

Norges ressurser/muligheter, magasiner, effekt, pumpekraft

Ånund Killingtveit CEDREN/NTNU

Norge som Europas grønne batteri – visjoner og realiteter

16. november 2016, kl 10:00 - 15:00

Holberg Terrasse kurs- og konferansesenter

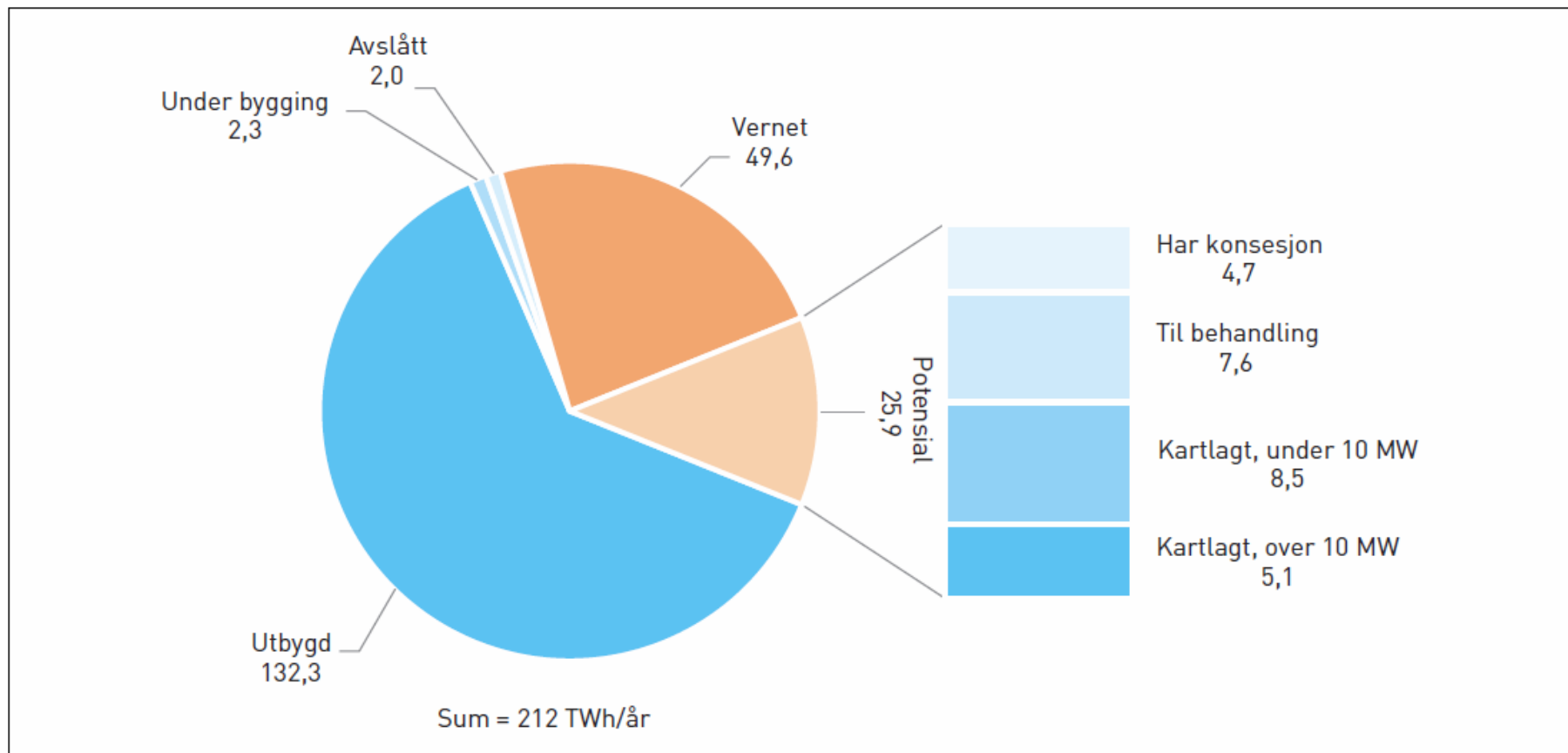
Stensberggaten 27, Oslo

CEDREN

Centre for Environmental Design of Renewable Energy

fem
CENTRE FOR
ENVIRONMENT-
FRIENDLY ENERGY
RESEARCH

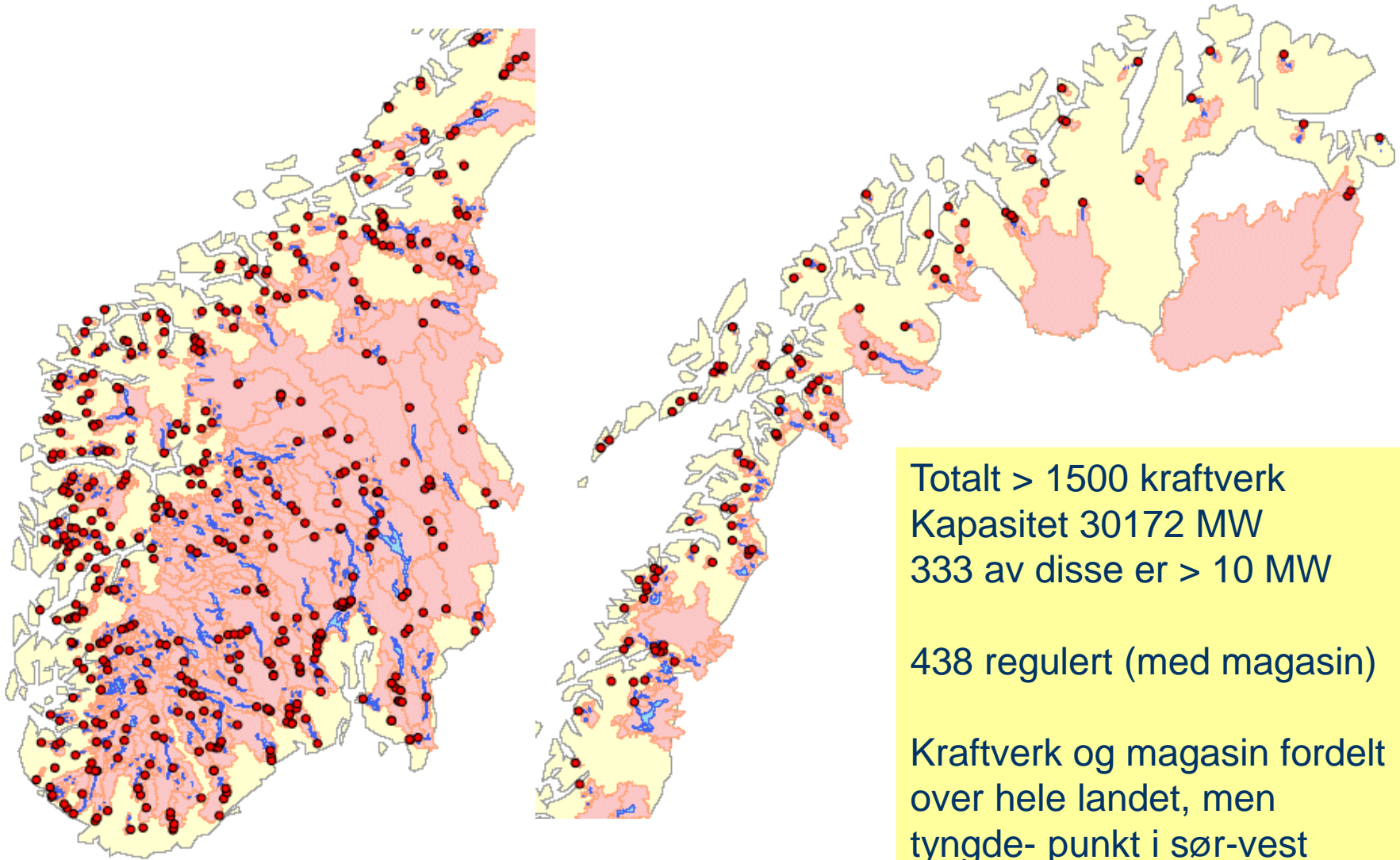
Vannkraft i Norge – Ressursgrunnlag 2015 (NVE/OED)



Totalt potensial 212 TWh
Utbygd 135 TWh
Vernet 50 TWh
Rest potensiale 26 TWh

Ubrukt potensiale kan være vesentlig større -
Ved NTNU har beregnet 50-75 TWh innen 2050

Plassering av større magasin og vannkraftverk i Norge (Kilde NVE)



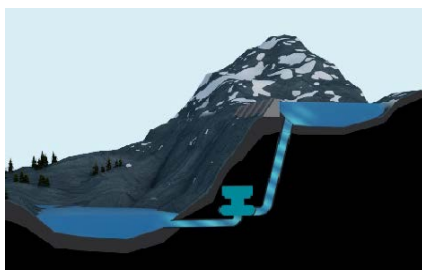
Hovedtyper ressurser for Norge som «Grønt batteri»



