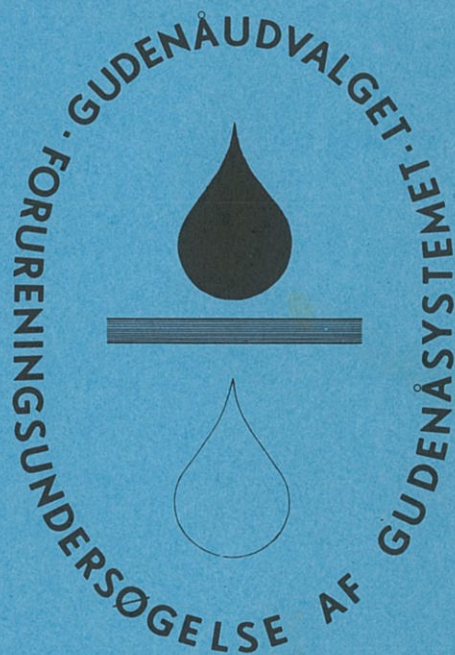


RAPPORT NR. 31



GUDENÅUNDERSØGELSEN  
Kviksølv i sediment og fisk



MILJØSTYRELSENS  
FERSKVANDSLABORATORIUM

Lysbrogade 52  
8600 Silkeborg  
Telefon 06 - 81 07 22

8/12 78

GUDENÅ UNDERSØGELSEN  
KVIKSØLV I SEDIMENT OG FISK

DANMARKS  
MILJØUNDERSØGELSER  
BIBLIOTEKET  
Lysbrogade 52. DK-8600 Silkeborg

København, den 26. Januar 1976  
for ISOTOPCENTRALEN

  
Knud Pedersen

INDHOLDSFORTEGNELSE

	<u>Side</u>
1. RESUMÉ .....	1
2. INDLEDNING .....	2
3. KVIKSØLVPROBLEMATIK .....	4
3.1 Tokikologi .....	4
3.2 Samspillet mellem kviksølv i sediment og fisk .....	4
4. SEDIMENTUNDERSØGELSER .....	5
4.1 Baggrund og målsætning .....	5
4.2 Prøvetagning .....	5
4.3 Laboratorieundersøgelser .....	6
4.3.1 Karakterisering af sedimentprøver .....	6
4.3.2 Bestemmelse af tørstof .....	6
4.3.3 Bestemmelse af glødetab .....	6
4.3.4 Bestemmelse af kviksølv .....	6
4.4 Resultater og diskussion .....	7
4.4.1 Gudenåen, Vilholt og Mossø .....	8
4.4.2 Remstrup Å og Silkeborg Langsø .....	8
4.4.3 Tange Å og - Sø .....	9
4.4.4 Søndermølle Å og Nørre Å .....	9
5. FISKEUNDERSØGELSER .....	10
5.1 Baggrund og målsætning .....	10
5.2 Indfangning af fisk .....	10
5.3 Laboratorieundersøgelser .....	11
5.3.1 Karakterisering af fiskematerialet .....	11
5.3.2 Udvalgelse af fisk til analyse .....	11
5.3.3 Prøvetagnings- og analysemetodik .....	11
5.4 Analyseresultater .....	11
5.4.1 Tidligere resultater .....	11
5.4.2 Nye resultater .....	12
5.4.3 Kviksølvkoncentration-vægtogrammer .....	13
5.5 Diskussion af resultater .....	13
5.5.1 Silkeborg Langsø .....	14
5.5.2 Tange Sø .....	14
5.5.3 Tange Å .....	15
5.5.4 Gudenåen, Frisenvold .....	15
6. KONKLUSION .....	15
7. REFERENCER .....	17

BILAGSFORTEGNELSE

- 2.1 Oversigtskort, Gudenå-systemet
- 4.2.1 Stationskort, sedimentprøver, Gudenåen, Vilholt og Mossø
- 4.2.2 Stationskort, sedimentprøver, Remstrup Å og Silkeborg Langsø
- 4.2.3 Stationskort, sedimentprøver, Tange Å
- 4.2.4 Stationskort, sedimentprøver, Tange Sø
- 4.2.5 Stationskort, sedimentprøver, Søndermølle Å og Nørre Å
- 4.4.1 Analyseresultater, sedimentprøver
- 4.4.2 Analyseresultater, sedimentprøver
- 5.4.1.1 Kviksølv i aborrer 1968
- 5.4.1.2 Kviksølv i gedder 1968 - 1973
- 5.4.1.3 Kviksølv i sandarter 1973
- 5.4.1.4 Kviksølv i ål 1968
- 5.4.2.1 Kviksølv i aborrer 1975
- 5.4.2.2 Kviksølv i aborrer 1975
- 5.4.2.3 Kviksølv i gedder 1975
- 5.4.2.4 Kviksølv i gedder og sandarter 1975
- 5.4.3.1 Hg-konc.-vægtdiagrammer for fisk fanget i Gudenå-systemet  
1968 - 1973
- 5.4.3.2 Hg-konc.-vægtdiagrammer, aborrer 1975
- 5.4.3.3 Hg-konc.-vægtdiagrammer, gedder 1975



1. RESUME

I forbindelse med gennemførelsen af Gudenåundersøgelsen 1973-1975 har Vandkvalitetsinstituttet på Gudenåudvalgets vegne anmodet Isotopcentralen om, at gennemføre en kviksølvundersøgelse af sediment og fisk, i Gudenåsystemet.

Sedimentundersøgelsens formål var, at belyse om sedimentet på udvalgte lokaliteter nedenstrøms nuværende og tidligere spildevandsudløb er belastet med kviksølv.

Fiskeundersøgelsens formål var dels at belyse den nuværende kviksølvbelastning af fisk på lokaliteter, hvor der tidligere var konstateret forhøjede kviksølvkoncentrationer, og dels at belyse eventuelle indtrufne ændringer i fiskenes kviksølvbelastning.

Sedimentundersøgelserne er udført på lokaliteter i Gudenåen ved Vilholt og Mossø, i Remstrup Å og Silkeborg Langsø, i Tange Sø og -Å og i Søndermølle Å og Nørre Å. Valget af disse undersøgelseslokaliteter er sket på grundlag af deres nuværende eller tidligere anvendelse som recipienter for spildevand fra hospitaler og papir- og papfabrikker, der traditionelt har benyttet kviksølv eller kviksølvsforbindelser.

Der er i alt foretaget 44 kviksølvanalyser på udvalgte sedimentprøver fra de nævnte lokaliteter med hovedvægten på Silkeborg Langsø.

Resultaterne viste, at sedimentet i nogle områder i Remstrup Å, Silkeborg Langsø og Tange Sø's nordlige del var lo gange mere kviksølvbelastet end sediment fra Mossø, der må karakteriseres som svagt eller ubelastet. Resultaterne viste også, at sedimentet i Tange Å nedenstrøms Kjellerup var kviksølvbelastet flere gang niveauet opstrøms Kjellerup.

Resultaterne har også vist, at sedimentet i Gudenåen fra Vilholt til Mossø og i Mossø må karakteriseres som svagt eller ubelastet med kviksølv. I Nørre Å nedenstrøms sammenløbet med Søndermølle Å og i Søndermølle Å spores antagelig svagt forhøjede kviksølvkoncentrationer i sedimentet. Dette kan dog ikke afgøres med sikkerhed, da naturlige koncentrationsvariationer kan gøre sig gældende.

Fiskeundersøgelserne er koncentreret om Silkeborg Langsø, Tange Sø og -Å og Gudenåen nedenstrøms Tange Sø ved Frisenvold. Der er i alt foretaget 86 kviksølvanalyser på aborrer og gedder. Resultaterne viste, at der siden 1968 er sket en markant formindskelse af kviksølvbelastningen af gedder og aborrer i Silkeborg Langsø og af aborrer i Tange Sø. Der blev i intet tilfælde fundet kviksølvindhold større end 1000 ng/g på de nævnte lokaliteter. Akkumuleringstilvæksten af kviksølv i gedder og aborrer udtrykt som ng Hg/g

fiskemuskel pr. kg vægtforøgelse er formindsket ca. 6 gange siden 1968 i Silkeborg Langsø. I Silkeborg Langsø og Tange Sø målttes de højeste kviksølvindhold i gedder henholdsvis 736 ng/g geddemuskel og 609 ng/g geddemuskel i gedder på 7 og 9 år.

I Tange Å målttes det største kviksølvindhold til 423 ng/g geddemuskel i en gedde på 5 år.

I Gudenåen ved Frisenvold konstateredes en kviksølvakkumuleringstilvækst i gedder, der var 13 gange større end akkumuleringstilvæksten i gedder fra ubelastede danske søer i 1973. Det størst målte kviksølvindhold var 523 ng/g geddemuskel i en gedde på 7 år.

## 2. INDLEDNING

Allerede i 1968 blev det på grundlag af analyser udført af ISOTOPCENTRALEN (IC) kendt, at gedder og aborrer i Silkeborg Langsø var kviksølvbelastede. Enkelte gedder (2 ud af 5) viste et kviksølvindhold større end 1 mg pr. kg, jfr. FRA SUNDHEDSSTYRELSEN /1/.

Ovennævnte, andre og senere resultater jfr. ISOTOPCENTRALEN /2/ viste, at gedder i Gudenåen nedenstrøms Tange Sø var kviksølvbelastede. I 1 ud af 3 gedder blev der fundet et kviksølvindhold større end 1 mg pr. kg. Analyse-resultaterne i /2/ antydede også, at aborrer i Tange Sø kunne være kviksølvbelastede.

En sammenfattende redegørelse for alle udførte kviksølvanalyser på fisk, slam og spildevand i Gudenå-systemet er foretaget i ISOTOPCENTRALEN /3/ i forbindelse med et oplæg til de undersøgelser, hvorom der her rapporteres. De kviksølvanalyser, der er udført på slam og spildevand jfr. /3/, var led i undersøgelserne af slam i renseanlæg og sporing af kilder.

Resultaterne af kildeporingerne viste, at spildevandet fra hospitalerne i Kjellerup, Silkeborg og Brødstrup var stærkt kviksølvforurennet. Der kunne således skønnes en årlig udledning af 4 - 6 kg kviksølv fra hver af hospitalerne. Undersøgelserne af papir- og papfabrikkers spildevand viste, at kun spildevandet fra Bruunshåb papfabrik med afledning til Søndermølle Å var kviksølvforurennet.

Nærværende rapport om Gudenå-systemets kviksølvbelastning i sediment og fisk er en delrapport indenfor det projektafsnit i Gudenåundersøgelsen, der omfatter "Giftighed, tungmetaller" omtalt som projekt B 14 i GUDENÅ-UNDERSØGELSEN, projektbeskrivelse /4/.



Det var planlagt, at undersøgelsen skulle udføres i et samarbejde mellem HYGIEJNISK INSTITUT ved Århus Universitet (HI) og IC. På et projektmøde d. 21.10.74 mellem HI, VANDKVALITETSINSTITUTTET (VKI) og IC blev det besluttet, at IC alene skulle udiøre kviksølvundersøgelserne dog således, at VKI udførte det praktiske arbejde med hensyn til sedimentprøvetagning. HI ville i stedet bl.a. undersøge indholdet af DDT og PCB i fisk og andre egnede indikatororganismer. Det blev derfor vedtaget, at fisk der blev indfanget til kviksølvanalyse også skulle bruges til undersøgelse af chlorpesticidindholdet.

På et senere møde mellem VKI og IC blev beløbsrammen for IC's undersøgelsesdel fastsat til kr. 40.000.

Gennemførelsen af fiskeundersøgelsen har kun været muligt ved vederlagsfri assistance fra en række institutioner og enkeltpersoner.

Der er indhentet fisketilladelser i Silkeborg Langsø og Tange Sø og -Å fra henholdsvis Silkeborg Skovdistrikt og Dansk Sportsfiskerforbund. Fiskefangsterne i Silkeborg Langsø er forestået af fiskeriforpagter Arne Flyvholm, Silkeborg og i Tange Sø og -Å af fiskemester Frederik Hansen, Tange. Fiskerikontrollen i Randers har endvidere hjulpet til med dels at opkøbe og dels at udvælge fisk til kviksølvanalyse. Opbevaringen af en stor del af fiskene er i en periode sket på Silkeborg Kommunes laboratorium. Aldersbestemmelsen på de analyserede fisk er foretaget af cand. scient. Gorm Rasmussen DF og H. Der skal endvidere nævnes, at der ikke kunne fanges fisk i Ring Sø ved brødstrup jfr. oplysninger fra politiassistent Beck Nygård, Brødstrup, der er formand for den lokale sportsfiskerforening. Sedimentprøver fra Ring Sø er ikke udtaget.

I rapporten benyttes følgende forkortelser:

DF og H	Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser	
HI	Hygiejnisk Institut, Århus Universitet	
IC	Isotopcentralen	
VKI	Vandkvalitetsinstitutet	
ng	nannogram	1 ng = 10 <sup>-9</sup> g
Hg	kviksølv	
TS	tørstof	
GT	glødetab	

### 3. KVIKSØLVPROBLEMATIK

#### 3.1 Toxikologi

Blandt tungmetallerne anses kviksølvet for at være det mest giftige. Specielt giftige er de methylerede kviksølvforbindelser. Uheldigvis er det disse forbindelser som akkumuleres i fisk. Hos fiskespisende mennesker akkumuleres kviksølvet især i hjernen, hvorfra det kun langsomt udskilles. Ved regelmæssigt indtagning af kviksølvforurenede fisk kan der hos mennesker opstå kroniske hjerneskrader. Den alvor, hvormed myndighederne i en række lande betragter de ricisi, der er forbundet med kviksølvforurenede fisk fremgår af de grænser, der er fastsat for det tilladelige kviksølvindhold i fisk til konsum. I USA og Canada tillades 0,5 mg kviksølv pr. kg fisk i foreliggende tilstand. I Italien og Sverige tillades henholdsvis 0,7 og 1 mg kviksølv pr. kg fisk. I Danmark findes ingen lovmæssigt vedtagen grænse, men i praksis benyttes den svenske grænse på 1 mg/kg. Ovennævnte grænser er bl.a. valgt under hensyntagen til udsatte befolkningsgruppers spisevaner. Det anbefales WHO /5/, at den ugentlige indtagning af kviksølvforbindelser gennem føden ikke må overstige 0,3 mg/uge og heraf må højst 0,2 mg være methylkviksølvforbindelser.

