

Materialevandringen og sedimentationen i Karlsgårde Sø og dens tilløb

Af Bent Hasholt

Karlsgårde Hydroelectric Power Station in SW Jylland had troubles with sedimentation in reservoir and canals. The extent of it has been measured and, throughout one year, monthly measurements were made of the bed load transport and of suspended load transport in the rivers flowing to the power station. A relation between discharge and bed load transport as well as between discharge and suspended load transport has been calculated. The amount of material transported during an "average year" has been found by means of duration curves. Some of the applied methods are described. The bed load transport was measured by various methods a.o. by measurement of the downstream advance of the bedforms. Fluorescent-coloured sand was used as tracer material. Its migration gave a qualitative impression of the intensity of the material transport which proved to be in good accordance with the other results. However, this method is too laborious for a quantitative determination of sediment transport.

INDLEDNING

I slutningen af første verdenskrig byggede *Sydvestjysk Andels-Elektricitet* et vandkraftanlæg ved Karlsgårde (pl. 1). Der etableredes et reguleringsbassin på ca. 100 ha ved at bygge en dæmning over Nørbækkens dal, nær dalens udmunding i Vardeådal. Vandet til kraftværkets drift kom dels fra Nørbækken og primært fra Holme Å, idet der ca. 1 km vest for Hostrup etableredes et stemmeværk, hvorfra åens vand via en gravet kanal (Holme Kanal) blev ledet over i reguleringsbassinet. Det opland, som oprindeligt leverede vand til kraftproduktionen, var 170 km² iflg. »Forslag til udvidelse af kraftproduktionen ved Karlsgårde 1940«. Værket blev taget i brug i februar 1921.

I begyndelsen af anden verdenskrig gjorde manglen på brændsel det rimeligt igen at tænke på en udnyttelse af vandkraften til energiproduktion. Man udvidede nu anlæggets kapacitet ved at inddrage vandet fra Grindsted Å og Ansager Å. Der byggedes et stemmeværk tæt nedenfor de to åers sammenløb ved Hoddeskov, og herfra blev vandet ledet til reguleringsbassinet via en nygravet ca. 10 km lang kanal (Karlsgårde Kanal). Det nytilkomne opland var iflg. ovenstående kilde 450 km², således at kraftværkets samlede opland nu var 620 km². Det således udbyggede kraftværk har været i funktion siden 1945.

Ved ophævelsen af *Sydvestjyllands Forenede Elektricitetsværker* i 1950 overtog *Esbjerg Kommune* Karlsgårdeværket, hvis årlige el-produktion andrager ca. 5 mill. kWh.

PROBLEMSTILLING

Gennem årene har det vist sig, at der i tilløbene til kraftværket foregår en vandring af materiale. Resultaterne af denne materialevandring ses dels som en tilsanding foran stemmeværkerne og dels som en aflejring af materiale i selve reguleringsbassinet i nærheden af tilførselskanalens indmunding. Det aflejrte materiale har måttet opgraves for at give vandet frit løb frem til kraftstationen. En opgravning af materialet, ofte under besværlige forhold, er bekostelig, og dyngerne af opgravet materiale skæmmer de naturskønne områder, som indgår i Esbjerg kommunes rekreative arealer.

Med henblik på at få belyst materialvandringsproblemerne har *Esbjerg Kommunes Tekniske Forvaltning* optaget kontakt med professor *N. Kingo Jacobsen*. Det var hensigten, at undersøgelsen skulle søge at belyse følgende punkter:

1. Fordeling, mængde og art af det aflejrte materiale.
2. Størrelsen og arten af de årligt tilførte materialemængder samt disses oprindelsessteder.
3. Forventet fremtidig udvikling og muligheden for indgreb i denne.

Undersøgelsens feltarbejde påbegyndtes sommeren 1969 og afsluttedes i efteråret 1970. Herefter er laboratoriearbejdet og den øvrige bearbejdning udført på *Skalling-Laboratoriet* i Esbjerg og på *Geografisk Institut ved Københavns Universitet*. På dette sted rettes en tak til de af personalet ved de pågældende institutioner samt de studerende, som har deltaget i arbejdet.

UDFØRTE UNDERSØGELSER

BEGRUNDELSE OG KORTFATTET TEORETISK REDEGØRELSE

Det nuværende (1970) opland til Karlsgårdeværket er opmålt til 615 km². Som nævnt nedenfor har det vist sig, at det forhåndskendskab til dette store område, som kan opnås ud fra tidligere undersøgelser og opmålinger, er yderst ringe. Opgaven har derfor været vanskelig at løse, og problemerne måtte angribes med flere sideordnede undersøgelser, hvoraf nogle undervejs viste sig mindre velegnede.

Tidligere undersøgelser og arkivmateriale

Nedenstående materiale er fundet i forbindelse med her-værende undersøgelse:

OPLANDETS STØRRELSE

I »Karlsgårde«, København, den 14. februar 1940 (Rettelser og tilføjelser 15/4-41), *Carl Jensen Stürup m.fl.*, opgives samlet opland til 620 km², heraf Ansager-Grindsted Å 450 km². I »Undersøgelse af vandføringen i åsystemet fra Grindsted til Sig«, *Grindsted Kommune, Teknisk Forvaltning*, opgives oplandet til Grindsted Å og Ansager Å ved stemmeværket til ialt 431 km².

Kærbæks opland opgives i regulativet efter en regulering i 1962 til ca. 64 km/ ved udløbet i Ansager Å. Det i dag angivne opland på 615 km² er målt ud fra egne bestemmelser af vandskel, som er sammenlignet med kort over vandskel, som forefindes hos *Hedeselskabets Mose- og Engafdeling* i Varde.

HYDROMETRISKE MÅLINGER

Der er benyttet en varighedskurve fra Varde Å ved Sig, publiceret i *Det danske Hedeselskabs Kulturtekniske Afdelings Hydrometriske Undersøgelser 1943-1950*, 7. Beretning. Målestationen er nedlagt 1945 på grund af udbygningen af Karlsgårdeværket.

OPMÅLINGER OG VANDLØBSREGULATIVER

En forespørgsel angående regulativer er rettet til *Ribe Amts Vandinspektat*.

Regulativerne for de nedre dele af Grindsted, Ansager og Holme Å, som har interesse for denne undersøgelse, er alle fra 1854 og indeholder få relevante oplysninger om vandløbets egentlige dimensioner.

Af nyere regulativer fremhæves: »Regulativ for Ansager Sø 16. december 1953«, som beskriver forholdene ved stemmeværket til Karlsgårde Kanal. »Tillæg til regulativ for Varde Å fra Stokkebro til Karlsgårde Kanals udløb 16. dec. 1953«, som beskriver den regulerede strækning nedenfor stemmeværket. Regulativ for Kærbæk 1962, som behandler Kærbæk fra grænsen mellem Kvie og Ansager Sogn.

Regulativer for øvrige regulerede strækninger er ikke gennemgået.

Øvrigt anvendt opmålingsmateriale er »Længdeprofil af Dæmningslinien« Plan K 114 24-4-1942, hvorpå ses et tværsnit af dalen ved Hoddeskov Stemmeværk, samt *Geodætisk Instituts* målebordsblade ca. 1870, 1920 og 1956.

KARLSGÅRDESYSTEMETS DIMENSIONER

Anlægget 1921. Forespørgsel angående evt. arkivmateriale rettet til *Ministeriet for offentlige arbejder* viste, at evt. materiale ikke er umiddelbart tilgængeligt.

Gennemgang af materiale vedrørende Karlsgårdeværket i Esbjerg kommunes besiddelse gav kun en enkelt oplysning om dimensionen af Holme Kanals nedre del.

Anlægget 1945. Ved ovennævnte gennemgang af materiale fandtes oplysninger om Karlsgårde Kanals linieføring og dimensioner. »Entreprenørerne ved Karlsgårde K.24«.

Tværfiler 1:200, længdeprofil 1:5000, højdemålestok 1:50.