Magasiner som kan lagre elektrisk energi
Betydelig – også i Europeisk målestokk
84 TWh tilsvarende ca 50% av hele Europa
Neppe mange nye store magasin



Effektkraftverk som kan reguleres raskt
opp og ned i takt med varierende behov
og/eller varierende vind- og solkraft i Europa
Kan bygges ut i stort omfang om ønskelig



Pumpekraftverk som både kan sørge for
lagring av overskuddskraft i magasin og
produsere effekt ved behov.
Kan bygges ut i stort omfang om ønskelig

Potensiale for nye pumpekraftverk og effekt-kraftverk i Norge

Det kan lett finnes **> 100** mulige steder for pumpekraft i Norge

Ca **20** av disse har både øvre og nedre magasin **> 100 Mill.m³**

Mange av prosjektene kan gi **over 1000 MW** effekt hver

Også mulig å bare **økt effektinstallasjon** (særlig ved utløp i havet)

Moderat miljøpåvirkning – Ingen nye magasin - forutsetter bruk av **eksisterende magasiner** med **uendrede reguleringsgrenser**

Foreløpige undersøkelser i CEDREN ga et potensiale på **minst 20 000 MW**

Et utvalg mulige prosjekter er studert i noe større detalj – blir presentert her:

4 i regi av NVE (2011)

12 i regi av CEDREN (HydroPeak)

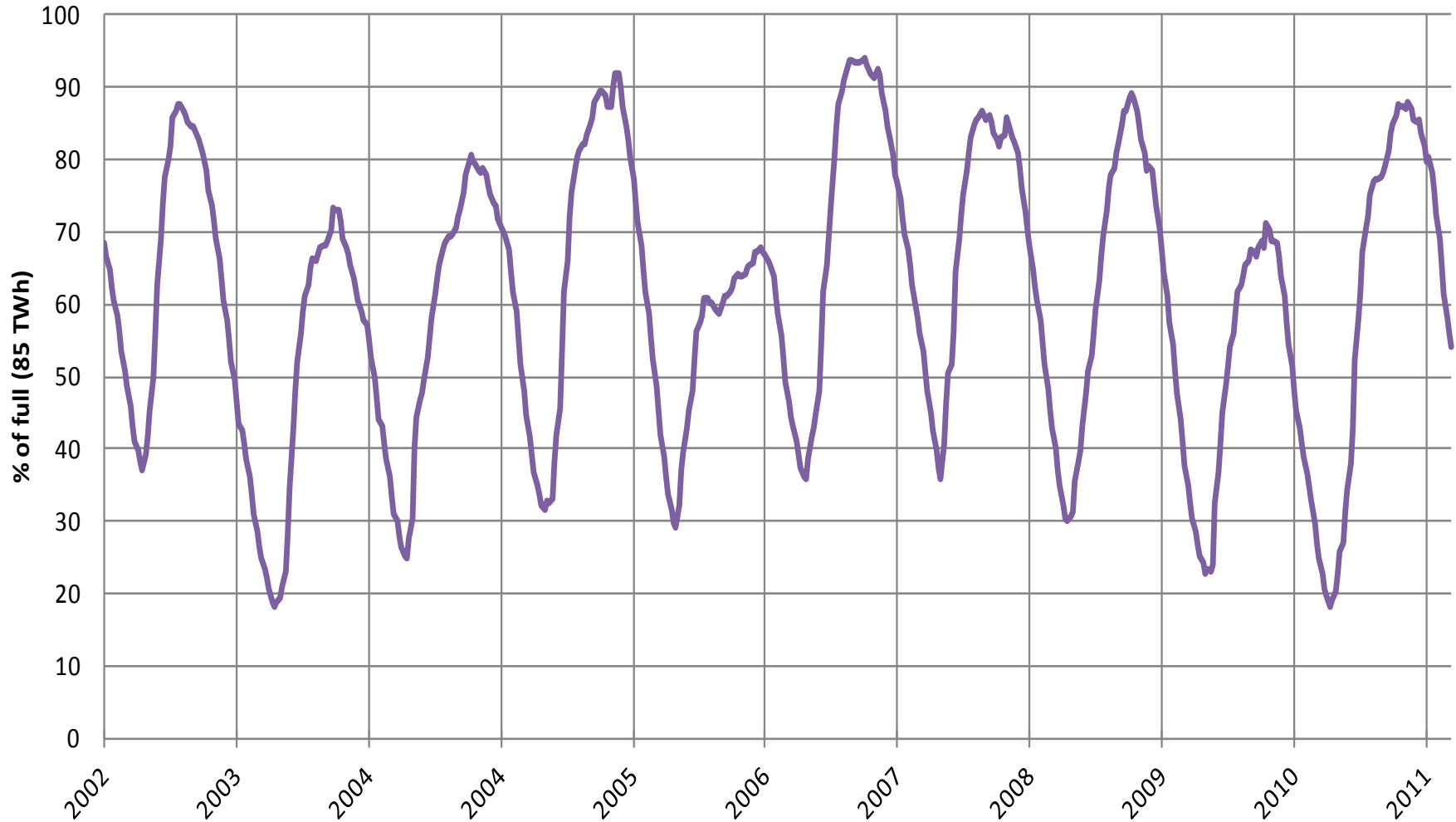
23 i regi av CEDREN/NTNU (MSc studenter)

Norske vannkraftmagasiner – en betydelig ressurs

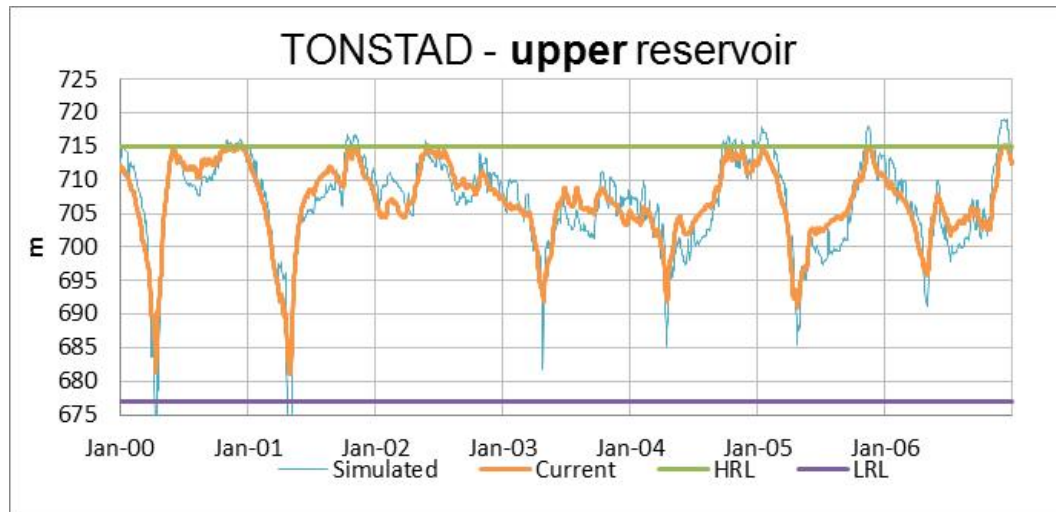


Norske vannkraftmagasin er bygd for sesonglagring

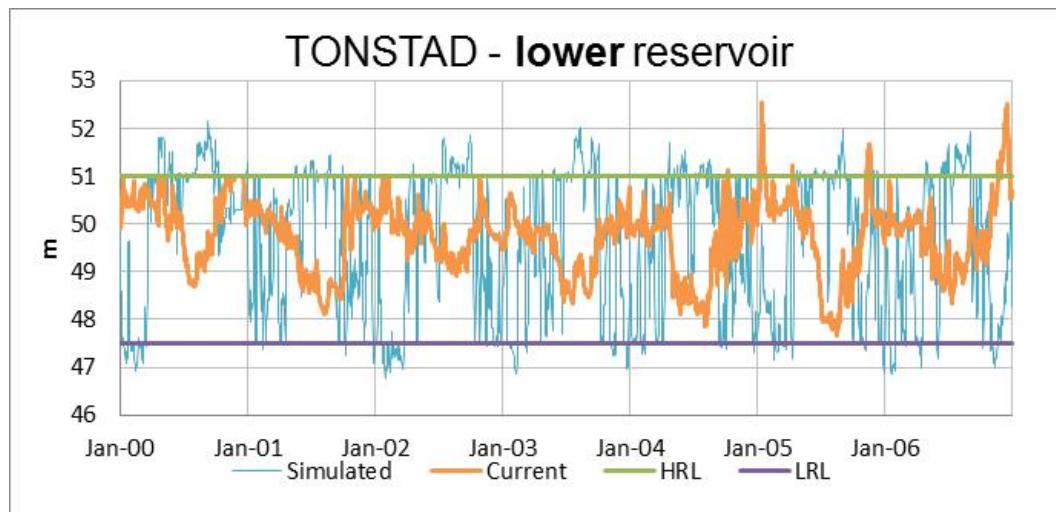
Energy content (%) in Norwegian hydropower reservoirs 2002-2012