I Danmark er risikoen for at mennesker bliver kviksølvforgiftede som følge af fiskespisning lille på grund af de varierende kostvaner, og på grund af at fangststørrelserne af kviksølvforurenede fisk er små.

#### 3.2 Samspelet mellem kviksølv i sediment og fisk

Nyere undersøgelser JERNELÖV /6/ har vist, at det kviksølv, der findes bundet i sedimentet i åer, søer og have kan omdannes til vandopløselige methylkviksølvforbindelser under tilstedeværelse af ilt og visse bakterier og ved passende pH og temperatur. Det har vist sig at fisk optager opløst methylkviksølv direkte fra vandet via gallerne tillige med optagelsen via føden.

Der er således en sammenhæng mellem kviksølvindholdet i sediment og vand og kviksølvindholdet i stationære fisk. Sammenhængen er dog ikke simpel.

Nyere svenske undersøgelser HÅKONSEN /7/ indikerer en positiv sammenhæng mellem en sø's eutrofieringsgrad og kviksølvbelastningen af sediment og fisk. Denne sammenhæng skal forstås således, at fisk i næringsrige søer er mindre følsomme over for kviksølvforurening end fisk i næringsfattige søer.



En ny problemstilling inden for kviksølvproblematikken er opstået ved etablering af biologiske rensningsanlæg. Her kan netop være gunstige betingelser for methylering af kviksølv i kviksølvholdigt slam. Foreløbige undersøgelser udført af IC tyder på at en større procentvis kviksølvmængde findes opløst ved udgangen af et biologisk renseanlæg end ved indgangen. Undersøgelser af methylkviksølvbalancer over biologiske renseanlæg i udlandet BISOONI/8/ har vist, at dette også gælder for methylkviksølvforbindelser.

Ovennævnte forhold bør for et recipientområde som Gudenå-systemet overvåges nøjere i fremtiden, da det kan medføre forøgelse af kviksølvbelastningen i fiskebestandene.

#### 4. SEDIMENTUNDERSØGELSER

##### 4.1 Baggrund og målsætning

Sedimentet i åer og søer har vist sig at være velegnet som indikator for kviksølvforurening af det fysiske miljø. Dette skyldes, at kviksølvet uanset den kemiske form, hvori det er udledt, adsorberes til suspenderet materiale og bundsediment, og i særlig grad til suspenderet organisk materiale.

I langsomt strømmende dele af åløb og i søer vil en del af det suspenderede stof bundfældes. Kviksølvanalyser udført på sedimenter i sådanne sedimentationsområder vil derfor være et redskab til at belyse kviksølvforureningen i åer og søer.

På ovennævnte baggrund har formålet med nærværende undersøgelse været at belyse om sedimentet på udvalgte lokaliteter nedenstrøms nuværende og tidligere spildevandsudløb er belastet med kviksølv.

Det skal understreges at sedimentundersøgelsernes omfang med hensyn til kviksølv kun tilsigter at give en orienterende beskrivelse af kviksølvbelastningen af sedimentet på nogle få prøvetagningslokaliteter.

##### 4.2 Prøvetagning

Prøvetagningslokaliteterne er udvalgt af VKI og IC i fællesskab på grundlag af tidligere undersøgelser jfr. afsnit 2. Prøvetagningen i felten er udført af VKI.

Prøvetagningsstationerne er vist på bilagene 4.2.1 - 5. Der er på alle undersøgte lokaliteter udtaget et større antal sedimentprøver end planlagt analyseret for kviksølv.

Der er udtaget så vidt muligt uforstyrrede borekerner i sedimentet. Af disse er udtaget repræsentative fraktioner af såvel overfladelag som af dybereliggende lag. Boreprøverne er enten udtaget så dybt som muligt eller skønsmæssigt så dybt, at disse antages at repræsentere de seneste årtiers aflejringer.

#### 4.3 Laboratorieundersøgelser

##### 4.3.1 Karakterisering af sedimentprøver

På sedimentprøverne er der på IC foretaget en grov bestemmelse af sedimentkarakteren. I bilagene 4.4.1-2 er benyttet følgende karakterbetegnelser:

O	Sand
L	lyst
FK	finkornet
GK	grovkornet
Br	brunligt
M	mørkt
W	gytje
Pl.	plantedele
D	halvrådne plantedele

##### 4.3.2 Bestemmelse af tørstof

På samtlige sedimentprøver, hvorpå der også er udført kviksølvanalyser, er der bestemt tørstof ved tørring i varmeskab ved  $105^{\circ}$  C i 2 1/2 time. Delprøver til tørstofbestemmelse er udtaget af den homogeniserede sedimentprøve samtidig med prøvetagningen til kviksølvanalyse.

##### 4.3.3 Bestemmelse af glødetab

På de sedimentprøver, hvor den visuelt bedømte sedimentkarakter tydede på et væsentligt indhold af organisk materiale er der udført glødetabsbestemmelse. Bestemmelsen er foretaget i porcelænsdigler i ovn ved  $550^{\circ}$  C i 2 timer. En del af glødetabsbestemmelsen er udført på parallelle prøver af VKI, disse er på bilag 4.4.1 - 2 vist i parentes.

##### 4.3.4 Bestemmelse af kviksølv

Sedimentanalyserne er udført ved neutronaktiveringsanalyse efter SJÖSTRAND /9/. Oplukningen er foretaget ved kogning med en blanding af konc. salpetersyre og svovlsyre i volumenforholdet 8,5:1,5.

Metoden har omend primært beregnet på biologisk materiale ved talrige sedimentanalyser vist sig at give reproducerbare resultater, når sedimentprøverne er homogene.



#### 4.4 Analyseresultater og diskussion

Analyseresultaterne er vist på bilag 4.4.1-2. På bilagene er anført betegnelser for prøvetagningslokaliteter, prøvetagningsdatoer, dybdeintervaller, sedimenttyper, tørstof (TS) i % og i de fleste tilfælde også glødetab (GT) i % af TS jfr. afsnit 4.3.3 samt kviksølvkoncentrationer i ng Hg pr. g TS og ng Hg pr. g GT.

En omtrentlig angivelse af prøvetagningspositionerne på de valgte undersøgelseslokaliteter er vist på kortskitserne bilag 4.2.1 - 5.

I afsnittene 4.4.1 - 4 vurderes de opnåede analyseresultater - så vidt muligt kvantitativt - med henblik på at konstatere om analyseresultaterne tyder på et naturligt eller en forhøjet kviksølvbelastning.

Analyseresultaterne på sedimentprøver fra åerne vurderes om muligt i forhold til opstrøms referencestationer og endvidere ved indbyrdes sammenligning.

Som det fremgår af afsnit 4.4.3 kan der ikke alene på grund af et stort kviksølvindhold opgivet som ng Hg/g TS i sediment sluttes, at en prøve er forurennet. Et stort indhold af organisk stof i sedimentet resulterer ofte også i et stort kviksølvindhold. Indholdet af organisk materiale må derfor kendes.

De enkelte analyseresultater på sedimentprøverne vurderes derfor såvel under hensyntagen til kviksølvindholdet på basis af tørstof og glødetab som under hensyntagen til sedimentkarakteren og kendte oplysninger om prøvetagningslokaliteten.

Det skal endvidere nævnes, at variationer i kviksølvets vertikalfordeling ikke entydigt kan tolkes som udtryk for tidsmæssige variationer i kviksølvbelastningen på de undersøgte lokaliteter. Bioturbation - som følge af bunddyrs bevægelser - kan give en fysisk opblanding af sedimentet, der kan udviske koncentrationsgradienter. Diffusion af kompleksbundne opløste kviksølvioner i porevandet kan anricke kviksølvindholdet i øvre lag.

Tab af kviksølv fra overfladesedimentet som følge af methylering kan heller ikke lades ude af betragtning.

#### 4.4.1 Gudenåen, Vilholt og Mossø

Analyseresultaterne på sedimentprøverne fra Gudenåen ved Vilholt St. V 1, V 3 og V 5 bilag 4.4.1 viser kun svage tegn på at være kviksølvbelastet. Variationsbredden er 3 - 42 ng Hg/g TS. Stigningen i Hg-indholdet i overfladesedimentet fra St. V 1 til V 5 kan skyldes såvel en naturlig variation som et resultat af udledning af kviksølvholdigt spildevand fra Vilholt Papirfabrik. Glødetabsbestemmelserne på parallelle prøver tyder ikke på, at stigningen er en følge af et forøget indhold af organisk materiale.

Analyseresultaterne på overfladesedimentprøverne fra Mossø bilag 4.4.1 viser ingen eller kun svage tegn på at sedimentet er kviksølvbelastet. Variationsbredden er 36 - 145 ng Hg/g TS. Det ses her at være en tydelig sammenhæng mellem stigende kviksølvkoncentration og stigende GT. Dette er anskueliggjort i diagrammet på bilag 4.2.1, hvor kviksølvkonc. i ng Hg/g TS er afbildet mod glødetabet for overfladesedimentprøverne fra ovennævnte lokaliteter.

#### 4.4.2 Remstrup Å og Silkeborg Langsø

Analyseresultaterne bilag 4.4.1 på sedimentprøverne fra Remstrup Å bilag 4.2.2 viser, at sedimentet er kviksølvbelastet ved R 2 (ca. 600 ng Hg/g TS), men ikke ved R 1 (ca. 2 ng Hg/g TS) opstrøms R 2. Stationerne R 3 - R 4 viser kun svage tegn på at være kviksølvbelastede. Variationsbredden er 31 - 50 ng Hg/g TS.

Søsedimenterne ved R 6, R 7, R 8 og R 9 samt SIL i Silkeborg Langsø bilag 4.4.1 er tydeligt kviksølvbelastede med variationsbredden 523 - 1800 ng Hg/g TS i ovenfladen 0 - 20 cm. Kviksølvindholdet er i gennemsnit 9 - 11 gange større end i Mossø afhængigt af om resultatet beregnes på basis af GT eller TS.

Resultaterne fra stationerne R 6 og SIL viser at sedimentet i dybdeintervallet 20 - 100 cm er mere kviksølvbelastet end overfladesedimentet. Det modsatte ses derimod at være tilfældet for station R 8 med kviksølvkonc. på 1800 og 900 ng Hg/g TS i henholdsvis 0 - 20 og 20 - 100 cm dybde.

Analyseresultaterne på prøverne fra stationerne R 5 og R 10 viser forholdsvis lave kviksølvindhold henholdsvis 27 og 88 ng Hg/g TS. Dette stemmer godt overens med, at sedimentet består af grovkornet sand med et ringe indhold af organisk stof.



#### 4.4.3 Tange Å og -Sø

Sedimentet nedenstrøms Kjellerup ved stationerne 2, 3, 4, 5 og 6 jfr. bilag 4.2.3 er ifølge analyseresultaterne bilag 4.4.2 kviksølvbelastet. Variationsbredden er 36 - 277 ng Hg/g TS svarende til 730 - 3430 ng Hg/g GT (excl. st. 4).

Belastningsgraden kan vurderes i forhold til belastningen på station 1 opstrøms Kjellerup. Sedimentet er her enten ubelastet eller kun svagt belastet med 19 ng Hg/g TS eller ca. 450 ng Hg/g GT.

Overfladesedimentets kviksølvbelastning nedenstrøms Kjellerup ses da at være henholdsvis 2 - 13 eller 2 - 7 gange større alt efter om belastningen måles som forholdet mellem kviksølvkoncentrationerne på basis af tørstof eller glødetab.

Det største kviksølvindhold i sedimentet blev målt på st. 5 til 246/277 ng Hg/g TS (dobbelbestemmelse). Dette er dog ikke nødvendigvis det mest forurenede sediment, idet det kun indeholder ca. 730 ng Hg/g GT svarende til kviksølvkoncentrationen på st. M 1 i Mossø.

I Tange Sø bilag 4.2.4 viser analyseresultaterne bilag 4.4.1 at sedimentet i den nordvestlige del er mest belastet. Der findes således ved station TAN 1 henholdsvis 735 ng Hg/g TS i 0 - 10 cm's dybde og 1456 ng Hg/g TS i 0 - 90 cm dybde. Dette indikerer at kviksølvkoncentrationen er mindre i overfladen 0 - 10 cm end i større dybder. Det samme ses ved TAN 2, hvor kviksølvkoncentrationen i 0 - 20 cm er 231 ng/g TS og 243 ng/g TS i 0 - 40 cm. Ved TAN 4 og TAN 6 skønnes sedimentet kun at være svagt kviksølvbelastet.

#### 4.4.4. Søndermølle Å og Nørre Å

Analyseresultaterne bilag 4.4.2 viser, at kviksølvindholdet i sedimentet i Nørre Å bilag 4.2.5 ved station N 2 er 3 - 5 gange større end ved N 5 alt efter om vurderingen gøres på grundlag af tørstof eller glødetab. Resultaterne af analyserne på sedimentet fra S 5 og S 1 i Søndermølle Å viser næsten samme kviksølvkoncentration på basis af tørstof henholdsvis 47 og 43 ng Hg/g TS. Dette er ca. 6 gange mere end i Nørre Å ved N 5. På basis af glødetab findes 1013 og 380 ng Hg/g GT eller 3-0 gange mere end ved N 5.

Ovennævnte vurdering tyder således på, at der er svagt forhøjede kviksølvindhold i sedimentet ved N 2 og S 5, når N 5 benyttes som reference. Om dette skyldes en mulig spildevandspåvirkning kan ikke afgøres med sikkerhed, da naturlige koncentrationsvariationer kan gøre sig gældende.

## 5. FISKEUNDERSØGELSER

### 5.1 Baggrund og målsætning

Jfr. JOHNELS /10/ er det i Sverige påvist, at kviksølvkoncentrationen i fisk af samme art og fra samme område viser en næsten lineær sammenhæng med stigende vægt af fisken. Ovennævnte sammenhæng er også vist for fisk i danske vandområder /2/.

Ved at optegne Hg-konc.-vægt kurver for forskellige fisk på forskellige fangstpladser opnås linjer, hvis hældning er et karakteristisk mål for kviksølvbelastningen af den pågældende fiskeart på lokaliteten. Linjens hældning, der er et mål for kviksølvs akkumuleringstilvækst pr. vægt-enhed (f.eks. ng Hg/g pr. kg vægtforøgelse) kan da benyttes til dels at sammenligne belastningsændringen på samme lokalitet fra tid til anden og dels til at sammenligne kviksølvbelastningen af forskellige lokaliteter.