MATERIALETRANSPORT

De eneste oplysninger om materialetransport, som forefandtes, var regnskabsbilag for opgravningen af materiale ved Ansager Sø.

ANDRE OPPLYSNINGER OM VANDLØBENE

I nedenstående er fundet oplysninger til brug ved undersøgelsen, *S. B. Böcher*: Vandkraftens udnyttelse i det sydlige Nørre Jylland før og nu. *Kulturgeografiske Skrifter* 3, Kbh. 1942. *S. Rasmussen*: Studier over Engvandingen i Danmark, specielt vedrørende Store Skjernå Kanal. *Geografisk Tidsskrift* 63, 2, 1964. *Generel Landskabsplan for Ribe Amt*, 1971. *Danmarks Geologiske Undersøgelser*, 1. række nr. 14 og 15.

Måleprogram

Undersøgelsens formål er angivet i indledningen. Gennemgangen af det forhåndenværende materiale viste, at dette kun indeholdt få oplysninger til støtte for en materialetransportundersøgelse.

Det var hensigten ud fra samtidige målinger af materialetransport og vandføring i de vigtigste tilløb til Karlsgårdesystemet at bestemme en eventuel relation mellem de nævnte størrelser. På grundlag af oplandsarealerne og varighedskurven for afstrømningen skulle gennemsnitsårsfordelingen af vandføringsværdier for de enkelte vandløb bestemmes. Ud fra en relation mellem vandføring og materialetransport samt den gennemsnitlige årsfordeling af vandføringsværdier skulle gennemsnitsårsmaterialetransporten beregnes.

En delvis tømning af Karlsgårde Sø i forsommeren 1969 viste en mere udbredt materialeaflejring end først antaget, hvorfor også en bestemmelse af den aflejede mængde her var nødvendig. Herefter blev det besluttet ud fra et begrænset antal målinger af kanaldimensionerne også at undersøge evt. aflejringer i disse.

Eventuelle særlige kildeområder for materialetransporten skulle undersøges ved rekognosceringer langs vandløbene, herunder en bestemmelse af materiale i bund og bredder. På større skrænter langs vandløbet skulle foretages en stikprøvemåling af erosionen.

På grund af det begrænsede forhåndskendskab fandtes det rimeligt at foretage månedlige målinger i løbet af et år, således at forskellige værdier af vandføring blev målt, og man samtidig fik et indblik i forholdene til forskellige årstider.

KRITERIER FOR VALG AF MÅLESTEDER

Valget af målesteder er foretaget efter grundige rekognosceringer langs vandløbene, idet det var hensigten, at den ved målestederne målte transportmængde skulle være den naturligt forekommende, som kunne forventes at nå frem til Karlsgårdesystemet.



Fig. 1. Karlsgårde Sø, juni 1969. Vandstanden er sænket ca. 2 m under normal vandstand.
 Fig. 1. Karlsgårde Sø, June 1969. Water-level 2 m below normal.

Ved valget af målesteder er anvendt følgende kriterier:

1. Målestederne skulle ligge nær ved tilførselskanalerne (Holme Kanal og Karlsgårde Kanal), således at en korrektion for oplandsareal til målestationerne i forhold til de enkelte vandløbs oplandsareal ved indløbsbygværkerne var lille.
2. Vandløbets fald ved målestedet skulle være uafhængigt af opstuvninger ved tærskler, sluser og evt. styrt.
3. Vandløbet skulle ved målestedet være retlinjet over en længere strækning og uden større hvirveldannelser.
4. Målestedet skulle være tilgængeligt med bil under alle forhold, da måleudrustningen var tung og uhandelig. Der skulle om muligt være en bro i nærheden, hvorfra målinger kunne udføres i ekstremssituationer.

Målestederne i kanalerne er udvalgt efter 2, 3 og 4.

MALESTEDERNES PLACERING OG MÅLEPROGRAM

De enkelte målesteders placering fremgår af oversigtskortet, pl. 1.

Station 100 og 101, Grindsted Å. Formålet var at bestemme materialetransporten i Grindsted Å. Der opstilledes en selvregistrerende vandstandsmåler og vandstandsbrædder til måling af vandspejlets fald. Efter nogen tids måling viste det sig, at målestedet var mindre velegnet på grund af tærskler neden for målestedet og kraftig hvirveldannelse ved høje vandstande. Målestedet afløstes af St. 101, idet dog vandstandsmåleren forblev ved broen.

Måleprogrammet ved St. 101 omfattede:



FOTO 1969
Målestoksforhold
ca. 1:8000

1. Måling af vandstand ca. hver tredje dag.
2. Måling af vandføring hver måned.
3. Måling af fald.
4. Måling af materialetransport ud fra bestemmelse af bankedimension og hastighed.
5. Måling af materialetransport med »sandfælder« af forskellig type.

6. Måling af suspenderet og opløst transport.

Station 200, Ansager Å. Målestedets placering oven for Ansager Dambrug kan synes mindre hensigtsmæssig; det har imidlertid vist sig, at størsteparten af materialet passerer dambruget. Ved rekognosceringen fandtes ingen egnede målesteder neden for Ansager, hovedsagelig fordi det skønnedes, at en aflejring af materiale ved stemme-

værket kunne influere på vandspejlets fald og transportraten. Måleprogrammet er som ved St. 101, idet der dog her placeredes en selvregistrerende vandstandsmåler.

Station 300 og 301, Kærbæk. Målinger påbegyndtes ved Kvie Bro, men Station 301 ved Ansager fandtes bedre egnet, idet vandløbsstrækningen her var mere regelmæssig. Måleprogrammet omfattede månedlige målinger af vandstand, vandføring, bundtransport (dog ikke med alle metoder), suspenderet transport og transport af opløste stoffer.

Station 400, Holme Å. Målestedet viste sig at have visse ulemper, idet broens midterpille i grødeskæringsperioder standsede grøden, hvorved der dannedes en opstuvning. Bunden blev ved en enkelt lejlighed dybt nedskåret ved

vandets passage under grødelaget. Det har imidlertid ikke været muligt at finde mere velegnede målesteder på den korte strækning mellem Haltruplund Dambrug og indløbsbygværket, idet vandløbet løber igennem sumpet terræn, og bunden ofte er meget varieret.

Måleprogrammet er som for Station 200. Her er således også opstillet en selvregistrerende vandstandsmåler. På grund af nævnte udskæring har det ikke altid været hensigtsmæssigt at udføre bankemålinger.

Station 500, Karlsgårde Kanal. Der er foretaget daglige målinger af vandstanden. Vandføring, transport af suspenderet materiale og opløst stof er målt en gang om måneden.

Måling af bundtransport har været forsøgt; de opfangede mængder var meget små og stod ikke i rimeligt forhold til målearbejde og usikkerhed. På grundlag af stedvis fundet løst sand på bunden antages det, at der dog ved store vandføringer foregår en begrænset bundtransport i denne del af kanalen.

Station 600, Holme Kanal. Daglig måling af vandstanden i kanalen og det gamle åleje. Det månedlige måleprogram har været som for Station 500. Heller ikke her har det været muligt at registrere bundtransport med de anvendte metoder, idet formodentlig størsteparten af løst sand er fjernet fra bunden ved oprensning i 1968.

Station 700, Varde Å. Her foretages daglig måling af vandstand og månedlig måling af vandføring.

Station 800, Hoddeskov Stemmeværk. I frislusens åbningsperiode har der undertiden været udtaget prøver til bestemmelse af vandets indhold af suspenderet materiale og opløste stoffer.

Station 900, Karlsgårde Kraftværk. Der er udtaget prøver til bestemmelse af vandets indhold af suspenderet materiale og opløste stoffer. Prøverne er dels udtaget ved indløbsbygværket oven for turbinen og dels ved udløbet neden for værket. Ved prøvetagning ovenfor gælder det, at strømhastigheden er langsom, og det er vanskeligt at sænke måleren helt til bunden. Ved måling nedenfor generes målingen ofte af kraftig hvirveldannelse.

