



CELEBRATING TWENTY YEARS

**GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY**

INVESTING IN OUR PLANET



*Kazakhstan*

## Оценка энергосистемы в свете развития ветроэнергетики в Казахстане.

Презентация финального отчета, часть II  
Ханнеле Холттинен, Санна Уски-Йоутсенвуо, Юха Кивилуома  
Научно-технического центра Финляндии VTT



## Влияние ветроэнергии на электросети и потребности в усилении электросетей

- Задачи исследования были сформулированы совместно VTT и Институтом «Энергия»
  - Моделирование стабильных режимов \было проведено Институтом «Энергия» с помощью RASTR
  - Анализ результатов был проведен VTT в сотрудничестве с Институтом «Энергия»
- Моделирование Было проведено только для 2030 года:
    - для зимней пиковой нагрузки
    - для сценария с полной выработкой ветроэнергии (сверх- оценка)
  - РЕЗУЛЬТАТЫ: Необходимо предпринять действия только в отношении подключения ветроэлектростанции Шелек мощностью 300 МВт (в связи с перегрузкой линий в аварийных ситуациях);
    - Новые линии электропередач (~21 миллионов долларов США), ЛИБО
    - Пересмотр показателей мощности линий – напр. Более высокий показатель в зимнее время, или динамический показатель, который определяется на основе измерений, ЛИБО
    - Ограничение суммарной мощности Мойнакской ГЭС и Шелекской ветроэлектростанции

## Влияние ветровой энергии на потери при передаче энергии – простая оценка

- Большая протяженность линий передач в Казахстане и крупный поток энергии с севера на юг (зона дефицита мощности) → потери при передаче
- Ветровая энергия может влиять на поток энергии в энергосистеме Казахстана → влияние на потери при передаче энергии (в северном регионе, Ерейментау (500 МВт), на юге - Жузымдык (350 МВт), Шелек (300 МВт) и Достык (250 МВт). Отдельный случай - район Каспийского моря.
- Влияние ветровой энергии на потери при передаче энергии изучалось в отдельных состояниях:
  - данные по выработке ветроэнергии и нагрузка за целый год были просмотрены - для выбора ситуации моделирования
  - 3 основные ситуации: зимний пик, промежуточная нагрузка, низкая нагрузка с частым появлением добавочной *нагрузки – ситуация с потоком ветроэнергии смоделирована в RASTR*
  - влияние ветровой энергии на системные потери по сравнению с ситуациями без выработки ветровой энергии
- В RASTR моделирование зимней пиковой нагрузки системы было масштабировано с переходом на промежуточную и низкую нагрузку (без моделирования диспетчеризации)

Системный случай	Ветровая энергия	Общая мощность системы	Север-юг (5 зон; 3,6,8,9,10)	Зона Каспийского моря № 12 и 14
случай зимней пиковой нагрузки (23 620 МВт)	без ветровой энергии	1031.2 MW	663.2 MW	65.2 MW
	100 % ветровой энергии, все ветровые электростанции	736.3 MW -28.6 %	436 MW -34.3 %	88.5 MW +35.7 %
	50 % ветровой энергии в ЗАПАДНОМ регионе	976.6 MW -5.3 %	(618.1 MW)	74.1 MW +13.7 %
	95 % ветровой энергии в СЕВЕРНОМ регионе	1001.2 MW -2.9 %	635 MW -4.3 %	(65.2 MW)
	65 % ветровой энергии в ЮЖНОМ регионе	832.7 MW -19.2 %	520.3 MW -21.5 %	(66.3 MW)
случай средней нагрузки (20 000 МВт)	без ветровой энергии	483.7 MW	302.1 MW	29.9 MW
	50 % ветровой энергии в ЗАПАДНОМ регионе	463.3 MW -4.2 %	(284.4 MW)	35.2 MW +17.7 %
	95 % ветровой энергии в СЕВЕРНОМ регионе	472.6 MW -2.3 %	289.8 MW -4.1 %	(29.9 MW)
	55 % ветровой энергии в ЮЖНОМ регионе	414.3 MW -14.3 %	251.6 MW -16.7 %	(31.3 MW)
случай низкой дневной летней нагрузки (15500 МВт)	без ветровой энергии	262.7 MW	142.5 MW	31 MW
	30 % ветровой энергии в ЗАПАДНОМ регионе	251.9 MW -4.1 %	(136.8 MW)	32 MW +3.2 %
	95 % ветровой энергии в СЕВЕРНОМ регионе	255 MW -2.9 %	133.6 MW -6.2 %	(30.9 MW)
	25 % ветровой энергии в ЮЖНОМ регионе	256.5 MW -2.4 %	138 MW -3.2 %	(31.4 MW)

