



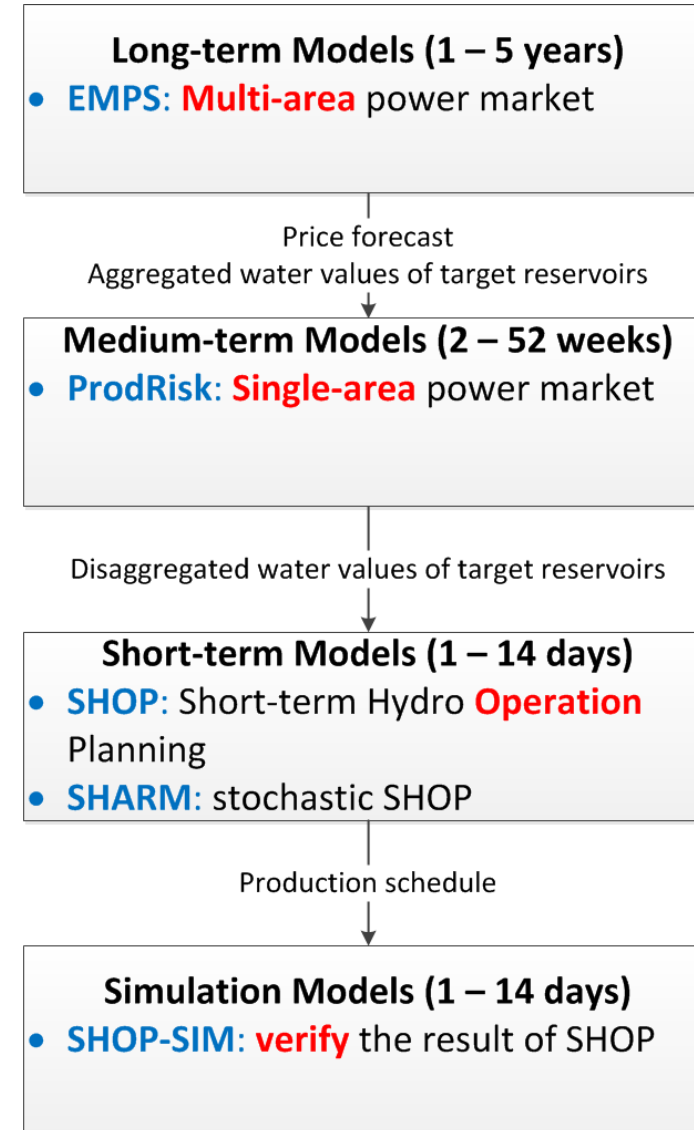
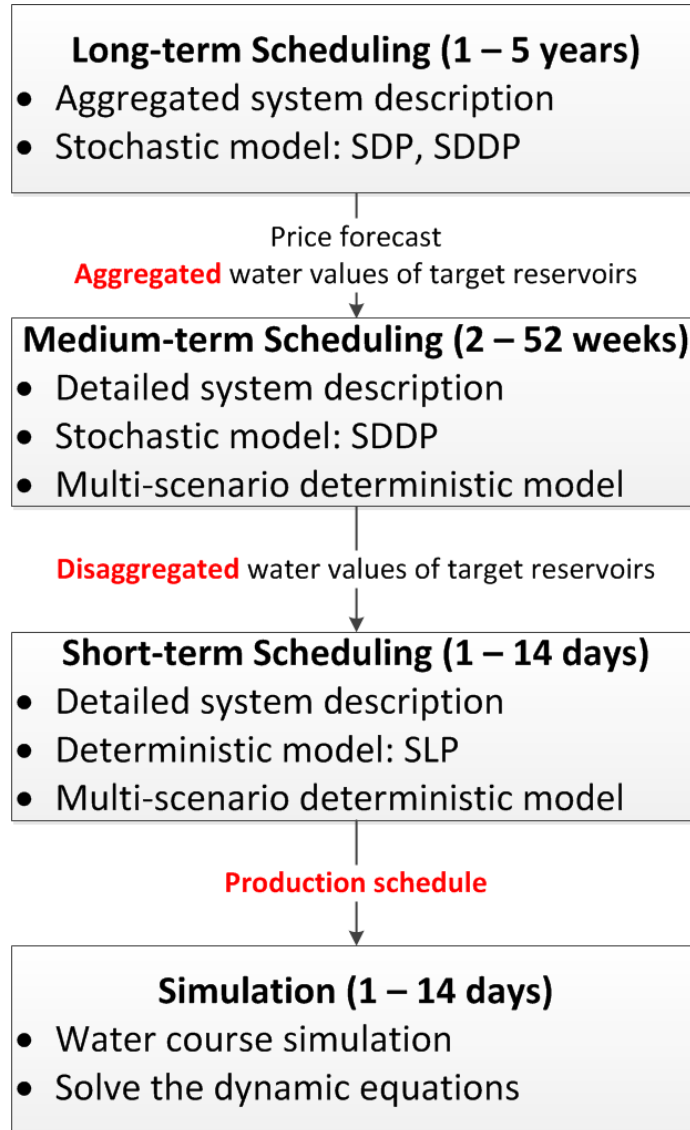
# THE ROLE OF AI IN HYDROPOWER OPTIMIZATION