Målemetoderne og deres baggrund

MÅLING AF VANDSTAND

Vandstanden er målt manuelt ved en række af målestationerne. Som referenceniveau er anvendt afmærkede punkter eller vandstandsbrædder, som er indniveret i forhold til DNN (Dansk Normal Nul).

Selvregistrerende vandstandsmålere af type Ott 20.061, hvor vandstanden hvert kvarter registreres på hulstrimmel, har været opstillet ved St. 100, 200 og 400. Målerne er af utraditionel type, hvilket har medført ulemper. Måleren er meget følsom over for frysning af svømmerbrønden; der er således i den hårde vinter 1969-70 gået målinger tabt.

Bearbejdningen af resultaterne viste sig vanskeligere end ventet, idet det var nødvendigt at udføre pionerarbejde ved programmering, således at hulstrimlerne kunne konverteres til vandstandskurver.

MÅLING AF VANDSPEJLETS FALD

Ved Station 100, 101, 200 og 400 har der været opstillet indniverede vandstandsbrædder ca. 250 m på hver side af målesektionen. Vandspejlets niveau er aflæst i 3 punkter. Afstanden mellem vandstandsbrædderne er målt langs bredden med et stålmålebånd.

Ved Station 301, 500 og 600 bestemmes faldet ud fra regulativmæssige opgivelser og opmålte længdeprofiler. Faldet i kanalerne varierer mere end i vandløbene, fordi vandstanden i Karlsgårde Sø udviser mindre variation end vandstanden ved indløbsbygværkerne.

MÅLING AF VANDFØRING

Strømhastighed i enkeltpunkter er målt med Ott-propelstrømmålere. Strømhastigheden er målt i 20-30 vertikaler. I hver af disse er middelstrømhastigheden defineret ud fra en måling i 0,6x dybden målt fra overfladen eller ud fra gennemsnittet af målinger i 0,2x dybden og 0,8x dybden. Gennemsnitshastigheden kan findes som nævnt ovenfor under forudsætning af et logaritmisk hastighedsprofil. Der er foretaget flere bestemmelser af hastigheden i en vertikal, således at et hastighedsprofil kunne tegnes og en gennemsnitshastighed beregnes. En sammenligning mellem sådanne gennemsnitshastigheder og de ud fra få punkter bestemte gennemsnitshastigheder stemmer rimeligt overens, således at det er berettiget at benytte denne simple målemetode i de undersøgte vandløb.

Beregningen af vandføringen er foretaget ud fra en amerikansk standardprocedure (mid-section method):

$$Q = \sum_{i=1}^n v_x \cdot \frac{(b_{(x+1)} - b_{(x-1)}) \cdot d_x}{2}$$

n er vertikalnummer, b_x er den x 'te vertikals afstand fra et valgt begyndelsespunkt, v_x og d_x er henholdsvis gennemsnitshastighed og dybde i den x 'te vertikal. Vertikalerne fordeles således, at ingen vertikals vandføringsbidrag overstiger 10 % af den samlede vandføring. Vandføringsmålingers ubestemthed angives til ca. ± 5 % af den målte værdi.

MÅLING AF MATERIALETRANSPORT

Suspenderet transport. Indsamling af vandprøver til bestemmelse af vandets indhold af suspenderet materiale og opløste stoffer er foretaget med en svensk måler, der er konstrueret således, at vandet løber ind i måleren med samme hastighed som det forbistrømmende vand. Ved prøvetagningen sænkes måleren til bunden med en jævn hastighed, hvorpå den atter hæves med en jævn hastighed, og dette gentages, indtil et passende rumfang (6-800 ml) vand er kommet ind i prøveflasken. Vandprøven repræsenterer gennemsnitskoncentrationen i vertikalen. Apparat og måleprocedure er beskrevet i Bengt Nilsson:

»Development of a Depth-Integrating Water Sampler«, UNGI Rapport 2, Uppsala Universitet.

Der indsamles 10 prøver jævnt fordelt over tværsnittet ved målestederne, ved St. 301, 800 og 900 dog kun 5 prøver. Vandprøverne hjemtages til laboratoriebehandling.

Laboratorieundersøgelser. Senest en uge efter indsamlingen undersøges sedimentindhold i de indsamlede prøver.

Vandprøven filtreres gennem et Munktell OOH askefrit filter med en diameter på 12,5 cm. Filteret og et kontrolfilter er i forvejen vejjet med 0,1 mg's nøjagtighed. Kontrolfiltret fugtes med åvand, og begge tørrer i et varmeskab ved ca. 65° i ca. 1 døgn. Begge filtre ligger i laboratoriet ca. 1/2 time for at opnå ligevægt med luftens vandindhold, hvorefter de vejes. Kontrolfiltrene medtages i målingen, fordi filtrene er hygroskopiske. Man kan ved vejning af kontrolfiltret se, om dette vejer mere eller mindre end ved forvejningen; en eventuel difference skyldes ændring i luftens fugtighedsindhold, som også vil gøre sig gældende for det filter, hvorpå det suspenderede materiale er afsat. Vægten af materiale bestemmes af udtrykket: $(s_2 - s_1) + (K_1 - K_2)$, hvor s_1 , s_2 , K_1 og K_2 er vægtene af sedimentationsfilter og kontrolfilter før og efter filtrering. Forsøg med kendt sedimentindhold har vist, at resultater er reproducerbare ± 2 mg/l. Som en yderligere kontrol er enkelte prøver filtreret gennem Milliporefiltre, som er lidet hygroskopiske; overensstemmelsen har været god.

Efter ovenstående procedure er der foretaget en afbrænding af de askefrie filtre i porcelænsdigler ved 800°. Ved glødningen fås et tab, som består af hygroskopisk bundet vand, kemisk bundet vand og organisk materiale. For ikke kalkholdigt materiale med ringe lerindhold vil glødetabet efter fradrag af hygroskopisk vand give et udtryk for indholdet af organisk materiale.

Opløste stoffer. Det har ikke været formålet at foretage en egentlig undersøgelse af vandkvaliteten i tilløbene. Det har imidlertid forekommet rimeligt at udnytte de indsamlede vandprøver mest muligt ved også at få et mål for indholdet af opløste stoffer.

Vandets ledningstal ved 25° C er bestemt, metoden er simpel og giver en kontrol på grovfejl ved bestemmelse af inddampningsresten. Fra hver prøveflaske er udtaget 100 ml, som inddampes til næsten tørhed ved 90° C og derefter tørres ved 180° C i én time. Inddampningen er foretaget i kvartsskåle. Standardafvigelsen på en prøveserie var ca. ± 8 mg/l, når inddampningsresten var 100–200 mg/l.

Indholdet af opløste stoffer bestemt ud fra inddampningsresten vil som regel være mindre end indholdet bestemt ud fra summation af en kemisk analyse for de enkelte stoffer.

Beregning af suspenderet transport. Transportmængden af suspenderet materiale til et givet tidspunkt er beregnet

ved at multiplicere vandprøvernes gennemsnitskoncentration med den målte vandføring. Det ville være »rigtigere« at multiplicere hver enkelt vandprøves koncentration med vandføringen på det sted, hvor prøven er taget. En sammenligning mellem beregninger, der er udført efter de to metoder, viser, at forskellen i transportmængde er uvæsentlig, og førstnævnte mindre tidskrævende metode er derfor anvendt.

MÅLING AF BUNDTRANSPORT

Der findes ingen skarp grænse mellem suspenderet transport og bundtransport. Det samme korn kan under forskellige omstændigheder transporteres enten suspenderet eller rullende langs bunden. Den suspenderede transportmængde er båret af turbulensen i vandet, medens bundtransporten, der foregår glidende, rullende eller hoppende i umiddelbar kontakt med bunden, bestemmes af den effektive bundforskydnings-spænding, dvs. den del af kraften pr. fladeenhed vandløbsbund, som virker direkte som gnidning på bundens overflade.

Adskillelsen mellem de to transportformer er til dels forårsaget af forskel i målemetoder. Måleren til bestemmelse af suspenderet transport når ned i ca. 0,1 m's afstand fra bunden.