Norske vannkraftmagasin kan utnyttes ennå bedre



Eksempel på simulert endring med pumpekraftverk



Stor lagringskapasitet - 84 TWh for hele Norge

Benyttes typisk i en års-syklus

Mye «ledig» kapasitet for korttids lagring (dager, uker, ..) uten at sesongreguleringen svekkes (ved pumpekraftverk)

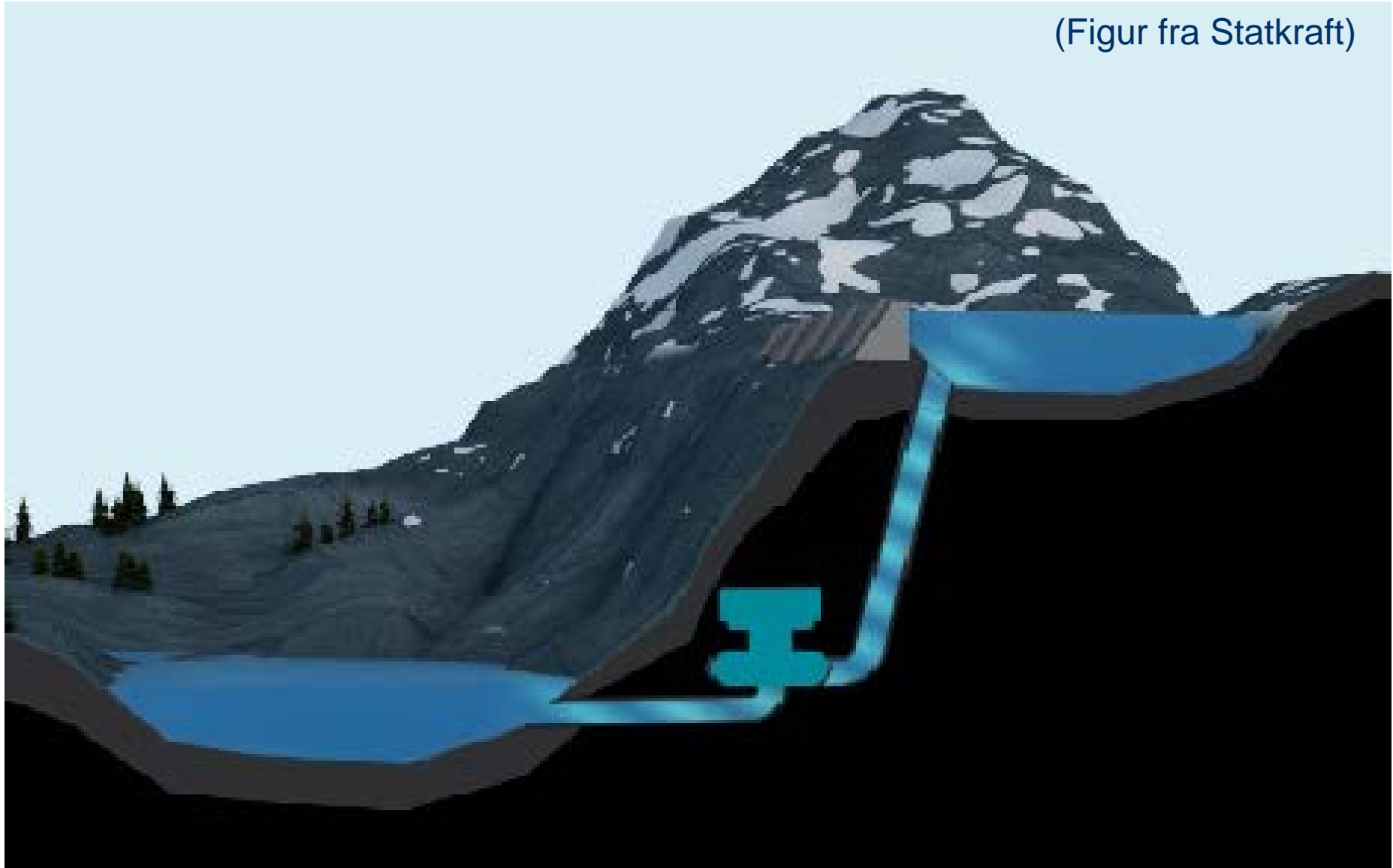
Med pumpekraftverk kan mange magasin utnyttes mye bedre

... MEN ...

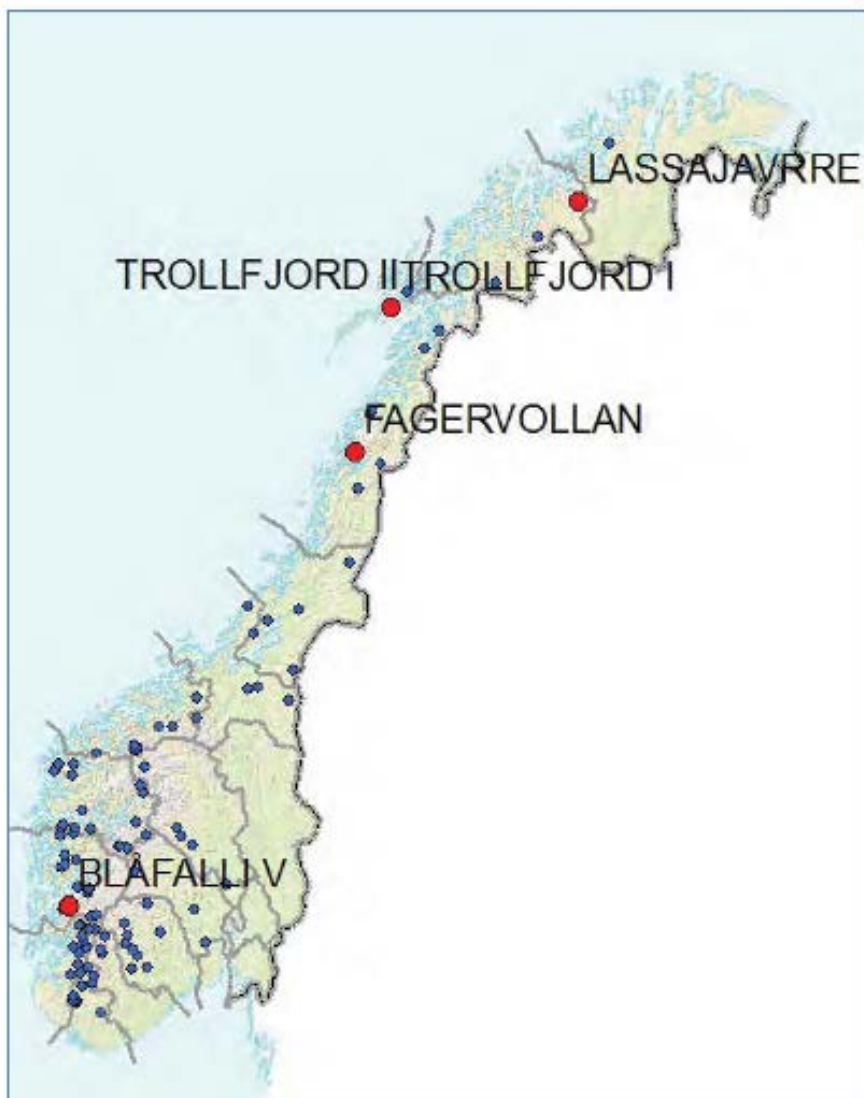
Vil gi nye og raskere endringer i vannstand noe som kan påvirke miljøforhold i magasinet negativt
Dette må sjekkes nøye

