

Potential for upgrading and extension of HPP with environmental upgrades - PotOUt

SVC, 18.03.25

Prof. Leif Lia, NTNU



Background for the upgrading potential in Norway

34 000 MW / 138 TWh installed

> 1600 power plants

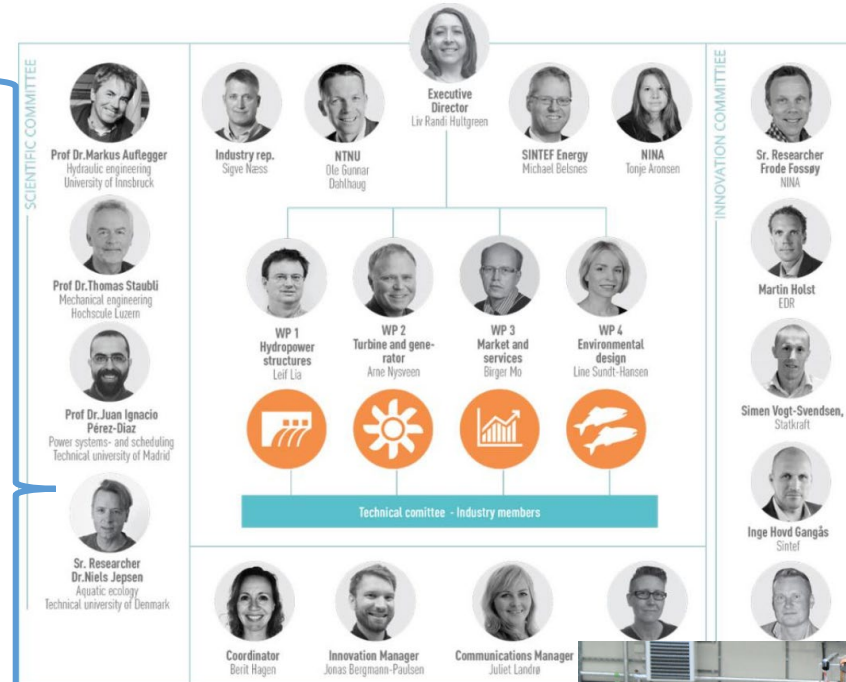
> 80 TWh in reservoir capacity

Connections to SE, DK, FI, DE, UK and NL



Multidisciplinary project in HydroCen

- **Ingrid Vilberg**, Ana Adeva-Bustos, Atle Harby and Michael Belsnes, Sintef Energy
- Leif Lia and Ole Gunnar Dahlhaug, NTNU
- Torbjørn Forseth, Tonje Aronsen, Marie-Pierre Gosselin, Line Sundt-Hansen, NINA
- Carl Andreas Veie, Norw. Water and Energy Dir. - NVE



Professor Leif Lia på Vassdragslaboratoriet opererer med et O/U-potensial på 15-20 TWh.

Professor Ole Gunnar Dahlhaug



Seniorforsker Atle Harby.

Stiller seg undrende
Professor Leif Lia ved Institutt for bygg- og miljøteknikk ved NTNU stiller seg undrende til NVES tall.

I mai i 2019 ble han intervjuet av Dagens Næringsliv og flere andre medier om potensialet for opprustning og utvidelser av eksisterende kraftverk. Lia anslå dette da til å ligge på 20-25 TWh.

Stiller seg undrende
Professor Leif Lia ved Institutt for bygg- og miljøteknikk ved NTNU stiller seg undrende til NVES tall.

I mai i 2019 ble han intervjuet av Dagens Næringsliv og flere andre medier om potensialet for opprustning og utvidelser av eksisterende kraftverk. Lia anslå dette da til å ligge på 20-25 TWh.

Stiller seg undrende
Professor Leif Lia ved Institutt for bygg- og miljøteknikk ved NTNU stiller seg undrende til NVES tall.

I mai i 2019 ble han intervjuet av Dagens Næringsliv og flere andre medier om potensialet for opprustning og utvidelser av eksisterende kraftverk. Lia anslå dette da til å ligge på 20-25 TWh.

Stiller seg undrende
Professor Leif Lia ved Institutt for bygg- og miljøteknikk ved NTNU stiller seg undrende til NVES tall.

I mai i 2019 ble han intervjuet av Dagens Næringsliv og flere andre medier om potensialet for opprustning og utvidelser av eksisterende kraftverk. Lia anslå dette da til å ligge på 20-25 TWh.

Stiller seg undrende
Professor Leif Lia ved Institutt for bygg- og miljøteknikk ved NTNU stiller seg undrende til NVES tall.

I mai i 2019 ble han intervjuet av Dagens Næringsliv og flere andre medier om potensialet for opprustning og utvidelser av eksisterende kraftverk. Lia anslå dette da til å ligge på 20-25 TWh.

Stiller seg undrende
Professor Leif Lia ved Institutt for bygg- og miljøteknikk ved NTNU stiller seg undrende til NVES tall.

I mai i 2019 ble han intervjuet av Dagens Næringsliv og flere andre medier om potensialet for opprustning og utvidelser av eksisterende kraftverk. Lia anslå dette da til å ligge på 20-25 TWh.

Det utløste debatten NVE henviser til, der han fikk kraftig motstand for ikke å ha tatt nok hensyn i sine beregninger.

Lia påpekte at hun har forklart at miljøet som avgjør utløst ut fra O/U-tillatelsen.

Dette går også inn i rapporten han laget i 2015 sammen med professorkollega Arne Rind, og som anslaget på at byggingen på 100 år vil koste 100 millioner kroner.

Formykningsprosjektet som ble startet i 2015, er et samarbeid mellom NVE og Statens vegvesen. Prosjektet skal undersøke om det er mulig å bygge nye veier på eksisterende jernbanelinjer.

Studien viser at produksjonssum økte med 23 prosent i prosjektene, i de enkelte kjerne varierte økningen fra 60 prosent. (Jfr. Energiteknikk 4/2020).

