачка силикатов
- Управление подвижностью воды

- **CO₂ МУН**

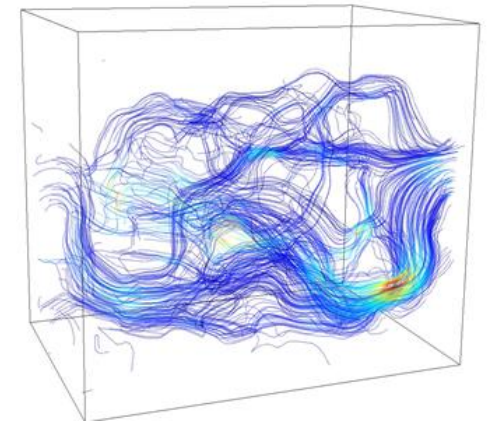
- МУН и захоронение CO₂
- МУН с использованием водо-газовых смесей

- **ПАВ**

- Изучение механизмов ПАВ

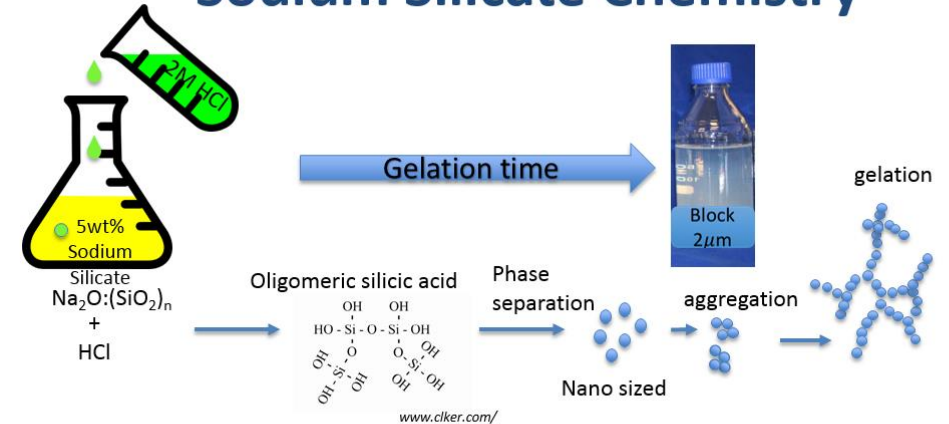


Chalk sample



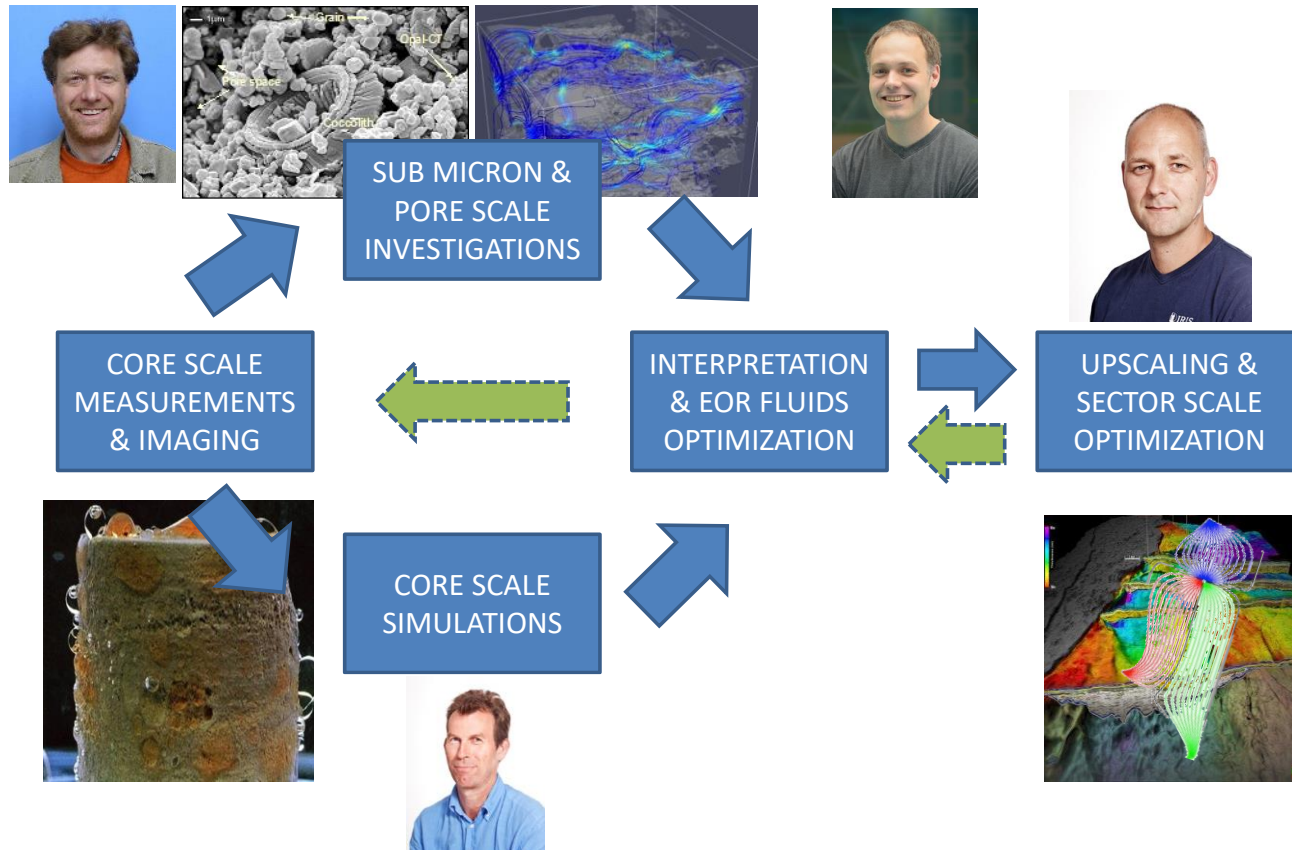
Streamlines showing the fluid flow path in a real chalk geometry (Stevens Klint at 10nm resolution).

