

NILU
Teknisk Notat nr 78/74
Ref: IO-01773
Dato: mai 1974

VASSDRAGENES SURHET OG KORROSIJONSSKADER
I VANNKRAFTVERK. FORSLAG TIL
UNDERSØKELSESPROGRAM.

av

O. Anda, S. Haagenrud, A. Rode.

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 115, 2007 KJELLER
NORGE

VASSDRAGENES SURHET OG KORROSJONSSKADER I VANNKRAFTVERK
FORSLAG TIL UNDERSØKELSESPROGRAM

--- 0 ---

1 INNLEDNING

Sur nedbør har gitt og gir økende surhet i mange vassdrag i Sør-Norge. Således har svært mange vassdrag $\text{pH} < 5,5$ (1), (2).

Prognosene antyder en sterk økning av SO_2 -utslippet fra kontinentet og England fram til 1980. Man må derfor kunne forvente økende surhet i nedbøren og i vassdragene også i de kommende år.

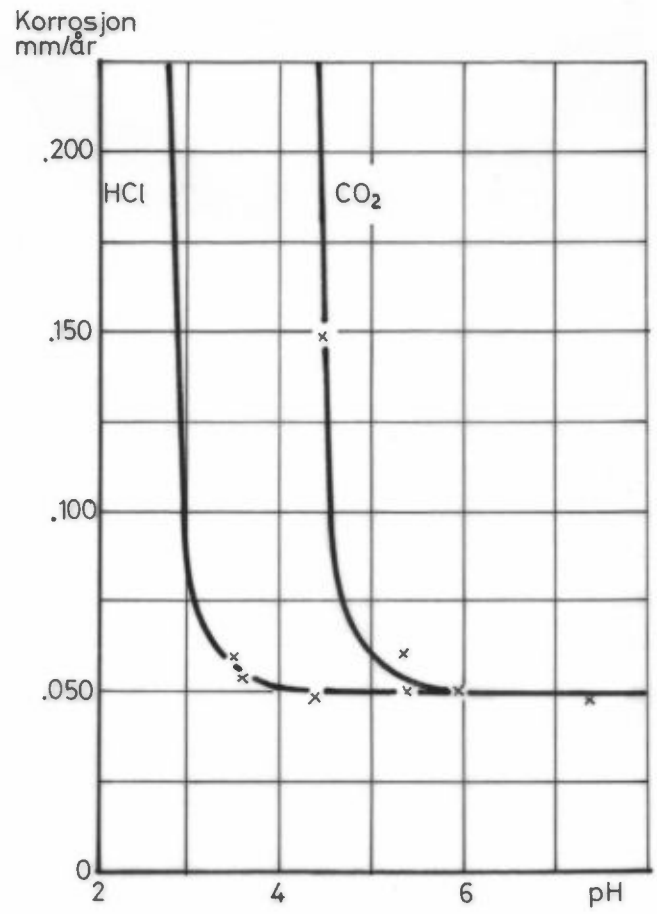
Litteraturdata gir grunnlag for å anta at korrosjonshastigheten for jern/stål vil begynne å øke ved $\text{pH} < 5,5$ og at økningen vil bli sterkt akselerert ved $\text{pH} < 4,5$ (figur 1). I en rekke av våre sureste vassdrag vil det derfor kunne være økte korrosjonsproblemer i forbindelser med jern/stål konstruksjoner eksponert i vann, som f eks vannkraftverk. Representanter for kraftverksbransjen påstår da også at det surere vannet har gitt økt korrosjon i de senere år (3), (4).

Etter flere måneders forberedende arbeid har NILU derfor anbefalt at det hurtigst mulig foretas en større undersøkelse av korrosjonsforholdene i vannkraftverk liggende i vassdrag med forskjellig surhet og forskjellig grad av sur nedbørs belastning (4). Det foreliggende notat inneholder et forslag

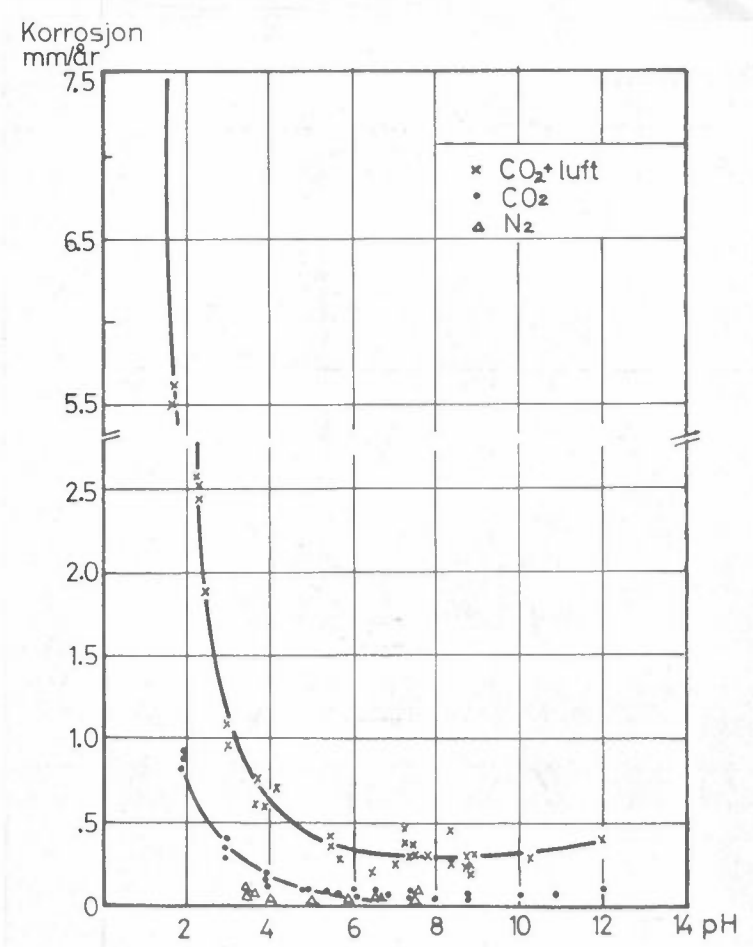
til utvalg av kraftverk i slike områder og et forslag til undersøkelsesprogram for disse. Utvelgelsen av kraftverkene er basert på studium av foreliggende vassdrags- og nedbør-data (1), (2), (5).