## Влияние ветровой энергии на потери при передаче энергии – выводы

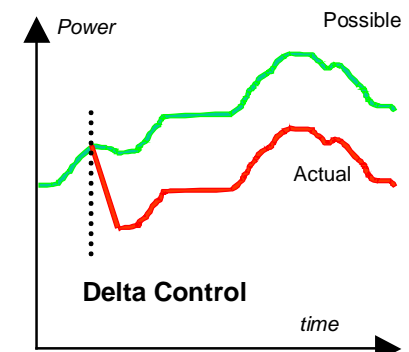
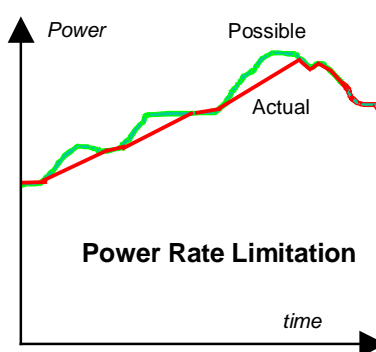
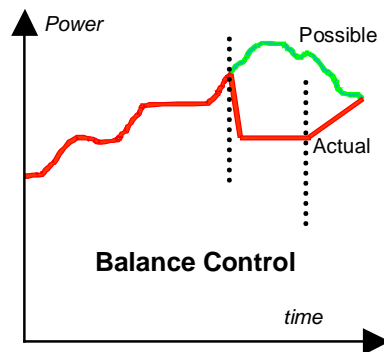
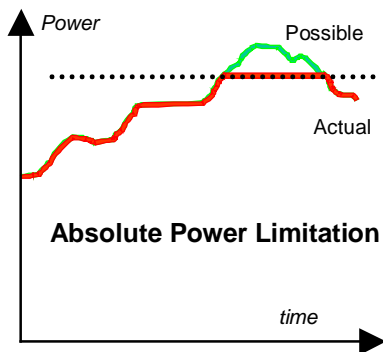
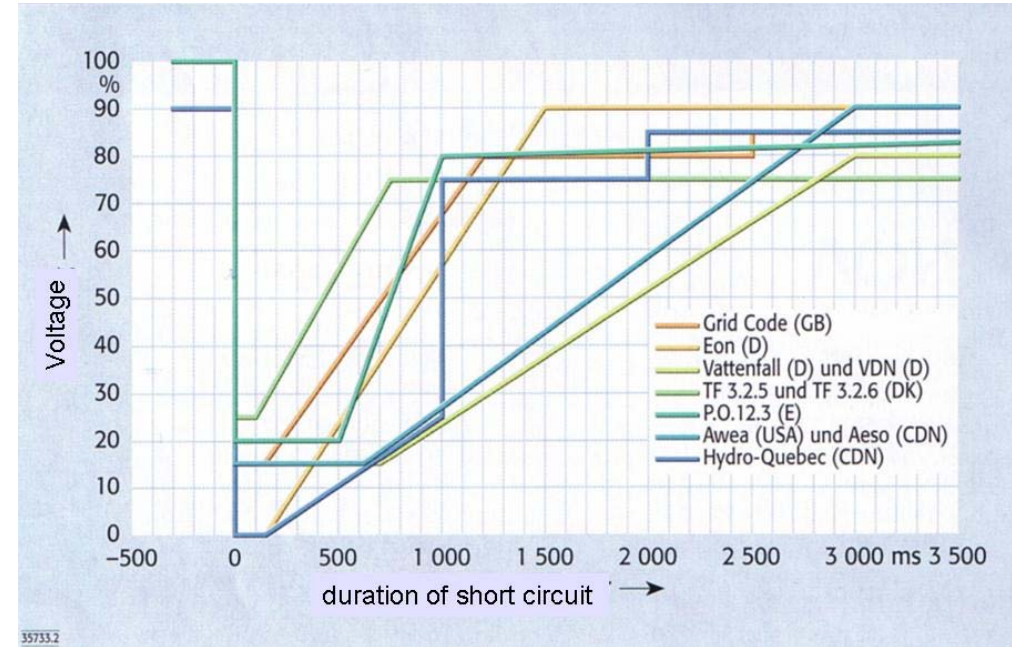
- Случаи моделирования показывают в основном сокращение потерь (влияние ветровой энергии на системные потери сравнивается с ситуациями без выработки ветровой энергии )  
→ **ветровая энергия в исследованных регионах могла бы снизить потери энергосистемы**
- Для получения более реалистичных результатов и оценки количества экономии потерь необходимо смоделировать больше ситуаций (до 8760 ч/год), включая моделирование распределения нагрузки