Måling med sandfælder. Der har været anvendt to principielt forskellige målere. Den ene er en kopi af en måler, som er udviklet af *Det Danske Hedeselskab*. Dimensioner og anvendelse er beskrevet i *Eggert Hansen: »Bed Load Investigation in Skive-Karup River«*. Ingeniøren, Transactions nr. 3, 1966. Måleren er i modsætning til den i artiklen nævnte forsynet med en klap, som lukker målerens forreste åbning, inden måleren fjernes fra bunden.

Når måleren er anbragt på bunden, vil vand og sediment vandre ind gennem en åbning i målerens opstrøms ende. Vandet strømmer ud gennem en åbning med et større tværsnitsareal i den nedstrøms ende. Ved udvidelsen af tværsnitsarealet sker der et energitab, som forårsager, at sedimentet ikke kan transporteres videre, men aflejres i kassen.

Ved måling anbringes apparatet i et forud valgt antal punkter, fordelt over den del af vandløbets tværsnit, hvor bundtransporten foregår (10–12) ved St. 301 Kærbæk dog kun 5. Sandet opfanges i apparatet fra det tidspunkt, hvor det er sat på bunden, og indtil klappen lukker. Indsamlingstiden er 2–7 minutter, afhængig af transportintensiteten, idet sandet vil føres videre, hvis det indvendige tværsnit indsnævres for meget på grund af sandaflejringen.

Det opsamlede sand hjemtages til laboratoriet i plasticposer, sandet tørres og vejes. Materialetransporten pr. breddeenhed beregnes for de enkelte målepunkter, og den totale døgntransport findes ved grafisk integration over hele bredden.

Den anden sandfælde er en forsøgsmodel, der virker

som en faldgrube for det vandrende sand. Faldgrubeprincippet er anbefalet i »Apparatus and Techniques for Measuring Bedload« af D. W. Hubbel, Geological Water Supply Paper 1748. Måleren består af et firkantet, for-neden lukket rør, som presses ned i bunden; for at hindre at røret presses for langt ned, er røret foroven forsynet med en plade, som kommer til at være i niveau med bun-den, når måleren er på plads. Målingerne foretages på samme sted som ovennævnte kassemålinger. På grund af målerens mindre dimensioner (opfangshul 4x5 cm) er måletiden som regel mindre end for kassemåleren. De indsamlede prøver behandles som nævnt ovenfor, og be-regning foretages på samme måde.

Måling af bundformernes dimensioner. I alluviale vand-løb, dvs. vandløb hvor det transporterede materiale er det samme som det, der findes i bund og sider, vil der, når det transporterede materiale er sand, dannes rippler eller banker. Rippler eller banker kan iagttages i klart vand, og en nedstrøms vandring kan konstateres. Hvis bundfor-mens længde og højde er mindre end henholdsvis 0,6 m og 0,06 m, kaldes denne for ripple; hvis større for banke.

Hvis man forudsætter, at nævnte bundformer vandrer uden formændring, kan følgende formel for bundtrans-portmængden udledes: $Q_b = \gamma s \cdot b \cdot c (1-n) \cdot Y_m$, hvor Q_b er bundtransportmængden pr. tidsenhed, γs er mate-rialelets rumvægt, her sat til 2,65 t/m³, b er materialeføren-de bredde, c er bundformens gennemsnitshastighed, n er porøsiteten af det aflejrede materiale, her 0,35, og Y_m den halve, observerede gennemsnitsbundformhøjde.

Størrelserne b , c og Y_m måles på følgende måde: En 15 m lang stålwire, forsynet med mærker for hver 0,2 m, udspændes parallelt med strømretningen ca. midt over vandløbet. Dybden for hver 0,2 m måles med en pejle-stage. Tidspunktet for den første pejling noteres; når strækningen er pejlet, begyndes forfra. Der udføres ialt 6-8 pejlinger i løbet af 30-40 minutter.

Resultatet af pejlingerne udtegnes på millimeterpapir. På tegningerne opmåles bundformens maksimale højde over de omliggende trug. Bundformens hastighed opmå-les. Gennemsnitshøjde og vandringshastighed beregnes ud fra et antal målelige enkeltformer.

Materialeførende bredde er ligeledes målt i marken. Denne og de ovennævnte størrelser indsættes i formlen, og bundtransportmængden beregnes.

Beregning af bundtransporten ud fra Meyer-Peters for-mel. De i vandløbene målte parametre muliggør en be-regning af bundtransportmængden ud fra Meyer-Peters formel. Formlen kan bringes på følgende form:

$$\Phi = 8 (\Theta^3 - 0,047)^{3/2}$$

$$\Theta^3 = 0,06 + 0,4\Theta^2, \text{ hvor } \Phi = \frac{DI}{(s-1) \cdot d}$$

$$Q_B = \gamma s \cdot b \cdot \Theta \cdot \sqrt{(s-1) \cdot g \cdot d_{35}^3}$$

Φ er en dimensionsløs parameter, som karakteriserer ma-terialetransportens intensitet.

Θ udtrykker forholdet mellem forskydningsspændingen umiddelbart over bunden og de stabiliserende kræfter, som modvirker flytning af sandskornene. Kaldes også di-mensionsløs bundforskydningsspænding.

Θ' udtrykker den del af den dimensionsløse bundforskyd-ningspænding, som reelt er til rådighed for transport af kornene, idet en del af forskydningsspændingen, hvor der forekommer banker, må tænkes at dække udvidelsestabet, som opstår ved passagen af disse. Dette ekstra energitab bidrager ikke til materialetransporten. Endelig er for-skydningsspændingen kun aktiv på bankernes opstrøms-side.

D er middeldybden.

I er vandspejlets fald.

s er $\gamma s/\gamma$, dvs. rumvægt af sand divideret med rumvægt af vand.

d er bundmaterialets middelfalddiameter.

d_{35} er den sigtediameter, hvor 35 % af bundmaterialet er finere.

g er tyngdeaccelerationen.

b er den materialeførende bredde.

Se Frank Engelund og Eggert Hansen »A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams« 1967.

Størrelserne D , I og b fås direkte ved målingen i marken, medens kornstørrelsesbestemmelserne er foretaget ved sigtning af blandingsprøver af det materiale, som opfan-gedes i kasse og faldgrubemålerne.

MÅLINGERNE I KARLSGÅRDE SØ

Formålet var at bestemme mængden af sedimenteret ma-teriale, dettes art samt vilkårene for yderligere sedimenta-tion.

Indsamling af oplysninger til bestemmelse af aflejret ma-teriemængde. Karlsgårde Sø er skabt efter *Geodætisk Instituts* ældste målebordsopmåling i området. Det var derfor muligt på de ældste målebordsblade fra 1870 at opmåle højdeintervallernes areal og beregne det oprinde-lige reservoirvolumen. Den mulige nøjagtighed i volumen-bestemmelsen afhænger bl.a. af målebordsbladets ækvidi-stance, som her er 5 fod eller ca. 1,6 m. Totalvolumenets ubestemthed kan ikke beregnes eksakt, men skønnes at være i størrelsesordenen $\pm 5-10$ % af totalvolumenet.

Da søen i sommeren 1969 som følge af en reparation ved værket var tømt til ca. 2 m under daglig vandstand (12.80 m DNN), var det rimeligt at udnytte denne situ-ation. En rekognosceringsflyvning viste, at en luftfotogra-fering kunne forventes at give gode oplysninger om sedi-mentationen. Da flyvevåbenet med kort varsel kunne fo-retage en fotografering, blev en anmodning herom frem-sendt, og fotograferingen blev foretaget den 18. juni 1969.

Desværre viste det sig, at billederne på grund af den

særlige brændvidde i det anvendte kamera ikke kunne rettes tilstrækkeligt op til, at en udtegnings af et højdekort over aflejringerne kunne tegnes.