En undersøkelse av i hvilken grad sur nedbør medfører økte korrosjonsskader i kraftverkene i dag, og hva som i så måte kan forventes i årene framover, vil ha meget stor økonomisk betydning. I Telemark, Aust- og Vest-Agder, som i dag er mest utsatt for sur nedbør, fantes det i 1968 62 kraftverk av forskjellig størrelse (6). I Suvdøla kraftverk, som er et lite verk og 13 år gammelt, betalte Drangedal kommune høsten 1973 kr 600.000,- for utbedringer av korrosjonsskadene i rørgaten. Korrosjonsskadene, som det påstås skyldes surt vann, har også nødvendiggjort utskifting av turbinens løpehjul til en kostnad av ca kr 150.000,-. En vet ikke når nye reparasjoner igjen må utføres.

En undersøkelse av eksisterende og forventede korrosjonsforhold i vannkraftverkene, og et derav følgende valg av egnet beskyttelsessystem, vil således lett kunne bety millionbesparelser for hvert enkelt kraftverk.



a. i Cambridge-vann (etter Whitman et.al. (6)).



b. i 10% saltopløsning (etter Annand et.al. (9)).

Figur 1: Korrosjonshastighet for jern som funksjon av pH. (MPY=0.025 mm/år) (4).

2 FORSLAG TIL UTVALG AV KRAFTVERK

Tabellen viser forslaget til utvalg av kraftverk i forskjellige vassdrag. Utvalget består av 10 kraftverk fra 8 vassdrag. Vassdragene, med unntak av Namsen, ligger i Sør-Norge, nærmere bestemt i fylkene, Buskerud, Telemark, Aust-Agder og Vest-Agder.

Namsen og Numedalslågen renner gjennom områder med henholdsvis basisk, effusive bergarter og Trysil-sandstein. For de andre vassdragene består bergartene for det meste av gneis og granitt.

Vassdragene er valgt ut med tanke på å dekke et bredest mulig pH-område. De er inndelt i 4 pH-intervaller, med $\text{pH} < 6$, $5,5 < \text{pH} < 6$, $5,0 < \text{pH} < 5,5$ og $\text{pH} < 5$.

For de vassdrag hvor det er gjort hyppige målinger over flere år viser det seg at det er en pH-senkning av størrelsesorden 0,05 - 0,1 pH-enheter/år (5). Målingene viser også at det er en variasjon i pH som funksjon av årstider og vannføring. Således er pH lavest i mai og november og høyest i august og februar. Variasjonene, som er av størrelsesorden 0,5 - 1 pH-enheter, er så store at de vil kunne påvirke korrosjonshastigheten (figur 1).

Tabell 1: Forslag til kraftverk for undersøkelse av sammenheng korrosjonshastighet - surhetsgrad (kart i bilag).

Surhetsgrad	pH > 6,0		5,0 < pH < 5,5			pH ≤ 5,0		
	Namsen	Numedalslågen	Kammerforselva	Nidelva	Otra	Mandalselva	Kvina	Tokely, Suvdøla
Vassdrag	Tunnsjødal	Nore I Nore II NVE	Kammersfoss Bruk Kammersfoss Bruk	Bøylefoss Arendals Fossecomp.	Iveland Kristiansand El-verk	Skjerka Håverstad Vest-Agder kraftselskap	Trelandsfoss A/S Trølands- foss	Suvdøla Drangedal komm. E-verk
Kraftverk Eiere	(Kart 2) NVE/N. Trønde- lag E-verk	(Kart 3) NVE	(Kart 4) Bruk	(Kart 5) Arendals	(Kart 5) Kristiansand El-verk	(Kart 6) Skjerka	(Kart 6) A/S Trølands- foss	(Kart 4) Drangedal komm. E-verk
Berggrunn	Basiske effusive bergarter	Trysil- sandstein	Gneis	Gneis	Gneis, gabbro, granitt	Gneis	Gneis, granitt	Granitt
Gjennomsnitt- lig pH- senkning/år i perioden 1965 - 1970			-0,069	-0,053	-0,051	-0,045 Skjerka (-0,053)	+0,009	
pH-variasjon 1970	6,40-7,02 (10) 6,74	6,04-6,72 (16) 6,52	5,35-6,01 (22) 5,81	4,83-5,86 (45) 5,27	4,94-5,76 (22) 5,41	4,67-4,96 (23) 4,80	4,72-6,53 (25) 5,26	
pH-variasjon 1971	6,15-6,95 (13) 6,68	6,18-6,85 (12) 6,55	5,06-6,01 (22) 5,71	4,84-5,62 (46) 5,28	4,93-5,85 (17) 5,48	4,39-5,16 (19) 4,80	4,39-5,64 (17) 4,98	
pH-variasjon 1972	6,42-7,20 (12) 6,68	6,23-6,77 (12) 6,56	5,58-5,92 (22) 5,75	4,79-5,51 (45) 5,20	4,78-5,58 (15) 5,34	4,62-4,90 (25) 4,74	4,58-5,49 (18) 4,92	4,9
Ledningsevne µmho	16,5 - 43 (68 - 70)	15,9 - 28,0 (67 - 70)	18,8 - 26 (67 - 70)		11,5 - 24,4 (67 - 70)	28,3 - 51,3 (67 - 70)	12,7 - 38,0 (67 - 70)	17 (72)
Total hardhet CaO/l	2,6 - 10,6	2,1 - 6,0	3,2 - 4,7		1,5 - 4,0	3,0 - 7,3	0,9 - 6,2	0,6