## Оценка Сетевых Правил

- Сетевые правила устанавливают правила подсоединения к электростанции и требования относящиеся к электростанции и эксплуатации энергосистемы
  - Для ветровой энергии могут применяться отдельные Сетевые Правила
  - Сетевые Правила оператора одной энергосистемы передач могут сильно отличаться от Правил для другой энергосистемы– Требования не должны перениматься с другой энергосистемы в таком виде, как они есть, т.к. каждая энергосистема уникальна и обладает своими границами для предъявляемых требований
- Текущая ситуация в Казахстане:
  - нет общих требований, которые могли бы применяться ко всем электростанциям, и требования для каждой станции предъявляются в более индивидуальном порядке.
  - Нет специфичных требований в отношении Сетевых Правил для ветра

## Сетевые правила по ветровой энергии: ВОЗМОЖНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

- параметры частоты, напряжения и мощности
- качественные параметры мощности
- Параметры скорости изменения мощности
- поддержание непрерывности электроснабжения при нарушениях
- активная мощность, реактивная мощность и контроль напряжения



## Рекомендации, которые можно рассматривать при создании Сетевых Правил для Казахстана

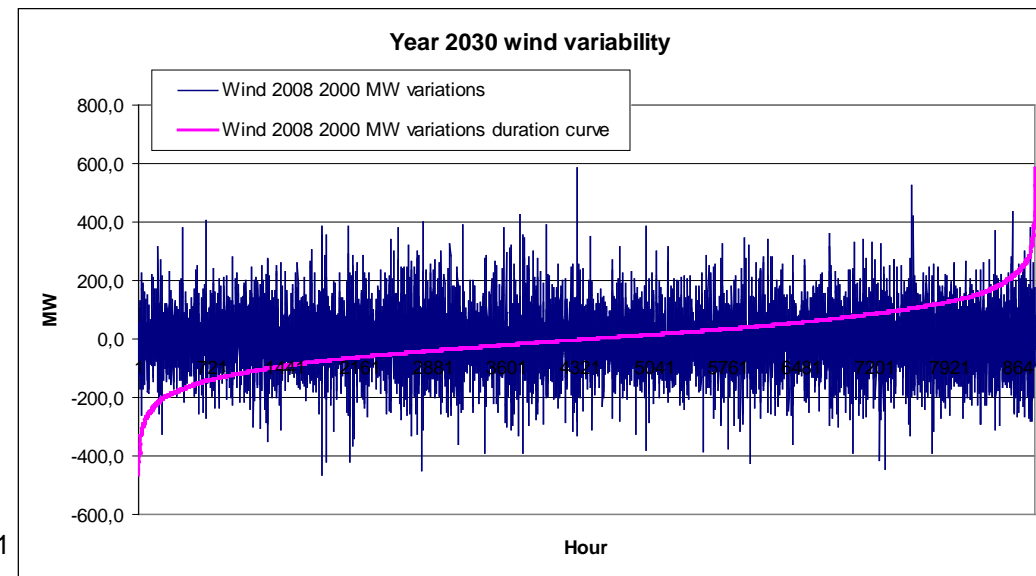
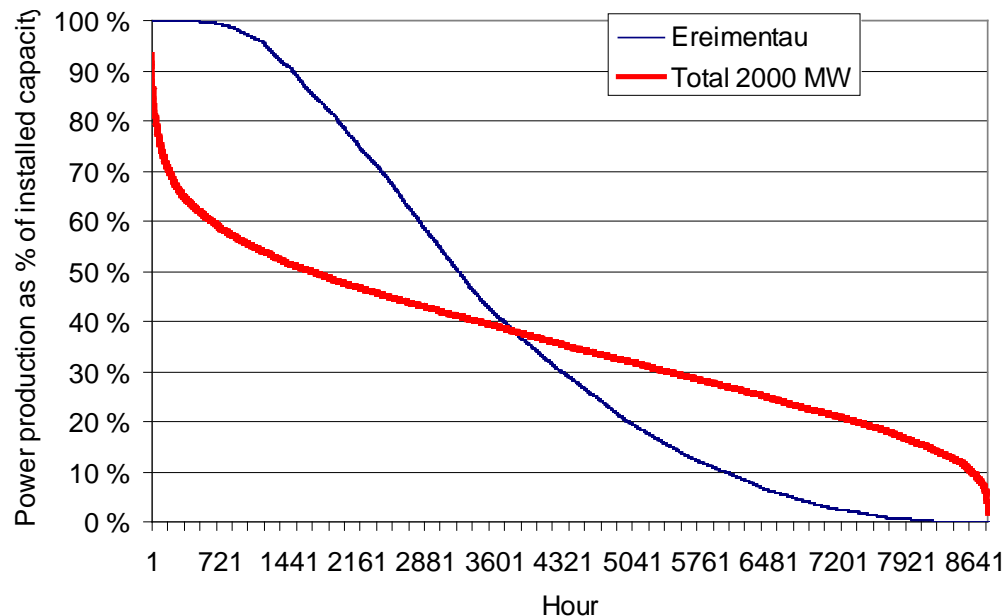
- ознакомиться с рекомендациями по гармонизации Сетевых Правил\*:
    - Какие пункты включить (напр. контроль напряжения, ...т.д.)
    - Как требования должны быть презентованы и какие параметры используются
  - Рекомендации по гармонизации Сетевых Правил не приводят конкретные значения параметров и не требуют того, чтобы правила включали в себя какие-либо особые черты
  - Чем больше внедрение ветровой энергии в энергосистему, тем более значительными становится требования к ветровой энергии – напр. поддержание непрерывности электроснабжения при нарушениях может быть необязательным требованием при небольшом внедрении, но обязательным на более позднем этапе
  - Важно установить надлежащие требования, но не очень строгие
    - Некоторые требования легче и дешевле выполнить для традиционных производств (напр. контроль активной мощности)
    - Некоторые требования легче выполнить ветроэлектростанциям, чем традиционным производствам (напр. контроль реактивной мощности )
    - Важно иметь ввиду требования системы и эффективность затрат при выполнении.
- Рекомендуется запрашивать модели ветротурбин и ветроферм у производителей, что может быть использовано в динамических расчетах для будущего пользования.