Pumpekraft – Et miljøvennlig og stort batteri

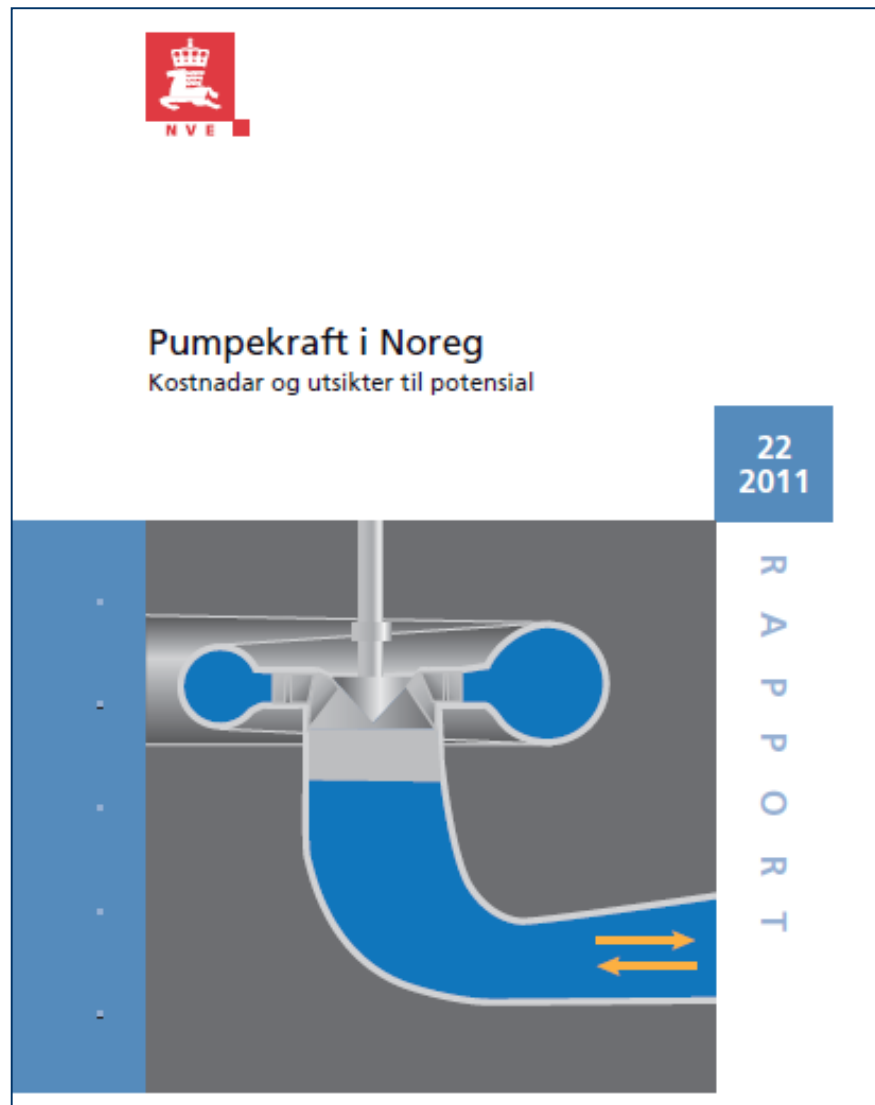
(Figur fra Statkraft)



Økt balansekraftkapasitet med pumpekraftverk (NVE, 2011)



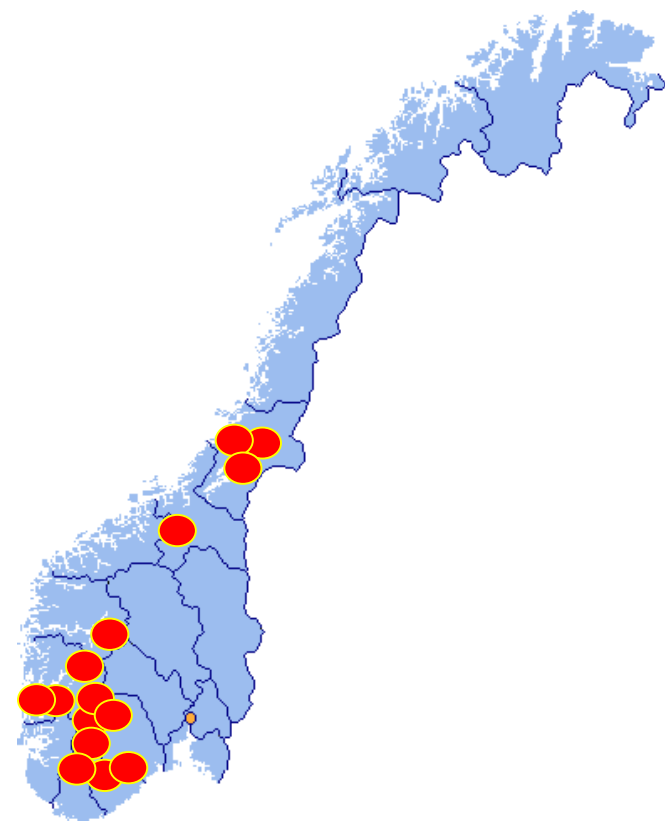
Figur 1: Eksempelkraftverk.



Magasin-par i Norge som egner seg for pumpekraft (NVE, 2011)

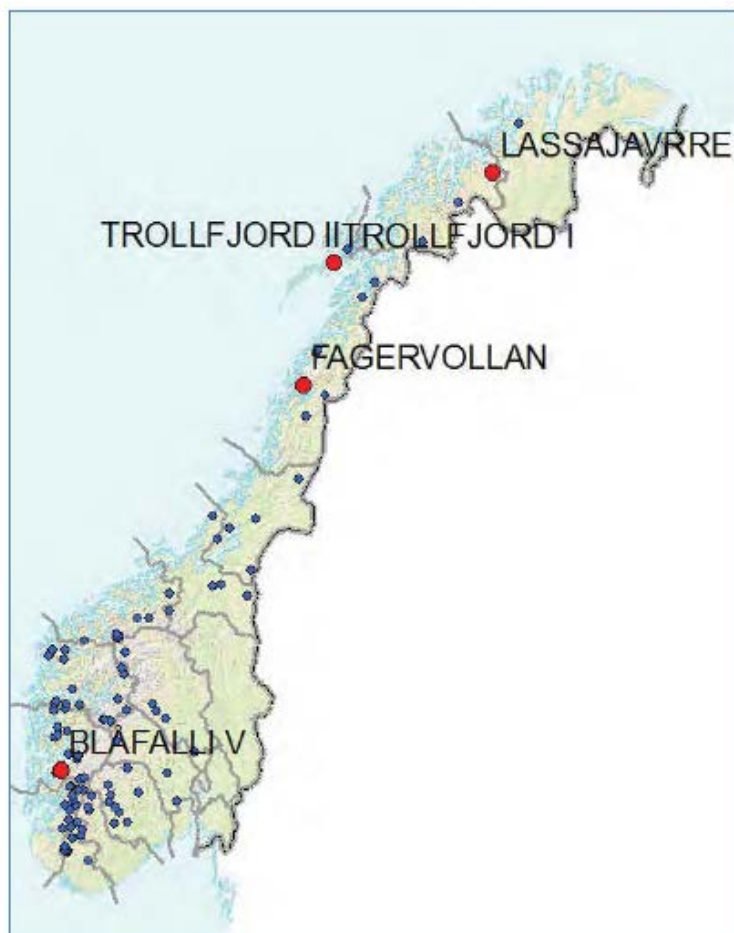
Namn på eksisterende vasskraftverk	Volum oppstrams magasin (Mm ³)	Volum nedstrams magasin (Mm ³)	Brutto fallhøgd
AURLAND II H	186	194	500
BOGNA	150	165	290
DUGE	1400	340	220
FINNDØLA	126,6	218,3	298
FJONE	223,5	222,8	258
GRÅSJØ	205	179	55
HODNABERG	177	175	300
HOLEN I-II	1268,4	296	250
KVINEN	104	275	120
ROSKREPP	695	104	88
RØLDAL	326,7	115	365
RØYRIKFOSS	496	490,4	28,5
HOLEN III	275,9	296	610
SONGA	750	258	286,7
TUNNSJØ	230	440	60
TYSSO II	483,2	426	725
BLÅFALLI V	102	151,7	56

Tabell 2: Vasskraftverk som har både oppstrams- og nedstrams magasinkapasitet større enn 100 Mm³
Volum oppstrams magasin viser til alle oppstrams magasin (opp til neste kraftverk).