Potensial på 15-20 TWh
— De siste sju årene er det blitt gjennomført flere utvidelsesprosjekter, foruten at noen pågår. Når vi i tillegg tar hensyn til strengere konsesjonsvilkår, vil jeg i dag anslå at utvidelsespoten-

– Hvorfor er det så stort gap mellom anslagene fra dere og myndighetene?

– NVE har tidligere basert sine tall på innrapporterte prosjekt, pluss noen flere vurderinger etter hvert, og i tillegg har vi

... få mye n
... bedre n



Mulig å ta miljøhensyn
– NVEs anslag

mer var
miljø

nkraft

...strøling for lavt. En rig og

[illegible]

gik der en anden
 Alene en langstrakt
 sølvgrå smykke af
 i en lille sølvgrå
 i en lille sølvgrå
 i en lille sølvgrå

Downscaled to **15 – 20 TWh** per 2021

3,2 TWh is based on announced
upgrading projects

4,4 TWh coming from upgrading of turbines



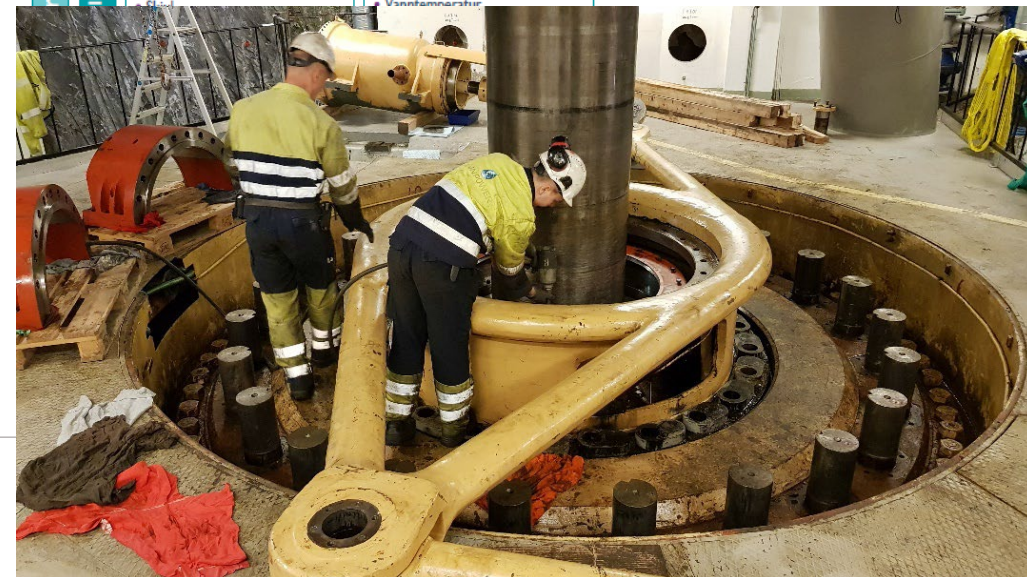
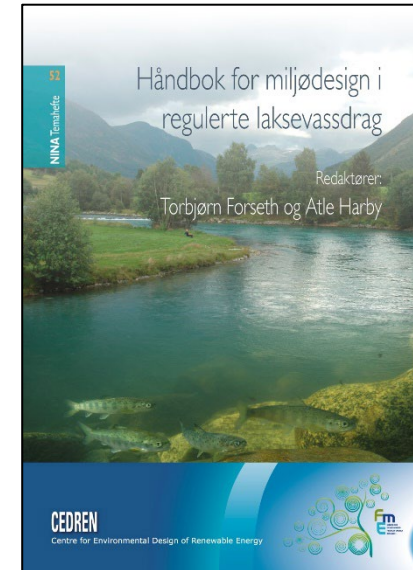
Upgrading and Extention U/E

- **Upgrading** is a measure to increase the efficiency of the power plant or reduce head and efficiency losses in the system
- **Extention** is a measure which utilize more water or more head
 - Diversion of new catchments
 - Increased head
 - Reduced spilling



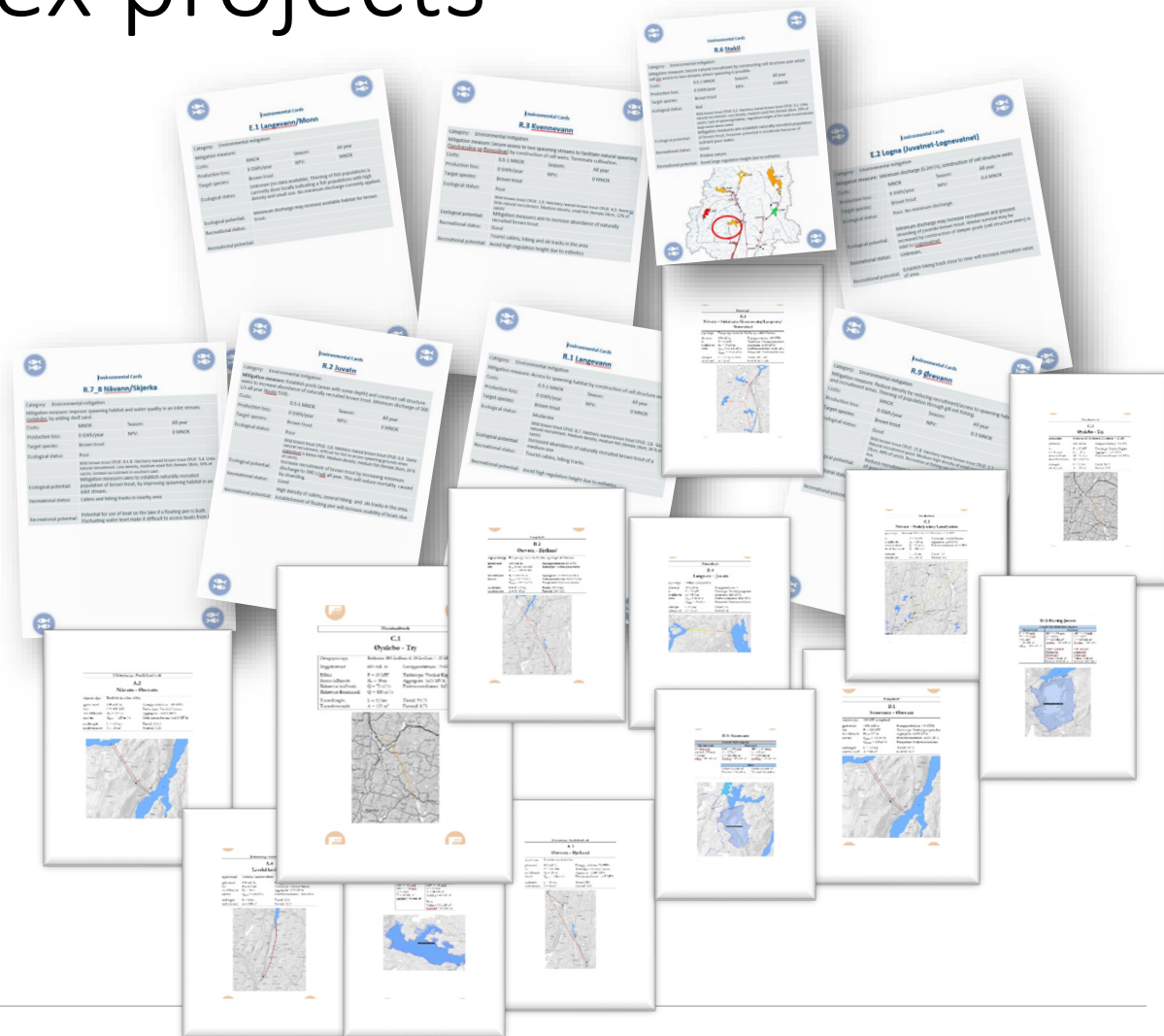
Extension and upgrading of HPP with environmental upgrades