3 UNDERSØKELSESPROGRAM

3.1 Metode til bestemmelse av korrosjonshastigheten

NILU har vurdert de aktuelle metoder til bestemmelse av korrosjonshastigheten (7). En vil benytte en elektrokjemisk metode, LPR-metoden. Ved denne metoden setter en ut måle-elektroder i selve korrosjonssystemet, i dette tilfellet kraftverkene. Måle-elektrodene får stå i systemet og korrodere under dettes driftsbetingelser. Et transportabelt måleinstrument, Corratat 1130, som kan polarisere måle-elektrodene, koples så til elektrodene og disses korrosjonshastighet avleses direkte på instrumentet. Måle-elektrodene er laget av samme materiale som en ønsker korrosjonshastigheten for.

Metodens store fordel er at den tillater en rask og kontinuerlig registrering av korrosjonshastighetens momentanverdi. Med de pH-variasjoner som opptrer, både med årstidene og muligens også under episoder med sur nedbør, vil dette muliggjøre en langt grundigere undersøkelse av korrosjonsforholdene enn ved vanlige vekttapsmålinger. En annen fordel ved metoden er at den også kan gi opplysninger om groptæringstendensen.

For tiden utprøver en instrumentet og metoden i laboratoriet.

3.2 Sammenheng korrosjonshastighet - pH ved laboratorieforsøk

3.2.1 Motivering

Sammenhengen mellom korrosjonshastighet og pH som vist på figur 1 er alment akseptert i korrosjonslitteraturen. Kurvene er nærmere diskutert annetsteds (4).

Det må understrekes at kurvene refererer seg til andre typer av vann enn i sør-norske vassdrag. Figur 1a gjelder for springvann fra Cambridge uten andre angivelser enn at pH er justert med henholdsvis HCl og CO₂, og figur 1b gjelder for 10% saltoppløsning puffret med karbonatpuffer.

Vi anser det for viktig å bestemme ved laboratorieforsøk sammenhengen mellom pH og korrosjonshastighet for de aktuelle vannene i Sør-Norge. Selv om en kan vente å finne kvalitativt liknende kurver som i figur 1, så har forhold som vannets hardhet, bakterieinnhold, saltinnhold, prøvenes eksponeringstid, osv så stor betydning for korrosjonshastigheten at en ikke uten videre bør anvende kurvene i figur 1a for norske vassdrag. Betydningen av vannets sammensetning framgår også klart av den store forskjellen i korrosjonshastighet på figur 1a og 1b.

En må selvfølgelig ta sikte på å bestemme sammenhengen mellom pH og korrosjonshastighet også i selve kraftverkene. Det er dog såvidt mange praktiske problemer forbundet med dette at en samtidig bestemmelse under kontrollerte laboratoriebetingelser utvilsomt vil ha stor betydning og være til stor hjelp.

Dessuten vil laboratorieforsøk også tillate oss å bestemme korrosjonshastigheten ved lavere pH-verdier enn de som eksisterer i dag. På det grunnlag vil en kunne uttale seg om den mulige framtidige utvikling av korrosjonsforholdene.

3.2.2 Forsøk

Vi har utviklet en forsøksapparat som tillater oss å kjøre samtidige forsøk ved forskjellige og kontrollerte pH-verdier. For å unngå konsentrasjonsgradienter strømmes vannet gjennom korrosjonskamrene. Kamrene har et volum på ca 6 l og dette skiftes ut én gang pr time. Det kan skiftes raskere.

Foreløpig har en kjørt forsøk med springvann og utprøvd kamrenes representativitet. En tenker kjøre med vannprøver fra de aktuelle vassdrag, eventuelt med tilsvarende vann.

Det foretas daglige målinger av vannets pH og O₂-innhold sammen med kjemiske analyser. De direkte laboratorie-forsøkene for å bestemme pH-sammenhengen kan startes i mai.

3.3 Sammenheng korrosjonshastighet - pH ved målinger i vannkraftverk

Som allerede nevnt varierer vassdragenes surhet med årstidene og vannføringen. Således er pH lavest i mai og november, og høyest i august og februar. Derfor bør det foretas månedlige målinger under hele året i minst ett år.

Initialkorrosjonen har ofte stor betydning for korrosjonens videre forløp. Derfor bør en sette ut ett sett av måle-elektroder i årsperioden med lav pH, og ett sett i årsperioden med høy pH.

Selve plasseringen av måle-elektrodene i de forskjellige vannkraftverk må vurderes meget kritisk. Forholdene fra kraftverk til kraftverk må være mest mulig like med hensyn på strømningsforhold, oksygeninnhold og temperatur. På grunn av oksygenets bestemmende virkning på korrosjonen er særlig kontrollen av de to første parametre helt avgjørende.