Mulighederne for en ny fotografering blev undersøgt. For at undgå bekostelige forstyrrelser af værket drift, blev det i samråd med maskinmester K. Bager besluttet, at en ny fotografering skulle foretages samtidig med en mindre reparation i foråret 1970. Fotografering og udtegnings skulle foretages af »Geoplan«. Tømningen af søen skulle foregå i en for fotografering gunstig periode, som blev fastsat af »Geoplan«. Tidspunktet for fotograferingen blev meddelt Karlsgårdeværket, hvorefter tømningen, der varer 2–3 dage, påbegyndtes.

Forud for fotograferingen, der foregik den 5. maj 1970, var der af Skalling-Laboratoriet udlagt fixpunkter på søens syd- og nordside. Kortet blev udtegnet i lokalt koordinatsystem og punkter, som kunne genfindes i det gamle målebordsblad, blev medtaget.

Luftfotografierne viste sedimentationen over det sænkede vandspejl i den østlige ende af søen. For at undersøge, om der var aflejret materiale under vandoverfladen i den vestlige del af søen, udførtes pejlinger i 5 linier på tværs af søens længderetning. Pejlingerne er foretaget fra en båd, som sejlede i pejlelinierne.

Pejlelinierne valgtes som let erkendbare linier i terrænet, linierne markeredes med stager, som sås over et i linien. Forskydninger langs linien målt med en teodolith opstillet i et kendt punkt ved at bestemme ændringen af sigtevinklen til båden i forhold til et fast sigtepunkt.

Det sedimenterede materiale. Ved fotograferingen den 5. maj 1970 og i forbindelse med pejlingerne er der optaget prøver af bundmaterialet. Det var desværre ikke muligt at udtage boreprøver af den aflejlrede lagserie. Prøverne er udtaget således, at de må forventes at repræsentere områder med forskellig sedimentation.

En del af prøverne er bestemt visuelt på stedet, andre er hjemtaget til laboratorieundersøgelse. I laboratoriet er kornstørrelse og glødetab bestemt.

Sedimentationsbetingelserne er undersøgt ved en analyse af luftbillederne. Strømningsforholdene er søgt belyst ved udsætning af flydere ved kanalens indmunding i søen; endvidere er strømhastigheden ved indløbet og ved kraftværket målt med en propelstrømmåler en enkelt dag.

Beregning af den aflejlrede materiale mængde. Det oprindelige reservoirvolumen bestemmes som nævnt ovenfor, idet rumfanget mellem to højdekurver bestemmes ud fra formelen for rumfanget af en pyramidestub $V = \frac{h}{3} (G + g + g \cdot G)$, her er h = ækvivalenshøjden, G og g er henholdsvis øverste og nederste areal, som afgrænses af de pågældende højdekurver.

På det ud fra luftfotograferingen den 5. maj 1970 udtegnede kort indtegnedes supplerende oplysninger fra fo-

tograferingen den 18. juni 1969 samt pejlingerne. Det således tegnede kort viser forholdene 1970. På det gamle og det nye kort afsættes en række enslydende linier på tværs af sedimentationens længderetning og med en indbyrdes afstand på 40 m i terrænet, ialt 24. Profilet af den gamle og den nye terrænoverflade langs ovennævnte linier tegnes i skala 1:2000 med 10 x's overhøjning. Arealet af sedimentlaget i de enkelte snit måles ved planimetrering. Volumen mellem snitlinierne beregnes ud fra formelen for en pyramidestubs rumfang, de enkelte bidrag summeres.

I områder, der under fotograferingen har været vanddækkede, bestemmes mængden af aflejret materiale ud fra areal og delvis skønnet gennemsnitssedimenttykkelse. Det samlede i reservoiret afsatte materialerumfang trækkes fra det oprindelige reservoirvolumen. For at få det i dag aktive reservoirvolumen må yderligere fradrages rumfanget af den del af den sydøstlige søarm, som afskæres fra resten af søen på grund af materialeafsætningen.

FORSØG MED FARVET SAND

Udlægning af mærket materiale og efterfølgende prøvetagning giver mulighed for at se, hvor lang tid der går, inden materialet har nået et vist stykke vej. Ved udlægning i flere vandløb kan disses relative transportintensitet demonstreres.

Et vandløbs middeltransport, udtrykt som rumfang (fast masse) sand kan beregnes ud fra bevægelsen af tracerpartikler (partikler mærket med et sporstof) med samme hydrauliske egenskaber som det øvrige bundmateriale. Hvis tracerpartiklerne udlægges momentant i en linie tværs over vandløbets bund, vil hastigheden (u_t) af »tracerskyens« geometriske tyngdepunkt være lig med bundpartiklernes middelhastighed.

Transportrumfang pr. enhed bundbredde bliver $q_s = u_t \cdot o$, hvor o er middeltykkelsen af det bundlag, hvori tracerpartiklerne spredes. Middeltykkelsen o kan bestemmes ud fra kerneprøver af bunden, hvori tracerintensiteten måles. Endelig kan det med rimelighed antages, at middeltykkelsen er lig middelhøjden af bundformerne på målestrækningen. Tracerskyens gennemsnitshastighed u_t bestemmes ved gentagne målinger af tracerintensiteten i en længdeprofil. Ud fra de fremkomne intensitetsprofiler kan det geometriske tyngdepunkts forskydning fra måling til måling bestemmes og u_t beregnes. Metoden er beskrevet i »Measurements of sand transport in rivers with special reference to tracer methods« af M. J. Crickmore, Sedimentology, maj 1967.

Ved ovennævnte metode er anvendt radioaktive sporstoffer, som muliggør en hurtig bestemmelse af tracerintensiteten i marken. I herværende undersøgelse er anvendt fluorescensfarvet sand, som kan anvendes uden gener af sikkerhedsmæssig art, til gengæld kan tracerin-

tensiteten kun bestemmes i optagne prøver, som undersøges i laboratoriet. Undersøgelsen giver derfor i hovedsagen kvalitative oplysninger om transporten, idet en nøjagtig opmåling af intensitetsprofiler kræver et meget stort antal prøver og et deraf følgende stort felt og laboratoriearbejde.

Feltarbejde. På bunden af de vandløb, som indgår i undersøgelsen, er optaget ca. 50 kg sand. Sandet er farvet hos *Wasserbauamt i Kiel* efter en metode opfundet af Diplomgeolog *Wolfgang Ruck*.

Det farvede sand er udlagt i Grindsted Å ved St. 101, i Ansager Å ved St. 200, i Holme Å ved St. 400 samt ved indløbet i Karlsgårde Kanal. De anvendte farver er henholdsvis rød, grøn og gul for de to sidstnævnte. Det farvede sand er fyldt i vandopløselige poser, som er udlagt i en linie tværs over vandløbets bund medio august 1969.

I de enkelte vandløb er der dernæst optaget en prøve for hver 50 m nedstrøms. Første prøvetagning er foretaget 14 dage efter udlægningen. De følgende prøvetagninger er foretaget med ca. 1 måneds mellemrum indtil april 1970. For at få et indtryk af den laterale spredning er der ved hver længdeprofilprøvetagning taget prøver i et enkelt tværsnit. Blandingsdybden er kun bestemt i enkelte tilfælde. Prøverne er optaget med en grabbe, som er lukket foroven, når den hæves gennem vandet. Prøven udtages i et 5–10 cm tykt lag af bunden.

Laboratorieundersøgelser. De hjemtagne prøver tørres og vejes. De tørrede prøver spredes ud på et transportbånd i et tyndt lag. Transportbåndet passerer under en UV-lampe. De farvede korn fremtræder kraftigt lysende, og antallet af farvede korn tælles; antal farvede korn pr. kg prøve beregnes. Arbejdet, der oftest måtte foregå i mørke, var tidskrævende og meget enerverende, og laboratoriearbejdet satte derfor en grænse for det antal prøver, som kunne tages i arbejde med denne metode.

UNDERSØGELSE AF MATERIALET I ÅDALENE

I forbindelse med rekognosceringer er der foretaget en visuel bedømmelse af materialet i åbrinkerne. De geologiske kort for området er gennemgået. Ved stationerne 101, 200 og 400 er der foretaget borer tværs over ådalen. Borerne er ført 3–5 m ned, og materialet er bedømt visuelt.