Magasinvolum > 100 Mill m³ i både øvre og nedre magasin

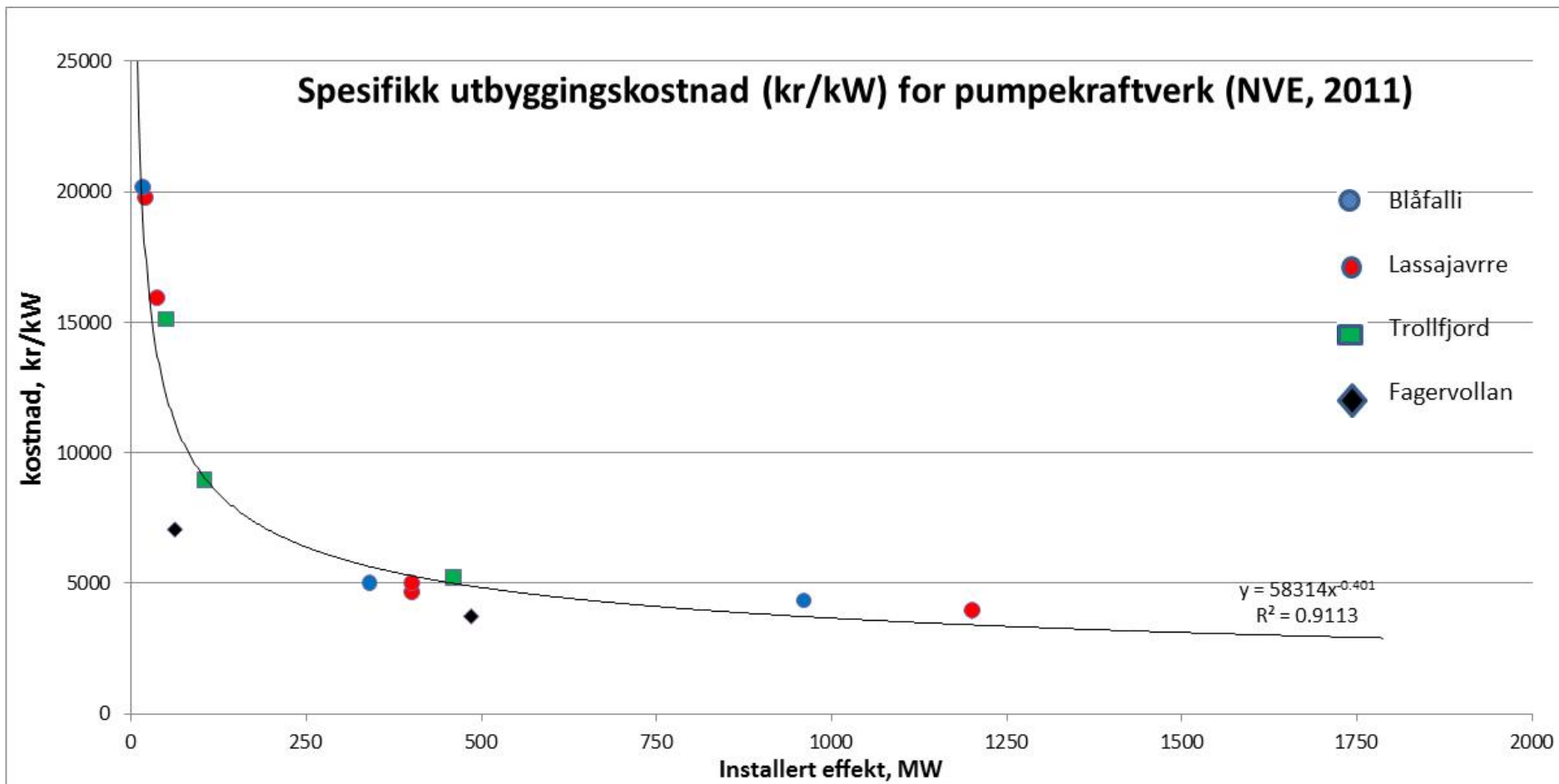
Fire alternative prosjekt med pumpekraftverk undersøkt av NVE



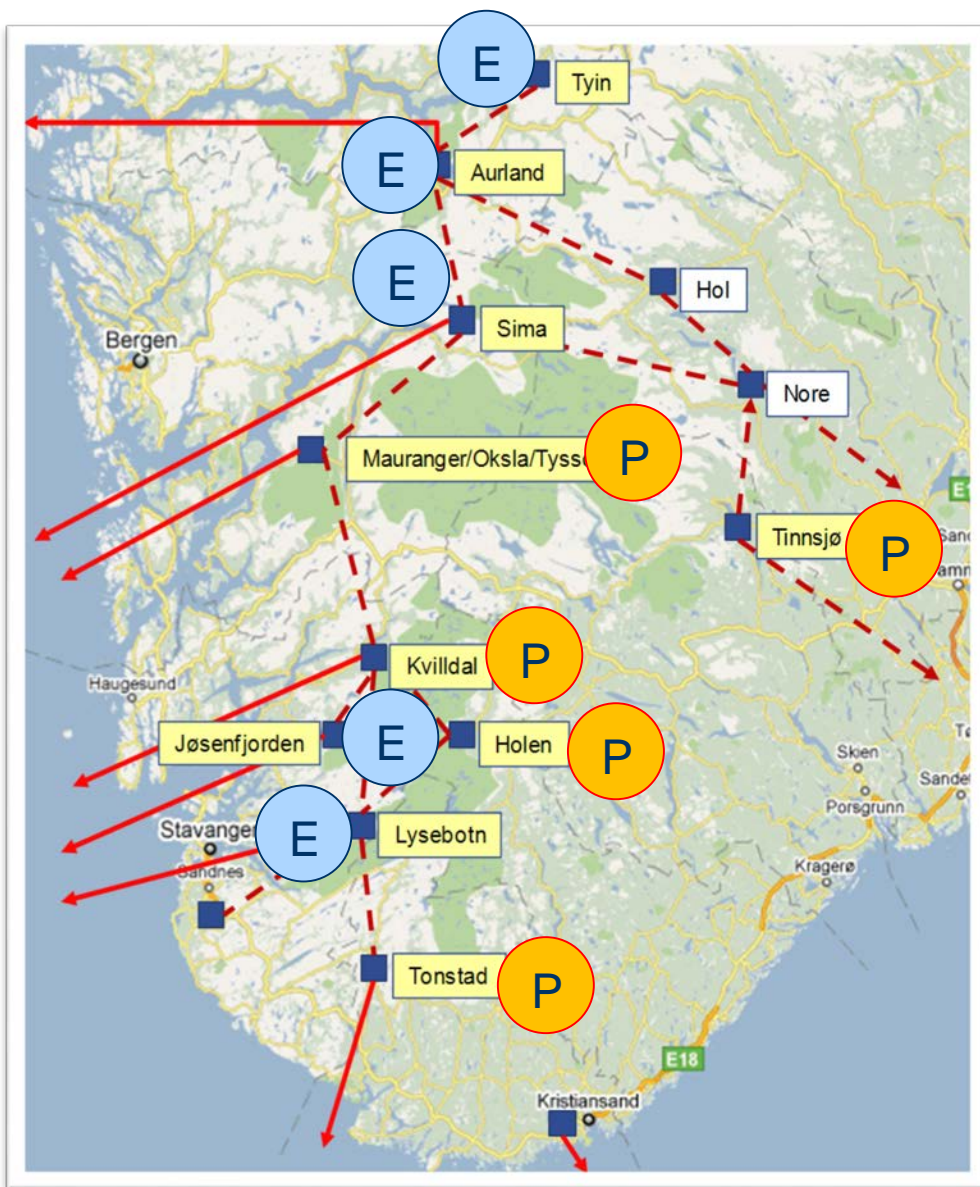
Figur 1: Eksempelkraftverk.

	Fallhøyde (m)	Effekt (MW)
Fagervollan V1	290	1200
Fagervollan V2	290	485
Fagervollan V3	260	62
Lassajavvre V1	145	1200
Lassajavvre V2	145	400
Lassajavvre V2.1	145	400
Lassajavvre V3	145	20
Trollfjord V1	265	50
Trollfjord V1.1	265	104
Trollfjord V1.2	285	460
Trollfjord V2	265	36
Blåfalli V1	120	960
Blåfalli V2	120	340
Blåfalli V3	120	16

Spesifikk utbyggingskostnad (kr/kW) for NVE prosjektene



Økt balansekraftkapasitet i norske vannkraftverk (CEDREN)



HydroPeak - Scenarier HydroBalance - Fase 1

CEDREN **SINTEF**

TR A7126 - Åpen

Rapport

Økt balansekraftkapasitet i norske vannkraftverk

Innløpende studie av konkrete case i Sør-Norge

Forfatter(e)
Elvind Sakvang
Atle Harby
Årund Killingtveit

The diagram illustrates a power grid with several power plants and substations. The plants are labeled with their names and capacities: Østlandsregionen (1200 MW), Vestlandsregionen (1200 MW), and Nordlandsregionen (1200 MW). The substations are labeled with their names and voltages: Tinn, Kvittdal, Hølen, and Tonstad. The diagram shows the connections between these plants and substations, with red lines indicating the main power lines. The diagram is labeled with 'A1' and 'A2'.