Hans Ivar Skjelbred

SINTEF Energy Research

Hydropower Summit, Trondheim, 06.02.2020

# Overview of hydropower scheduling process



# SHOP user map

---

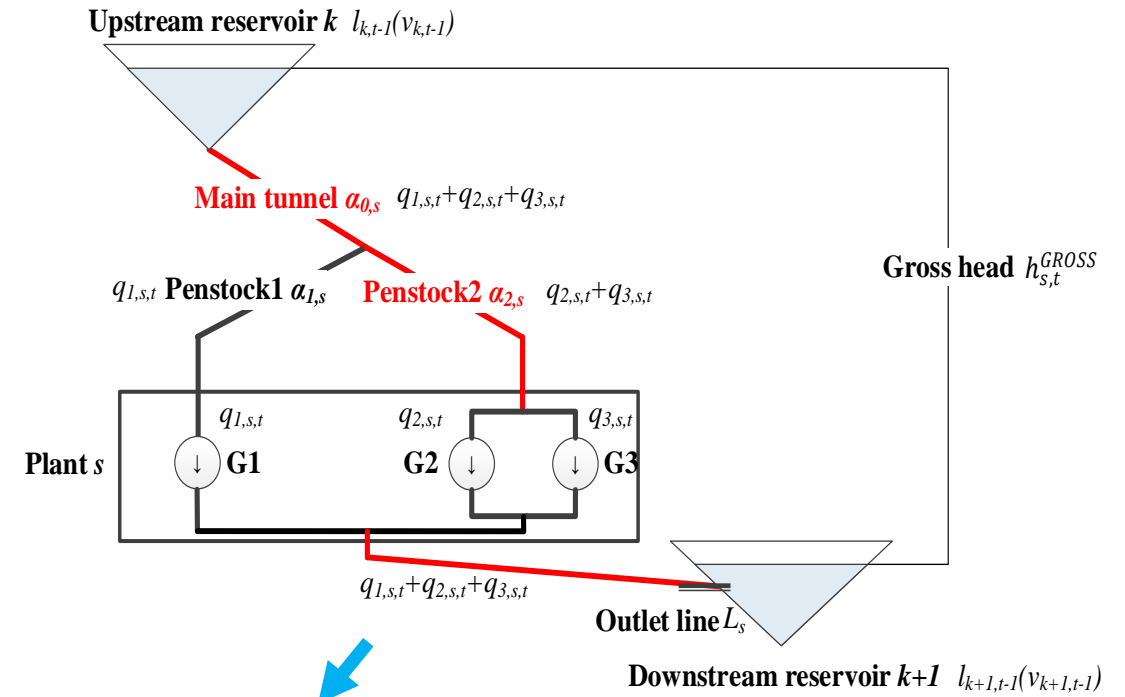
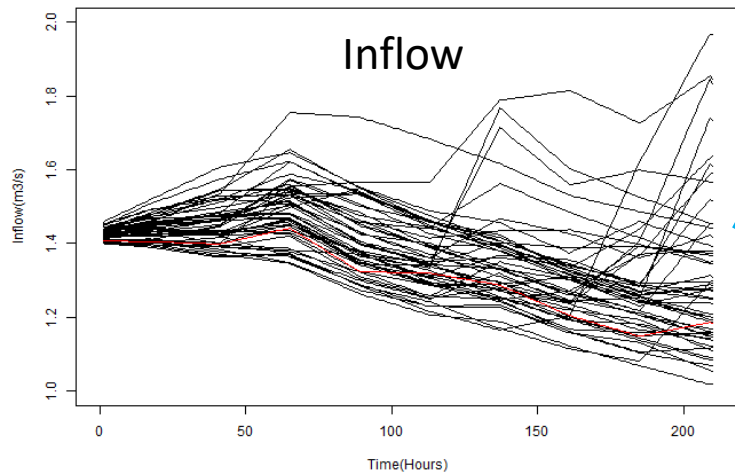
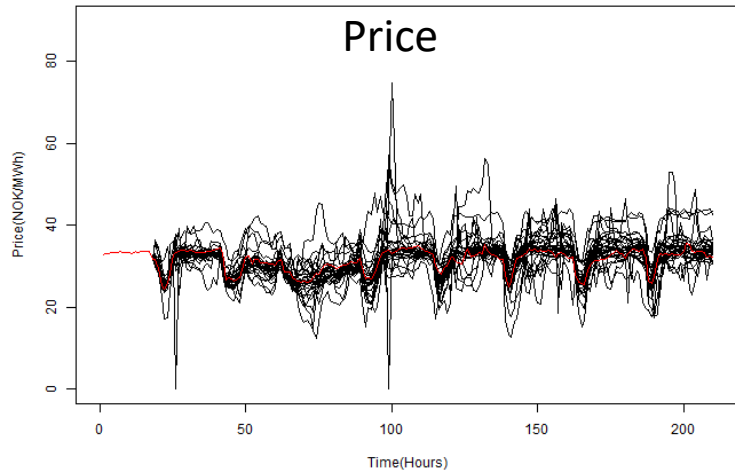


# Short-term Model: SHOP

---

- The objective function of the program is to optimize use of the available resources:
  - maximize the profit within the period of consideration by exploiting the options of buying and selling in the markets
  - Include start/stop cost of units and end value of reservoirs
- Constraints
  - Storage limits of the reservoir and operational limits of controllable spillage
  - Head optimization and flow-related head losses
  - Needle combinations (pelton) and forbidden operating zones
  - Non-convex production function
  - Coupling to long-term/mid-term strategy
  - Environmental constraints (ramping, minimum discharge)
  - Physical flow relationships (time delay, pressurized tunnel systems, hydraulic short circuit)
  - Market-specific delivery constraints (symmetry, buffer capacity, droop, min delivery, rotating requirements, etc)