- A holistic approach to upgrades in developed rivers
- Design of a healthy eco-system
- Methodology developed in two decades, latest in FME HydroCen
- The goal is to find solutions with benefits for both power generation and the environment



Methodology for complex projects

- Deck of cards method developed in Alterna Future
- Screening of possibilities and challenges in partnership with the power company
- Composition of cards from hydropower generation and environmental upgrades
- Goal: Find the 'perfect' mix with improvements for the society, hydropower and the environment



Introduction to *Deck of cards - method*

Purpose:

1. Development of complex scenarios for extreme upgrading
2. Find the best projects and the best combinations of projects
3. Maximizing results and evaluation of the total result

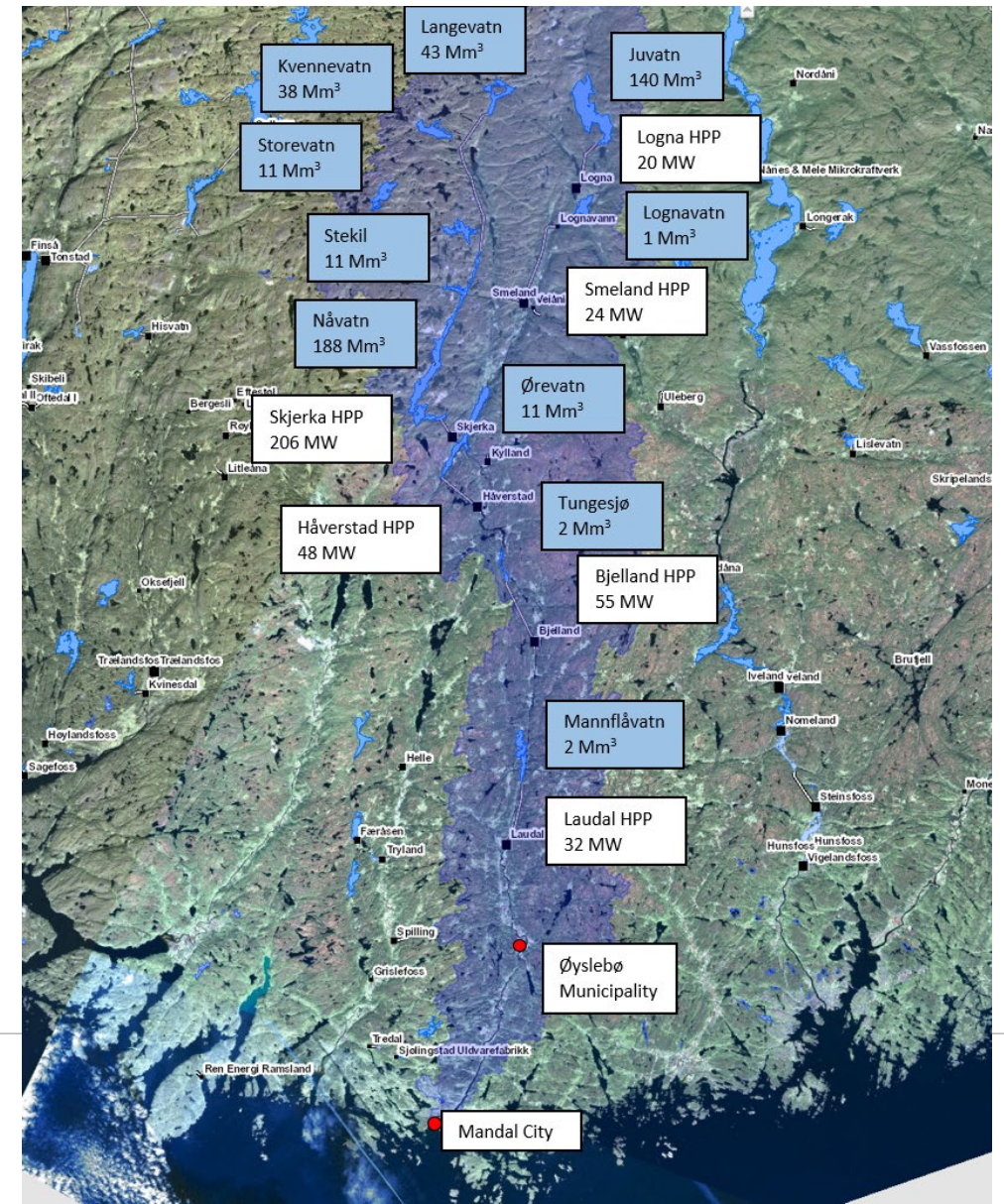
(Inventors: *Leif Lia and Kaspar Vereide*)