SINTEF Energi AS
Energisystemer
2011-12-08

Noen hovedresultater fra CEDREN studien

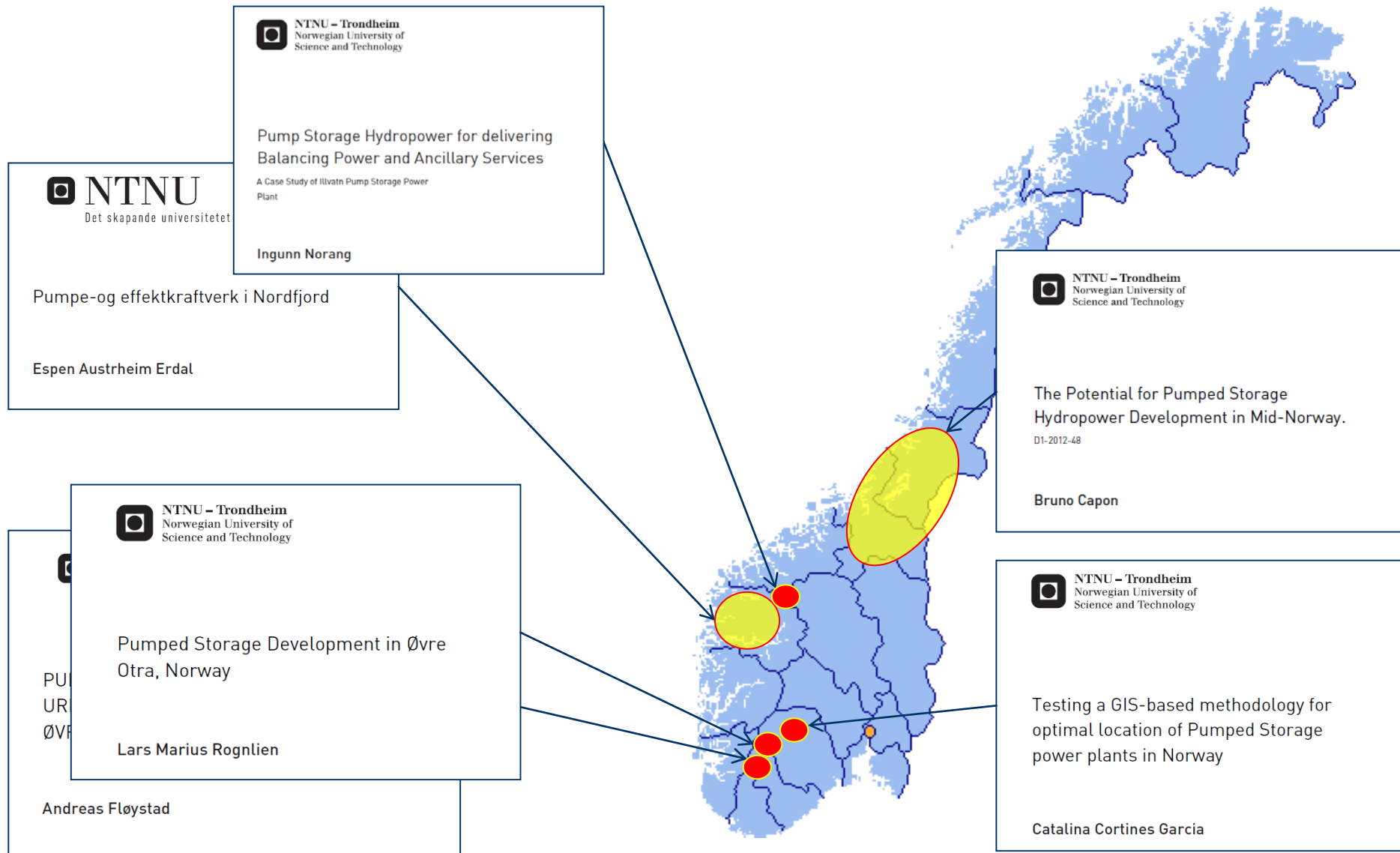
CEDREN	Pumpekraftverk	Fall (m)	Effekt (MW)	Kost (kr/kW)	Tunnel (m)
A2 Tonstad (Nesjen-Sirdalsvann)		654	1400	3200	22371
B3 Holen (Urevatn-Botsvatn)		631	700	2763	12354
B6a Kvilldal (Blåsjø-Suldalsvatn)		945	1400	2771	19137
C1 Tinnsjø (Møsvatn-Tinnsjø)		723	1000	3627	29287
E3 Tysso (Langevatn-Ringedalsvatn)		745	700	2063	3212
CEDREN	Effektkraftverk	Fall (m)	Effekt (MW)	Kost (kr/kW)	Tunnel (m)
B7a Kvilldal (Blåsjø-Jøsenfjord)		1013	1400	2145	14100
D1 Lysebotn		669	1400	1924	5600
E1 Mauranger		1023	400	2302	5300
E2 Oksla		415	700	2065	4000
F1 Sy-Sima		918	700	2849	21700
G1 Aurland		909	700	2143	9100
G2 Tyin		1078	700	2592	18900

Utbyggingskostnad i kr/kW 

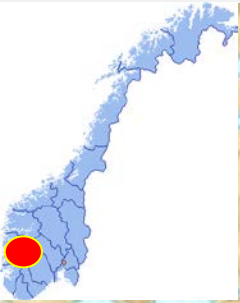
Middel pumpekraftverk: 2885 kr/kW (321 €/kW)

Middel effektkraftverk: 2289 kr/kW (254 €/kW)

Økt balansekraftkapasitet i vannkraftverk (MSc arbeid NTNU)



Eksempel 3: Vatnedalsvatn – Store Urevatn



NTNU
Det skapende universitet

PUMPEKRAFTVERK MELLOM STORE UREVATNET OG VATNDALSVATNET I ØVRE OTRA - TUNNELSYSTEM

Andreas Fløystad

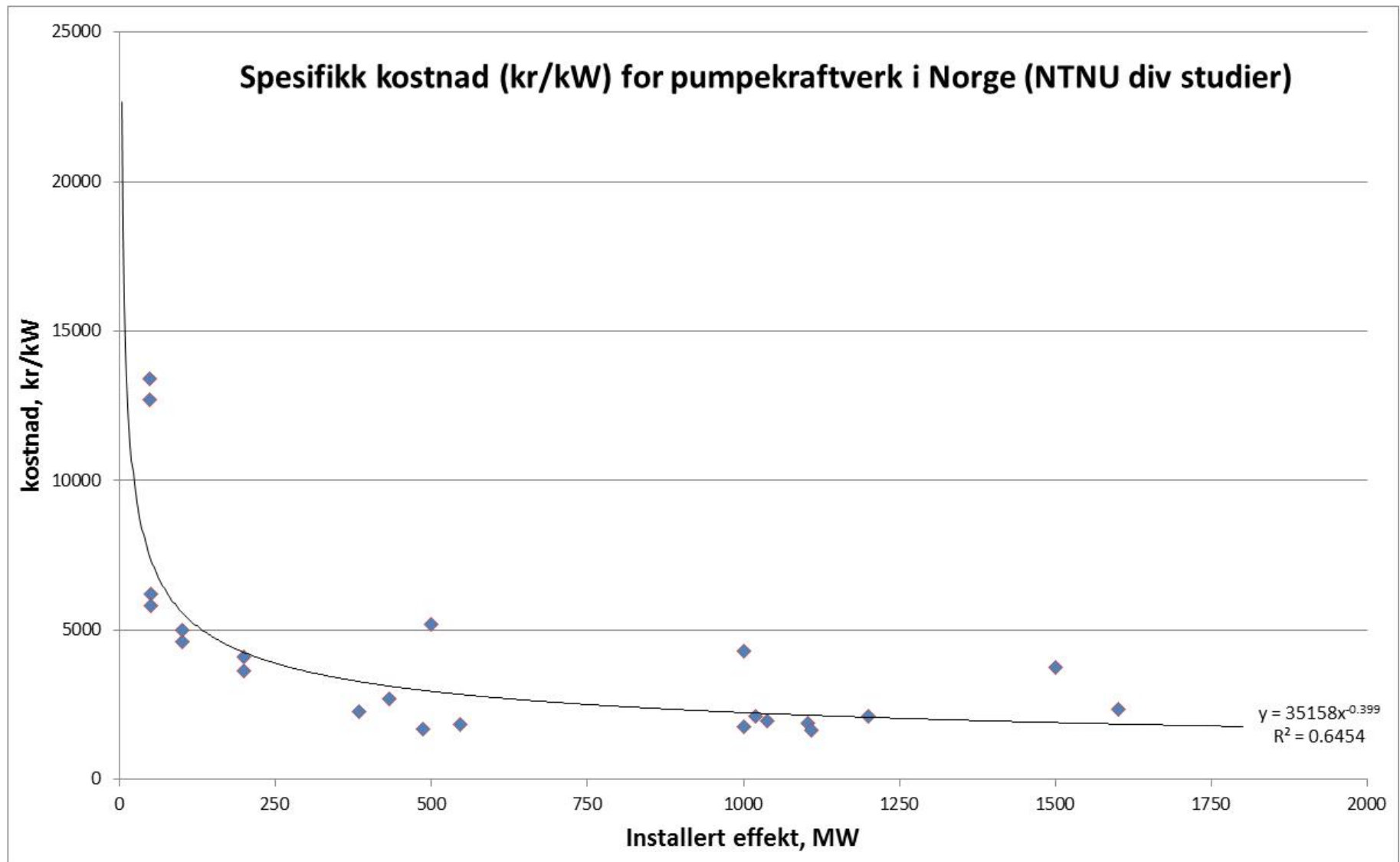
Bygg- og miljøteknikk (2 Sngl)
Festdato: Juni 2012
Hovedveileder: Leif Lia, VM
Medveileder: Årund Killingtveit, VM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vann- og miljøteknikk