UNDERSØGELSE AF SKRÆNTEROSION

Grindsted Å skærer sig flere steder ind i dalsiden, hvorved der dannes høje skrænter. Arealet af skrænterne er dels bestemt ved skøn og dels bestemt ud fra måling på fotografier. Der er foretaget stikprøvemålinger af materialeafgangen. I skrænten umiddelbart neden for Station 101 er indsat et antal metalpinde i flugt med overfladen; disses blotlægning er målt til forskellige tidspunkter.

UNDERSØGELSENS RESULTATER

Karlsgårde Sø

DET OPRINDELIGE RESERVOIR (1921)

Ved anlægget af Karlsgårdeværket i 1917 byggede man en 1400 m lang dæmning tværs over Nørbækkens dal. Dæmningen begynder i terrænkote ca. 15 m DNN og løber i en bue vestover til 250 m fra Varde å's gamle løb. Tilførselskanalen munder ud i søen gennem en flad sidedal i søens nordøstlige ende. Pl. 2 (1:8.000) viser søens oprindelige form, det oprindelige areal ved flodemål (13.30 m DNN) er beregnet til 116.1 ha udfra den interpolerede trestiplede kurve, som ses i kortet. Arealet ved daglig vandstand (12.80 m DNN) er afgrænset af de énstiplede kurver og opmålt til 97.5 ha. Reservoirvolumenet er beregnet til $2.68 \cdot 10^6$ m³ ved flodemål og $2.15 \cdot 10^6$ m³ ved daglig vandstand. Ved rumfangsberegningen er der ikke taget hensyn til dæmningsens anlæg mod reservoir, den herved fremkomne fejl skønnes uden betydning.

DET NUVÆRENDE RESERVOIR (1969–70)

Tolkning af luftbilleder. Billederne taget med almindeligt kamera fra et sportsfly er ikke optaget lodret eller med kendt flyvehøjde, hvorfor opmåling ikke kan foretages i disse billeder. Billederne taget fra forsvarrets rekognosceringsfly, fig. 1, er optaget i 8000 feet højde med en brændvidde på 12 inches, billedmålestokken bliver 1:8000. Billederne er optaget tilnærmelsesvis lodrette, hvorfor måling i billederne er mulig.

Vandstanden ved begge ovennævnte fotograferinger er ca. 10.90 m DNN. Ved søens vestende ses den knold som på det gamle kort er angivet med en 35 fods kurve (ca. 11.0 m DNN) lige netop at rage op af vandet som et mørkt område. De frilagte arealer øst og vest for den gamle vej fremtræder flere steder med en sribning, som må skyldes pløjning. Her er således ikke aflejret materiale på niveauer, som ligger over vandspejlet. Vandoverfladen har et ensartet udseende i den vestlige del indtil ca. 150 m øst for den gamle vejlinje. Længere mod øst fremtræder vandet mørkere, flere steder med hvirvelmønstre, der tolkes som et udtryk for, at vanddybden her er lavere. Ud for midten af den lille bakkeudløber på søens sydside, som er angivet med kote 42 fod (ca. 13.2 m DNN) brydes vandoverfladen af en lille banke, som deler strømmen i to. Øst for bakkeudløberen og frem til næsset nordøst for Spidsbanke er reservoirbunden højere end 11.0 m DNN bortset fra en 15–20 m bred rende. Vandstanden i renden er lav, idet der ses bølgeriller i vandoverfladen. Renden udgår fra et 150 m langt lavvandet område, som ligger i forlængelse af spidsen ved Tambours Have. Nord for denne tærskel fortsætter et dybere område, som går jævnt over i tilførselskanalen. Spidsen ved Tambours Have danner sammen med ovennævnte tærskel en afspærring af den sydøstlige del af søen i ca.

kote 10.5 m DNN. Omkring kanalens munding ses opgravet materiale både på nord- og sydsiden. Endelig ses det, at et mindre delta er dannet ved Nørbækkens udløb i søen.

Udtegnings af kort. Luftfotografierne fra den 18/6 1969 kan som nævnt ikke anvendes til udtegnings af et højdekort med lille ækvidistance. Ved fotograferingen den 5/5 1970 var vandstanden ved værket ca. 11.50 m DNN og ved søens østende ca. 11.80 m DNN, altså 0.6–0.9 m højere end tidligere. Forskellen mellem de to billeder viser, at en stor del af aflejringernes overflade ligger imellem de to højdeintervaller.

Kortet, pl. 3 (1:4000), er udtegnet i målestokken 1:2000 på grundlag af luftbillederne fra den 5/5 1970. Udtegningsen dækker den del af søen, hvor hovedparten af sedimentationen er foregået, medens området vest for den gamle vejlinie er tegnet ud fra målebordsbladene. De pejlede linier er indlagt med dybdeangivelse. På kortet er udtegnet fodkurver for at lette en sammenligning med det gamle kort. Endelig er indskudt kurver efter metersystemet, således at den lodrette afstand mellem to på hinanden følgende kurver er ca. 0.25 m. Vandstanden den 18/6 1969 er indtegnet som kote 35 fod (ca. 11.0 m DNN). I den vanddækkede del af søen er 5 fods kurver interpoleret ud fra pejlingerne og det gamle målebordsblad, de således fremkomne kurver er angivet stiplede.

I forbindelse med en biologisk undersøgelse udført af *Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser* i juni 1970, blev der foretaget liniepejlinger med et ekkolod, disse er venligst stillet til rådighed. Ekkogrammerne kan ikke stedsfæstes nøjagtigt, men de kan anvendes til en nyttig kontrol af maksimums- og minimumsdybder langs de pejlede linier.

SEDIMENTATIONENS OMFANG

Sedimentationens omfang kan ses ved en sammenligning af de to kort, pl. 2 og 3 samt fig. 2. Egne pejlinger (4 og 5) i søens vestlige del viser, at området lavere end 20 fod (6.3 m DNN) er forsvundet, medens et af ovennævnte ekkogrammer viser, at der findes et område, hvor bundens niveau er lavere end 6.5 m DNN. Langs den gamle vejlinie ses ingen niveauændring i forhold til det gamle målebordsblad. Hævningen af bunden tæt ved dæmningsen må ses i forbindelse med bygningen af denne og er derfor ikke foregået ved sedimentation. Ud fra pejlingen langs vejlinien (3) og ovennævnte ekkogram er det rimeligt at antage, at der endnu ikke har fundet nogen væsentlig sedimentation (> 0.5 m) sted i denne del af søen.

Pejling 2 viser, at der langs linien er aflejret 1–2 m materiale oven på den oprindelige bund; dette stemmer overens med den ud fra luftbilledtolkningen formodede lavere vandstand og bekræftes yderligere af ekkogrammer. Sedimentationen er nået frem til 150–200 m fra den gamle vejlinie. Øst for knolden (42 f.) ved søens sydside

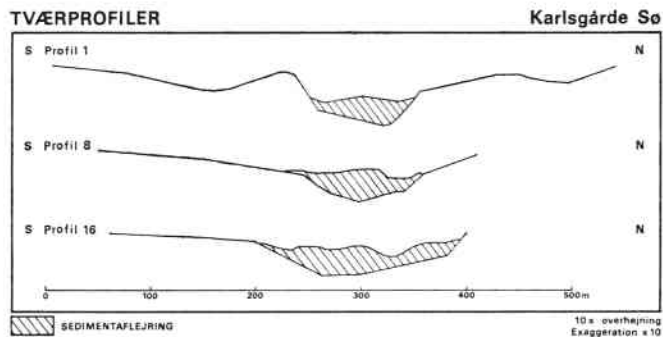


Fig. 2. Tværprofiler af Karlsgårde Sø.

Fig. 2. Cross-sections of Karlsgårde Sø showing height of sedimentation.

er tværprofiler tegnet ud fra de to kort. Eksempler på sådanne profiler er angivet i fig. 2.