\*e.g. Generic Grid Code Format for Wind Power Plants. EWEA



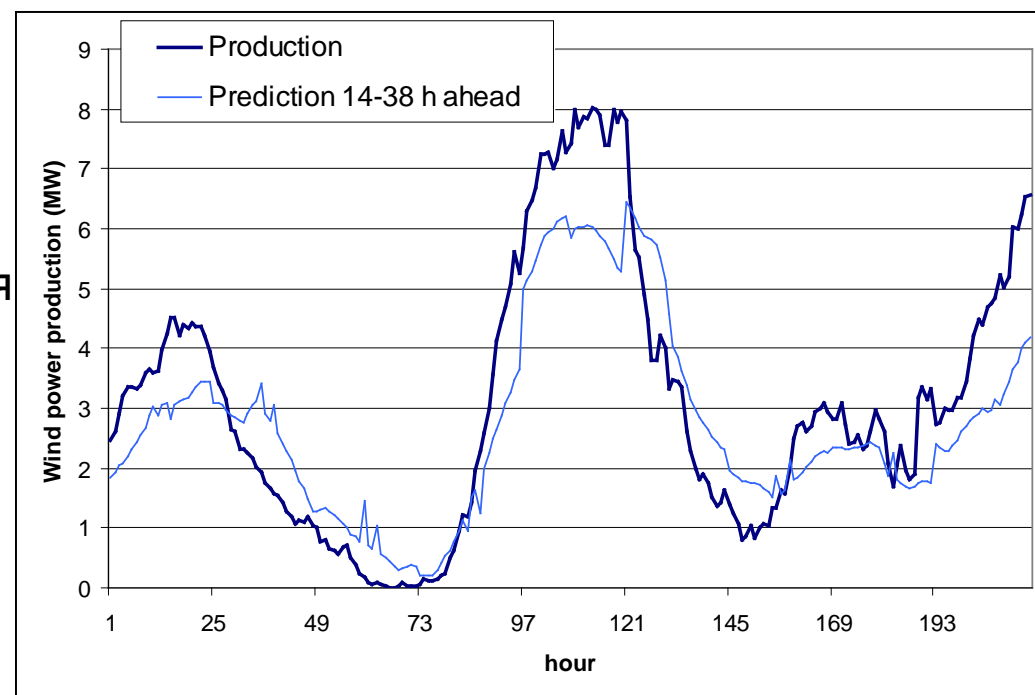
## Ветровая энергия и нестабильность нагрузки в Казахстане

- Общее производство ветровой энергии в основном составляет 10..80 % от установленной мощности
- Изменения ветровой энергии в основном составят 200 МВт ( 10 %), : максимум понижения - 540 МВт (23 %) и +690 МВт (29 %) повышения
- Изменения нагрузки составят 1000 МВт в течение 99.6 % времени



## Точность прогноза, предположения

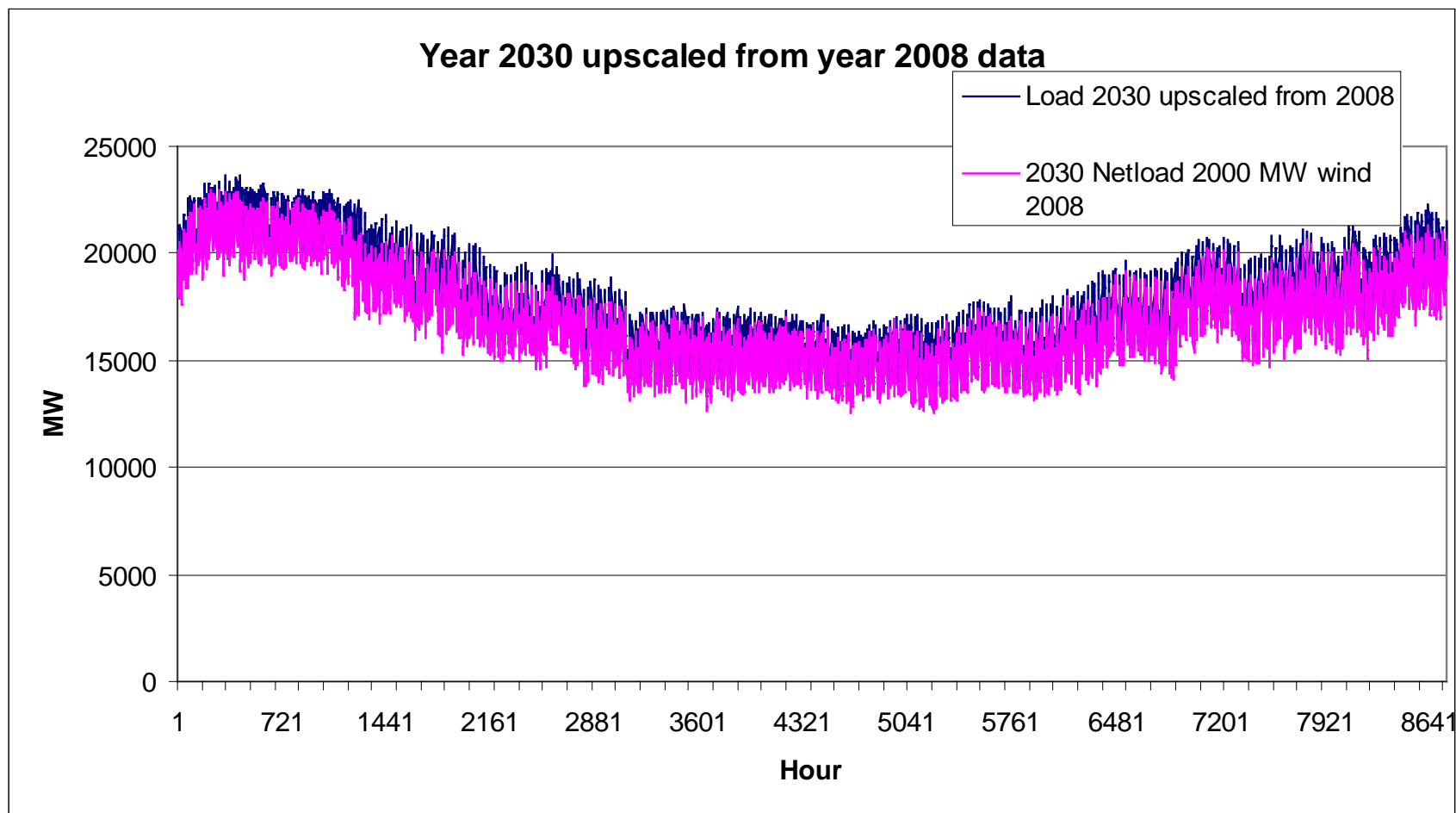
- Нет данных по прогнозу
  - региональные штормовые прогнозы не являются надежными данными о скорости ветра на объектах ветроэлектростанций
  - предположения Европейского опыта (при прогнозировании на день вперед):
    - 2015год - 9 % средняя абсолютная ошибка (вероятно, будут использоваться не очень продвинутые модели), в среднем дает ошибку в 22.5 МВт
    - 2030год: 6 % средняя ошибка, дает среднюю ошибку в 120 МВт
  - Ошибка по прогнозу нагрузки составляет 1.5 % от пиковой нагрузки (проверено и подтверждено данными KEGOC для отобранных дней)