Den letteste måten å få sammenlignbare strømningsforhold på, er antakelig å plassere måle-elektrodene i stillestående vann. Fordi den O₂-bestemte del av korrosjonen øker med strømningshastigheten, vil eventuelle pH-effekter også teoretisk komme tydeligst til syne i stillestående vann.

Teoretisk fordi også korrosjonsproduktene spiller en stor rolle for korrosjonshastigheten, og det kan meget vel tenkes at en eventuell pH-effekt også består i at korrosjonsproduktene blir mindre beskyttende. I så fall vil pH-effektene muligens komme enda bedre til syne ved strømmende vann.

For å avklare disse spørsmål bør en ha måle-elektroder plassert både i stillestående og i strømmende vann. Hvorledes en skal få de samme strømningsforhold fra verk til verk vet en foreløpig ikke, men det bør utvikles en målecelle hvor elektrodene kan eksponeres.

En tenker sette ut 4 elektroder i hvert kraftverk, med to i årsperioden med lav pH og to i årsperioden med høy pH. En av de to vil en sette i stillestående vann og én i strømmende vann. Dette under forutsetning av at de pågående laboratorieforsøk viser at én elektrode er tilstrekkelig representativ.

Naturlig start på disse pH-forsøkene synes å være første sett av elektroder eksponert ca 15. november 1974, og andre sett ca 15. februar 1975. Måleseriene bør gå ett år og kan avsluttes ca 15. februar 1976.

For å utvikle eventuell målecelle og skaffe seg praktisk måle-erfaring tenker en starte allerede i juni med målinger på Rånåsfoss kraftstasjon. Dette verket er godt egnet fordi det ligger nær NILU, og fordi vi allerede har forsøk i gang her for studium av vårfluekorrosjon (7).

Når det gjelder sur nedbør så kommer denne periodisk i form av episoder. Disse har varighet fra ett til 3 - 4 døgn og har nær sammenheng med de meteorologiske forhold (8). NILU får varsel om slike episoder fra Meteorologisk institutt

og foretar da en rekke målinger i felten. Vi utvikler for tiden en målecelle som vil tillate måling av den atmosfæriske korrosjonshastigheten under slike episoder. I samme forbindelse er vi svært interessert i å måle i detalj korrosjonshastigheten i ett eller flere vannkraftverk under slike episoder, som jo må antas å gi sjokkvirkninger på surheten i overflatesjiktet.

3.4 Korrosjon ved vårfluer og jernbakterier

Spørsmålet om korrosjon ved vårfluelarver og jernbakterier framkommer ofte i forbindelse med korrosjon i vannkraftverk (3). NILU har nedlagt mye arbeid for å sette seg inn i denne problematikken nettopp med tanke på en større undersøkelse (8).

I dette arbeidet har en konkludert med at det er nødvendig å studere korrosjonens initieringsfase for å kunne dra konklusjoner om vårfluelarvens eventuelle korrosjonsmessige betydning. I denne forbindelse er det satt ut prøveplater på Rånåsfoss kraftstasjon. Disse inspiseres med jevne mellomrom og ser ut til å kunne gi interessante opplysninger.

NILU mener at man samtidig med en bestemmelse av sammenhengen pH - korrosjonshastighet også bør foreta en undersøkelse av problematikken omkring vårflue- og jernbakteriekorrosjonen. Kompetansen for en slik undersøkelse har en allerede bygget opp.

4 UTREDNING BESKYTTELSESNALTERNATIVER

En har gitt en kort vurdering av de aktuelle metodene i Suvdøla-rapporten (4), og konkludert med at katodisk beskyttelse med påtrykt spenning synes å være et meget interessant alternativ. En har allerede begynt med visse studier for å undersøke kravet til ledningsevne, anodeplassering og liknende.

5 PROSJEKTKOSTNADER OG TIDSRAMMER

1974

Start 1. mai (se tidsramme side 13).

LØNNSUTGIFTER

8 måneder á 21 arbeidsdager á 7,5 timer.

Forsker ($\frac{1}{2}$ tid = 3,5 timer)	3,5x21x8x110 =	kr 64.680,-
Ingeniører ($\frac{1}{2}$ tid = 3,5 timer)	3,5x21x8x100 =	" 58.880,-
Teknisk hjelpes- personell	($\frac{1}{2}$ tid = 3,5 timer) 3,5x21x8x60 =	" 35.280,-
		<u>kr 158.840,-</u>

REISER

Utplassering av målesonder og igangsetting av
målinger kr 20.000,-

KORROSIJONSINSTRUMENTER

2 stk Corratat á kr 6.000,-	kr 12.000,-
Målesonder - 2 stk pr kraftverk, dvs 20 stk á kr 500,-	kr 10.000,-

DIVERSE

Skriver, korrosjonskammer for måle-
elektroder, m.m. kr 20.000,-

ANALYSER

Nedbørprøver og vannanalyser kr 2.000,-

TOTALT : kr 222.840,-

KAPITALKOSTNAD : kr 42.000,-

1975

LØNNSUTGIFTER

$\frac{1}{2}$ forsker	kr 97.020,-
$\frac{1}{2}$ ingeniør	" 88.200,-
$\frac{1}{2}$ teknisk hjelpepersonell	" 52.920,-
	<u>kr 238.140,-</u>

REISER kr 50.000,-

ANALYSER kr 10.000,-

KORROSIJONSINSTRUMENTER

Målesonder - 2 stk pr kraftverk kr 10.000,-

TOTALKOSTNAD : kr 308.140,-

KAPITALKOSTNAD: kr 10.000,-

1976

LØNNSUTGIFTER

$\frac{1}{2}$ forsker, 6 måneder	kr 48.510,-
$\frac{1}{2}$ ingeniør, 3 måneder	" 22.050,-
$\frac{1}{2}$ teknisk hjelpepersonell, 3 måneder	" 13.230,-
	<u>kr 83.790,-</u>

REISER kr 12.000,-

ANALYSER kr 2.500,-

TOTALT kr 98.290,-

TOTAL PROSJEKTKOSTNAD 1974/75/76: kr 629.270,-

Kostnadsoverslaget er basert på 1974-priser og en tar forbehold om prisendringer. Dette vil i særlig grad gjelde lønningene.