Sodium Silicate Chemistry



A. Stavland, H. Jonsbråten, O. Vikane, K. 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

Подходы к моделированию МУН

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

- И разработка новых

- Для быстрой оценки

- [SWORD](#)

- Моделирования порового пространства

- [Cap3Trap project](#)

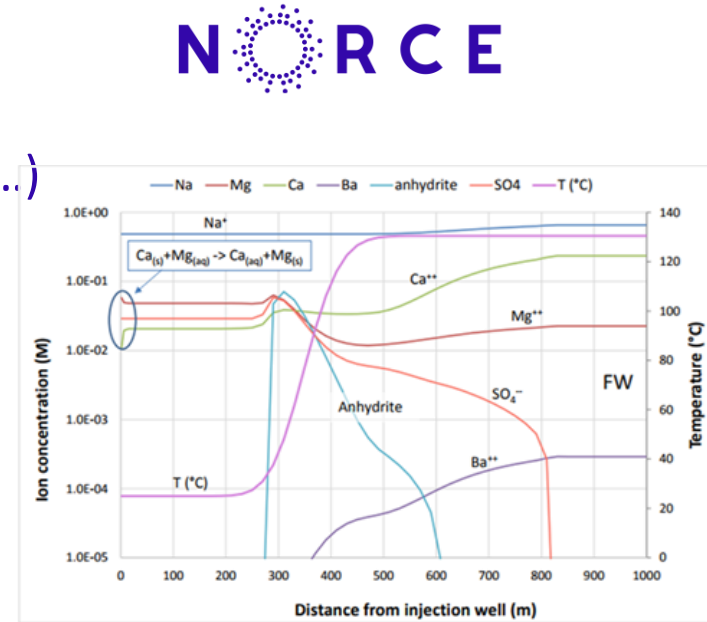
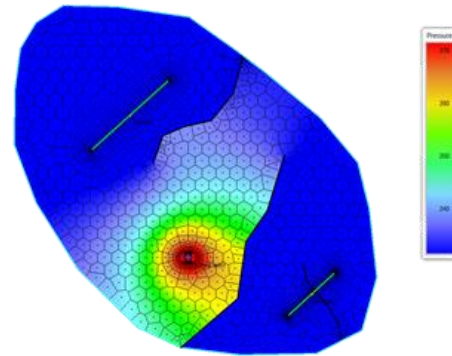
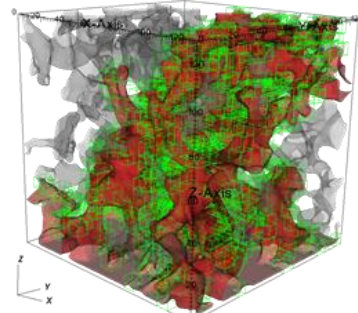
- Моделирования лабораторных исследований

- IORCoreSim (NIORC)