## Влияние ветровой энергии на краткосрочное балансирование

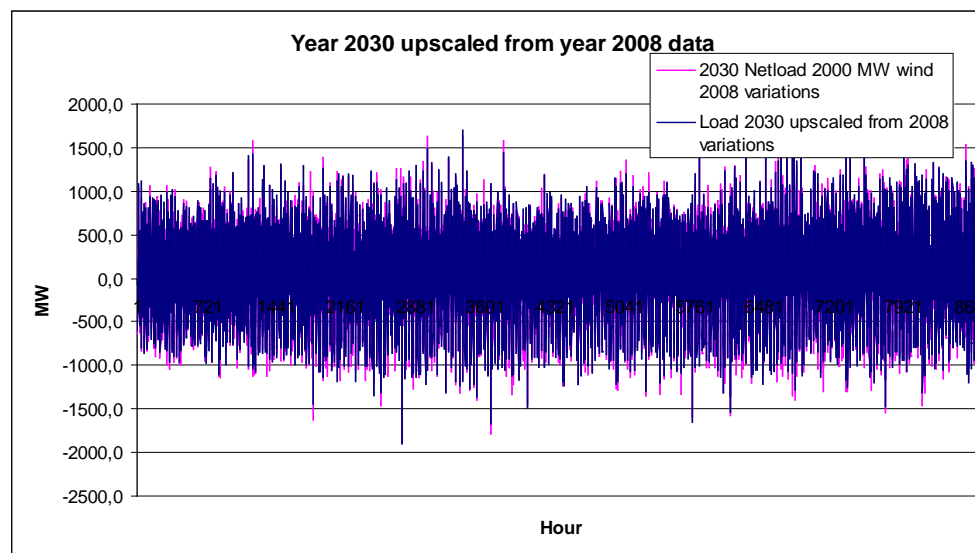
- Энергосистема управляет изменениями нагрузки, ошибками прогнозов нагрузки и выхода оборудования из эксплуатации → эксплуатационные, краткосрочные резервы
- Ветровая энергия не затрагивает резервы из-за нарушений/непредвиденных отклонений, за исключением случаев, когда ветроэлектростанция менее 500 МВт. соединена одной линией
- Ветровая энергия не оказывает значительное влияние на первичное регулирование частоты (автоматическое, первичное регулирование)
- Использование вторичного, последующего нормального резерва будет увеличено при интеграции ветровой энергии (активизируется через 5...30 минут)
- Изменения ветровой энергии и ошибки ее прогнозов будут наложены на изменения нагрузки и ошибки прогнозов → энергосистемы балансируют фактические несоответствия системы, не предназначены для балансирования отдельных электростанций