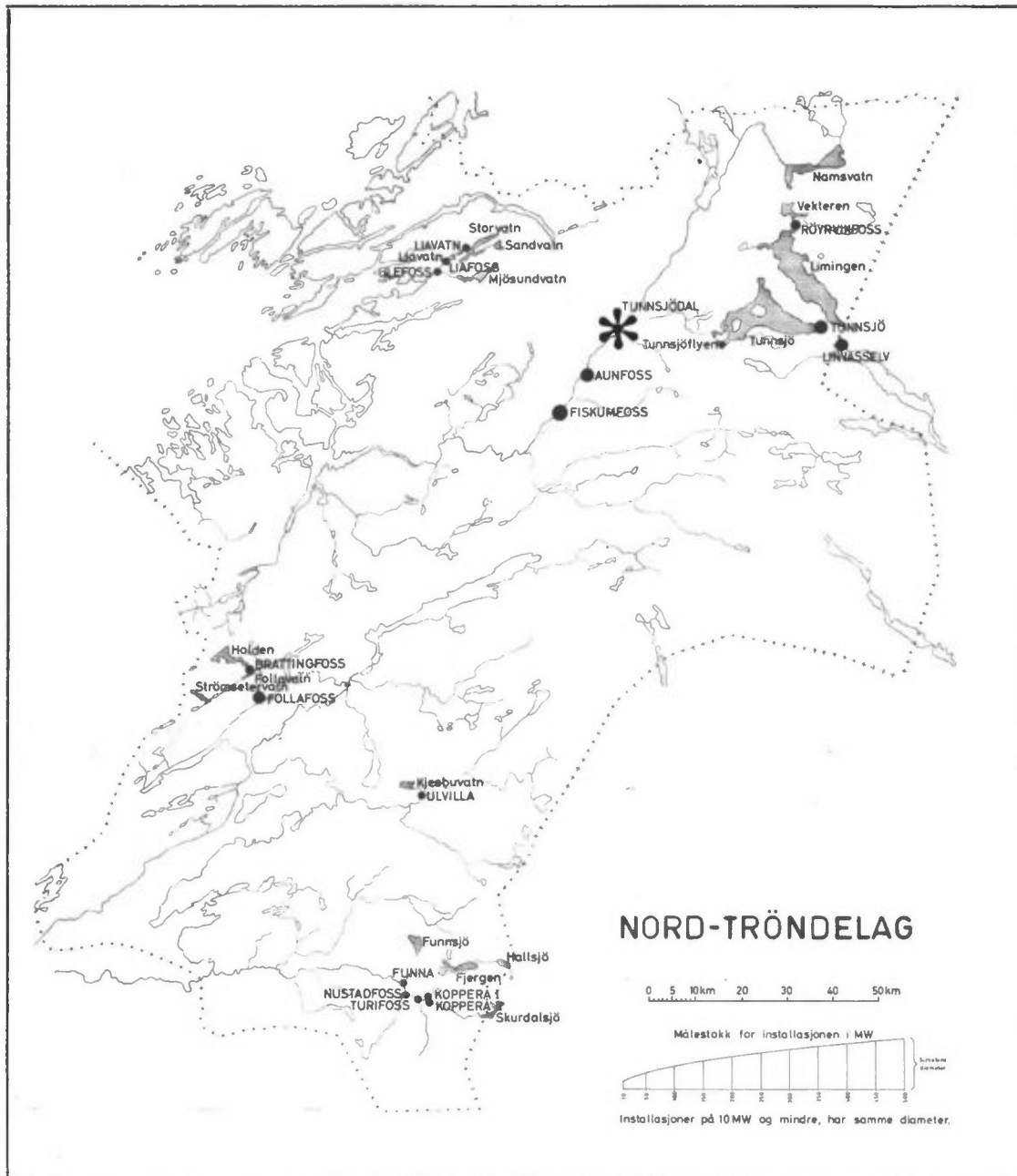
5.1 Kommentarer

En prosjektkostnad på ca kr 630.000,- over 2 år eller ca kr 315.000,-/år, kan virke høyt. Tallet bør imidlertid sees i relasjon til utgiftene pr kraftverk og til de besparelser man kan oppnå.