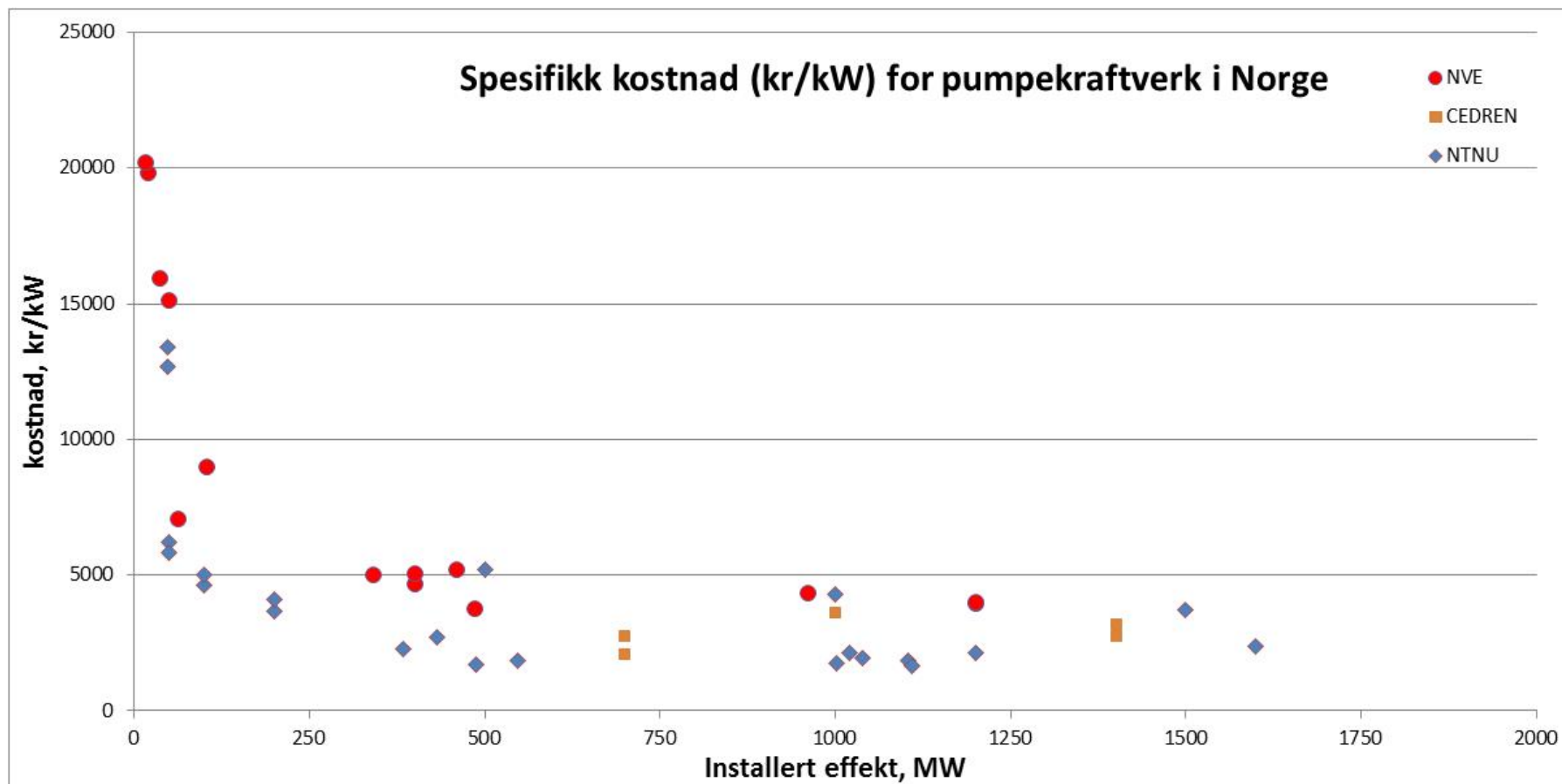
Hoveddata:

Arbeidsvolum	222 Mill m ³
Vannvei	2630 m
Fallhøyde (mid)	425 m
Max vannføring	549 m ³ /s
Kapasitet	1600 MW
Kostnad	3762 MNOK

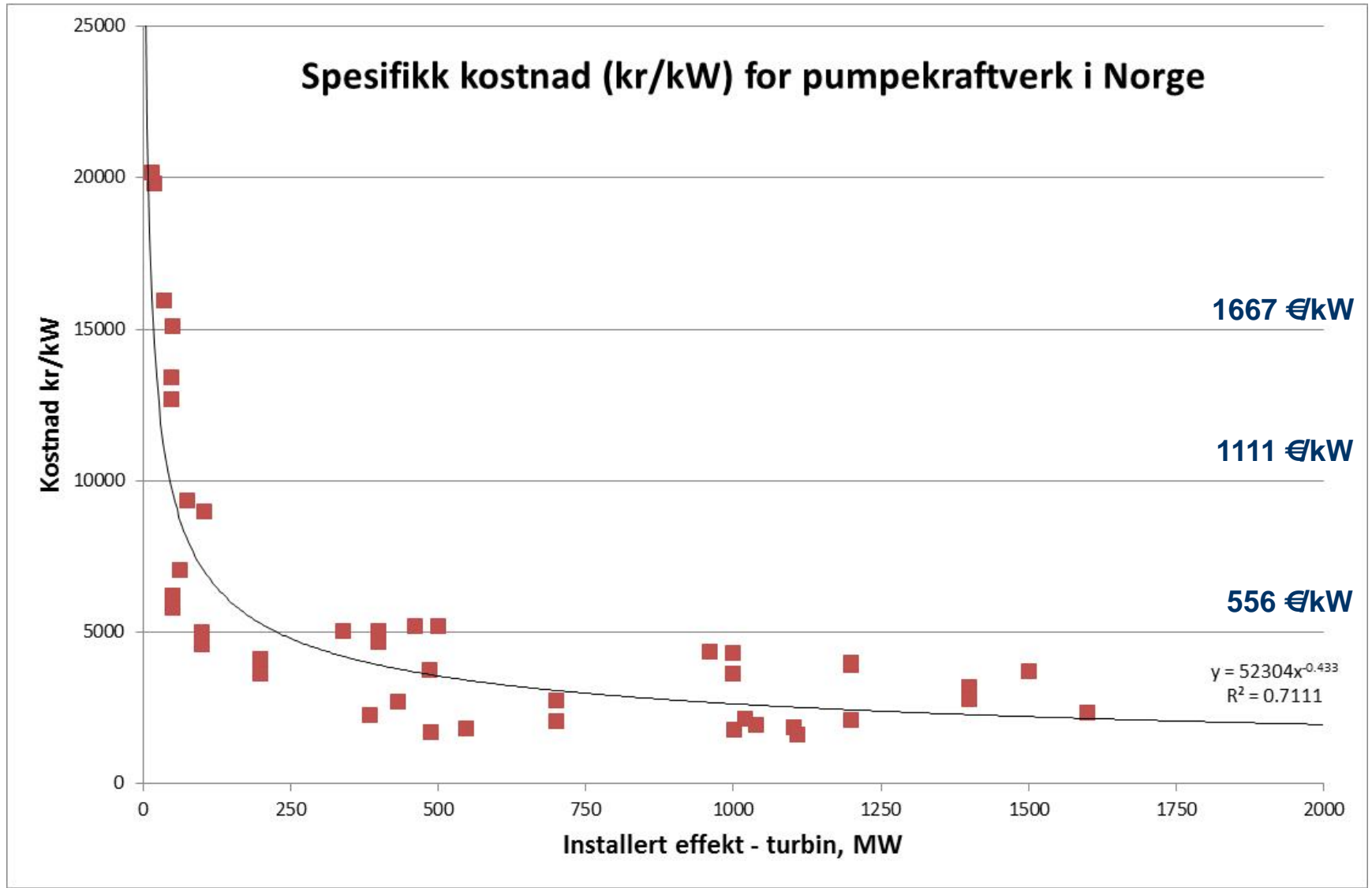
Sammendrag fra NTNU studier – kostnad kr/kW