Nærværende undersøgelse sigter derfor mod dels at belyse den nuværende kviksølvbelastning af fisk på de lokaliteter, hvor der tidligere var konstateret forhøjede kviksølvkoncentrationer og dels mod at belyse eventuelle indtrufne ændringer i fiskenes kviksølvbelastning.

### 5.2 Indfangning af fisk

Alle fisk fra Silkeborg Langsø er fanget i ruser af fiskeriforpagter Arne Flyvholm, Silkeborg. De ønskede størrelser af gedder og aborrer er udvalgt på grundlag af opgivne størrelsesfordelinger.

For at sikre et repræsentativt antal aborrer og gedder blev der udtaget et noget større antal end oprindeligt planlagt til analyse. Der blev ialt fanget 80 forskellige størrelser af aborrer henholdsvis 50 fra den østlige og 30 fra den vestlige del af Silkeborg Langsø. Endvidere blev der fanget 25 gedder hvoraf 5 med sikkerhed vides at være fra den østlige del af Silkeborg Langsø.

Fiskene fra Tange Sø og - Å er alle fanget af fiskemester Frederik Hansen, Tange enten i ruser eller med vod.

Der blev fanget 21 aborrer og 10 gedder i Tange Sø og 3 gedder og 17 aborrer i Tange Å. Fiskene fra Tange Sø og - Å er udtaget af fiskerikontrollen i Randers, der ligeledes har været behjælpelig med fremskaffelse af 13 gedder, der blev fanget i Gudenåen ved Frisenvold.



### 5.3 Laboratorieundersøgelser

#### 5.3.1 Karakterisering af fiskematerialet

På IC blev fiskene målt, vejet og samlet efter art og fangstlokalitet. Af hver fisk blev udtaget skæl til aldersbestemmelse hos DF og H.

#### 5.3.2 Udvælgelse af fisk til analyse

På grundlag af sammenhørende målinger af fiskenes vægt og længde blev optegnet vægt-længde diagrammer for alle aborrer og gedder fra samme lokalitet. På grundlag heraf udvalgte fisk til analyse for kviksølv således, at der først og fremmest blev tilstræbt størst mulig vægtspredning i materialet, og desuden blev det tilstræbt, at fisk som faldt uden for det generelle mønster - fisk med stor vægt og lille længde eller omvendt - ikke blev udtaget til analyse. Desuden blev det tilstræbt udtaget nogle fisk af samme størrelse for at belyse kviksølvkoncentrationsvariationen for samme fiskestørrelse.

#### 5.3.3 Prøvetagnings- og analysemetodik

Af fiskene, som var udvalgt til analyse, blev der af rygmuskulaturen efter at rygskæl og fiskeskind var fjernet, med engangsskalpel og engangspincet, udtaget ca. 0,3 g prøve, der blev anbragt i kvartsampuller.

I enkelte tilfælde blev der desuden fremstillet blandingsprøver af flere (unge) fisk af samme vægt og længde. Der blev da udtaget lige store vægtmængder af hver fisk, prøverne blev homogeniseret og der blev som oven for udtaget 0,3 g til analyse.

Kviksølvanalyserne blev udført efter /9/.

### 5.4 Analyseresultater

#### 5.4.1 Tidligere resultater

I omstående tabel 5.4.1.1 er opgjort antal udførte analyser pr. fiskeart pr. lokalitet i Gudenå-systemet før indeværende undersøgelse.

Tabel 5.4.1.1 Antal analyser pr. fiskeart pr. lokalitet

Art Lo- kalitet	Aborrer	Gedder			Sandararter	Ål
	maj-aug 1968	maj 1968	sep-okt 1972	aug-okt 1973	aug-okt 1973	juli 1968
Mossø				1	2	
Juul Sø				1	3	
Brassø	5					5
Vejlsø		5				
Silkeborg Langsø	10	5				5
Tange Sø	5		3			
Gudenåen n.f. Tange			3			
Randers Fj.				3	3	

På bilagene 5.4.1.1 - 4 er vist de tilhørende analysedata for kviksølvkoncentrationen i rygmusklen, vægt, længde, alder og køn.

#### 5.4.2 Nye resultater

I tabel 5.4.2.1 nedenfor er opgjort antal udførte analyser pr. fiskeart pr. lokalitet i Gudenå-systemet i nærværende undersøgelse.

Tabel 5.4.2.1 Antal udførte analyser pr. fiskeart pr. lokalitet i 1975

Lokalitet	Gedde	Aborre	Sandart
Silkeborg Langsø (uden nærmere sted- angivelse)	13		
Silkeborg Langsø Østenden	5	15	3
Silkeborg Langsø Vestenden		10	
Tange Sø	10	10	
Tange Å	3	7	
Gudenåen, Frisenvold (nedenstrøms Tange- værket)	10		



På bilagene 5.4.2.1 - 4 er vist de tilhørende analysedata for kviksølvkoncentrationen i de undersøgte fisks rygmuskel, med angivelse af vægt, længde og alder.

#### 5.4.3 Kviksølvkoncentration - vægtdiagrammer

På bilag 5.4.3.1 fig. 1, 2 og 3 er optegnet diagrammer over sammenhørende værdier af kviksølvkoncentration og totalvægt for alle tidligere undersøgte fisk. I fig. 1 er vist sammenhørende værdisæt for Hg-konc.-vægt resultater for aborrer.

I fig. 2 er afbildet tilsvarende værdisæt for gedder. Der er indtegnet regressionslinje for Hg-konc.-vægt sammenhængen i ubelastede eller svagt belastede søer i Danmark jfr. /2/, og der er desuden indtegnet en punkteret linje der viser 95 % sandsynligheden for at kviksølvkoncentrationen i gedder fra disse områder ligger under linjen.

I fig. 3 er ligeledes optegnet Hg-konc.-vægt relationer for sandarter med regressionslinje og 95 % sandsynlighedslinjen indtegnet. Der er desuden afbildet resultaterne af 3 analyser på sandarter fra Silkeborg Langsø fra indeværende undersøgelse.

På bilag 5.4.3.2 fig. 1-5 er optegnet de nyeste sammenhørende værdisæt af Hg-konc.-vægt relationer for aborrer.

I fig. 1 for Silkeborg Langsø, øst er vist både tidligere (1968) og nye (1975) resultater, og der er optegnet regressionslinjer for både 1968 og 1975.

I fig. 2 er vist tilsvarende resultater fra Silkeborg Langsø, vest og i fig. 3 er samlet alle nye resultater fra Silkeborg Langsø. I fig. 4 er ligeledes vist såvel tidligere (1968) som nye (1975) resultater for Tange Sø og i fig. 5 de nyeste resultater fra Tange Å.

På bilag 5.4.3.3 er optegnet Hg-konc.-vægt diagrammer for gedder fra Silkeborg Langsø fig. 1, Tange Sø og -Å fig. 2 og fra Gudenåen ved Frisen-vold fig. 3. Der er vist såvel nye som tidligere resultater.

#### 5.5 Diskussion af resultater

I afsnittene 5.5.1 - 4 vurderes kviksølvbelastningen af fisk fra de enkelte undersøgelseslokaliteter. Som et kvantitativt mål for belastningen benyttes overalt, hvor det er muligt, hældningerne af de beregnede regressionslinjer afsnit 5.4.3. Hældningskoefficienten udtrykker den undersøgte fiske-

arts akkumuleringstilvækst af kviksølv på lokaliteten, jfr. afsnit 4.1. Ved vurdering af tidlige kviksølv konc./vægt resultater, hvor disse er for sparsomme til optegning af en regressionslinje, vurderes beliggenheden af konc./vægt-værdierne i forhold til de seneste regressionslinjer for kviksølvkonc./vægt sammenhængen.

I enkelte tilfælde vurderes belastningen dog ved sammenligning mellem konc./vægt-resultater.

#### 5.5.1 Silkeborg Langsø

Fig. 1, 2 og 3 bilag 5.4.3.2 viser at aborrerne i 1975 i Silkeborg Langsø's østlige og vestlige dele er næsten ens kviksølvbelastede.

På fig. 1 ses også at kviksølvbelastningen af aborrerne i den østlige del af søen siden 1968 er formindsket 5 - 6 gange målt som forholdet mellem regressionslinjernes hældningskoefficienter.

Af fig. 1 bilag 5.4.3.3 ses, at Hg-konc. i gedder fra den østlige del af søen ikke er forskellig fra Hg-konc. i gedder, der er fanget tilfældigt i både den østlige og vestlige del af søen. Det ses også, at kviksølvbelastningen af gedderne målt som forholdet mellem hældningskoefficienterne for regressionslinjerne er formindsket 6 gange siden 1968. Det fremgår endvidere, at en gedde på 1 kg i 1975 har et væsentlig mindre kviksølvindhold end i 1968 henholdsvis 230 ng/g mod 410 ng/g, det størst målte indhold var 736 ng/g i en gedde på 7 år.

Sammenholdes regressionslinjen 1975 med regressionslinjen for nogle ubelastede eller svagt belastede danske søer 1973 forekommer nogle af gedderne i Langsøen stadig at være kviksølvbelastede. 30 % af de undersøgte gedder i 1975 viser kviksølvkoncentrationer der ligger over 95 % sandsynlighedsgrænsen for ubelastede eller svagt belastede gedder i 1973.

Af fig. 3 bilag 5.4.3.1 ses 2 af de 3 undersøgte sandarter at have en kviksølvkoncentration, der er 2 gange større end den forventede for ubelastede eller svagt belastede danske søer.

#### 5.5.2 Tange Sø

Af fig. 4 bilag 5.4.3.2 ses at kviksølvkoncentrationen i alle undersøgte aborrer i 1975 er væsentlig mindre (4-5 gange) end koncentrationerne i alle undersøgte aborrer i 1968.



Af fig. 2 bilag 5.4.3.3 ses at 9 af de 10 undersøgte gedder i 1975 har kviksølvkoncentrationer der ligger under 95 % sandsynlighedslinjen for ubelastede eller svagt belastede gedder i 1973. Det ses også at belastningen udtrykt ved regressionslinjernes hældningskoefficienter er ca. 7 gange større for gedder i Tange Sø end for ubelastede eller svagt belastede gedder i 1973.

Kviksølvindholdet i en 1 kg gedde er 135 ng/g, hvilket er mindre end det tilsvarende indhold i en ubelastet eller svagt belastet gedde. Det størst målte kviksølvindhold var 609 ng/g i en gedde på 9 år.

### 5.5.3 Tange Å

Resultaterne fig. 5 bilag 5.4.3.2 for aborrerne i Tange Å kan kun vurderes i forhold til samtidige resultater fra øvrige lokaliteter. En sammenligning af regressionslinjernes hældningskoefficienter viser at denne er størst for Tange Å.

Af tre undersøgte gedder 1975 fig. 2 bilag 5.4.3.3 ses den ene på 5 år og med 423 ng/g at være belastet, mens de to øvrige er ubelastede.

### 5.5.4 Gudenåen Frisenvold

Af fig. 3 bilag 5.4.3.3 fremgår at gedderne er kviksølvbelastede ca. 13 gange mere end svarende til gedder fra ubelastede eller svagt belastede søer.

Sammenlignes resultaterne af en undersøgelse i 1972 af kviksølvkoncentrationen i 3 gedder fra Gudenåen nedenstrøms Tange Sø med resultaterne fra Frisenvold ses de to gedder i 1972 at have en væsentligt højere kviksølvkoncentration end svarende til regressionslinjen for Frisenvold. Da fangstlokaliteterne ikke er de samme kan en eventuel belastningsformindskelse ikke afgøres på nærværende materiale.

En gedde på 1 kg viser 256 ng/g og størst målte indhold var 523 ng/g i en gedde på 7 år.

## 6. KONKLUSION

På grundlag af nærværende undersøgelse kan det konkluderes, at sedimentet i Silkeborg Langsø såvel i den østlige som i den vestlige del er ca. 10 gange mere kviksølvbelastet end f.eks. sedimentet i Mossø.

Sedimentet i Tange Å nedenstrøms Kjellerup og i Tange Sø's nordvestlige del er også belastet med kviksølv svarende til 2 - 13 eller 2 - 7 gange belastningen opstrøms Kjellerup, alt efter om kviksølvindholdet måles i forhold til tørstof eller glødetab.

Enkelte analyseresultater lader ane, at kviksølvbelastningen i overfladesedimentet er faldende i dele af Silkeborg Langsø og Tange Sø's nordlige del.

Øvrige undersøgte sedimentprøver - dette gælder Gudenåen ved Vilholt, Mossø, Søndermølle Å og Nørre Å er kun svagt kviksølvbelastede.

I Nørre Å nedenstrøms sammenløbet med Søndermølle Å og i Søndermølle Å spores antagelig svagt forhøjede kviksølvkoncentrationer i sedimentet. Dette kan dog ikke afgøres med sikkerhed, da naturlige koncentrationsvariationer kan gøre sig gældende.

Fiskeundersøgelserne har vist at kviksølvbelastningen af gedder og aborrer - målt som akkumuleringstilvæksten af kviksølv i ng Hg/g fiskemuskel pr. vægtenhed vægtforøgelse - i Silkeborg Langsø er formindsket 6 gange siden 1968. Kviksølvbelastningen af gedderne er nu ca. 3 gange større end for nogle ubelastede søer i 1973. Størst målte kviksølvindhold var 736 ng/g i en gedde på 7 år.

Undersøgelsen har også vist, at kviksølvbelastningen af aborrer i Tange Sø er formindsket væsentligt siden 1968. Den nuværende belastning af gedderne er ca. 7 gange større end for ubelastede søer i 1973. Kviksølvkoncentrationsniveauet er lavt og følgen af den forholdsvis store belastning giver sig først til kende for meget store fisk. Størst målte kviksølvindhold blev 609 ng/g i en gedde på 9 år.

I Tange Å fandtes 1 af 3 gedder alle på 5 år at være kviksølvbelastet med et kviksølvindhold på 423 ng/g.

I Gudenåen ved Frisenvold måltas en kviksølvbelastning af gedder svarende til 13 gange belastningen af gedder i ubelastede søer i 1973. Størst målte kviksølvindhold var 523 ng/g i en gedde på 7 år.

Årssagssammenhængen mellem de forhøjede kviksølvindhold i sediment og fisk og udledning af kviksølvholdigt spildevand synes nu at være afklaret for Silkeborg Langsø, Tange Å og Tange Sø.