# Use of SHOP



SHOP:  
Optimal production schedule for next day

Strategy from long-term model

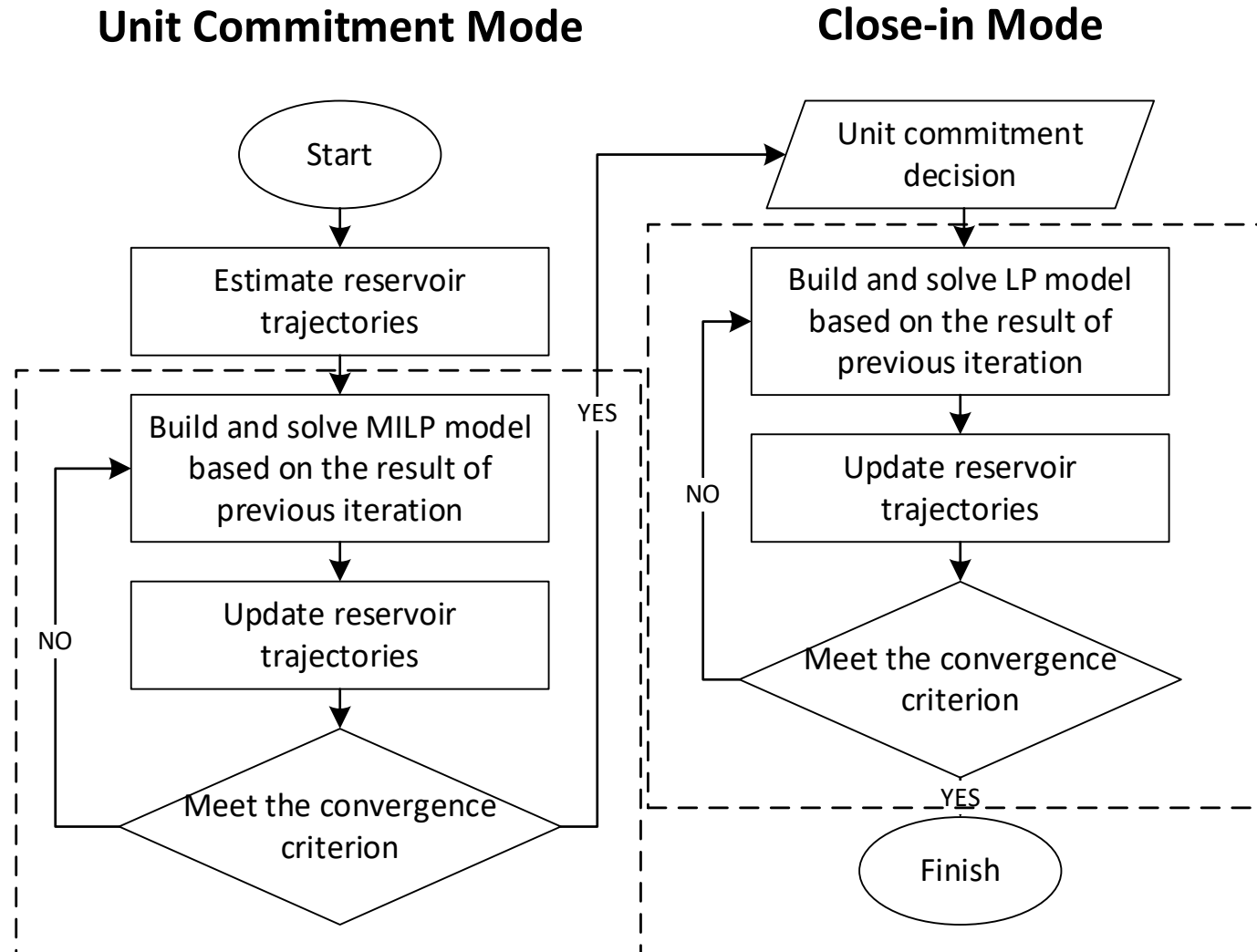
Cost-effective energy

Flood control

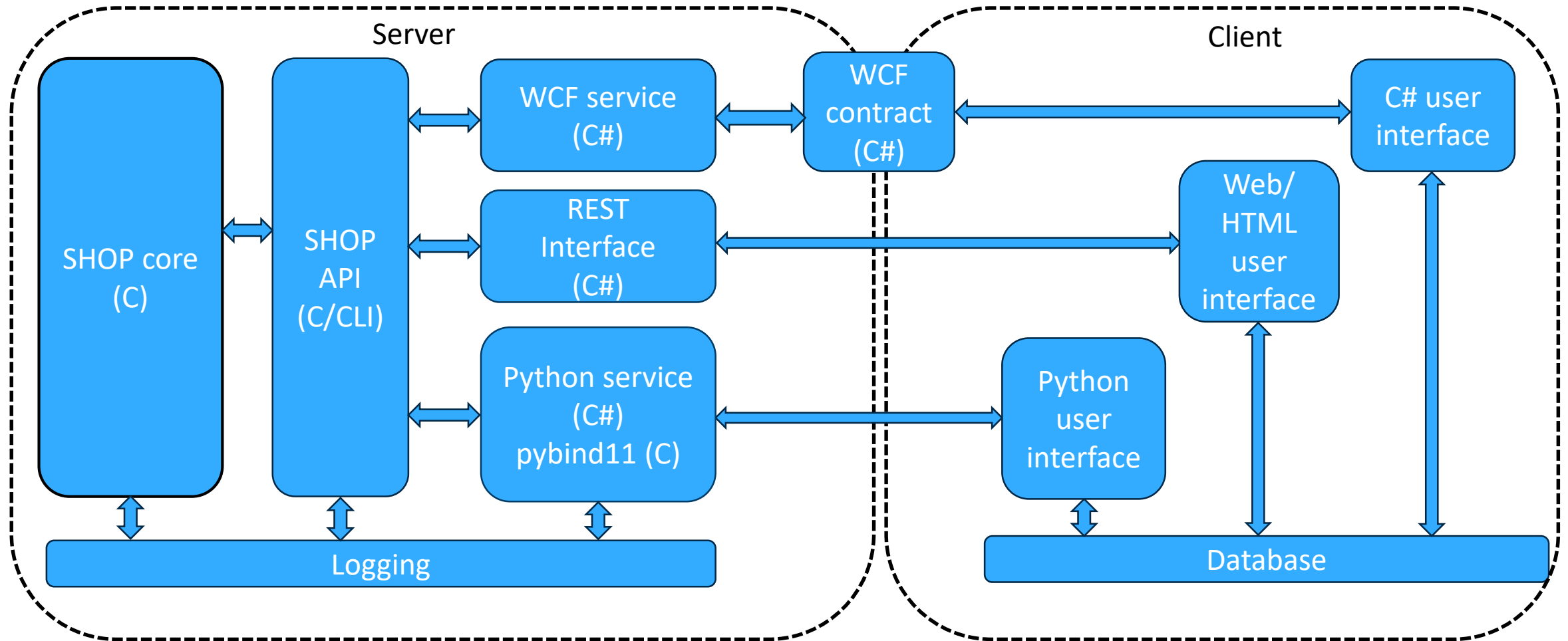
Fulfil environmental restrictions

Balance other renewables