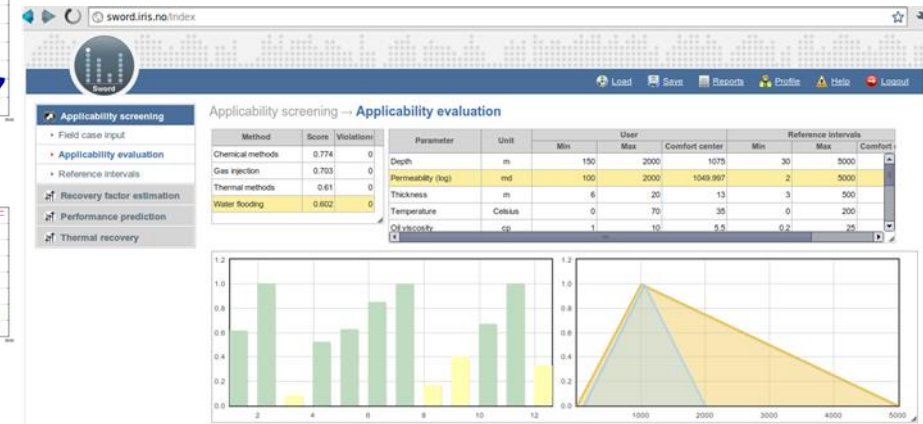
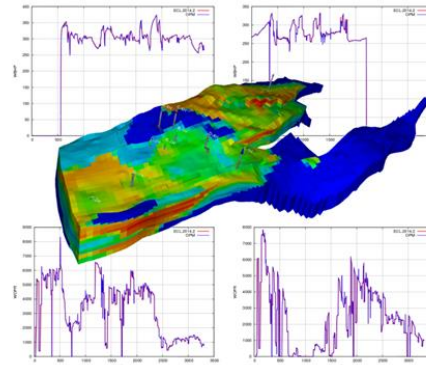
- Для полномасштабного моделирования

- 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

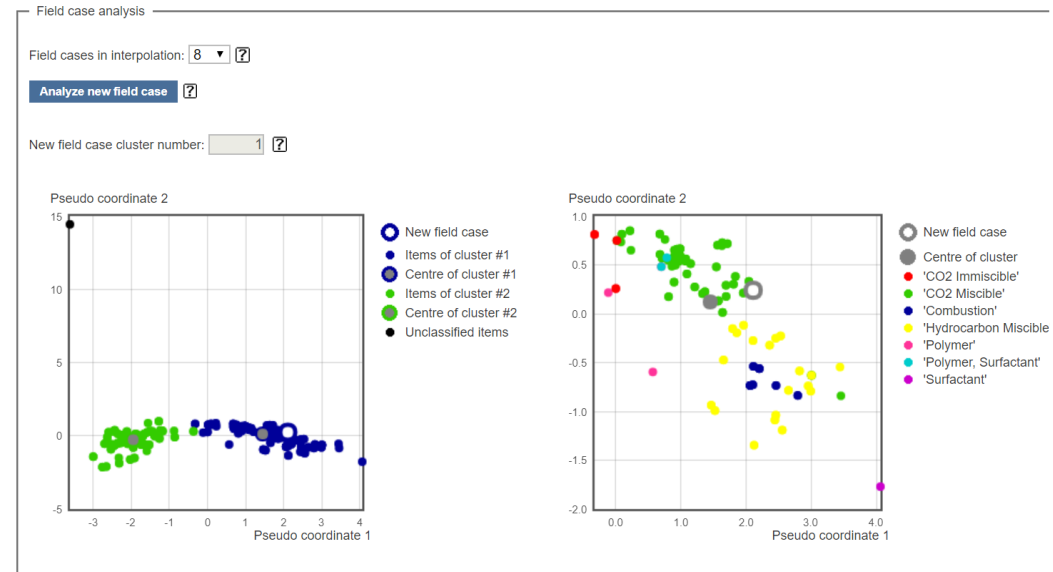
Более детальные исследования (полевые и в лаборатории)



- Applicability screening
- Recovery factor estimation**
 - Settings
 - Database
 - Cluster analysis
 - Field case analysis
- Performance prediction
- Thermal recovery
- Economic and risk
- WELMM

Field case parameters

Parameters	Porosity (0-1)	Permeability (md)	Depth (m)	Oil gravity (kg/m3)	Oil viscosity (cp)	Oil temperature (Celsius)
1	0.20	100.00	2000.000	750	5.00	



Results

IOR/EOR methods (interpolation in automatically chosen cluster)

Method	Number of cases in interpolation	Interpolated recovery factor (0-1)	Confidence	Confidence index - interpolation cases (0-1)	Confidence index all cases (0-1)
1 CO2 Miscible	8	0.44	Good	0.97	0
2 Hydrocarbon Miscible	8	0.38	Poor	0.01	0