First tested in the Mandal Hydropower Scheme

- Example

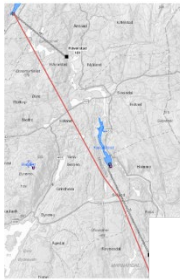
- 140 km river stretch
- From 1160 m.a.s.l to outlet in the sea
- Six existing HPPs
- Totally developed P = 384 MW
- Annual production E = 1,7 TWh



Hydropower

A.3 Ørevatn - Bjelland

Designprinsipp:	Tredoble installert effekt	Energiproduksjon: 75 GWh
Byggekostnad:	810 mill. kr	Turbintype: Vertikal Francis
Effekt:	P = 206 MW	Aggregater: 1x240 MVA
Brutto fallhøyde:	H _b = 180 m	Frekvensomformer: 1x67 MVA
Slukeevne:	Q _{gutt} = 130 m³/s	
Tunnellengde:	L = 18 km	Turtall: 200
Tunneltverrsnitt:	A = 65 m²	Fartstall: 0,52



A.4 Laudal kraftverk

Designprinsipp:	Tredoble installert effekt	Energiproduksjon: 140 GWh
Byggekostnad:	610 mill. kr	Turbintype: Vertikal Francis
Effekt:	P = 400 MW	Aggregater: 1x465 MVA
Brutto fallhøyde:	H _b = 357 m	Frekvensomformer: 1x130 MVA
Slukeevne:	Q _{gutt} = 120 m³/s	
Tunnellengde:	L = 1,8 km	Turtall: 214,3
Tunneltverrsnitt:	A = 60 m²	Fartstall: 0,32



B.2 Ørevatn - Bjelland

Designprinsipp:	Pumpe opp vann fra Kosina og tilslaget	Energiproduksjon: 140 GWh
Byggekostnad:	1200 mill. kr	Turbintype: Vertikal Francis
Effekt:	P _{gutt} = 120+230 MW P _{pumpe} = 70+230 MW	Aggregater: 1x120+2x240 MVA
Brutto fallhøyde:	H _b = 180+357 m	Frekvensomformer: 1x120+2x240
Slukeevne:	Q _{gutt} = 82+72 m³/s Q _{pumpe} = 30+35 m³/s	Pumpestart: Frekvensomformer
Tunnellengde:	L = 18+1,5 km	Turtall: 300+214,3
Tunneltverrsnitt:	A = 20+60 m²	Fartstall: 0,54+0,33

D.3: Heving Kvennevatnet

Formål: Øke eksisterende magasin	
Eksisterende	Potensial
LRV = 745 moh	HRV = 780 moh
HRV = 771 moh	A = 2,4 km²
A = 2 km²	V = 90 Mill. m³
V = 38 Mill. m³	Δsilling = 63 mill. m³
Δsilling = 63 mill. m³	
Dam: Volum: 0,15 mill. m³ Kostnad = 100 mill. kr	



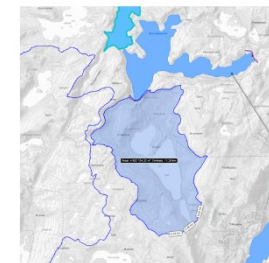
B.4 Langvatn - Juvvatn

Designprinsipp:	14 dagers pumpestasjon	Energiproduksjon: ?
Byggekostnad:	300 mill. kr	Turbintype: Vertikal pumpestasjon
Effekt:	P = 70 MW	Aggregater: 1x85 MVA
Brutto fallhøyde:	H _b = 170 m	Frekvensomformer: 1x85 MVA
Slukeevne:	Q _{gutt} = 45 m³/s Q _{pumpe} = 35 m³/s	Pumpestart: Frekvensomformer
Tunnellengde:	L = 5 km	Turtall: 375
Tunneltverrsnitt:	A = 20 m²	Fartstall: 0,6



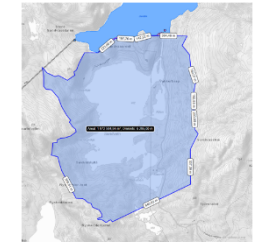
D.1: Storevatn

Formål: Øke eksisterende magasin	
Eksisterende	Potensial
LRV = 580 moh	HRV = 627 moh
A = 2,7 km²	A = 4,9 km²
V = 120 Mill. m³	V = 280 Mill. m³
Δsilling = 13 mill. m³	Δsilling = 13 mill. m³
Dam: Volum: 1,3 mill. m³ Kostnad: 400 mill. kr	
Volum: 6,6 mill. m³ Kostnad: 1,6 mill. kr	



D.2: Heving Juvvatn

Formål: Øke eksisterende magasin	
Eksisterende	Potensial
LRV = 499 moh	HRV = 540 moh
HRV = 513 moh	A = 14 km²
A = 8,1 km²	V = 620 Mill. m³
V = 143 Mill. m³	Δsilling = 360 mill. m³
Δsilling = 360 mill. m³	
Dagens dammed: Damhøyde: Damlengde: Volum: 1,2 mill. m³ Kostnad: 400 mill. kr	
Nytt dammed: Damhøyde: Damlengde: Volum: 5 mill. m³ Kostnad: 1600 mill. kr	



C.2 Nåvatn - Fedafjorden/Lenefjorden

Designprinsipp:	Redusere 200-årsflom til 20-årsflom + 50 MW	Energiproduksjon: 75 GWh
Effekt:	P = 50 MW	Turbintype: Vertikal Kaplan
Brutto fallhøyde:	H _b = 600 m	Aggregater: 1x58 MVA
Slukeevne kraftverk:	Q = 10 m³/s	Frekvensomformer: 1x15 MVA
Slukeevne downunnel:	Q = 800 m³/s	
Tunnellengde:	L = 45 km	Turtall: 750
Tunneltverrsnitt:	A = 120 m²	Fartstall: 0,22