Årsagen til den konstaterede høje belastning af gedder ved Frisenvold er imidlertid ikke afklaret og bør undersøges nærmere.

Det kan desuden anbefales at kviksølvbelastningen af sediment undersøges i Ring Sø, der tidligere har været recipient for spildevand fra Brødstrup hospital.



KP/GK 11.70  
1976-01-26

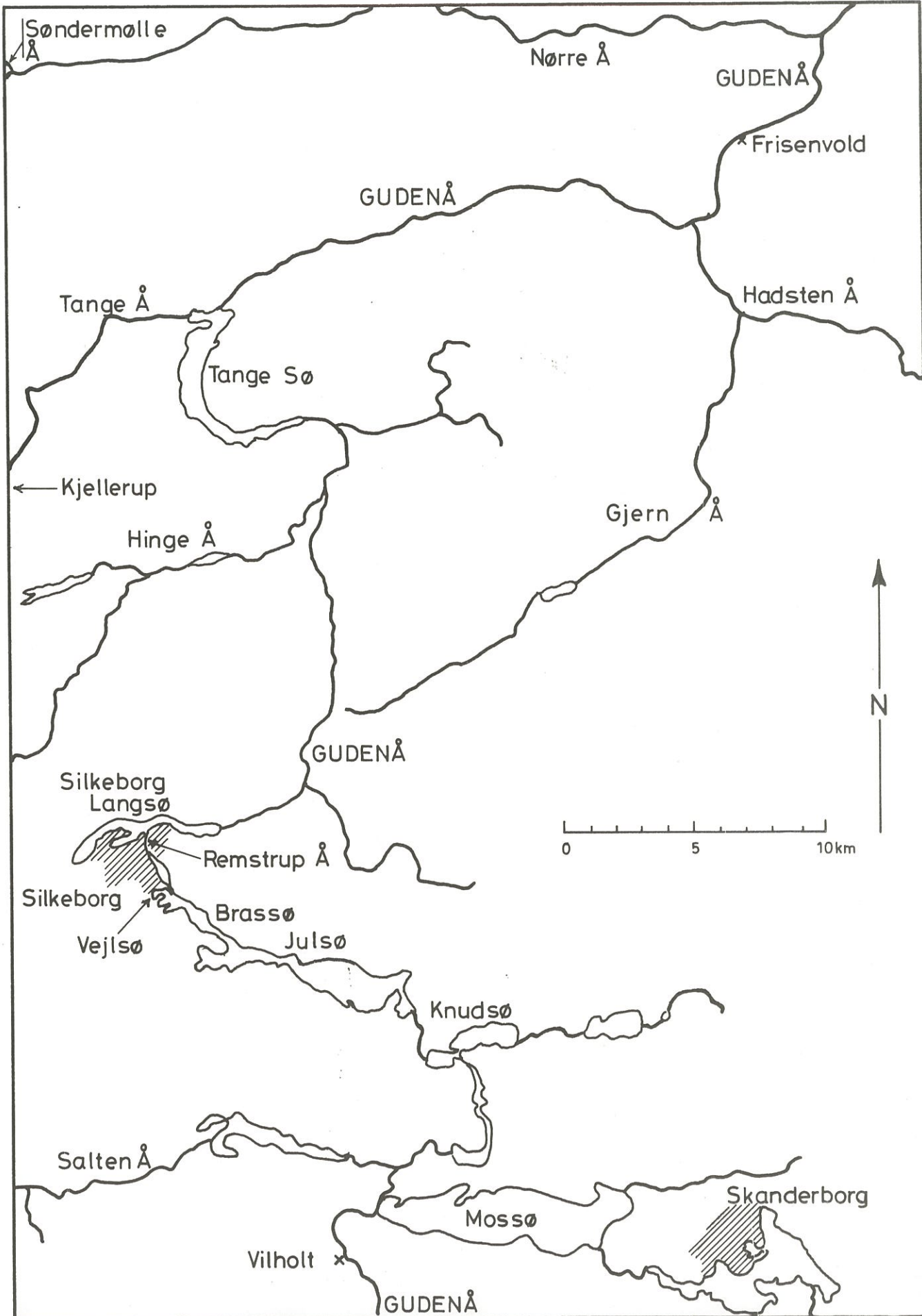
17.

Det skal sluttelig understreges, at selv om kviksølvbelastningen af sediment og fisk i Gudenå-systemet synes aftagende, er der stadig grund til at overvåge og følge udviklingen af belastningssituationen. Dette kan f. eks. gøres ved med 4 - 5 års mellemrum af gentage kviksølvundersøgelserne på gedder og aborrer.

7. REFERENCER

- /1/ Særtryk af "Fra SUNDHEDSSTYRELSEN", nr.8, oktober 1969
- /2/ ISOTOPCENTRALEN, Kviksølv i Fisk, sept. 1972
- /3/ ISOTOPCENTRALEN, Gudenåundersøgelsen, kviksølv, 21.10.1974
- /4/ GUDENÅUNDERSØGELSEN 1973 - 1975, Projektbeskrivelse
- /5/ WHO, Evaluation of Certain Food Additives and the Contaminants Mercury, Lead and Cadmium, Tech. Report Series No.505, 1972
- /6/ JERNELÖV, A., Biosyntes av metylkvicksilver. I. Nordforsk Biocid-information vol.10, 1967, pp.4-5.
- /7/ HÅKONSON, L., Kviksilver i Väneren nuläge och prognos. Statens Naturvårdsverk, 1975
- /8/ BISOGNI AND LAWRENCE, Biological Wastewater Treatment Plant as a Potential Source of Methylmercury to the Aquatic Environments, J. of. Wat. Poll. con. Fed. No.1, Jan.1975.
- /9/ SJÖSTRAND, B., Anal. Chem. Vol.36, 1964, pp.814.
- /10/ JOHNELS, A. G. et al, Kviksilver i fisk, Vår föda, Vol.7, 1967, pp.67.



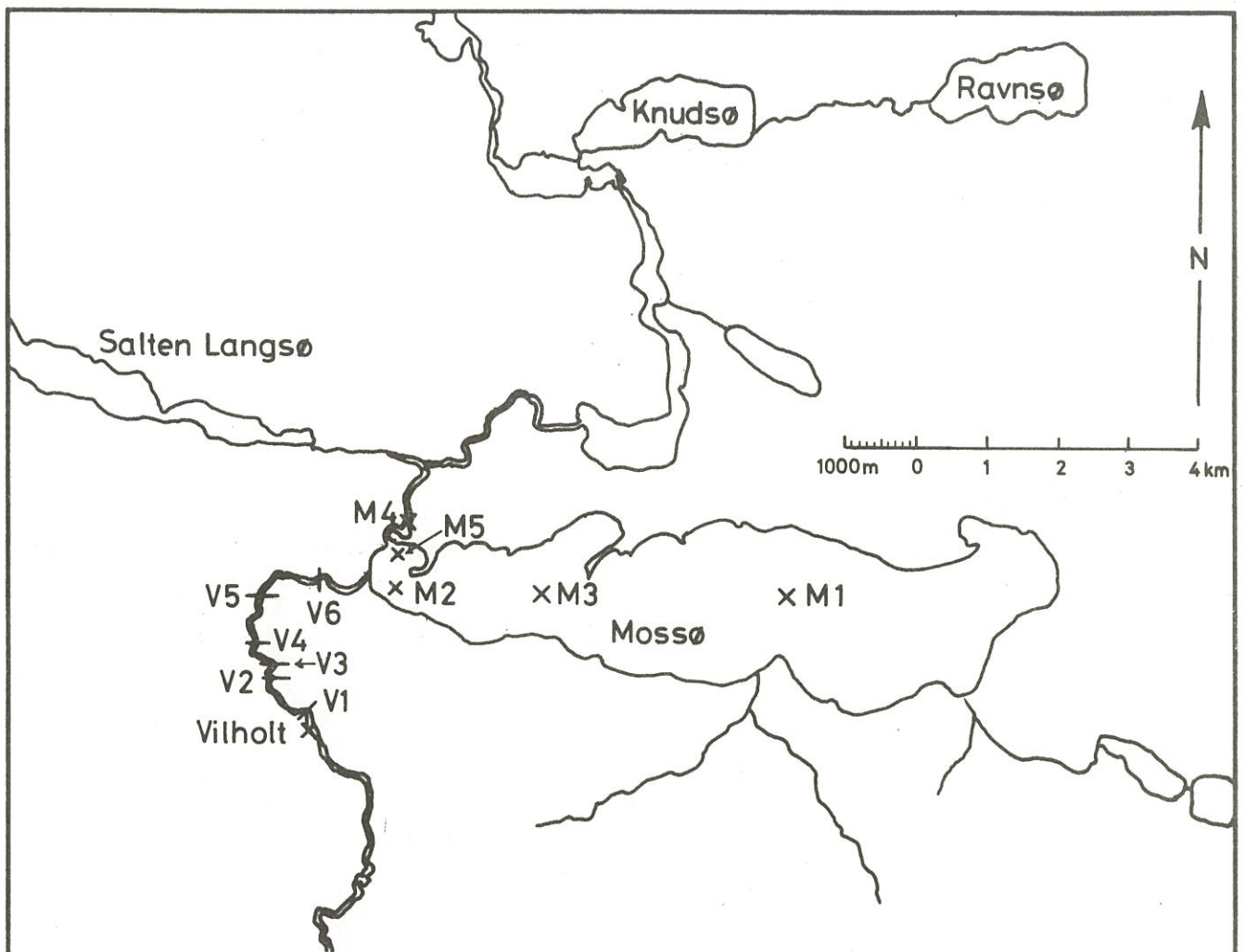


Tegn.:	LK	75-12-10
	M.F.	75-01-21
Godk.:		
Rev.:		
Rev.:		
Rev.:		

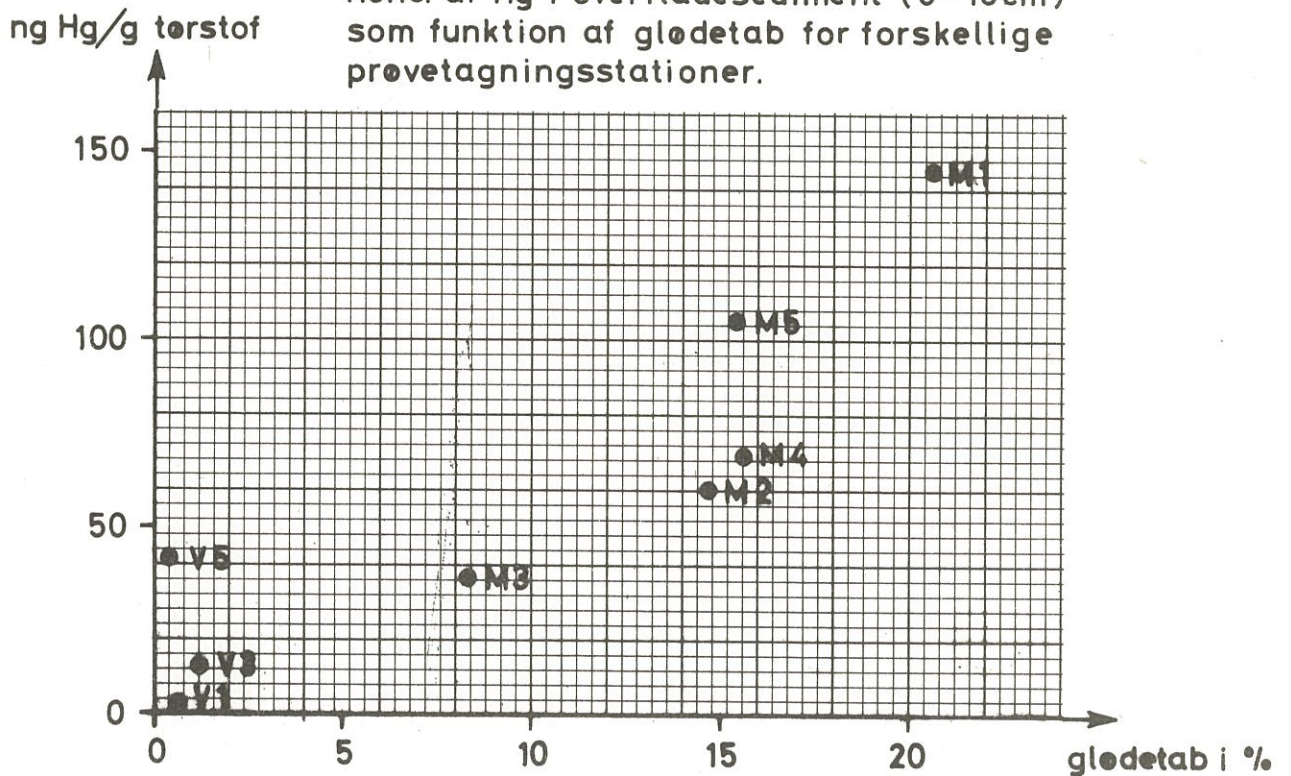

**ISOTOPCENTRALEN**  
 Skelbækgade 2, DK-1717 Kbh. V. Telf. (01) 21 41 31

Rekv.:	VKI	
Sag no.:	11.70	Bilag no.:
		2.1

Oversigtskort, Gudena-systemet



Konc. af Hg i overfladesediment (0-15cm) som funktion af glødetab for forskellige prøvetagningsstationer.