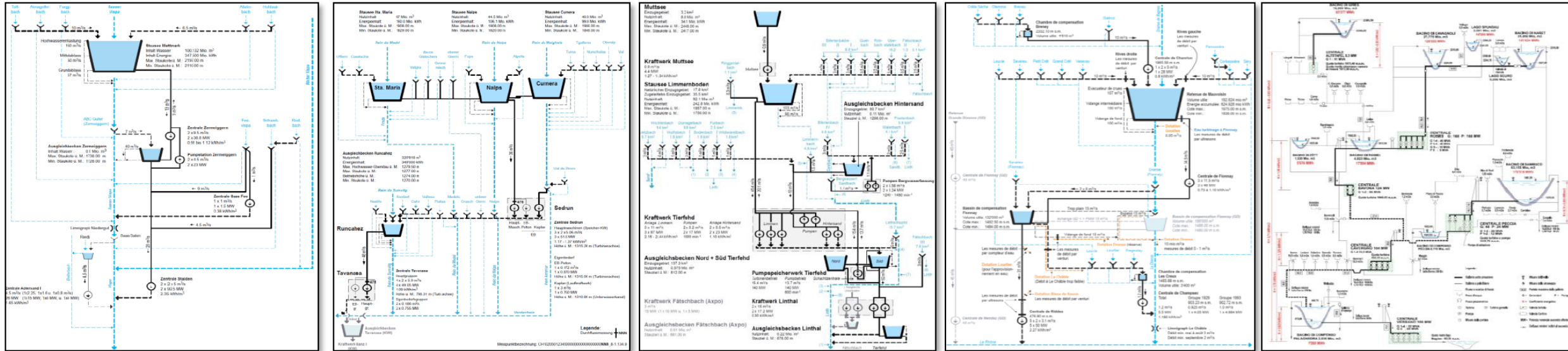
# Optimization methodology



# Integration

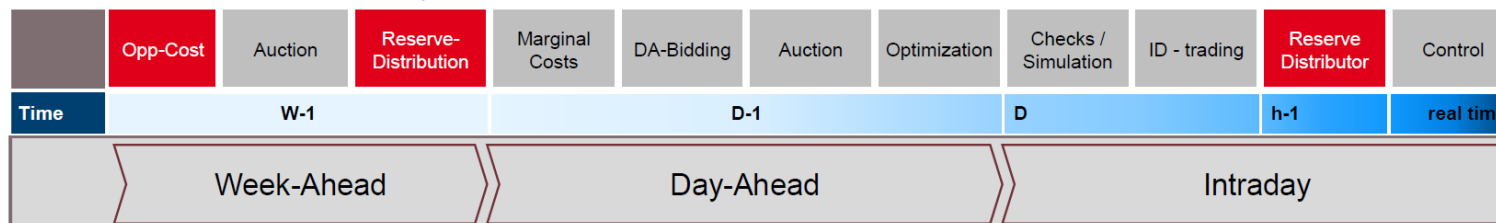


# Use case example: Axpo (Switzerland)



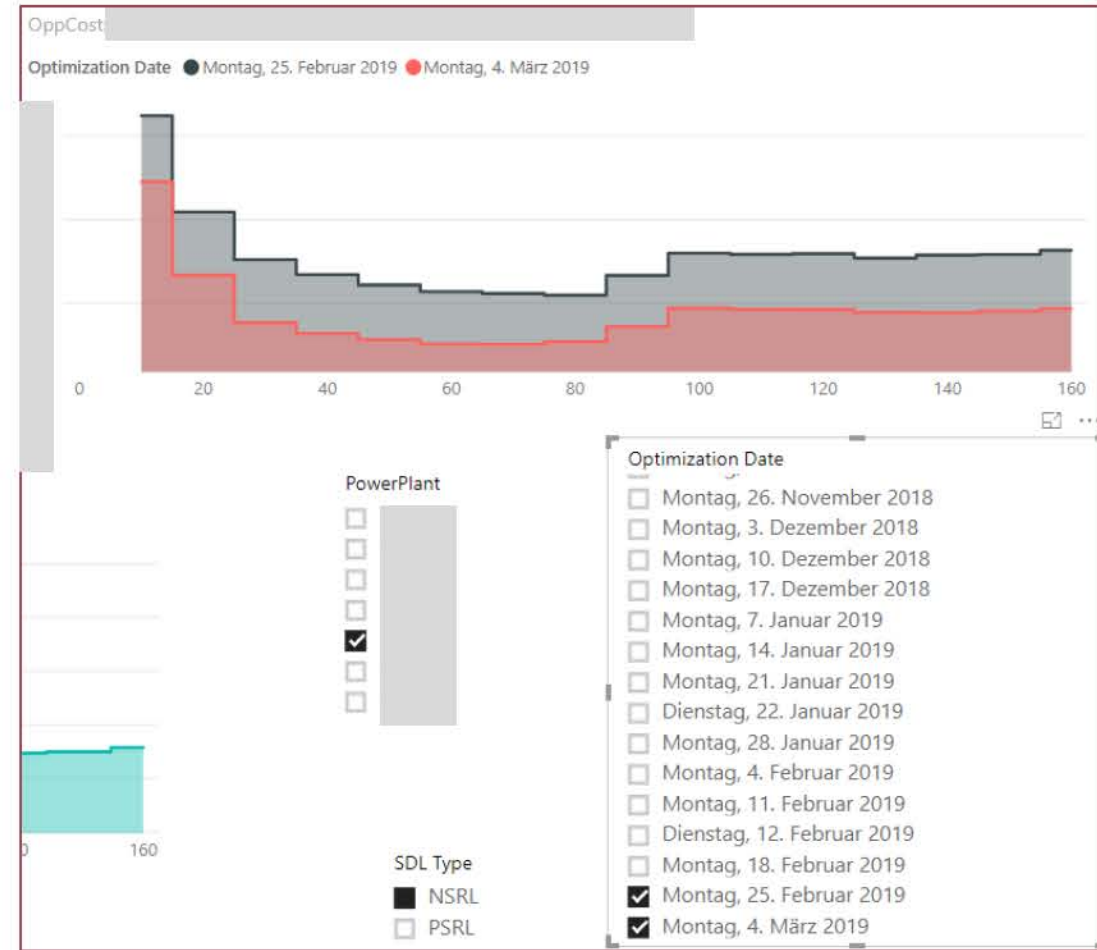
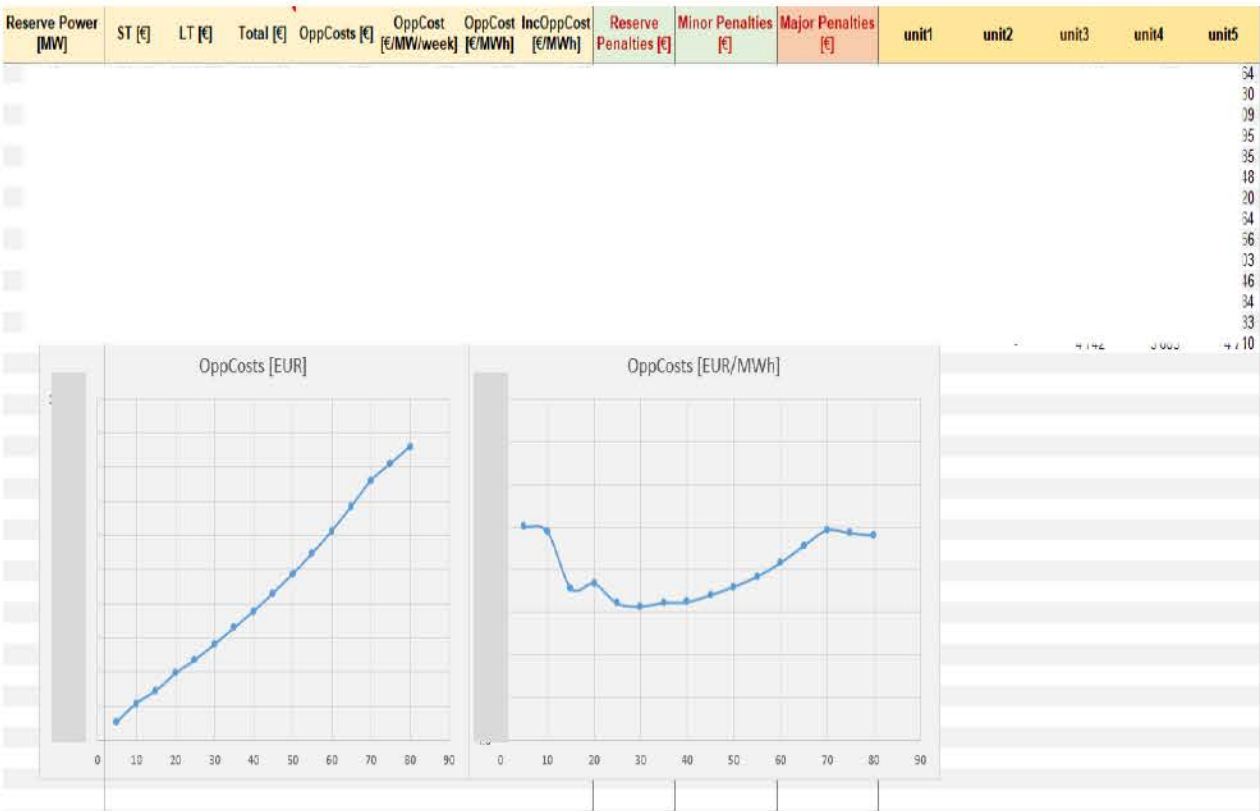
Long-term optimization(s)