C.1 Øyslebo - Try

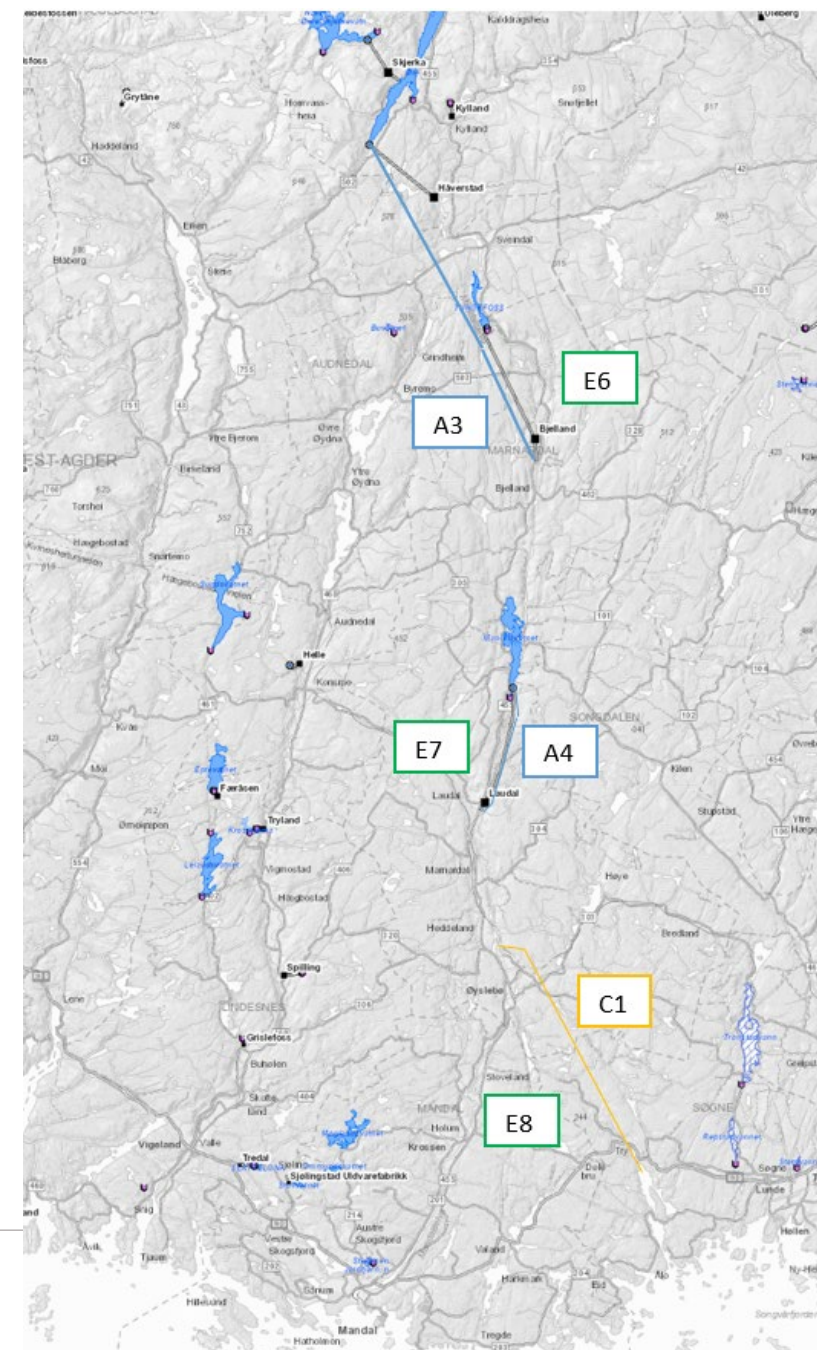
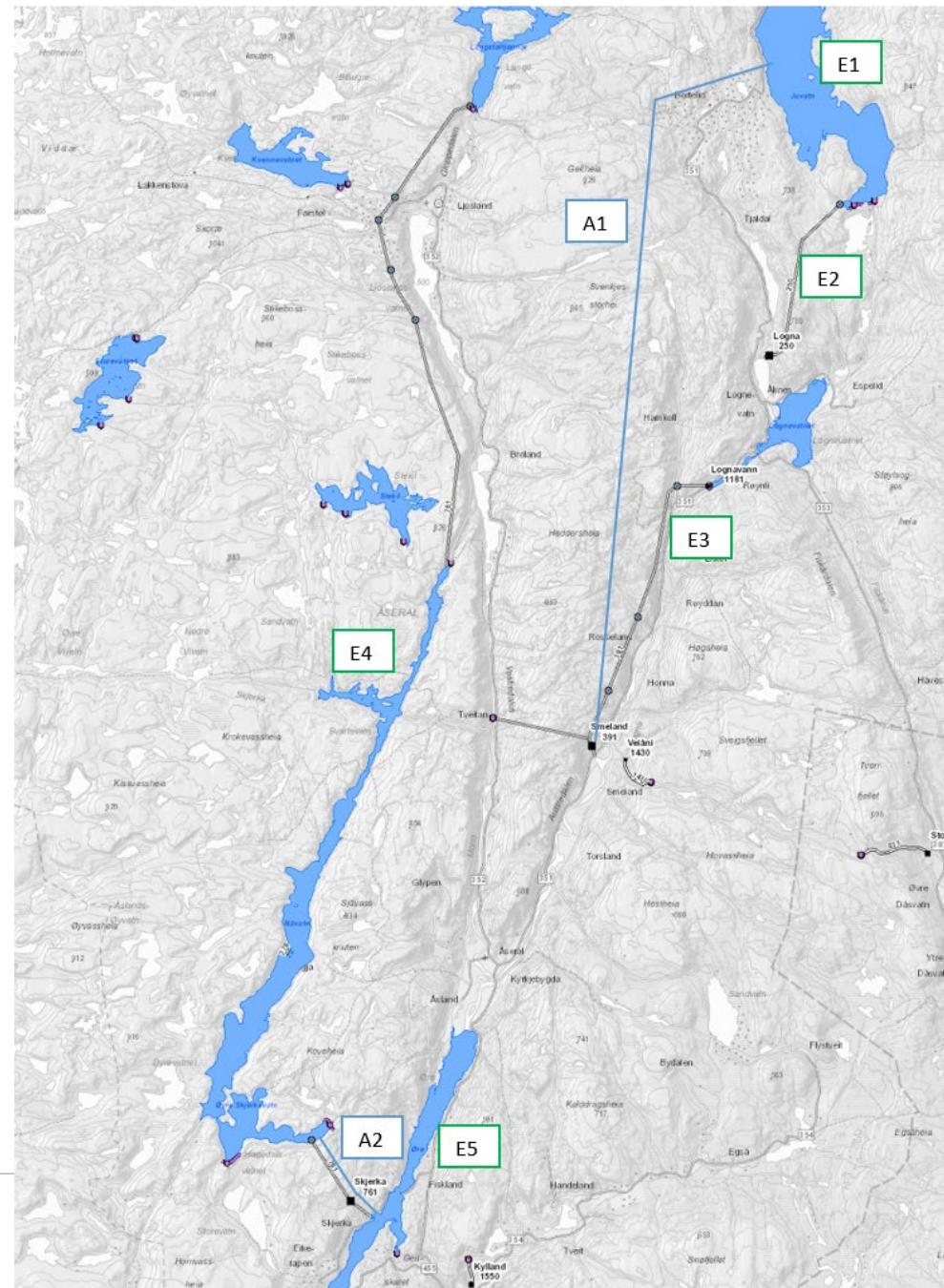
Designprinsipp:	Redusere 200-årsflom til 20-årsflom + 20 MW	Energiproduksjon: 75 GWh
Byggekostnad:	600 mill. kr	Turbintype: Vertikal Kaplan
Effekt:	P = 20 MW	Aggregater: 1x25 MVA
Brutto fallhøyde:	H _b = 30 m	Frekvensomformer: 1x5 MVA
Slukeevne kraftverk:	Q = 75 m³/s	
Slukeevne downunnel:	Q = 430 m³/s	
Tunnellengde:	L = 12 km	Turtall: 93,75
Tunneltverrsnitt:	A = 129 m²	Fartstall: 0,71