Tegn.:	LK	75-12-10
	M.F.	75-01-21
Godk.:		
Rev.:		
Rev.:		
Rev.:		

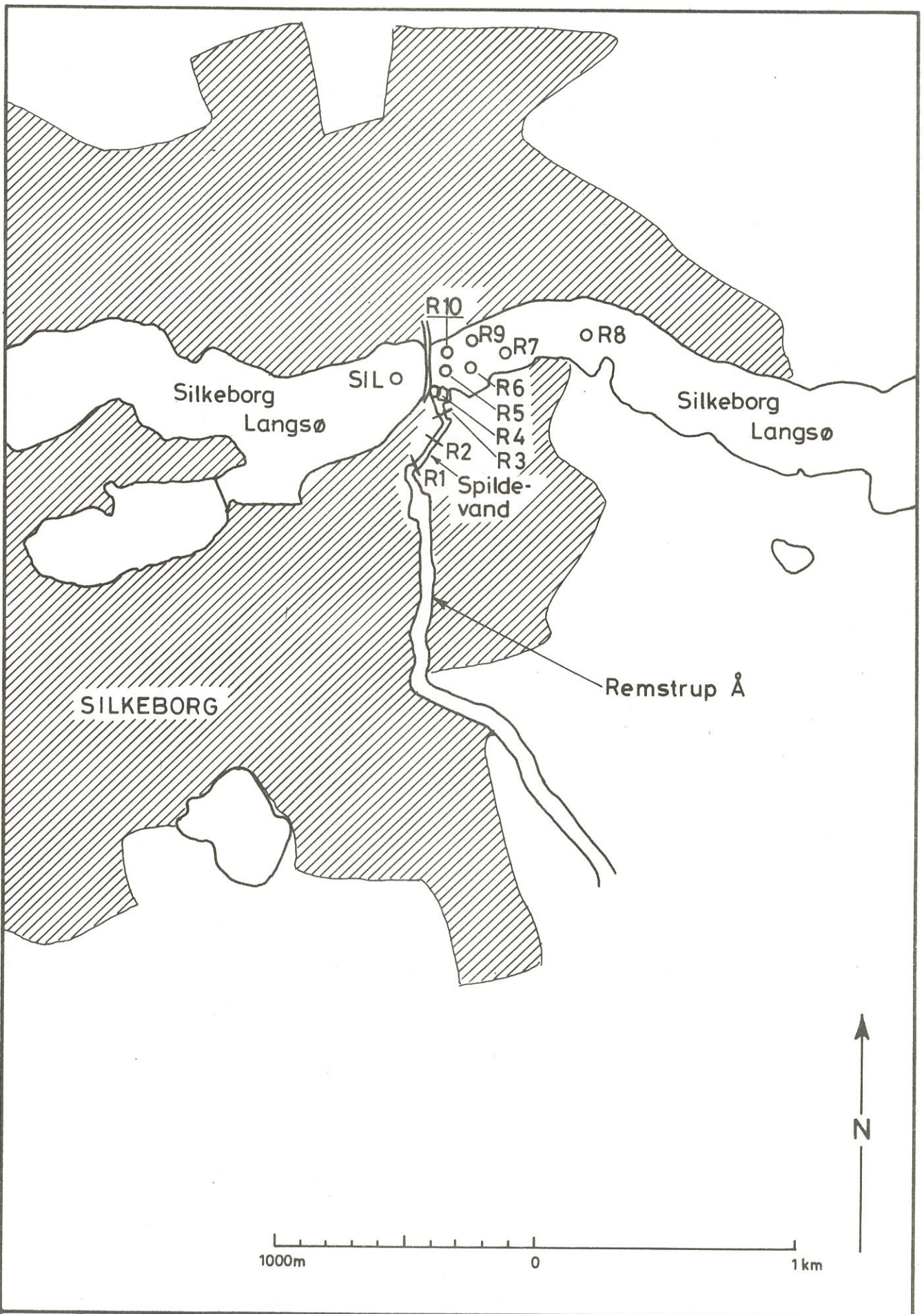


**ISOTOPCENTRALEN**  
Skelbækgade 2, DK 1717 Kbh. V. Telf. (01) 21 41 31

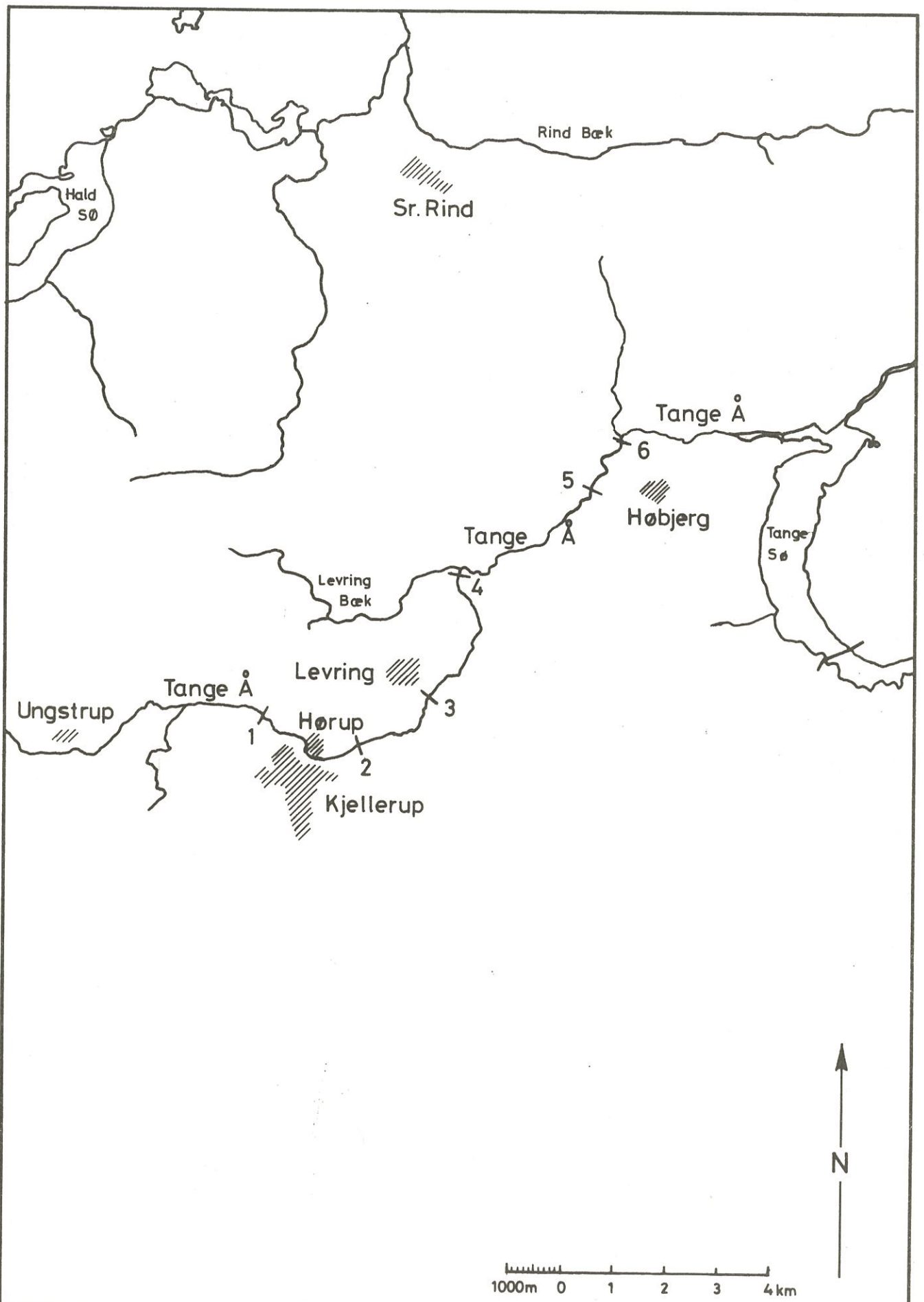
Rekv.:	VKI	
Sag no.:	11.70	Bilag no.: 4.2.1

Stationskort, sedimentprøver,  
Gudendåen, Viholt og Mossø



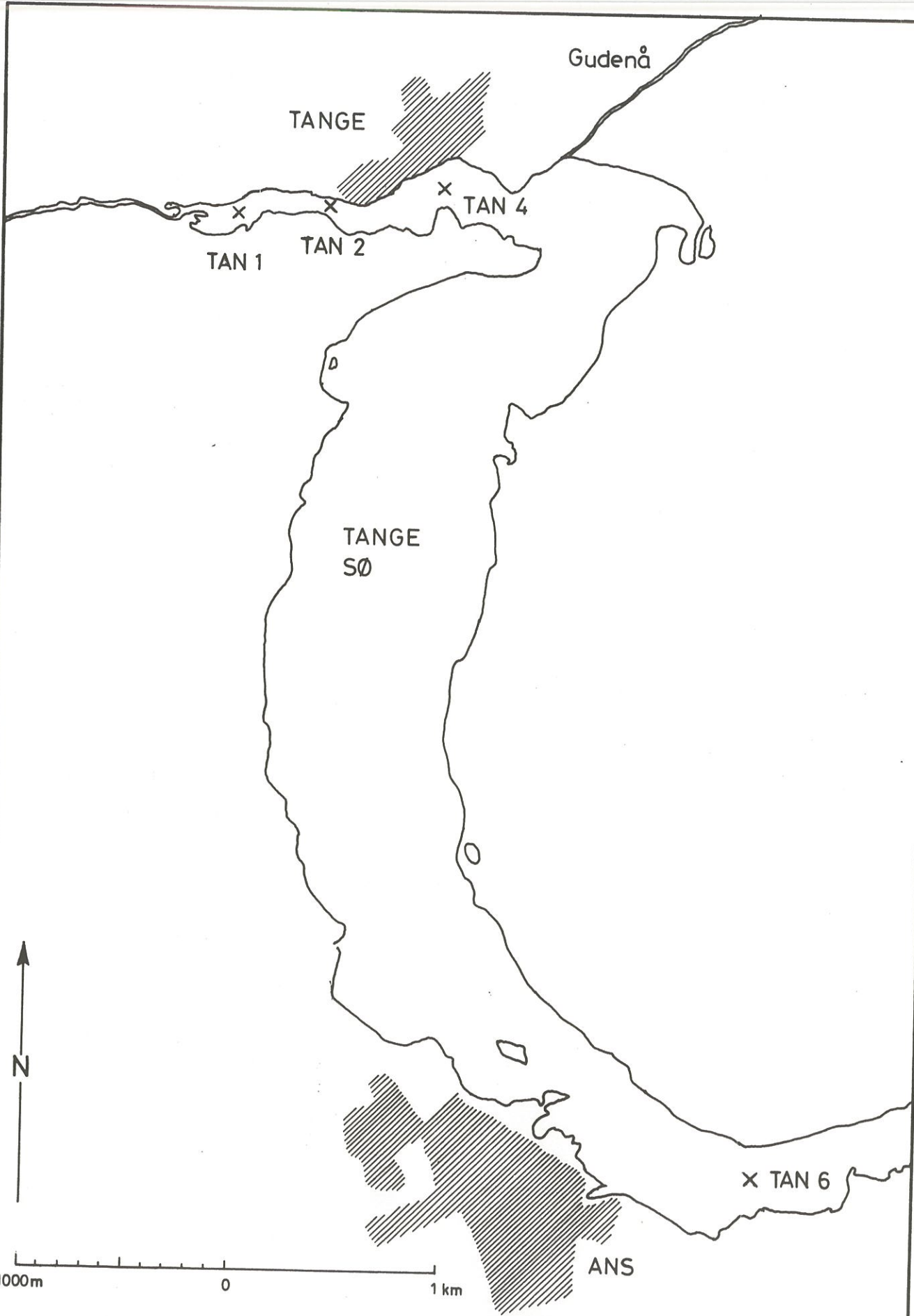


Tegn.:	LK	75-12-10	 <b>ISOTOPCENTRALEN</b> Skelbækgade 2, DK-1717 Kbh. V. Telf. (01) 21 41 31	Rekv.:	VKI	
	M.F.	75-01-21		Sag no.:	11.70	Bilag no.:
Godk.:			<b>Stationskort, sedimentprøver,          Remstrup Å og Silkeborg Langsø</b>			
Rev.:						
Rev.:						
Rev.:						

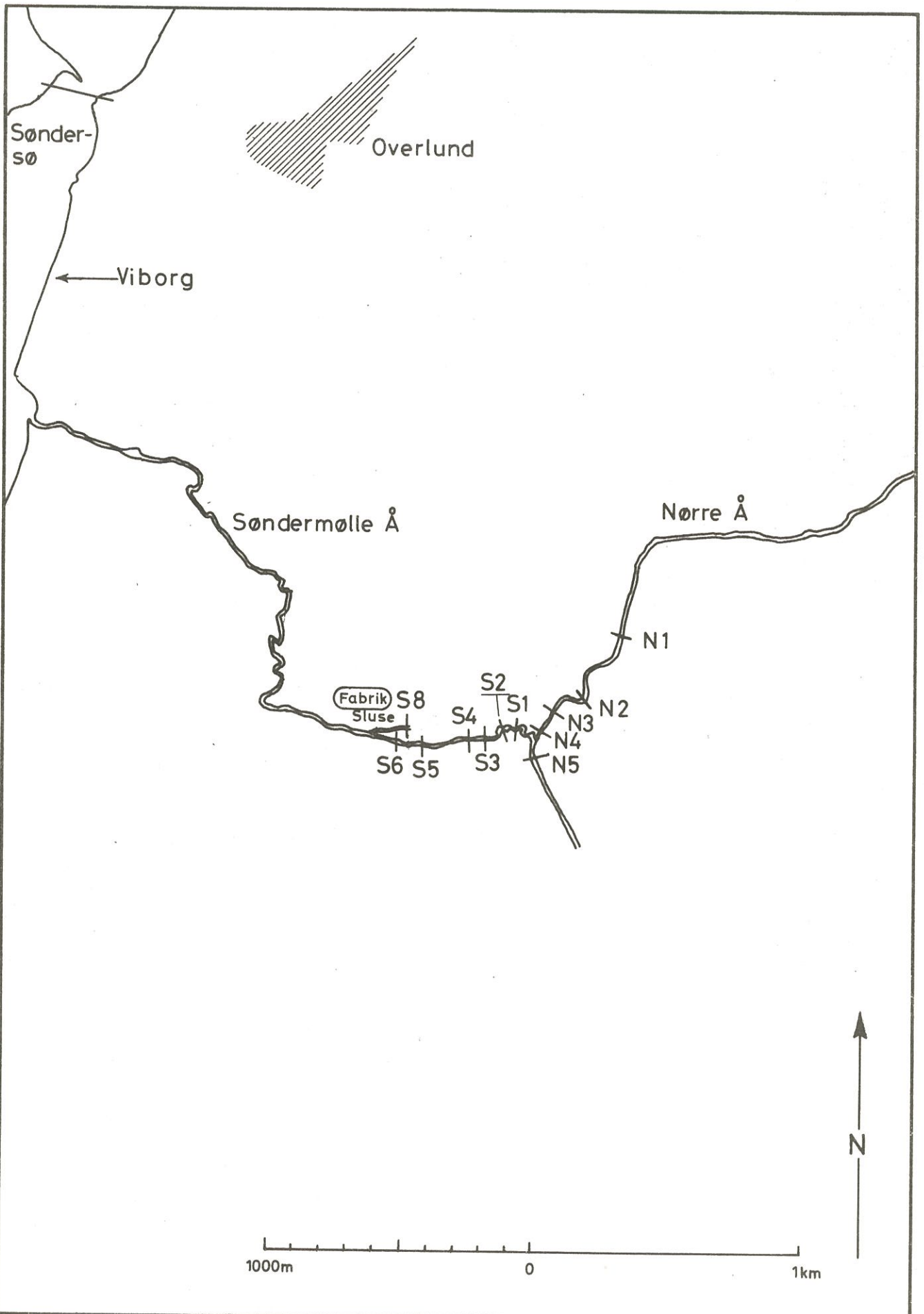


Tegn.:	LK	75-12-11	 <b>ISOTOPCENTRALEN</b> Skelbækgade 2, DK 1717 Kbh. V. Telf. (01) 21 41 31	Rekv.:	VKI	
	M. F.	75-01-21				
Godk.:			<b>Stationskort, sedimentprøver, Tange Å</b>	Sag no.:	11.70	
Rev.:				Bilag no.:		4.2.3
Rev.:						
Rev.:						