Long-term & Short-term



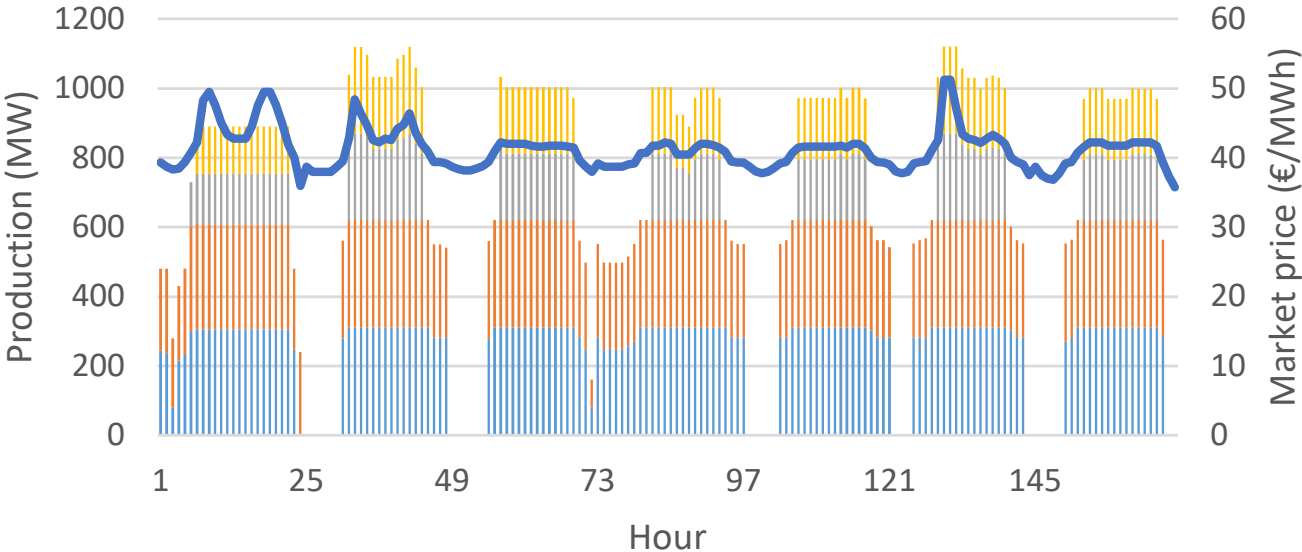


# Pricing of secondary reserve (FRR-UP)

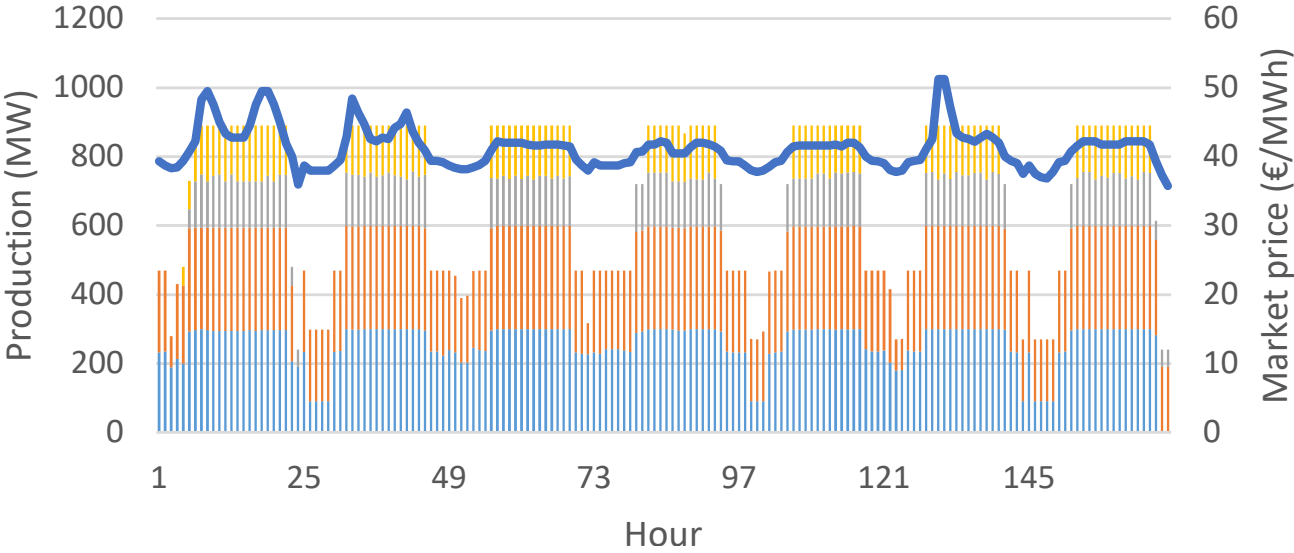


# Scheduling with reserve obligations

### Production scheduling without reserve obligations

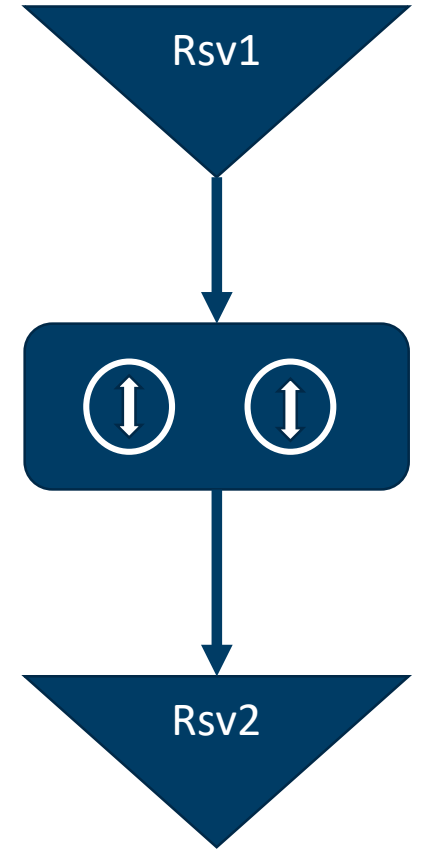
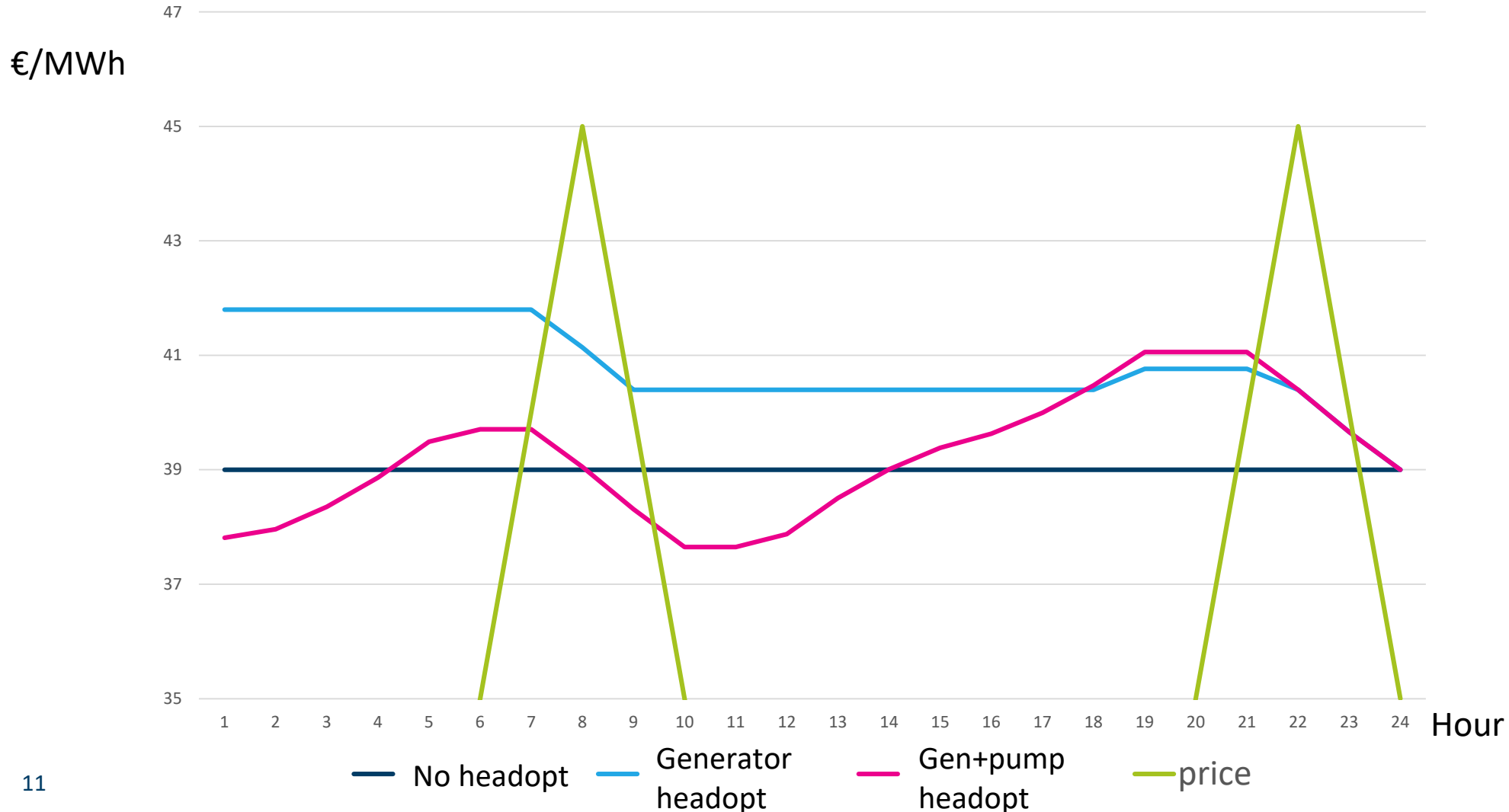