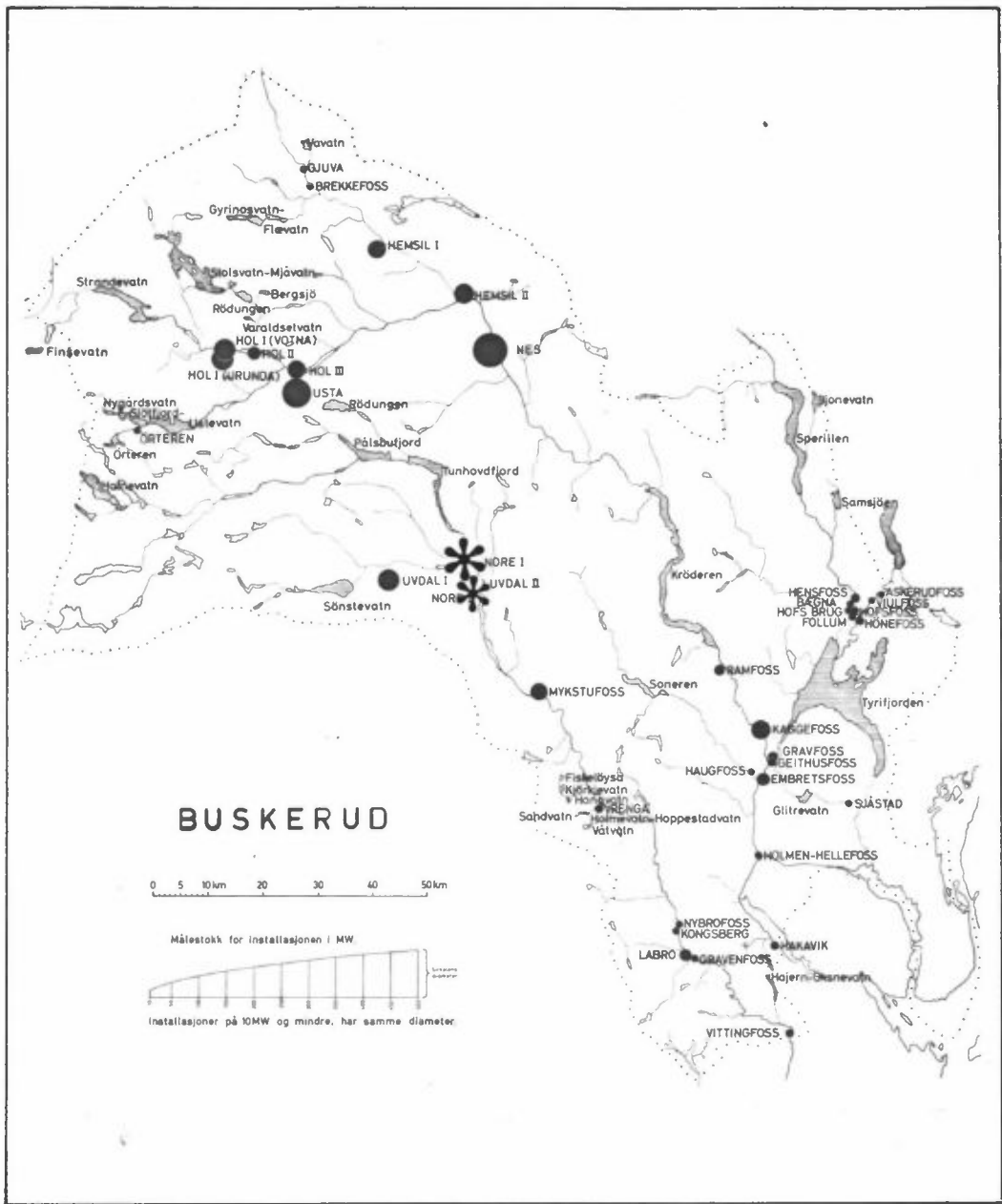
Undersøkelsen omfatter 10 kraftverk, hvilket skulle bety en utgift pr verk på ca kr 30.000,-/år. Regner en at samtlige verk, i hvert fall i de 3 mest utsatte fylkene, Aust-Agder, Vest-Agder og Telemark, vil ha interesse av undersøkelsen, blir utgiftene fordelt på 62 verk kr 5.080,-/år/verk. Når en da tenker på at et lite kraftverk som Suvdøla, i år utbedret korrosjonsskader som påstås å skyldes sur nedbør, for i størrelsesorden 3/4 millioner kroner, må kostnadene ansees for beskjedne. Dette særlig med tanke på at man her forhåpentlig vil kunne komme med anbefalinger om beskyttelsesalternativer slik at en i tide vil kunne hindre slike enorme utgifter til utbedringer av skader.