Tegn.:	LK	75-12-15	 <b>ISOTOPCENTRALEN</b> Skelbækgade 2, DK 1717 Kbh. V. Telf. (01) 21 41 31	Rekv.:	VKI
	M.F.	75-01-21			
Godk.:			<b>Stationskort, sedimentprøver,</b> <b>Tange Sø</b>	Sag no.:	Bilag no.:
Rev.:				11.70	
Rev.:				4.2.4	
Rev.:					



Tegn.:	LK	75-12-10	 <b>ISOTOPCENTRALEN</b> Skelbækgade 2, DK 1717 Kbh. V. Telf. (01) 21 41 31	Rekv.:	VKI	
	M.F.	75-01-21				
Godk.:			<b>Stationskort, sedimentprøver,          Søndermølle Å og Nørre Å</b>	Sag no.:	Bilag no.:	
Rev.:				11.70	4.2.5	
Rev.:						
Rev.:						



## KVIKSØLVBESTEMMELSE PÅ SEDIMENT FRA GUDENÅ-SYSTEMET

St. nr.	Lokalitet	Dato	Dybde cm	Sediment-type	TS %	GT %	Hg-konc. ng/g TS	Hg-konc. ng/g GT
V 1	Gudenåen, Vilholt	okt. 74	0-20	L, FK, Ø	81,5	(0,64)	3,0	469
	" "	"	20-50	L, FK, Ø	85,2	(0,43)	5,9/ 3,5	1093
V 3	" "	"	0-5	Br, FK, Ø	72,9	(1,2)	12,2	1017
	" "	"	5-30	Br, FK, Ø	76,7	(1,2)	21,3	1775
V 5	" "	"	0-10	M, Ø	31,2	(0,40)	41,7	10425
	" "	"	10-30	Br, Ø	81,4	(1,2)	10,7	892
M 2	Mossø, Klostermølle	Okt. 75	0-15	W	28,4	14,65	60,3	412
M 3	Mossø, Emborg	"	0-15	W	33,2	8,25	35,6	432
M 1	Mossø, Hem	"	0-15	W	9,96	20,6	151/144	716
M 5	Mossø før udløb	"	0-15	W	23,5	15,4	104	675
M 4	Gudenå Pouls bakke	"	0-15	W	21,4	15,6	68,7	440
R 1	Remstrup Å	Okt. 74	0-15	GK, Ø	75,5	(2,5)	1,9	76
R 2	" "	"	0-15	GK, Ø	76,4	(5,1)	482/717	11755
	" "	"	0-25	M, Gk, Ø	71,1	(7,1)*	706	9944
R 3	" "	"	0-20	Karolin	70,3	(3,6)	31,3	869
R 4	" "	"	0-10	Br, GK, Ø	69,6	(6,6)	49,7	753
R 5	Silkeborg Langsø østlige del	"	0-5	L, GK, Ø	80,3	(0,1)*	26,7	
R 6	" "	"	0-20	W	10,8	30,6	702	2294
	" "	"	20-40	W	12,3	22,4	1162	5187
	" "	"	40-100	W	12,5	43,8	1317	3007
	" "	"	100-200	W	23,4	11,9	71,3	599
R 7	" "	"	0-20	W	18,7	13,9	1025	7374
R 8	" "	"	0-20	W	12,6	20,9	2040/1690	8923
	" "	"	20-100	W	16,6	20,5	886	4322
R 9	" "	"	0-20	W	10,8	28,9	849	2938
R 10	" "	"	0-10	Br, GK, Ø	67,5	(5,7)	88,2	1547
SIL	Silkeborg Langsø vestlige del	"	0-20	W	9,5	26,8	523	1951
	" "	"	0-100	W	11,0	24,8	1315	5302
TAN 1	Tange Sø, nord	13.-14. 11.1974	0-10	W	23,5	32,0	735	2297
	" " "	"	0-90	W	22,0	56,3	1456	2586
TAN 2	" " "	"	0-20	W	20,2	23,0	231	1004
	" " "	"	0-40	W	44,1	15,2	243	1599
TAN 4	" " "	"	0-70	W, Ø	58,2		30	
TAN 6	Tange Sø, syd	"	0-80	W	58,2		84	

( ) Glødetabsbestemmelserne er udført af VKI

\*) Glødetabet er beregnet ud fra GT-målinger på flere lagdelinger i samme dybdeinterval

Tegn.:	GK	760123	 <b>ISOTOPCENTRALEN</b> Skelbækgade 2. DK 1717 Kbh. V. Telf. (01) 21 41 31	Rekv.:	VKI	
Godk.:				Sag no.:	11.70	Bilag no.:
Rev.:			ANALYSERESULTATER, SEDIMENTPRØVER			
Rev.:						
Rev.:						

## KVIKSØLVBESTEMMELSE PÅ SEDIMENT FRA GUDENÅ-SYSTEMET

St. nr.	Lokalitet	Dato	Dybde cm	Sediment-type	TS %	GT %	Hg-konc. ng/g TS	Hg-konc. ng/g GT
1	Tange Å, før Kjellerup	13.-14. 11.1974		Ø, W, Pl	66,4	4,3	19,2/19,7	452
2	Tange Å, efter Kjellerup	"	0-10	Ø, W, Pl	24,7	5,2	147	2827
3	Tange Å, Levring	"	0-15	Ø, W	66,2	4,7	161	3426
4	Tange Å, Vodksov	"	0-10	M, GK, Ø	70,8		35,6	
5	Tange Å, Højbjerg mølle	"	0-20	Ø, D	46,0	36,7	246/277	713
6	Tange Å, Vindelsbæk bro	"	0-10	Ø, W	62,8	4,1	118	2378
S 5	Søndermølle Å, nedenstrøms Bruunshåb papfabrik	okt. 74	3-15	Ø, W	58,8	4,6	46,6	1013
S 1	Søndermølle Å, opstrøms sammenløbet med Nørre Å	"	0-31	L, GK, Ø	79,6	(11,4)*	43,3	380
N 5	Nørre Å opstrøms sammenløb med Søndermølle Å	"	0-45	GK, Ø	70,4	(2,1)	7,6/7,5	360
N 2	Nedenstrøms sammenløb med Søndermølle Å	"	0-30	Br, GK, Ø	78,8	(1,1)	20,2	1836

( ) Glødetabsbestemmelserne er udført af VKI

\*) Glødetabet er beregnet ud fra GT-målinger på flere lagdelinger i samme dybdeinterval

Tegn.:	GK	760123	 <b>ISOTOPCENTRALEN</b> Skelbækgade 2, DK1717 Kbh.V. Telf.(01)214131	Rekv.:	VKI	
Godk.:				Sag no.:	11,70	Bilag no.:
Rev.:			ANALYSERESULTATER, SEDIMENTPRØVER			
Rev.:						
Rev.:						



KVIKSØLVBESTEMMELSE PÅ FISK FRA GUDENÅ-SYSTEMET

Fiskeart	Vægt g	Lgd. cm	Ald. år	Køn	Dato	Fangststed	Hg - konc. ng/g
Aborre	210	26	7		maj 68	Vejlsø-Brassø	220
"	215	27	8		"	"	194
"	250	26	9		"	"	156
"	310	28	7		"	"	206
"	325	28	5		"	"	200
Aborre	68	17		♀	aug 68	Silkeborg Langssø østlige del	216
"	86	19			"	"	154
"	95	20			"	"	205/250
"	110	20			"	"	145
"	120	22	5		maj 68	"	248
"	145	23			"	"	467
"	160	23	5		"	"	292
"	170	24	6		"	"	368
"	220	26	5		"	"	470
"	292	28		♀	aug 68	"	347
Aborre					23.7.68	Tange Sø	354
"					"	"	381/389
"					"	"	395
"					"	"	400
"					"	"	558

Tegn.:	JNM	751223
Godk.:		
Rev.:		
Rev.:		
Rev.:		



**ISOTOPCENTRALEN**  
Skelbækgade 2, DK 1717 Kbh. V. Telf. (01) 21 41 31

Rekv.: VKI

KVIKSØLV I ABORRER 1968

Sag no.: 11.70  
Bilag no.: 5.4.1.1

KVIKSØLVBESTEMMELSE PÅ FISK FRA GUDENÅ-SYSTEMET

Fiskeart	Vægt g	Lgd. cm	Ald. år	Køn	Dato	Fangststed	Hg-konc. ng/g
Gedde	1250	58	5+	♀	13.8.73	Mossø	111
Gedde	2225	68	5+	♀	10.10.73	Juul Sø	157
Gedde	2975	75	9		maj 68	Vejlsø	263
"	3325	75	7		"	"	503
"	3500	76	8		"	"	453
"	3600	82			"	"	328
"	3625	79			"	"	450
Gedde	1860	52	6		maj 68	Silkeborg langsø	517
"	2360	69	7		"	"	698
"	2730	74	9		"	"	1007
"	3860	82			"	"	920
"	5320	95	12		"	"	1410
Gedde	115	30	2+	♂	sept 72	Tange Sø	198
"	740	46	5+	♀	"	"	224
"	2180	65	7+	♀	"	"	226
Gedde	2270	68	7+	♂	1.10.72	Gudenåen ne- denstrøms	775
"	2650	67	7+	♀	"	tange Sø	434
"	3400	76	9+	♀	"	"	1239 1252
Gedde	880	51	5+	♂	19.9.73	Randers Fjord	352
"	1750	54	5+	♀	"	"	240/229
"	2400	65	5+	♀	10.10.73	"	315

Tegn.:	JNM	751223
Godk.:		
Rev.:		
Rev.:		
Rev.:		



**ISOTOPCENTRALEN**  
Skelbækgade 2, DK 1717 Kbh. V. Telf. (01) 21 41 31

Rekv.:	VKI	
Sag no.:	11.70	Bilag no.:
		5.4.1.2

KVIKSØLV I GEDDER 1968-1973



KVIKSØLVBESTEMMELSE PÅ FISK FRA GUDENÅ-SYSTEMET

Fiskeart	Vægt g	Lgd. cm	Ald. år	Køn	Dato	Fangststed	Hg-konc. ng/g
Sandart	755	45	4+	♀	13.8.73	Mossø	90,2
"	1415	55	5+	♂	"	"	118,1
Sandart	1420	55	4+	♂	10.10.73	Juul Sø	77,9
"	1490	55	4+	♀	"	"	65,7
"	1625	55	4+	♀	"	"	86,8
Sandart	195	29	1+	♀	10.10.73	Randers Fjord	80,7
"	270	31	1+	♀	"	"	103/95
"	1475	52	4+	♂	"	"	243

Tegn.:	JNM	751223
Godk.:		
Rev.:		
Rev.:		
Rev.:		



**ISOTOPCENTRALEN**  
Skelbækgade 2, DK 1717 Kbh. V. Telf. (01) 214131

Rekv.:	VKI	
Sag no.:	11.70	Bilag no.:
		5.4.1.3

KVIKSØLV I SANDARTER 1973

KVIKSØLVBESTEMMELSE PÅ FISK FRA GUDENÅ-SYSTEMET

Fiskeart	Vægt g	Lgd. cm	Ald. år	Køn	Dato	Fangststed	Hg-konc. ng/g
Ål					9.7.68	Brassø v.u.	114
"					"	i Remstrup å	145
"					"	"	181
"					"	"	224
"					"	"	217/254
Ål					9.7.68	Silkeborg	175
"					"	Langsø	185
"					"	"	259
"					"	"	257/278
"					"	"	306

Tegn.:	JNM	751223
Godk.:		
Rev.:		
Rev.:		
Rev.:		



**ISOTOPCENTRALEN**  
 Skelbækgade 2, DK1717Kbh.V. Telf.(01)214131


Rekv.:	
VKI	
Sag no.:	Bilag no.:
11.70	5.4.1.4

KVIKSØLV I ÅL 1968



KVIKSØLVBESTEMMELSER PÅ FISK FRA GUDENÅ-SYSTEMET


Fiskeart	Vægt g	Lgd. cm	Ald. år	Køn	Dato	Fangststed	Hg-konc. ng/g
Aborre	3,0	6,5	0+		medio sept.75	Silkeborg Langsø-øst	38*
"	14,0	11	2+		"	"	24
"	25	13	2+		"	"	81
"	41	15	2+		"	"	54
"	61	18,5	3+		"	"	119/ 138
"	78	19	4+		"	"	102*
"	80	19					
"	80	19					
"	82	19,5					
"	106	21	5+		"	"	105*
"	108	20,5					
"	110	21					
"	112	20,5					
"	112	21					
"	113	21	4+		"	"	81
"	140	22,5	4+		"	"	90
"	165	23,5	5+		"	"	99
"	190	25	6+		"	"	112
"	221	26	5+		"	"	105
"	229	26	5+		"	"	85
"	330	27,5	8+		9.10.75	"	100
"	740	35,5	13+		"	"	224/ 215
Aborre	2,8	6,5	0+		medio sept.75	Silkeborg Langsø-vest	46*
"	17	12	1+		"	"	28
"	33	14	2+		"	"	39
"	56	17	3+		"	"	73
"	74	19	4+		"	"	59
"	103	20,5	5+		"	"	74/ 91
"	153	23	5+		"	"	68
"	230	26,5	8+		11.10.75	"	90

Tegn.:	JNM	751223	 <b>ISOTOPCENTRALEN</b> Skejbækgade 2, DK1717 Kbh. V. Telf. (01)21 4131	Rekv.:			
Godk.:				VKI			
Rev.:				Sag no.:	11.70	Bilag no.:	5.4.2.1
Rev.:				KVIKSØLV I ABORRER 1975			
Rev.:							

KVIKSØLVBESTEMMELSE PÅ FISK FRA GUDENÅ-SYSTEMET

Fiskeart	Vægt g	Lgd. cm	Ald. år	Køn	Dato	Fangststed	Hg-konc. ng/g
Aborre	300	26,5	7+		11.10.75	Silkeborg Langsø-vest	96
"	750	35,5	13+		"	"	246
"	47	15,5	3+		20.10.75	Tange Sø	71/72
"	78	18	4+		"	"	74
"	205	24,5	5+		"	"	63
"	241	25,5	7+		"	"	74
"	287	27	7+		"	"	74
"	319	27	7+		"	"	106
"	353	29	8+		"	"	120
"	435	30	9+		"	"	102
"	464	33	8+		"	"	108
"	534	34,5	10+		"	"	188/194
Aborre	57	15,5	3+		"	Tange Å	53
"	71	17,5	4+		"	"	54
"	102	19	5+		"	"	100
"	135	21	5+		"	"	85
"	152	21,5	4+		"	"	84
"	285	25	6+		"	"	102/103
"	286	26	7+		"	"	154

\* Angiver at analysen er udført på en blanding af lige store prøvemængder fra fisk af samme størrelse.