## Как изменится нагрузка при подключении ветровой энергии в 2000 МВт в Казахстане (чистая нагрузка = нагрузка – ветер)



## Влияние нестабильности ветровой энергии на краткосрочные резервы – результаты

- Объединение изменений по нагрузке и почасовых изменений ветра (пошаговые изменения), увеличение нестабильности системы
  - 2015: увеличение в резерве на 15 МВт
  - 2030: увеличение потребности в резерве на 79 МВт и 87 МВт на понижение и увеличение
- Это основано на расчете превышения уровня всех вариаций до и после внедрения ветровой энергии, покрыто 99.9 % вариаций.



## Влияние неопределенности ветровой энергии на краткосрочные резервы – результаты

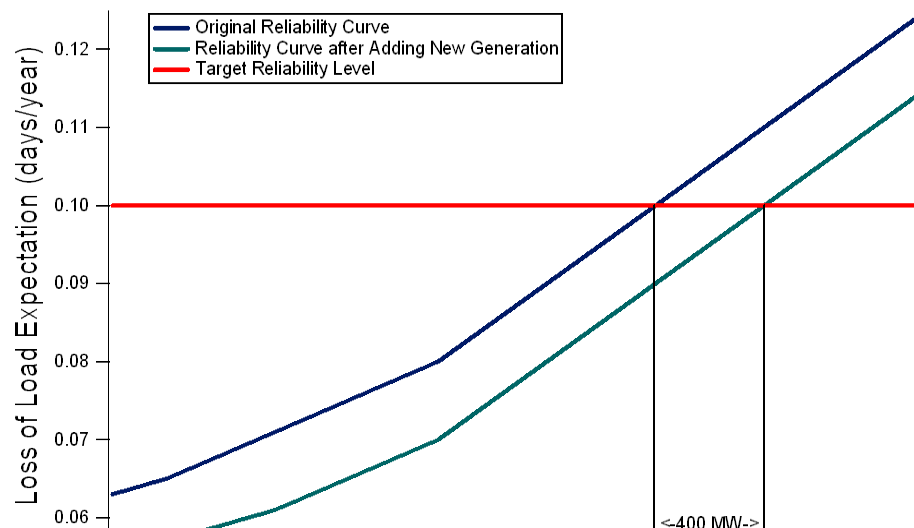
- Предполагая невзаимосвязанные ошибки (нагрузка и ветровая энергия), суммарная средняя ошибка прогноза нагрузки и ветровой энергии составит:
  - 2015: 238 МВт (по сравнению с 237 МВт без ветровой энергии)
  - 2030: 368 МВт (по сравнению с 348 МВт без ветровой энергии)
- Предполагая 4-х разовое покрытие средней ошибки большинства случаев, в результате приведет к увеличению резерва путем прибавления
  - 2015: 4 МВт
  - 2030: 80 МВт

## Оценочные затраты на интеграцию ветровой энергии

- 2015, 1 % внедрения ветровой энергии - не приводит к дополнительным интеграционным затратам
- 2030, 4 % внедрения ветровой энергии
  - увеличение выделения резервов: всего составит 160 МВт, предположительно будет покрыто существующими электростанциями энергосистемы
  - использование балансовой мощности сверх нормы: в среднем 45 МВт за 8760 часов в год, 0,4 ТВт/ч дополнительной балансирующей энергии . При стоимости балансирующей энергии от 5 до 10 €/МВт/ч это добавит от 0,3 to 0,6 €/МВт/ч к стоимости выработки ветровой энергии (общий объем производства 6,3 ТВт/ч).
  - усиление сетей в отношении Шелекской ветроэлектростанции (300 МВт): около 21.4 миллионов долларов США. Это окажет очень небольшое влияние на тариф в Казахстане. При средств навсю ветровую энергию, увеличение составит 3.6 \$/MWh в течение первого года эксплуатации. Данное усиление сетей можно избежать при использовании динамических показателей линий электропередач.