6 LITTERATURLISTE

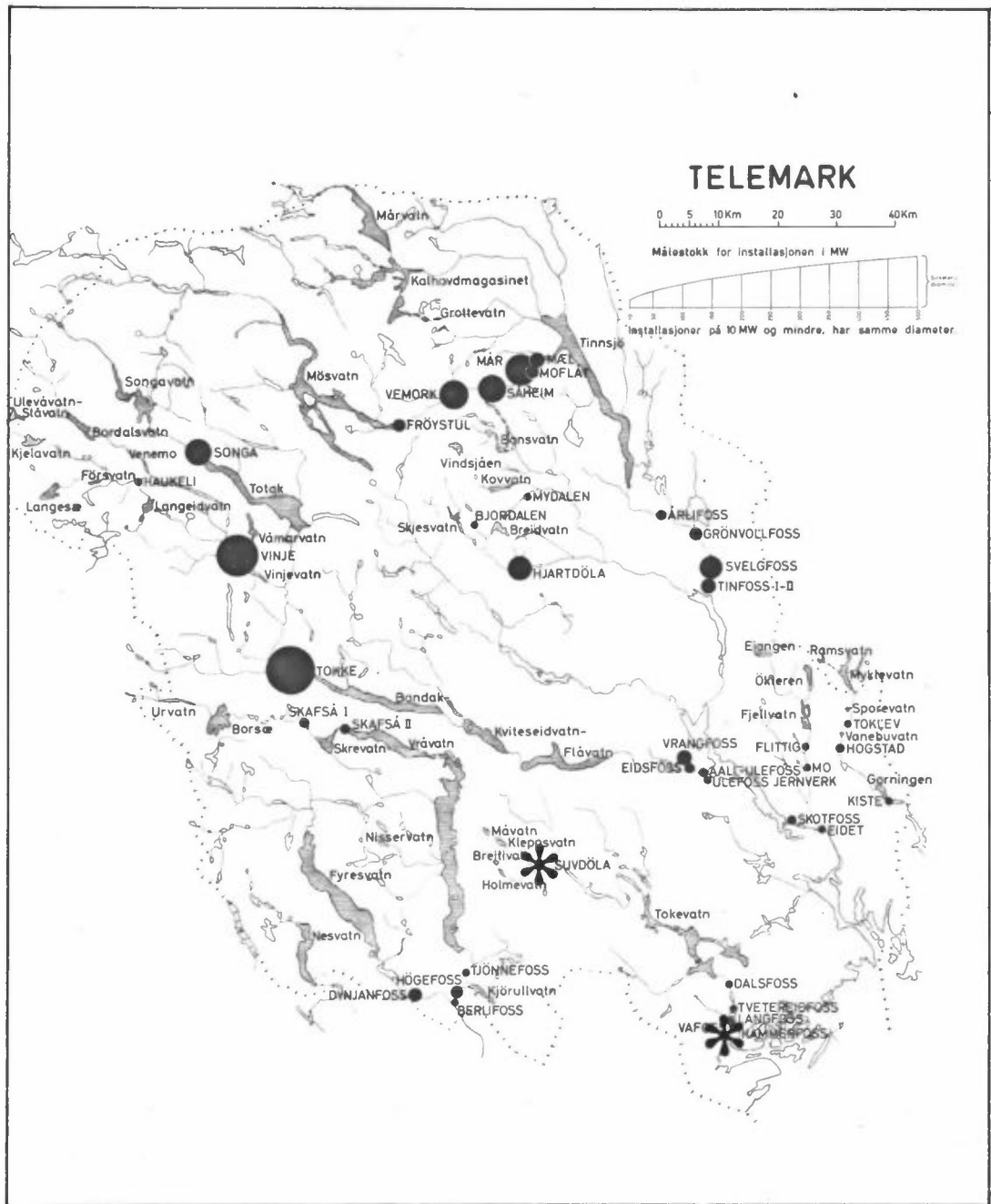
- (1) Jensen, K.W.,
Snekvik, E. Low pH-Levels Wipe out Salmon
and Trout Populations in
Southernmost Norway.
- (2) Flere artikler i "Vann",
nr 1, 1972.
- (3) Römcke, N. Korrosjon i vannkraftverk.
Korrosjonsnytt nr 5, 1973.
- (4) Haagenrud, S.E. Undersøkelse av korrosjons-
forholdene ved Suvdøla
kraftverk, Drangedal.
NILU oppdragsrapport nr 78/74.
- (5) Snekvik, E. Årsmelding 1972.
29. januar 1973.
- (6) Utbygd vasskraft i Norge.
NVE, Oslo mars 1969.
(Internt bruk.)
- (7) Haagenrud, S.E. Metoder til bestemmelse av
korrosjonshastigheten i felten.
NILU teknisk notat nr 70/74.
- (8) Anda, O. Korrosjon i forbindelse med
bakterier og vårfluer.
NILU teknisk notat nr 71/74,
Mars 1974.
- (9) Schjoldager, J. Svovelforurensninger i luft og
nedbør ved norske bakgrunns-
stasjoner.
NILU teknisk notat nr 52/73,
april 1973.