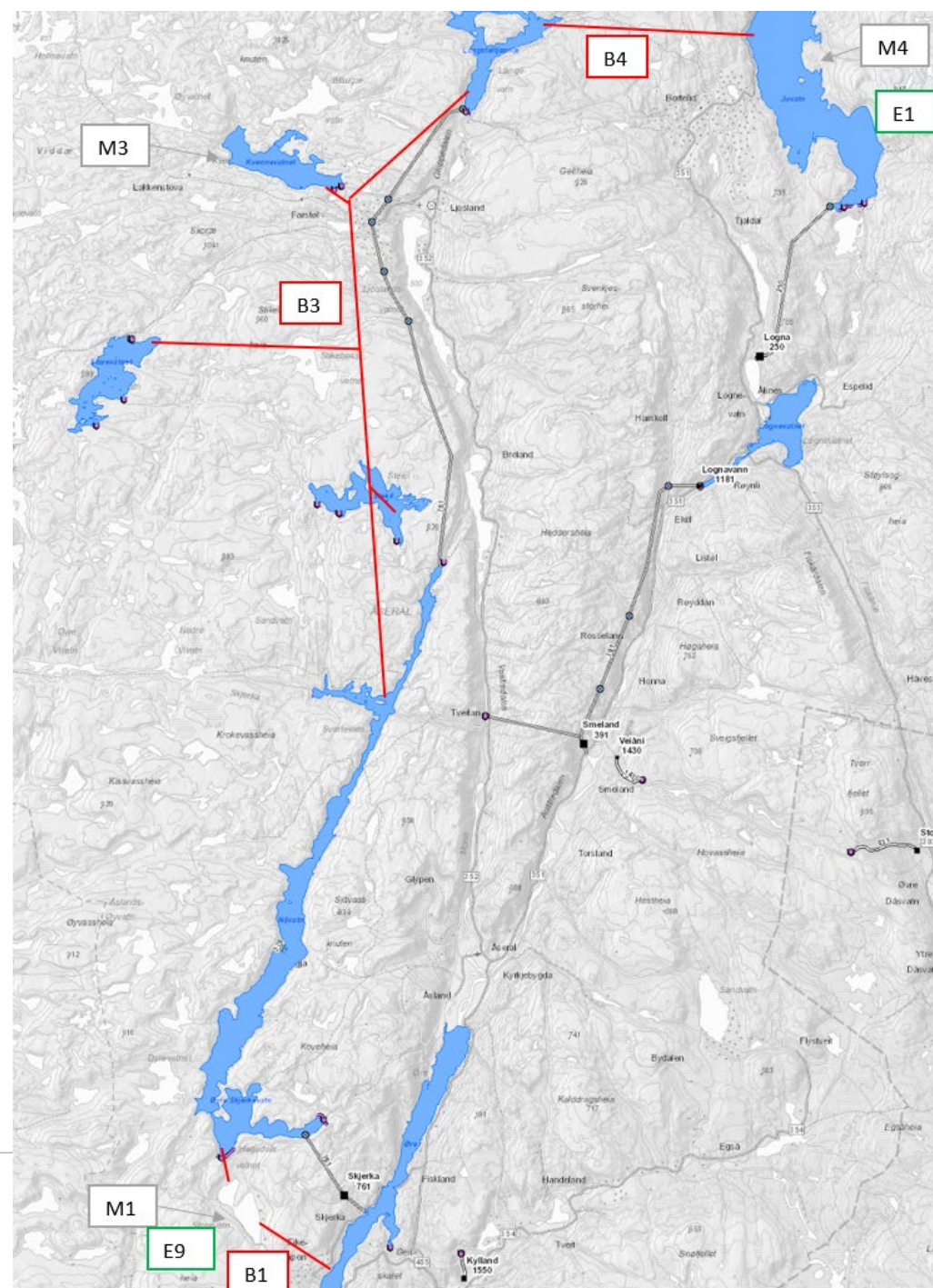
Environmental upgrades



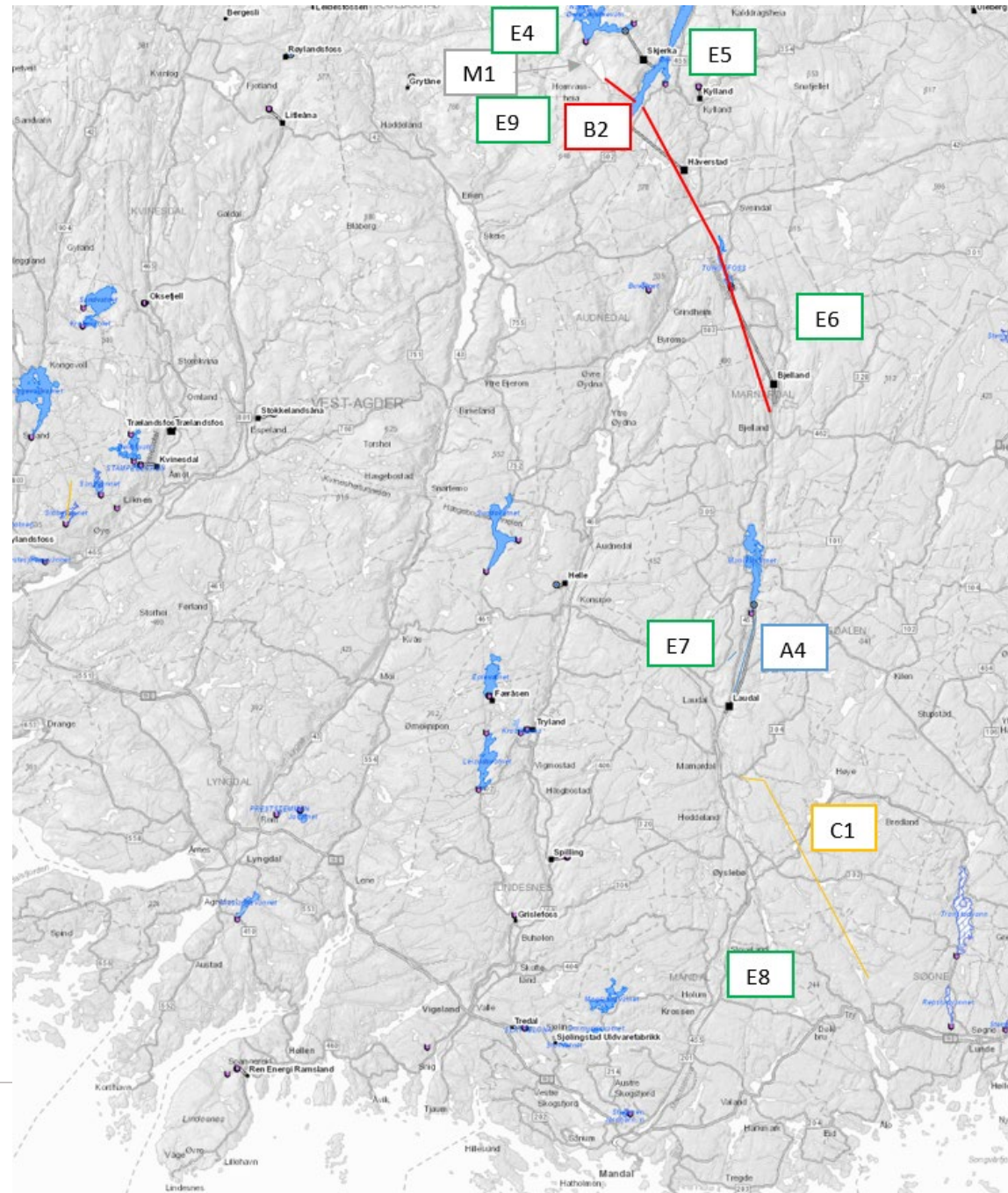
Scenario 1: Triple output



Scenario 2: Maximum flexibility



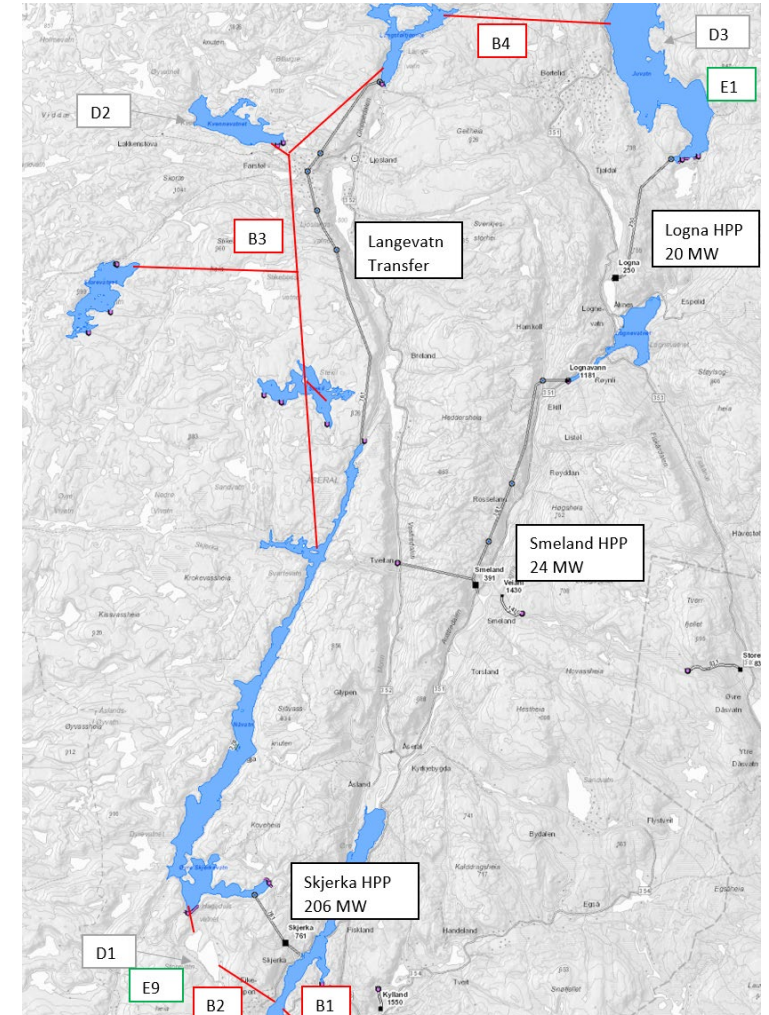
Scenario 3: Flood dampening



Deck of cards method

- some small tricks

1. Do the screening for all possible HHPs – develop the cards – give it a value
2. Remove 'impossible' cards
3. Do the screening for environmental upgrades – develop the cards – give it a value
4. Find possible combinations of the two sets of cards
5. Simulate the energy generation
6. Evaluate the results