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

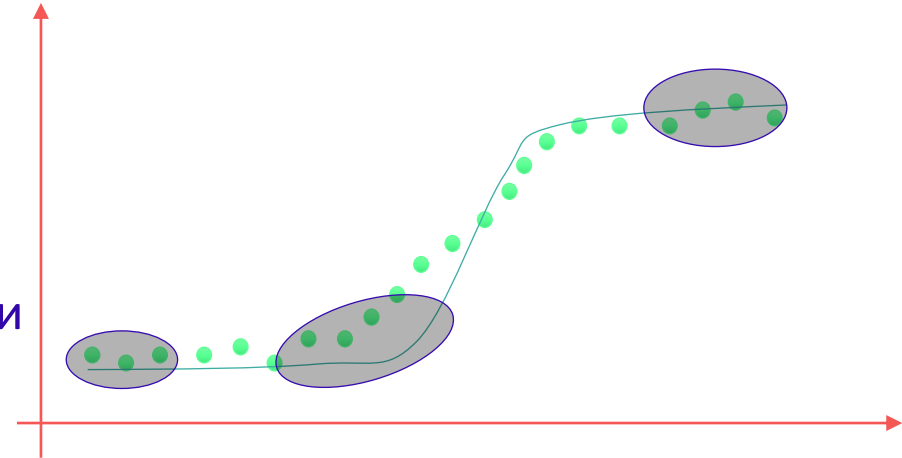
Базовые знания и понимание месторождения кандидата

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

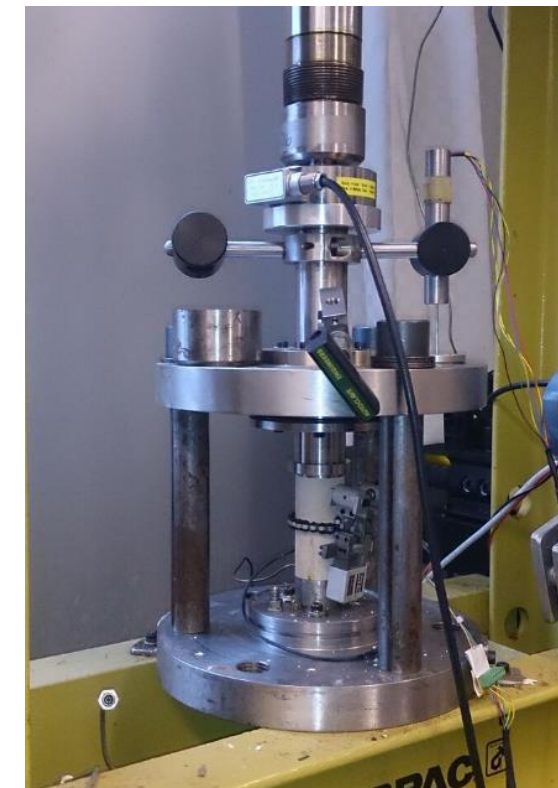
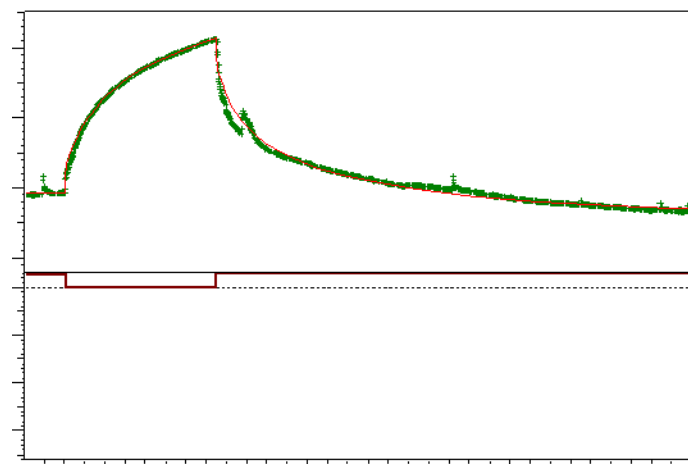
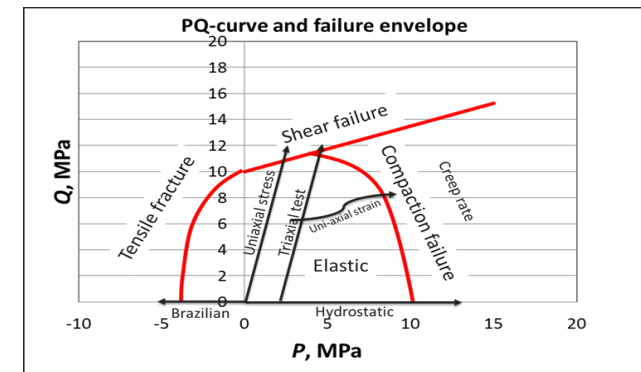
Полное вытеснение (прокачка с разных сторон)

Эксперименты по вытеснению

Двухфазное? Трехфазное течение?

Керн – геофизика – гидродинамика

И связка между ними:



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.