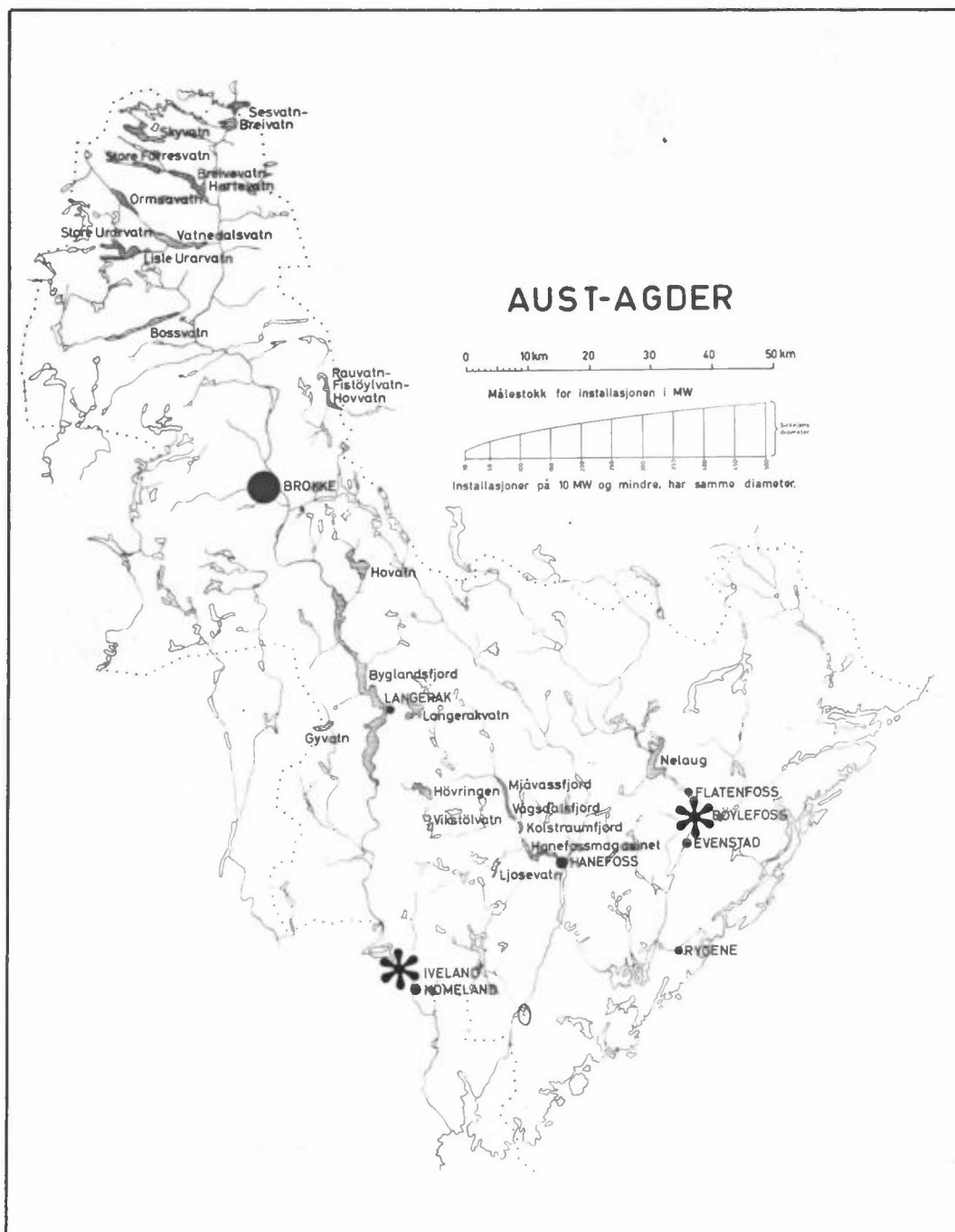
Kart 2



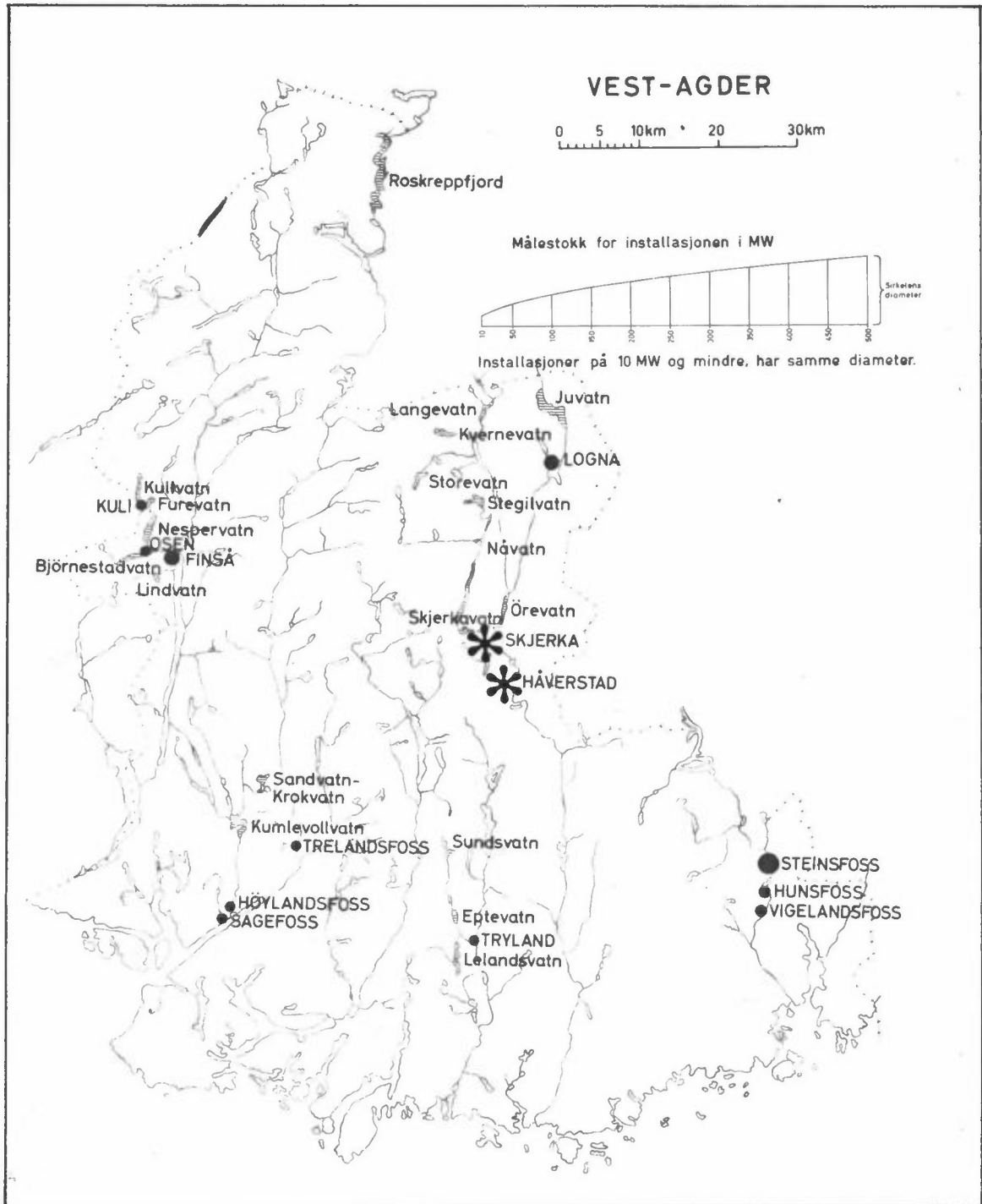
Kart 3



Kart 4



Kart 5



Kart 6