### Production scheduling with reserve obligations




# Head optimization

$$p = q \cdot g \cdot h \cdot \eta$$



# GPU-accelerated simulation-based optimization

 = 1 GPU core

## Heuristic search (SINTEF Digital)

- Scatter search
- Gradient descent

## SHOP-SIM (SINTEF Energi)

### Schedule 1



### Schedule 2



### Schedule 3



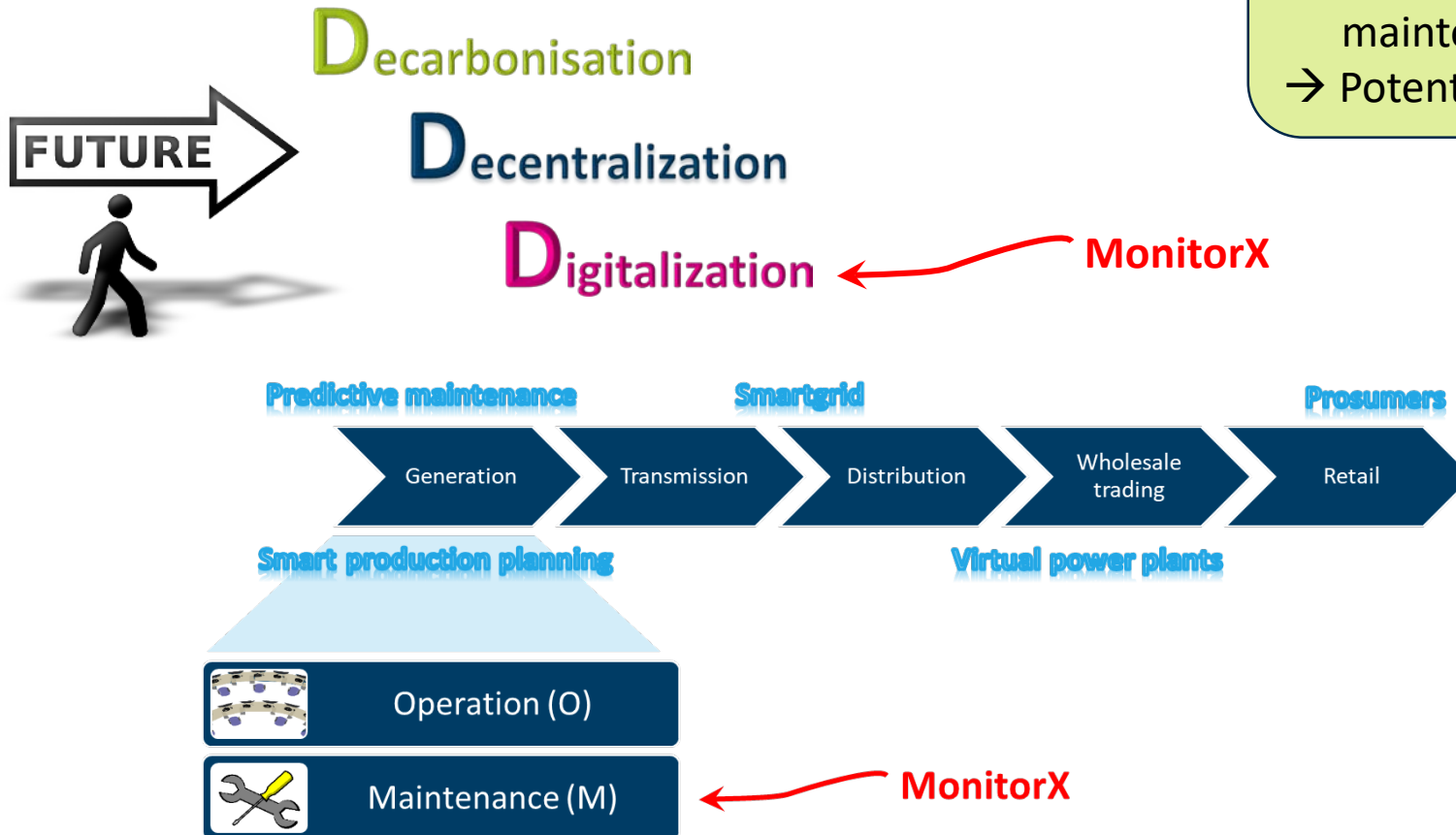
### Schedule Y



# Overview of AI applications

AI Methods Compared	Objectives	Input
-Multiple Linear Regression -Neural Networks	Rainfall estimation	Rainfall
-Auto Regressive Moving Average -Artificial Neural Networks -Adaptive Neural-based Fuzzy Inference System -Genetic programming -Support Vector Machine	Discharge time series	River flow discharging
-Neural Networks -Support Vector Regressions -Multiple Linear Regressions	Streamflow forecasting	Weather and climate inputs
-Artificial Neural Networks -Fuzzy clustering	Streamflow forecasting	Streamflow time series
-Artificial Neural Networks -Support Vector Machine	Streamflow forecasting	Streamflow data

# MonitorX - Background



- Measurements/data available already today  
→ Potential data sources for different purposes
- Today these data are not much used for maintenance decisions  
→ Potentially large benefit when using these data

**MonitorX - Optimal levetidsutnyttelse av vannkraftanlegg basert på overvåking av teknisk tilstand og risiko**

**DEL 1: Innvarsjonen**

**I. Overordnet idé**  
MonitorX-prosjektet er basert på ideen om et bedre utnyttelse av kontinuerlige målinger og data fra vann- og kontrollanlegg gjennom avanserte systemer for tilstandsovervåking i kombinasjon med klassiske metoder for vedlikeholds- og renevestingsanalyse for optimal levetidsutnyttelse til komponenter i vannkraftanlegg.