Tegn.:	GK	751223	 <b>ISOTOPCENTRALEN</b> Skelbækgade 2, DK 1717 Kbh. V. Telf. (01) 21 41 31	Rekv.:	VKI		
Godk.:				Sag no.:	Bilag no.:		
Rev.:				11.70	5.4.2.2		
Rev.:				KVIKSØLV I ABORRER 1975			
Rev.:							



KVIKSØLVBESTEMMELSE PÅ FISK FRA GUDENÅ-SYSTEMET

Fiskeart	Vægt g	Lgd. cm	Ald. år	Køn	Dato	Fangststed	Hg-konc. ng/g
Gedde	832	52	5+		april/ maj 75	Silkeborg Langsø	193/ 201
"	965	52	5+		"	"	175
"	1132	55	5+		"	"	287
"	1375	56	7+		"	"	331
"	1545	56	6+		"	"	130
"	1560	54	5+		"	"	169
"	1835	60	6+		"	"	222
"	2030	65	6+		"	"	361
"	2800	74	8+		"	"	121
"	3200	74	7+		"	"	736
"	3400	75	9+		"	"	259
"	4400	77	7+		"	"	333
"	7800	101	15-20		"	"	449/ 474
Gedde	1750	60	6+		medio sept.75	Silkeborg Langsø-øst	206
"	3300	76	8+		"	"	254
"	4000	82	9+		9.10.75	"	512
"	5800	80	?		medio sept.75	"	340
"	6200	98	14+		"	"	355
Gedde	90	23	2+		20.10.75	Tange Sø	60/64
"	115	28	2+		"	"	77
"	166	34	2+		"	"	53
"	915	59	5+		"	"	247
"	961	51	4+		"	"	70
"	1530	62	6+		"	"	229
"	1785	62	7+		"	"	238/237
"	1905	63	7+		"	"	109
"	2600	73	9+		"	"	184
"	5700	89	9+		"	"	609
Gedde	1043	50	5+		"	Tange Å	138
"	1173	51	5+		"	"	92/90
"	1386	55	5+		"	"	423

Tegn.:	GK	751223
Godk.:		
Rev.:		
Rev.:		
Rev.:		



**ISOTOPCENTRALEN**  
Skelbækgade 2, DK 1717 Kbh. V. Telf. (01) 21 41 31

Rekv.: VKI

KVIKSØLV I GEDDER 1975

Sag no.: 11.70  
Bilag no.: 5.4.2.3

KVIKSØLVBESTEMMELSE PÅ FISK FRA GUDENÅ-SYSTEMET

Fiskeart	Vægt g	Lgd. cm	Ald. år	Køn	Dato	Fangststed	Hg-konc. ng/g
Gedde	673	46	5+		1.3.75	Gudenåen, Frisenvold syd for Randers	186/ 194
"	975	50	5+		"	"	259
"	1100	51	6+		"	"	350
"	1220	51	6+		"	"	249
"	1460	59	6+		"	"	343
"	1720	63	7+		"	"	323
"	1900	63	7+		"	"	397/ 429
"	1900	64	6+		"	"	404
"	2180	64	8+		"	"	453
"	2550	70	7+		"	"	523
Sandart	1650	56	8+		medio sep. 75	Silkeborg Langsø øst	213/201
"	2750	71	9+		"	"	486
"	2900	64	6+		"	"	418/422

Tegn.:	GK	751223
Godk.:		
Rev.:		
Rev.:		
Rev.:		



**ISOTOPCENTRALEN**  
Skelbækgade 2, DK 1717 Kbh. V. Telf. (01) 21 41 31

Rekv.:	VKI
Sag no.:	11.70
Bilag no.:	5.4.2.4

KVIKSØLV I GEDDER OG SANDARTER 1975



### Hg-konc.-vægtdiagrammer

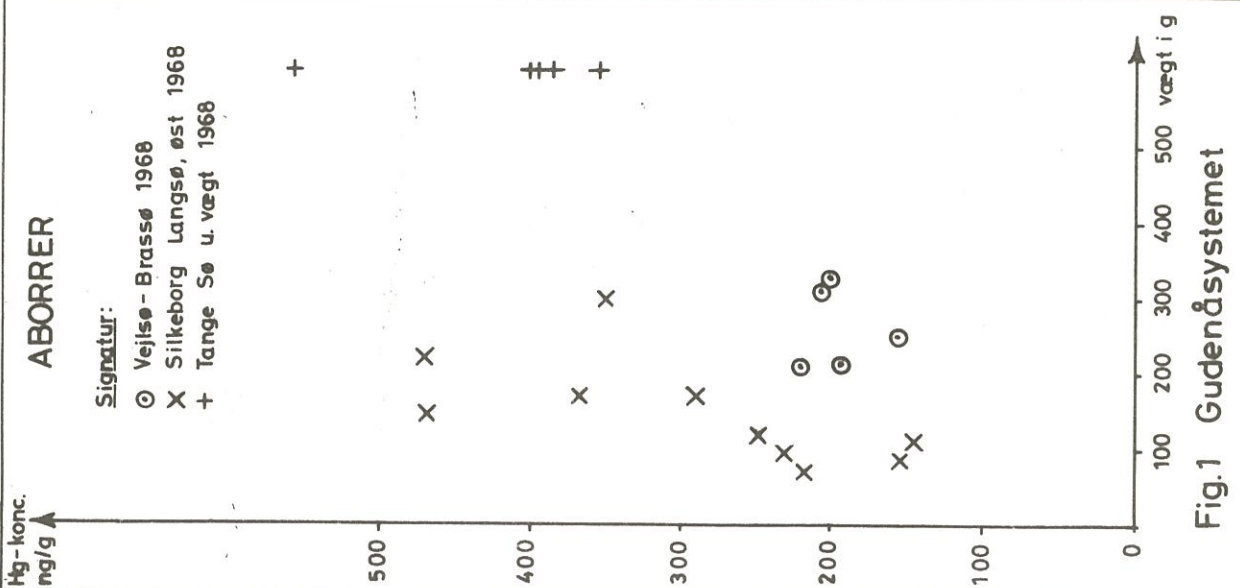


Fig.1 Gudendssystemet

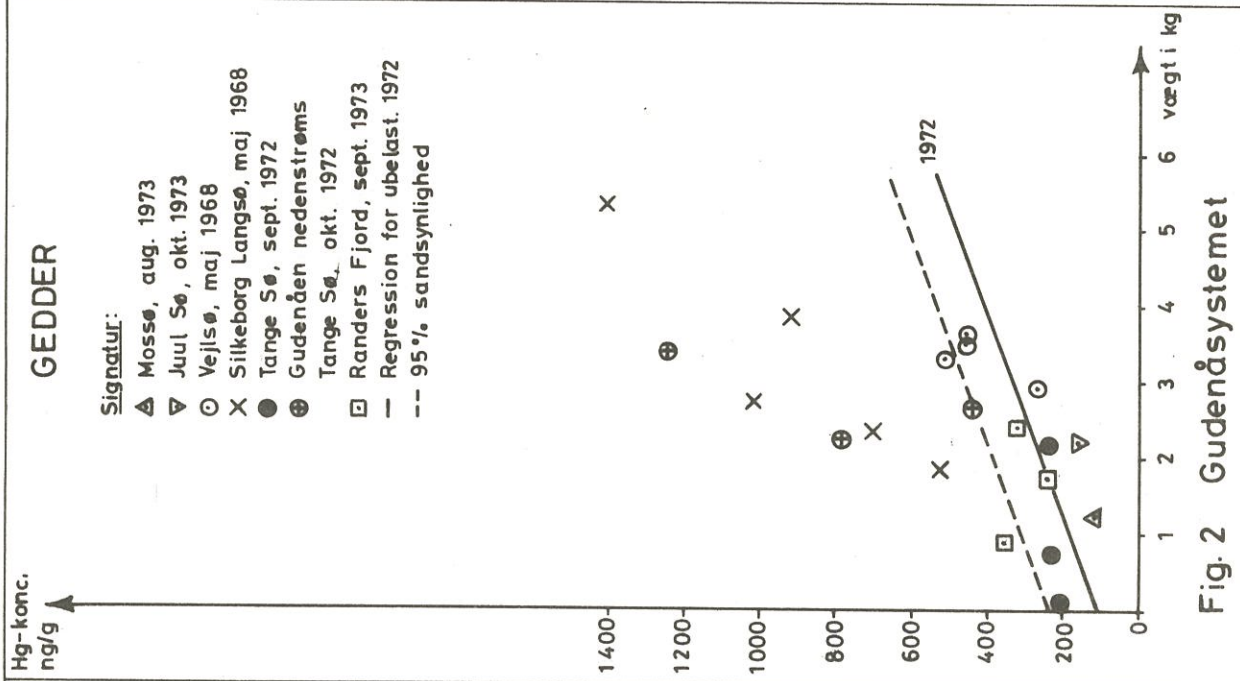


Fig. 2 Gudendssystemet

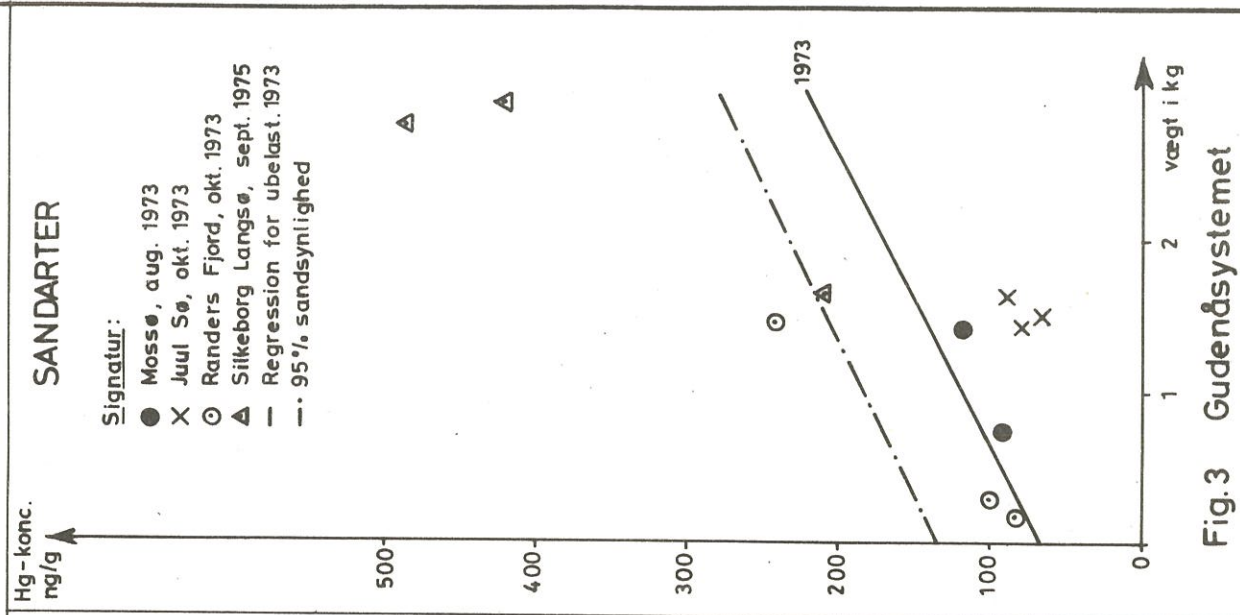


Fig.3 Gudendssystemet

Tegn.:	LK	75-12-17
	M.F.	75-01-21
Godk.:		
Rev.:		
Rev.:		
Rev.:		