Den maksimale aflejringstykkelser er ca. 3 m. Den aflejrede materialmængde er udregnet ud fra profilerne og udgør fra indløbet og frem til knolden: $0.215 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, heraf er ca. 1000 m^3 opgravet materiale beliggende over kote 12.80 m DNN.

Sedimentationen foregår på banken foran kanalens munding op til kote 12.00 m DNN, på tærsklen er niveauet 11.0–11.9 m DNN, medens pejlinger i forbindelse med sedimentprøvetagning har vist, at bundkoten i renden er 11.0–10.0 m DNN. På fladen umiddelbart øst for knolden er niveauet 11.0 m DNN, herfra aftager tykkelsen af aflejringerne vestover, indtil den er mindre end 0.5 m 150–200 m øst for den gamle vej.

Materialmængden, som er aflejret under den vandoverflade, som ses på luftbillederne, er skønnet ud fra pejlinger og ekkogrammer, som anført nedenfor. Gennemsnitlig aflejringstykkelser i området fra 200 m øst for den gamle vej og til første tværsnit ved knolden er ca. 1.25 m på ca. $40 \cdot 10^3 \text{ m}^2$ svarende til $0.05 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Aflejringstykkelser i den vestlige dybe del af søen sættes til ca. 0.25 m og arealet ca. $70 \cdot 10^3 \text{ m}^2$ svarende til et volumen på $0.02 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Ved Nørbækkens udløb skønnes afsat 0.25 m materiale på $20 \cdot 10^3 \text{ m}^2$ svarende til $0.005 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Det samlede volumen afsat materiale er således $0.30 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Det oprindelige reservoir er mindsket med $0.30 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, hvortil kommer en formindskelse af det effektive volumen med $0.11 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ som følge af tærskeldannelsen, der afsnører den sydøstlige søarm.

Sedimentationen udgør ca. 11 % af det oprindelige reservoirtvolumen regnet til flodemål og ca. 14 % af oprindeligt volumen ved vandstand 12.80 m DNN. Det samlede tab af effektivt reservoirtvolumen som følge af sedimentation udgør ca. 19 % af volumen til 12.80 m DNN. Nuværende vandvolumen til 12.80 m DNN er $1.85 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ og effektivt volumen er $1.74 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

DET AFLEJREDE MATERIALE

Prøveoptagingssteder er afsat på pl. 3. Der er taget prø-

Tabel 1. Karlsgårde Sø. Bundprøver.

Table 1. Bottom samples from the lake Karlsgårde Sø.

Prøve nr. Sample No.	Sigtediam. Grain diam. mm d_{50}	% Kornstørrelser mm: Grain sizes mm:			Sorteringsgrad Task coefficient $\sqrt{\frac{d_{75}}{d_{25}}}$	% org. materiale % organic matter
		2-0.06	0.06-0.002	< 0.002		
R 1	0.30	94	6	0	1.3	1
R 2	0.47	99	1	0	1.4	1
R 3	0.17	98	2	0	1.3	2
R 4	0.38	96	4	< 1	1.5	5
R 5	0.32	95	5	< 1	1.6	8
R 6	0.45	97	3	< 1	1.5	3
R 7	0.10	82	18	< 1	1.6	11
R 8	0.044	38	59	3	1.8	39
R 9	0.086	82	18	< 1	1.3	8
R 10	0.11	86	14	< 1	1.6	7
R 11	0.12	77	22	1	2.3	17
R 12	0.028	23	65	12	2.8	46
1	0.074	60	40	< 1	2.1	24
2	0.053	42	54	4	1.9	32
3	0.070	45	50	5	2.0	26
4	0.041	39	57	4	2.8	47
5	0.033	28	63	9	2.6	37
6	0.027	22	67	11	2.6	46
7	0.040	32	62	6	2.1	38
8	0.035	29	65	6	2.2	42

ver på langs ad renden (R 1-12), samt prøver fordelt i karakteristiske områder på den flade del af aflejringen (1-8). Det må bemærkes, at prøverne kun repræsenterer de øverste ca. 10 cm af det på stedet afsatte materialelag.

Kornstørrelsen er bestemt efter dispergering. Endelig er glødetabet bestemt i forhold til en prøve tørret ved 105°. Resultaterne er angivet i tabel 1.

I tabellen angives middelnkornstørrelsen, den procentiske andel af kornstørrelser i sand, silt og lerfraktionen, sorteringstal og indhold af organisk materiale (glødetab).

Prøverne fra strømrunden består generelt af grovere materiale med mindre organisk indhold end prøverne på fladerne. Ved R 3 og R 4 er fundet materiale i grusfraktionen, dvs. større end 2 mm. Prøverne R 11 og R 12, som ligger længst væk fra tilførselskanalens udmunding, har samme materiale som fladerne på siden af renden. Ved mikroskopering af sandfraktionen viste det sig, at en del af de grovere partikler bestod af organiske aggregater (små tørvestumper). Disse større »partikler« vil på grund af vægtfyldeforskellen aflejres sammen med kvartskorn med en mindre diameter. En »sand« middelnkordiameter for den uorganiske del af prøverne vil derfor være mindre end den her angivne. Prøverne fra fladerne har et stort organisk indhold, og størstedelen af partiklerne findes i siltfraktionen; også her har det vist sig, at der findes organiske aggregater i sandfraktionen.

Størsteparten af det på bunden konstaterede materiale består af finsand og silt, lerfraktionen udgør maksimalt 12 %. Indholdet af organisk materiale er op til 46 %

(vægt). I den vestlige del af søen er der konstateret løst, sort slam. En del organisk materiale kan tænkes dannet i selve søen ved biologisk produktion. Mængden heraf kan ikke konstateres, men vil blandt andet afhænge af de opløste stoffer i det tilførte vand, som også vil være bestemmende for en eventuel kemisk udfældning.

SEDIMENTATIONS BETINGELSERNE

Luftfotografierne viser tilstedeværelsen af en tærskel vest for spidsen ved Tambours Have. De groveste partikler vil aflejres her, dette bekræftes dels af det ved kanalens munding opgravede materiale og dels af prøverne R 3 og R 4. I renden, som er udformet i aflejret materiale, er indholdet af organisk materiale bortset fra R 7 mindre end 10 % frem til og med R 10. Materiale i finsandsfraktionen kan i renden transporteres frem til 42 fods knolden. Rendens bundbredde er 15-20 m, ved moderate tilstrømninger vil vandet følge renden og føre det suspenderede materiale med sig, således at størsteparten af materiale-afsætningen nu foregår i området mellem 42 fods knolden og den gamle vej. Fladerne langs kanalen vil hovedsagelig tilføres materiale ved store tilstrømninger, idet dog en del fint materiale også kan tilføres ved mindre tilstrømninger. Fladernes højdetilvækst som følge af sedimentpålejring vil være ret ringe, men en forøget tilvækst kan finde sted som følge af tilgroning på grund af den ringe vanddybde.

Kraftværket er i drift ca. 85 % af årets timer, dvs. at der i størstedelen af tiden foregår en passage af vand gen-

nem søen. I USA er foretaget en undersøgelse af sedimentopfangningseffektiviteten i forskellige reservoirer som en funktion af forholdet mellem reservoirets kapacitet (volumen) og den samlede årlige tilstrømning: »Trap Efficiency of Reservoirs«. G. M. Brune, Transactions Am. Geoph. Un.vol. 34. 1953. Hvis der regnes med en gennemsnitstilstrømning på ca. 7 m³/sek og den nuværende reservoirkapacitet vil den heraf følgende opfangningseffektivitet blive ca. 40 %, svarende til at ovennævnte forhold er ca. 0.008. Undersøgelsen viser også, at opfangningseffektiviteten falder med en formindskelse af reservoirkapaciteten.

Efterhånden som sedimentationen rykker mod vest vil derfor en øget mængde materiale passere igennem søen, hvilket kan forårsage et øget slid på maskineriet.