Der gjøres i dag mange kontinuerlige målinger på utstyr i vannkraftanlegg. I tillegg registreres ulike typer driftdata fra vann- og kontrollanlegg (SCADA). Denne informasjonen er smiddelett å lenge grad bruk til å ta beslutninger om vedlikeholds- og renevestingsopptak. Ved å utnytte disse dataene har kraftbrikkerne et stort potensiale for bedre levetidsutnyttelse av vannkraftutstyr. Det finnes i dag ulike algoritmer og systemer for avansert tilstandsovervåking basert på maskinlæring og kunng særlig. Forutsetning for disse systemene er å opplyste trenede i den tekniske degenstasjonen og slik overvåke teknisk tilstand og gi en alarm når tilstanden endres forverres. Målingene for videre bruk av disse dataene til å estimere restlevetid og viktighetsnivået til komponentene og ta beslutninger om vedlikehold og renevesting er smiddelett å lenge grad benyttes.

Det foretatte prosjektet skal lage en ny modell (MonitorX) for å kunne utnytte kontinuerlige målinger og data fra kontrollanlegg gjennom å ta i bruk og videreutvikle systemer for avansert tilstandsovervåking i vannkraftanlegg. Disse systemene skal integreres med kvaliteter og verktøy for risiko- og vedlikeholdsanalyse utviklet av SINTEF Energi i tidligere FOL-prosjektet. Med dette kan kraftbrikker og utstyrsleverandere oppnå optimal levetidsutnyttelse til komponenter i vannkraftanlegg fordi MonitorX gir et bedre og mer differensiert grunnlag for prioritering av vedlikeholds- og renevestingsopptak enn nå de ulike modellene og systemene brukes separat.

Prosjektet skal også lage en programvarestruktur for å kunne teste ut MonitorX-modellen i vannkraftanlegg til delaktende kraftbrikker. Dette vil gi delaktene mulighet til en forutsetning rettet mot et prosjektresultat allerede i prosjektperioden. Dermed kan også styreendene i prosjektet i form av kommanderetelesjoner gjennom forberede tilstand- og risikoovervåking og optimal levetidsutnyttelse tas ut så tidlig som mulig.

**Modellbeskrivelse**  
MonitorX-modellen består av tre modeller: en modell for tilstandsovervåking, en for risikoovervåking og en for analyse av levetidsparametere og tilstand (se figur 1). Modellen for tilstandsovervåking (M1) inkluderer ulike modeller for estimering av restlevetid og overvåking av tilstand (nivå) og tilstandsovervåking. I tillegg inkluderer denne modellen tilstandsovervåkingssystemer som gir en alarm (evnt. varsling) når en eller en kombinasjon av flere indikatorer indikerer en usnormal status. Ulike type modeller kan brukes i tilstandsovervåkingssystemet, som f.eks. stokastiske modeller, fysiske modeller, ekspertsystemer eller avanserte tilstandsovervåkingssystemer basert på maskinlæring og kunng særlig.

**F**ølgende prosjektet er 174121. Følgende vedlikeholdsmen for prosjektet, se 01473. System for tilstand- og risikoovervåking, del 1 for prosjektet, prosjektet 01473, og Prosjektet 01473 for vedlikehold- og renevestingsopptak, FOLAM.

**S**ilde, T.M. Wang, E. O. "Tilstandsovervåking og renevesting med fokus på optimalisering av restlevetid." *Advances in Science Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 79-87.

Optimal levetidsutnyttelse av vannkraftanlegg basert på overvåking av teknisk tilstand og risiko (MonitorX) side 1/10

**Forskningsrådet**

**MonitorX** 2015-2019 Optimal utilization of hydropower asset lifetime by monitoring of technical condition and risk (Optimal levetidsutnyttelse av vannkraftanlegg basert på overvåking av teknisk tilstand og risiko)

# MonitorX - Aims

internet of things  
machine learning  
internet of services  
big data  
cyber-physical systems  
industry 4.0  
data mining  
predictive maintenance

## Results

- Model and algorithms for fault detection (and optimal lifetime utilization)
- Demonstrate practical application in selected power plants (cases)

## Benefits

- Reduced maintenance costs by ... :
  - ... avoiding (catastrophic) faults ...
  - ... avoiding unnecessary component replacements ...
  - ... prioritizing the most critical components for maintenance ...
  - ... optimized maintenance ...
- ... through early warnings of ageing and potential faults.

## Knowledge gain

- How can operators utilize the mentioned **concepts and methods** for plant maintenance?
- What are possibilities, challenges & restrictions?
- How can monitoring data be used to carry out maintenance more predictive?

Testing through cases is important part of the project

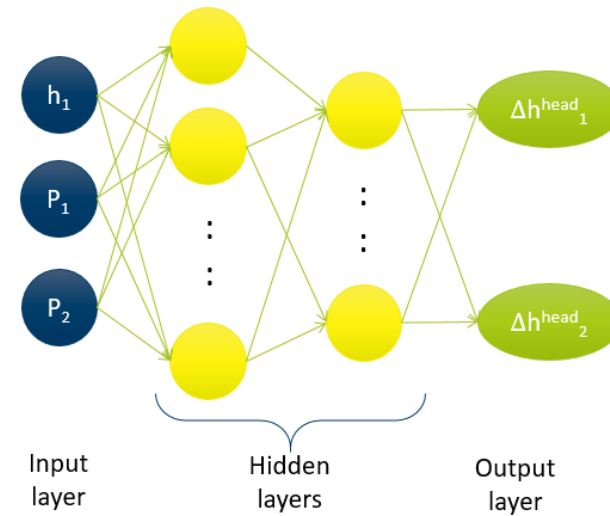
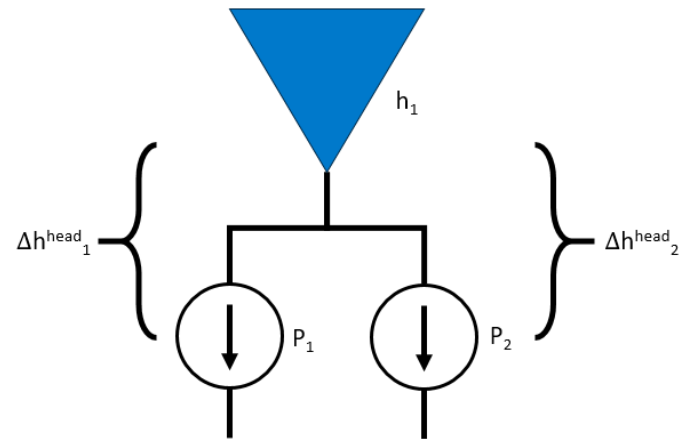
Problem/case identification and description