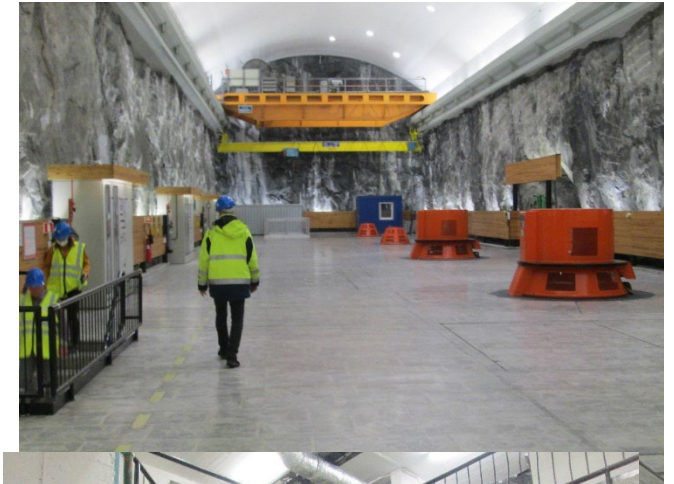
Summary from Deck of Cards-method

1. Useful in complex projects
2. Makes it possible to have the overview
3. Possible assesment of power and environment
4. Should be further developed



Projects in the PotOut-study

- **Project A, Large reservoirs** – Large existing reservoirs (1800 mill m³) – Long tunnels (> 30 km) – Medium head – Total output 640 MW in five existing power plants
- **Project B, Complex system with medium head** – Complex system with many short tunnels – Several reservoirs – Head 200 – 500 m – Total output 180 MW in three existing power plants
- **Project C, Complex high head system** – Large head ($H > 900$ m) – Long tunnels – Several reservoirs – High annual precipitation (1500 – 1900 mm/year) – Total output 300 MW in two existing power plants



Main findings from the project

- New parallel tunnels required in all projects
- Possible flexibility between reservoirs
 - Increased output [MW]
 - Pump storage projects PSPs
 - Pumps
- Possible tailrace tunnels to fjords or reservoirs
- Increase of reservoir capacity
 - Increased dam heights, including safety upgrades
 - Revised restriction with minimum negative consequences
- Diversion to existing reservoirs
 - Increased regulation from non regulated sources
- High cost and low rentability



Possible environmental upgrades

- Release of environmental flow
 - Based on environmental criteria
 - Env. flow released through small hydro
- Environmental friendly peaking power (?)
 - Outlet directly in reservoirs or fjords
 - Dampening reservoirs/tunnel systems
- Improvement of habitat
- Solutions for fish migration, up and down
 - Removal of existing weirs
- Controlled temperature in rivers
- New technology for avoiding negative consequences from pumping



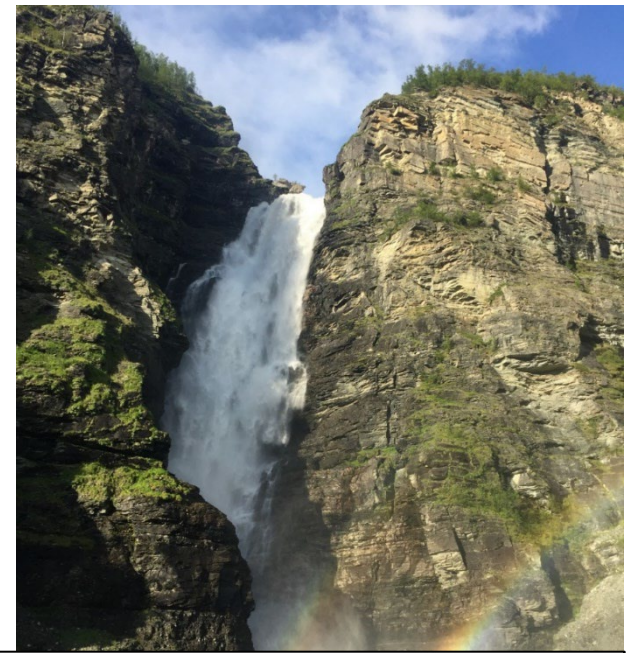
Why upgrade?

- Output [MW] or energy [TWh]?
- Pump storage projects PSPs?
- Which energy prices?
- Which ancillary services is expected from hydropower?
- Changes in taxes?
- How much offshore wind will appear?
- How many intercontinental cables will be installed?
- How is the future power system in Norway and in Europe?



Conclusions from PotOut

- Huge potential for output-increase [MW]
 - Increased energy generation appears as bonus (5%?)
 - From reduced spilling, reduced head loss, higher current reservoir level
- Large extensions may be challenging
 - Protected areas, ownership, tax/politics, possible profit
- Environmental issues must be included from the very beginning
- Several innovations are introduced



Example – Lysebotn II

- New tunnel in parallel
- Production increased from 1 320 to 1 500 GWh (14 %)
- Output increased from 210 to 370 MW (76 %)
- Intake moved to higher reservoir for more head
- New underground power house with two vertical Francis-turbines



Example – Lower Røssåga

- Full new tunnels and power house in parallel
- Upgrade of old units sequentially
- Output increased from 250 til 350 MW (40%)
- Energy generation increased from 1 850 til 2 050 GWh (11%)

Environmental upgrade:

- The river stretch available for spawning and upstream migration was reverted back to original, an increase of 30% for the entire Røssåga river



Foto:
Bjørn
Grane