**ISOTOPCENTRALEN**  
 Skelbøkgade 2, DK 1717 Kbh. V. Telf. (01) 21 41 31

Rekv.:  
**VKI**

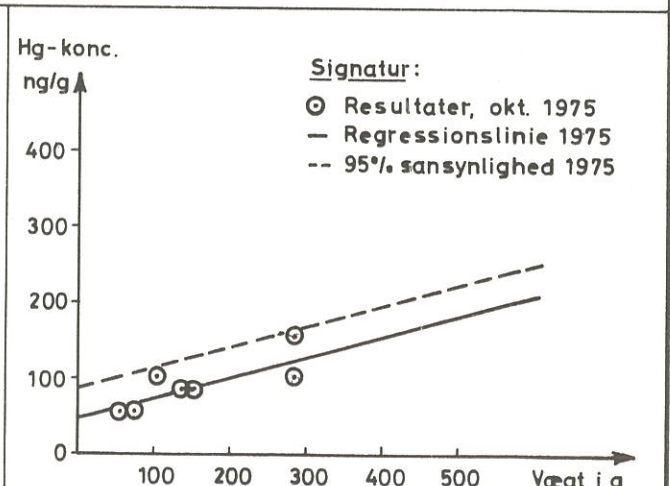
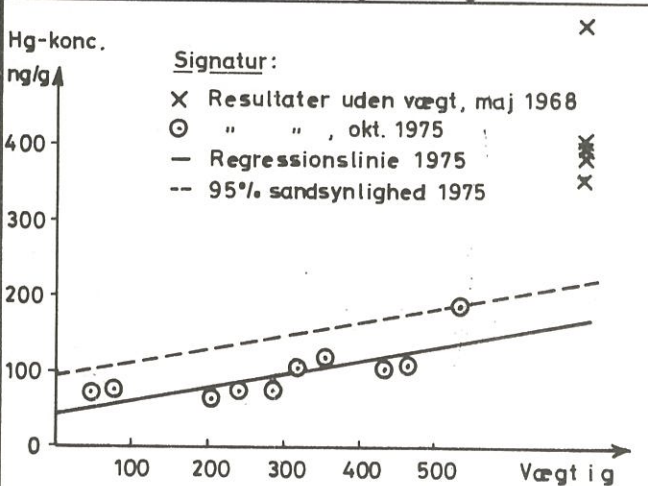
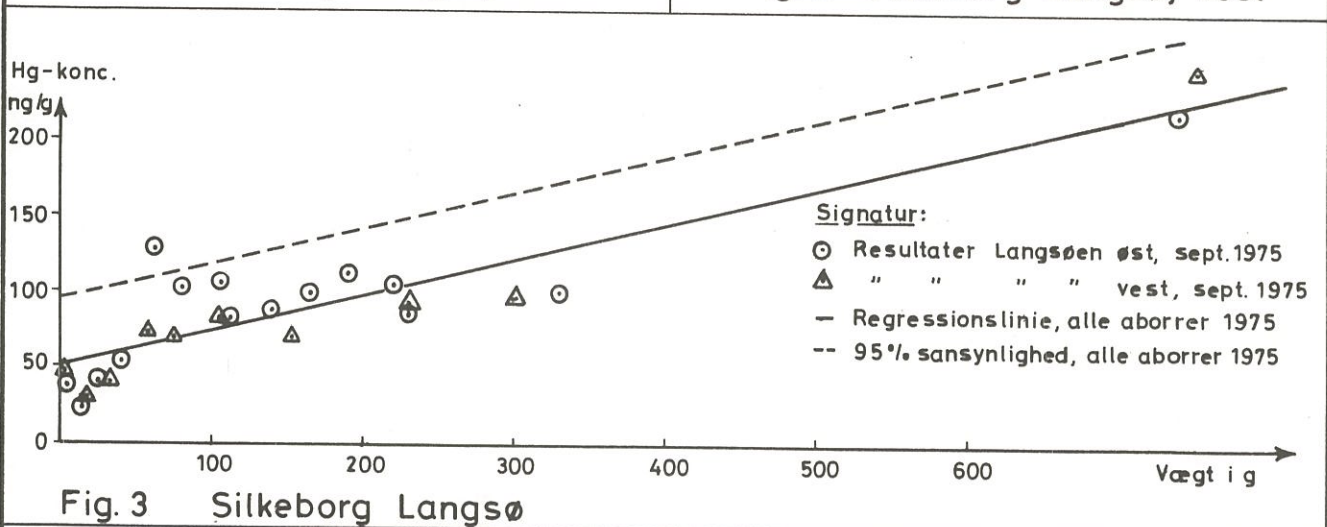
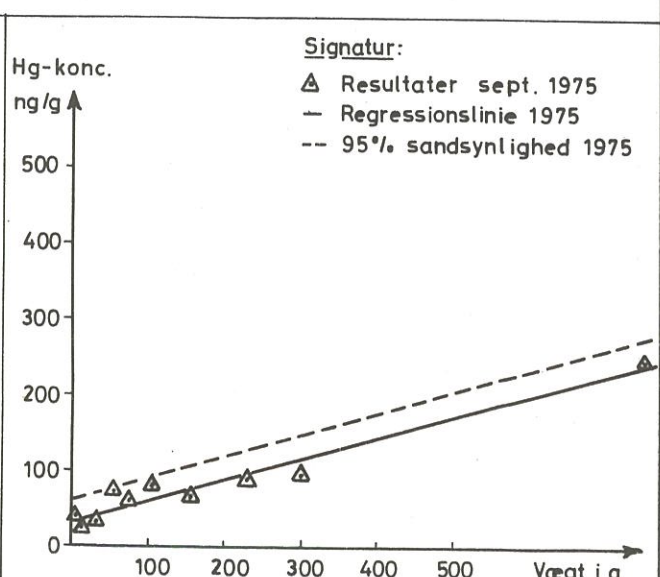
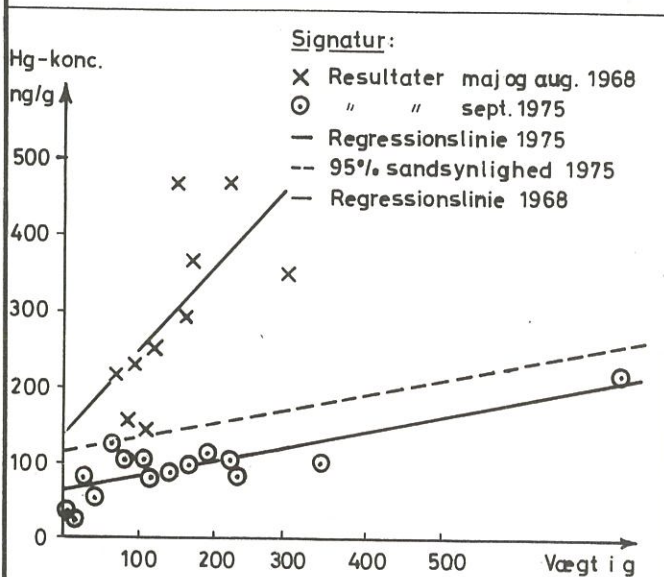
Hg-konc. - vægtdiagrammer for fisk fanget i Gudend-systemet 1968-1973

Sag no.:  
 11.70

Bilag no.:  
 5.4.3.1

# Hg-koncentration-vægt diagrammer

## ABORRER



Tegn.:	LK	75-12-12
	M.F.	75-01-21
Godk.:		
Rev.:		
Rev.:		
Rev.:		



**ISOTOPCENTRALEN**  
 Skejbækgade 2, DK 1717 Kbh. V. Telf. (01) 21 41 31

Rekv.:	VKI	
Sag no.:	11.70	Bilag no.:
		5.4.3.2

Hg-konc. — vægt diagrammer,  
 aborrer 1975



# Hg - konc. - vægtdiagrammer GEDDER

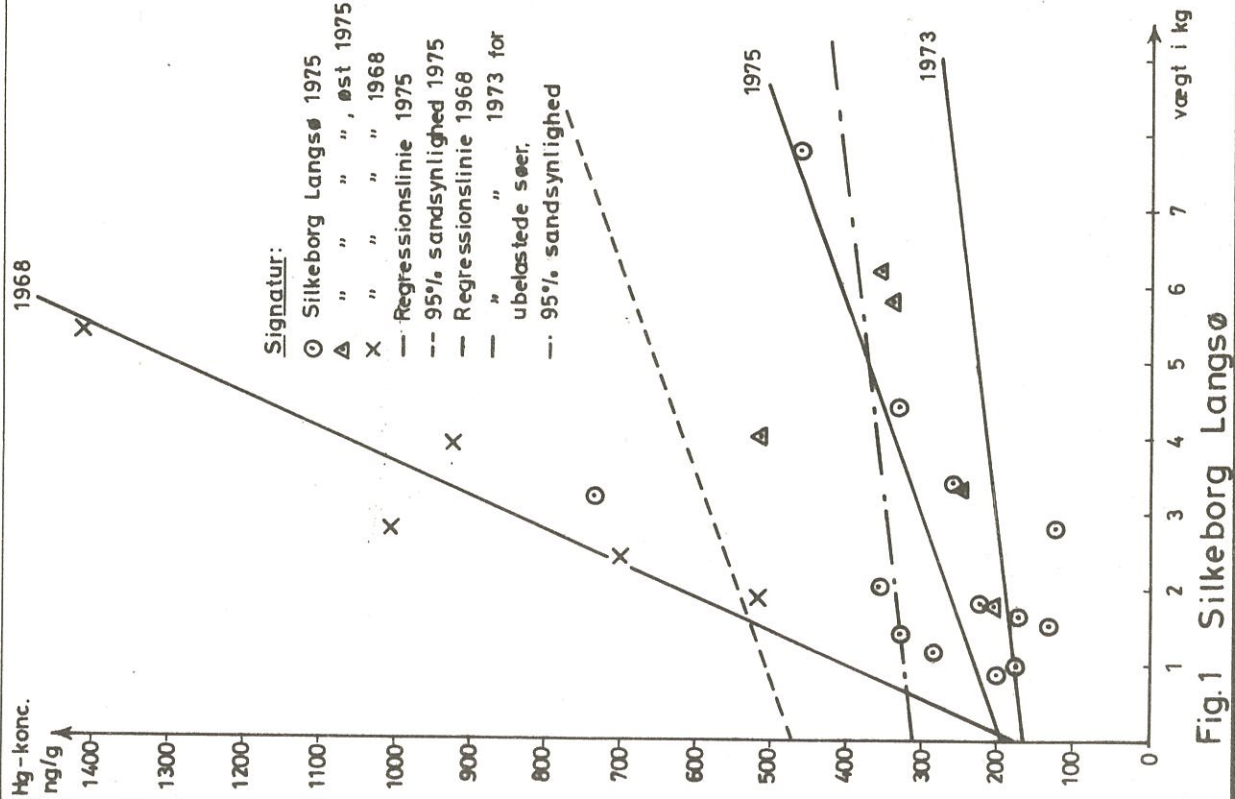


Fig. 1 Silkeborg Langsø

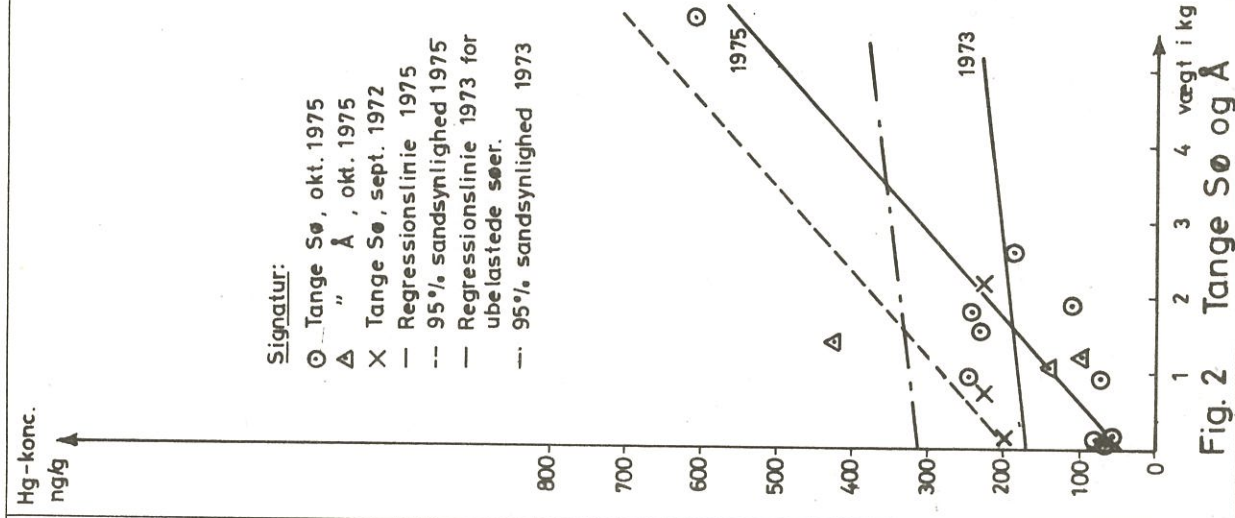


Fig. 2 Tange Sø og Å

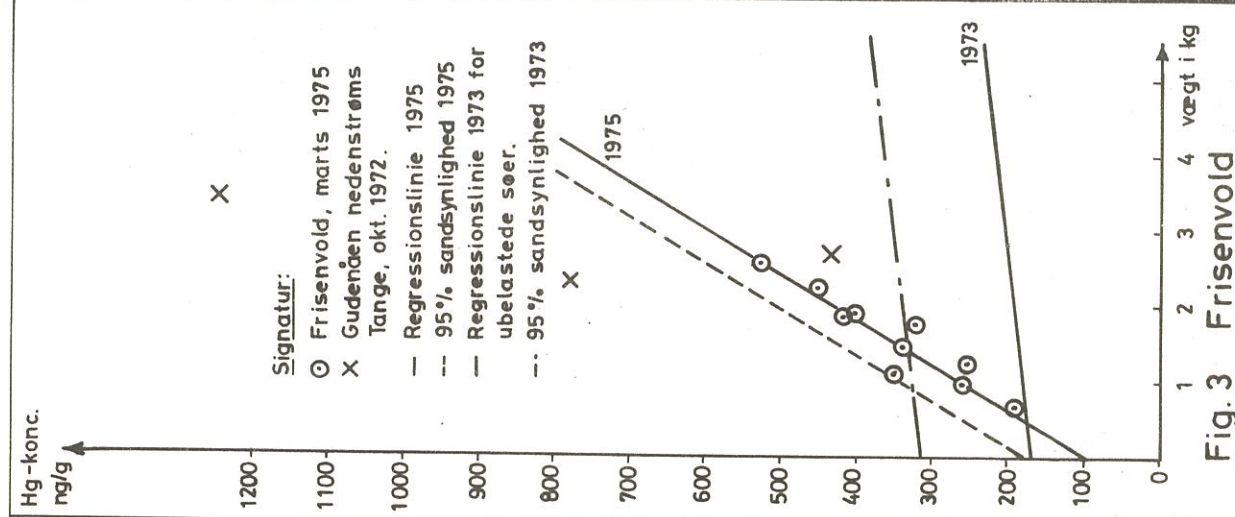


Fig. 3 Frisenvold

Tegn.:	LK	75-12-12
	M.F.	75-01-21
Godk.:		
Rev.:		
Rev.:		
Rev.:		

**ISOTOPCENTRALEN**  
 Skelbækgade 2, DK 1717 Kbh. V. Telf. (01) 21 41 31

Hg-konc. - vægtdiagrammer,  
gedder 1975

Rekv.:	VKI	
Sag no.:	11.70	Bilag no.:
		5.4.3.3