## Значение показателя мощности ветровой энергии – метод

- Значение показателя мощности рассчитывается путем оценки способности несения эффективной нагрузки (ELCC) ветровой энергии
  - Ускоренный вывод из эксплуатации генерирующих объектов был использовано для расчета вероятности простоя мощности для всех уровней нагрузки
  - вероятность внезапной потери нагрузки (LOLE) вычисляется с помощью временного ряда нагрузок, а затем временного ряда чистой нагрузки
  - Нагрузка была увеличена в случае внедрения ветровой энергии для достижения той же вероятности потери нагрузки → Это ELCC (способность несения эффективной нагрузки) и коэффициент мощности





## Показатель мощности ветровой энергии – результаты

- На основе данных 2008 года, по которым имеются и данные ветра и данные по нагрузке:
  - 34 % (85 МВт) для установленной мощности ветровой энергии 250 МВт в 2015 году
  - 31 % (620 МВт) для установленной мощности ветровой энергии 2000 МВт в 2030 году
- На основе данных 2007 и 2009 годов (не полностью синхронизированных данных по ветру и нагрузке) - даже более высокие результаты
- Эти значения находятся почти на уровне средней производительности ветровой энергии в течение целого года (36 %)
- В течение часов ежегодной пиковой нагрузки , коэффициент использования мощности ветровой энергии составлял 72,5%, 65,3% и 62,2% соответственно в 2007, 2008 и 2009 годах (на основе 250 МВт ветровой энергии в 2015 г.).
- Значение ELCC и проверка ежегодной пиковой нагрузки в течение 3 лет подтверждают наличие значительной величины показателя мощности ветровой энергии, установленной в Казахстане, но рекомендуется более точный расчет на основе данных минимум за 5 лет.

## Заключения

- 2000 МВт в 2030г. будет представлять низкий уровень интеграции (около 1 % от валового потребления электроэнергии) и при достаточно сильной энергосистеме не ожидается каких-либо крупных проблем в отношении интеграции ветровой энергии
  - Требуется балансирующая энергия, и затраты будут скромными
  - Усиление энергосети не требуется, но возможно потребуется для одной ветроэлектростанции, потери сети возможно будут сокращены.
  - Показатель мощности ветровой энергии в энергосистеме будет составлять 30 % установленной мощности
- В Казахстане должен быть разработан и принят прогноз по выработке ветровой энергии.
- При строительстве ветроэлектростанций мощностью 500...1000 МВт будет полезно провести подробное исследование интеграции ветровой энергии
  - Требуются более полные данные, а также моделирование диспетчеризации

## Рекомендации

- Он-лайн данные и прогнозы для диспетчерского центра KEGOC
- Необходима разработка методов прогноза для ветровой энергии в Казахстане, начиная с 2015 года, если не раньше. Прогнозы должны использоваться за день вперед:
  - во время ветреных дней для сокращения другой генерации энергии
  - во время безветренных дней для использования традиционной генерации
- Развитие электрического и балансирующего рынка в Казахстане для обеспечения всех вариантов маневрирования в будущем
- Требования Сетевых правил, относящихся к бесперебойной работе и сбоям должны быть разработаны до 2020г.
  - Рекомендуется запрашивать модели ветротурбин и ветроферм у производителей, что может быть использовано в динамических расчетах для будущего пользования



**VTT создает бизнес  
благодаря технологии**

## Тренинг персонала диспетчерского центра

- Следовать направлениям в он-лайн уровнях производства ветровой энергии
- Следовать прогнозам и обновлениям прогнозов
  - Дни с высокой скоростью ветра – более критичны
  - Штормовые ситуации – при прогнозе скорости ветра  $> 20$  м/с, могут привести к поломке турбин
- Распределение резервов, решения по балансированию
- Управление узкими местами системы, которые влияют на ветровую энергию (Шелек), т.д. Использование динамических показателей линии при специфических погодных условиях для проверки возможности превышения ограничений по передаче в безопасных нормах