Sammendrag fra alle (NVE, CEDREN, NTNU) – kostnad kr/kW



Sammendrag fra alle (NVE, CEDREN, NTNU) – kostnad kr/kW



Typiske kostnader for pumpekraft i Europa og i Norge

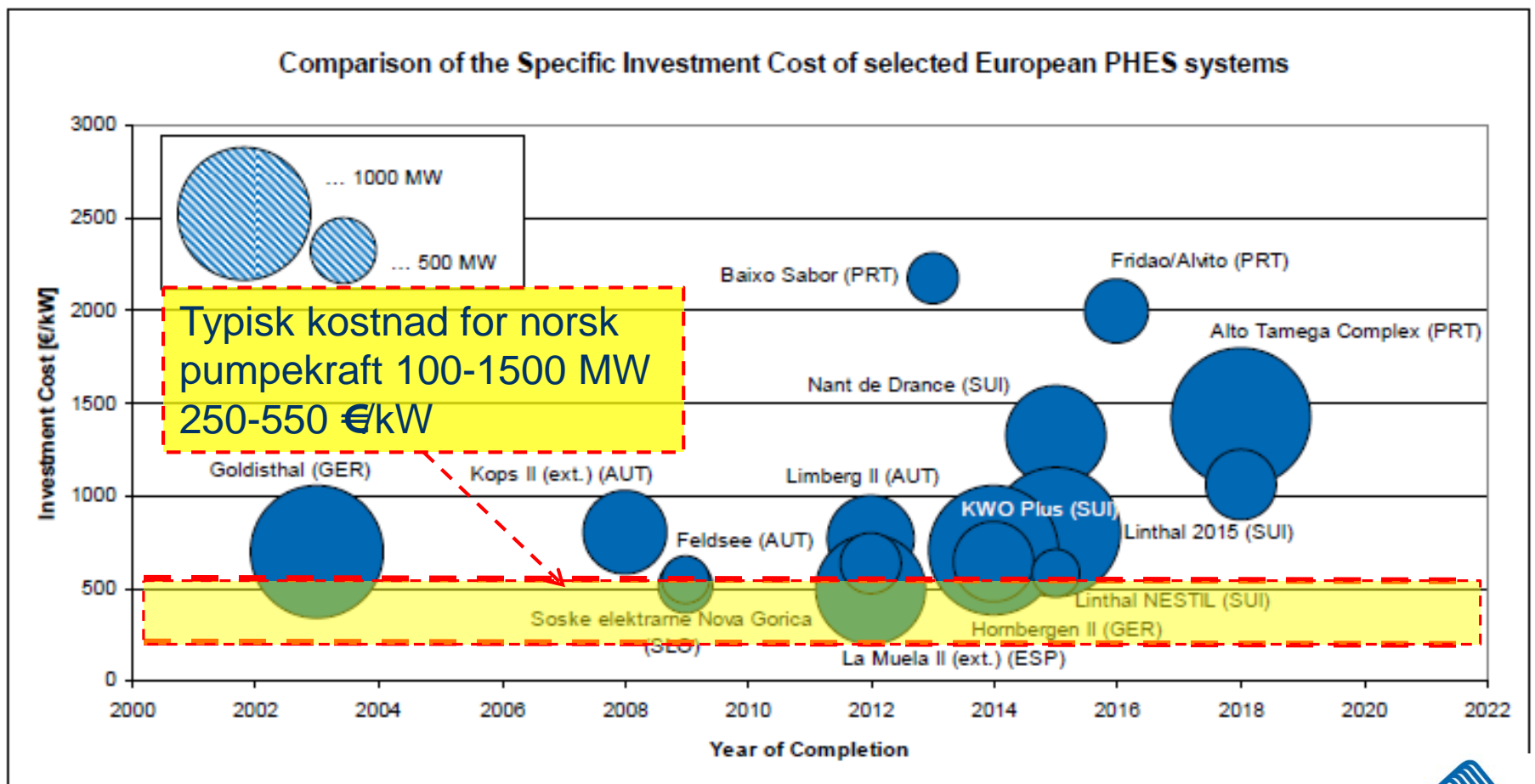


Figure 17: Comparison of the specific investment cost of some existing and proposed PHES plants in Europe until 2020 (Source: Deane et al, 2010)



Typiske kostnader for pumpekraft i Europa og i Norge

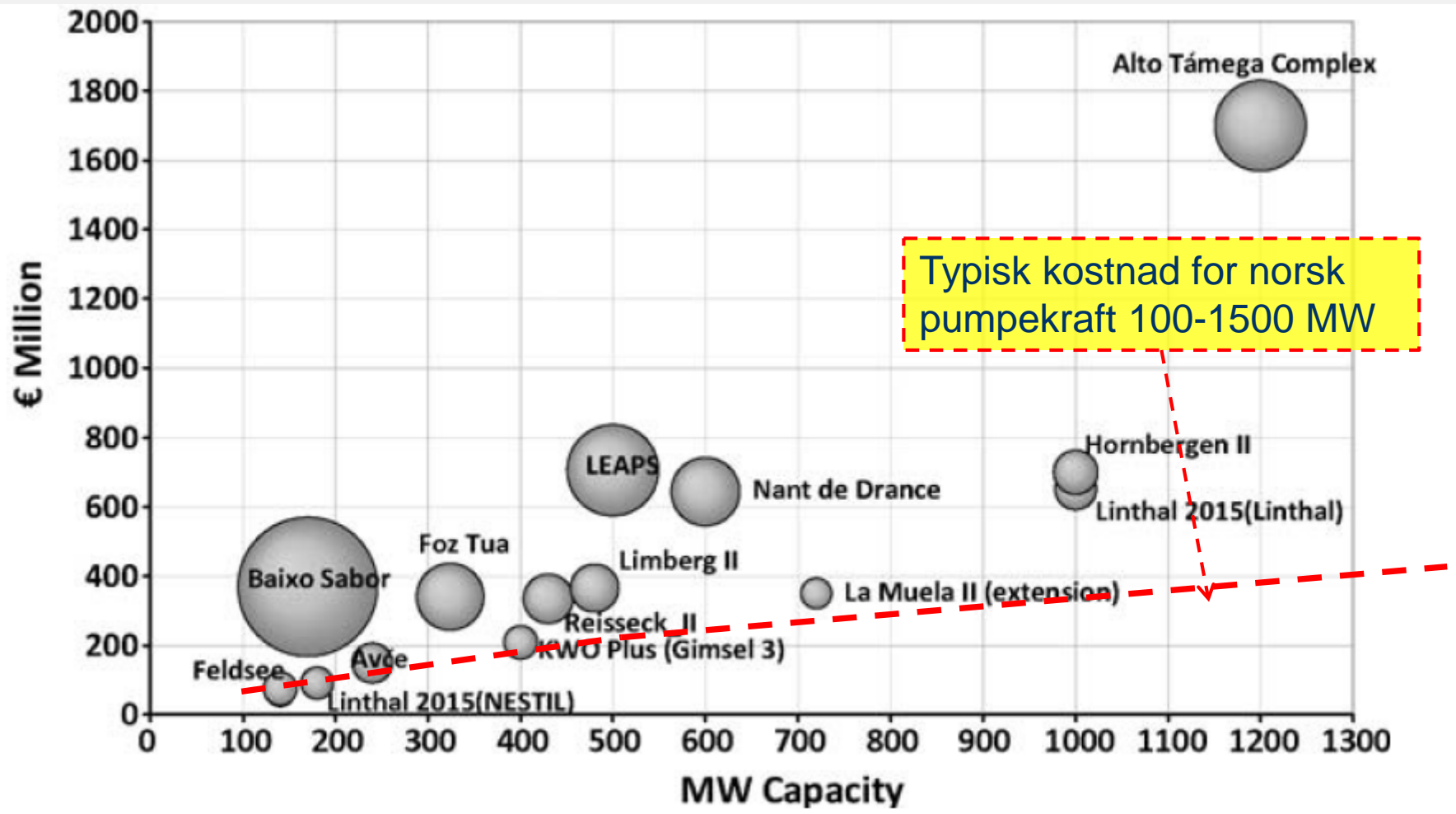


Figure 26 capacity vs. project and specific capital cost (ex transmission line) for proposed PHS in Europe/US. Y-axis is full CapEx cost. The size of bubble is indicative of relative cost per MW. Plants in Switzerland and US were converted to Euro using the following exchange rates. (1 CHF = 0.6515€, 1 USD = 0.70715€). Source: Deane et al. [50]

Oppsummering

- Stor magasinkapasitet for lagring av elektrisk energi (50% av hele Europa)
- Stor magasinkapasitet «ledig» for døgn-uke regulering i norske magasin
- Mange alternativer for økt effekt-utbygging til svært gunstig kostnad
- Mange alternativer for pumpekraft til svært gunstig kostnad
- Mange (>20) pumpekraftverk for storskala energilagring (> 100 GWh)
- Kostnader for lagring og balansering mye lavere enn for Europeiske alternativ
- Vannkraft kan dekke evt forbruksvekst i Norge i overskuelig framtid

Utbygging for elektrisk energi eksport lite realistisk

- Lite vannkraft igjen (25-75 TWh igjen)
- Vindkraft for dyrt

→ Det norske vannkraftsystemet bør «rendyrkes» for balansekraft

**For more information –
visit CEDREN at or our web-site**

<http://www.cedren.no/>

Renewable energy
respecting
nature!