Modelling & algorithm and prototype development

Testing / demonstration

# Modeling of hydropower plants

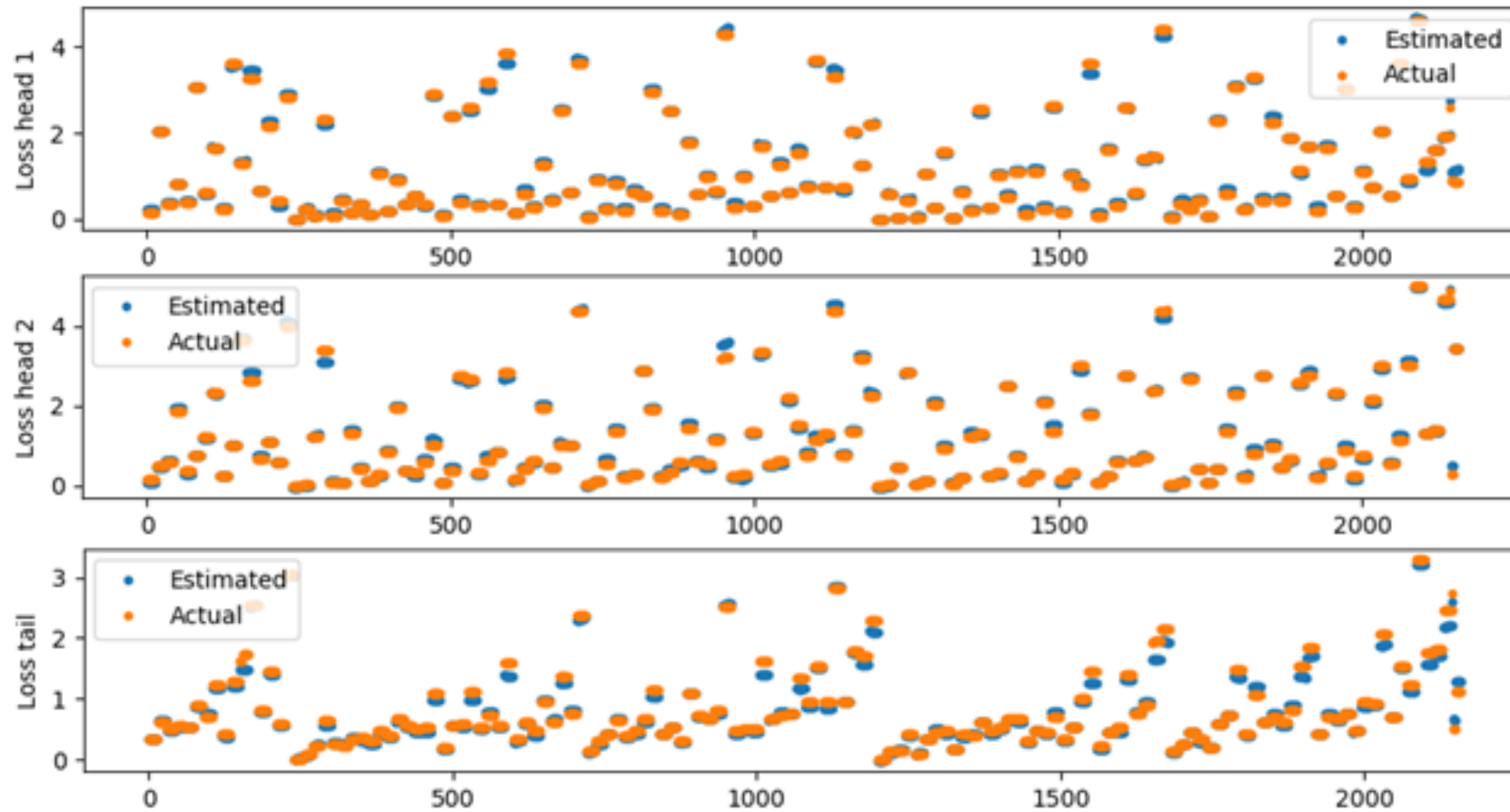
---



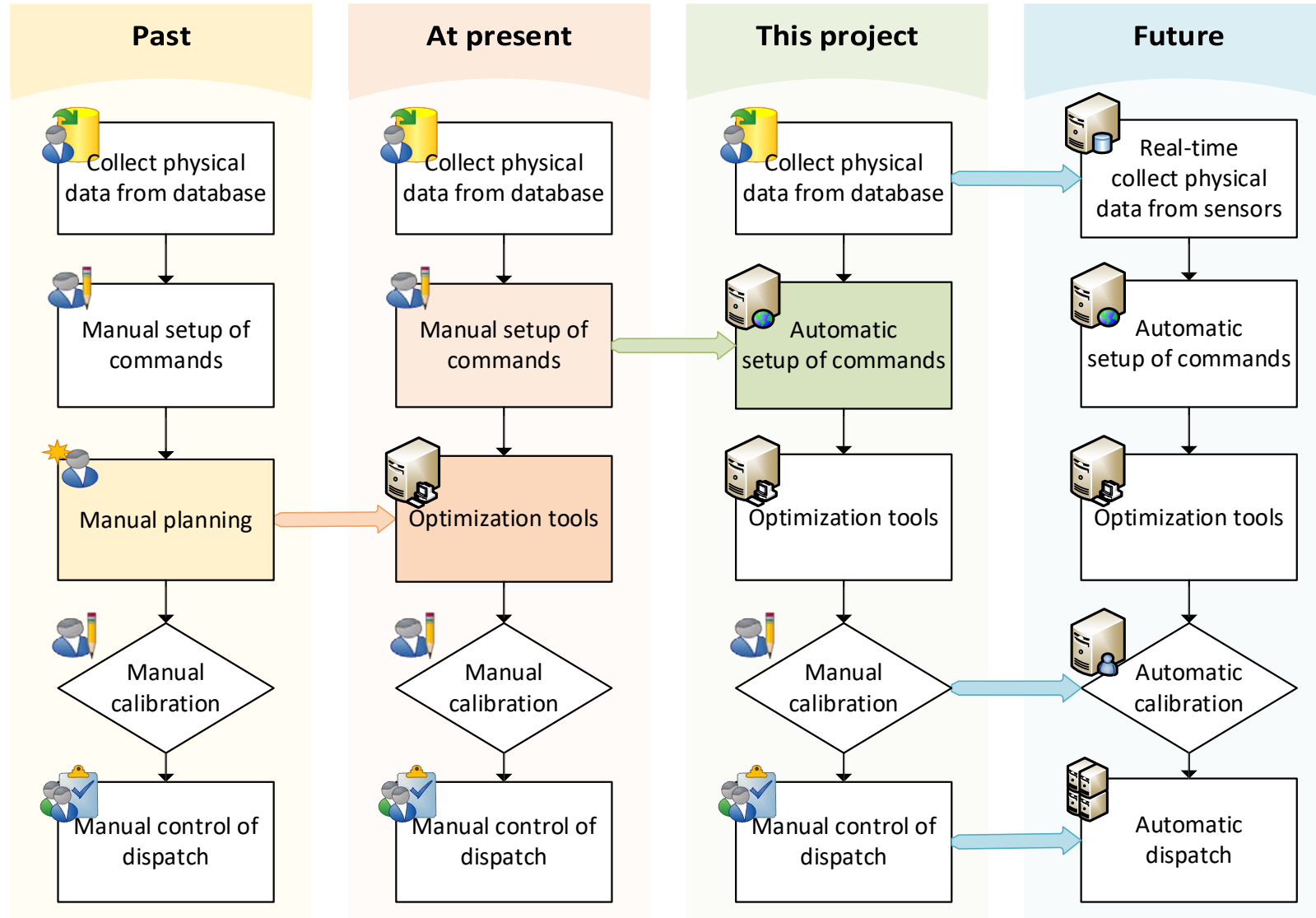


# Estimation quality

---



# iScheduling – context based optimization





Teknologi for et bedre samfunn