I juni 1970 forsøgt hastigheden af overfladestrømmen gennem søen bestemt ved hjælp af flydere udsat ved grødeoptagningsstedet i Karlsgårde Kanal. Gennemsnitshastigheden i indløbet frem til spidsen ved Tambourgs Have var ca. 0.25 m/sek. Ingen af de udsatte flydere var i stand til at passere omtalte tærskel, idet de blev fanget af vegetationen eller drev på grund. Flydere udsat i søen neden-

for tærsklen kunne ikke drive imod vestlig vind af styrke 0-1, hvorfor strømhastigheden må antages at være meget ringe, mindre end 0.1 m/sek.

Ved indløbet til turbinen målt samme dag ved risten 0.3 m/ sek med en propelstrømmåler. I sommerperioden vil transporten gennem søen således være meget ringe, idet fx faldhastigheden for partikler med en sigtediameter på 0.09 mm er 0.006 m/sek, tidsafstanden fra 42 fodsknolden til udløbet med 0.1 m/sek er næsten 3 timer og vanddybden ca. 6 m, hvilket betyder, at partikler med betydelig mindre diameter end den nævnte kan nå at bundfældes.

MATERIALETILFØRSEL OG AFGANG

Materialetilførslen i form af suspenderet materiale og opløste stoffer er målt ved station 500 og station 600 én gang om måneden, og endvidere er materialeafgang målt ved søens udløb station 900.

De målte koncentrationer er vist i tabel 2. Mediankoncentrationen, dvs. den koncentration, som nås eller overskrides af 50 % af prøverne fra perioden august 1969 til august 1970 incl., udgør for Karlsgårde Kanal 32 mg/l

Tabel 2. Koncentration af suspenderet materiale og opløste stoffer for 3 stationer.

Table 2. Concentration of suspended matter and dissolved solids for 3 stations.

Karlsgårde Kanal station 500 Dato Date			Holme Kanal station 600 Dato Date			Karlsgårdeværket station 900 Dato Date		
Cs	Co		Cs	Co		Cs	Co	
1969			1969			1969		
30/7	23.5	241	29/7	(7.3)	(90)			
26/8	10.6	253	29/8	(19.9)	(138)	29/8	24.0	153 ø
27/9	9.3	247	26/9	(10.7)	(127)			
31/10	32.6	197	30/10	(12.1)	(117)	29/10	11.2	155 ø
29/11	23.2	194	28/11	(18.1)	(101)	28/11	8.8	172 ø
19/12	37.5	171	17/12	24.2	134	17/12	16.7	149 ø
1970			1970			1970		
15/1	32.3	216	21/1	(19.1)	134	20/1	6.3	132 ø
18/2	46.9	200	18/1	33.6	117	1/3	7.9	170 ø
18/3	165.6	64	18/3	40.3	55	18/3	22.7	70 ø
25/4	31.7	217	15/4	70.8	161	17/4	31.0	176 n
12/5	47.0	178	12/5	133	115	13/5	38.0	156 n
							24.9	ø
10/6	34.0	169	10/6	31.8	118	11/6	28.6	146 n
							23.2	ø
1/7	19.1	140	29/7	12.0	103	1/7	17.2	140 n
							11.3	ø
5/8	24.9	208	5/8	18.6	117	5/8	32.2	150 n
							24.6	ø

Cs suspenderet materiale ppm.

Cs *suspended material ppm.*

Co opløste stoffer (inddampningsrest) ppm.

Co *dissolved solids ppm.*

() målt ved station 400.

() *measured at station 400.*

ø og n henholdsvis ovenfor og nedenfor kraftværket.

ø and n *above and below power station respectively.*

og 16 mg/l for henholdsvis total konc. og uorganisk konc. For Holme Kanal er de tilsvarende koncentrationer 19 mg/l og 11 mg/l og for udløbet 20 mg/l og 11 mg/l. Det ses heraf, at de største koncentrationer forekommer i Karlsgårde Kanal (jfr. p. xx), hvorfra også den største vandmængde kommer.

Mediankoncentrationen af opløst stof er for Karlsgårde Kanal og Holme Kanal henholdsvis 197 mg/l og 118 mg/l. Forskellen skyldes, at vandet i Karlsgårde Kanal indeholder betydelige mængder spildevand.

Nettosedimenttilførslen, dvs. den i reservoiret aflejrede mængde, var $0.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Holme Kanal har bidraget i perioden 1921–1970 og Karlsgårde Kanal i perioden 1945–1970. Antages den årlige gennemsnitsnettomaterialefyldelse pr. km^2 at være lige stor og konstant gennem tiden for oplandets forskellige dele, kan denne størrelse $X \text{ m}^3/\text{år}/\text{km}^2$ beregnes af $X \cdot 24 \text{ år} \cdot 171 \text{ km}^2 + X \cdot 25 \text{ år} \cdot 171 \text{ km}^2 + X \cdot 25 \text{ år} \cdot 444 \text{ km}^2 = 0.30 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Den beregnede X bliver $15.5 \text{ m}^3/\text{år}/\text{km}^2$ svarende til en årlig nettomaterialetilførsel i dag på 9500 m^3 .

Holme Kanal

Holme Kanal er bygget i 1917–1921 som tilførselskanal for det oprindelige Karlsgårdeværk, som kun udnyttede vandet fra Holme Å. Ved gennemgangen af materiale vedrørende Karlsgårdesagen i *Esbjerg Kommunes Tekniske Forvaltnings* besiddelse fandtes kun indirekte oplysninger om denne kanals oprindelige skikkelse, idet der på tegning K 24, som viser Karlsgårde Kanals længdeprofil, ses den nedre del af den oprindelige kanal. Bundkoten ved indløbet i søen var 12.10 m DNN, kanalens dybde ved flodemål var ca. 1.2 m. Af profil I på tegning K 24 ses det, at bundbredden og anlægget på denne del af kanalen var henholdsvis 3.5 og 1.25. Kanalens oprindelige længde var 6.5 km.

For at få yderligere oplysninger om kanalens oprindelige skikkelse er der rettet henvendelse til *Ministeriet for Offentlige Arbejder og Elektricitetsrådet*. Resultatet har imidlertid været negativt.

INDLØBSBYGVÆRKET

Indløbsbygværket er beliggende ca. 750 m vest for broen over Holme Å ved Hostrup. Kanalen har samme retning som den sidste del af det naturlige vandløb. Kanalen kan afspærres, idet der ved en bro 160 m neden for kanalens begyndelse kan sættes stemmebrædder i broens gennemløb. Flodemålet er kote 14.63 m DNN.

Hvor kanalen begynder, er der i vandløbets højre side anbragt en frisluse med stigborde, som kan trækkes i de enkelte afsnit. Frislusen er lukket i perioder med normal vandføring; i undersøgelsesperioden er den kun konstateret åben i forbindelse med tøbruddet fra den 18/3–23/3 1970.

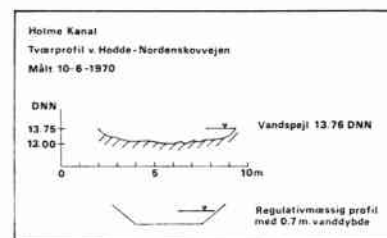


Fig. 3. Tværprofil målt ved st. 600 og det formodede, regulativmæssige profil.

Fig. 3. Cross-profile measured at station 600 and profile in accordance with *prescript*.

KANALENS SKIKKELSE I UNDERSØGELSESPERIODEN

Maskinmester K. Bager, Karlsgårdeværket, har oplyst, at kanalen kun har været oprenset i hele længden én gang (1968) i de 50 år, den har været i funktion, idet der dog har måttet foretages oprensninger ved indløbsbygværket fra tid til anden. Heraf kan sluttes, at aflejring af sand i kanalen bortset fra stykket omkring indløbet kun har fundet sted i begrænset omfang. Ved bygningen af Karlsgårde Kanal er den del af Holme Kanal, som er vist på tegning K 24, dvs. stykket fra de to kanalers sammenløb og frem til søen uddybet ca. 1.0 m i forhold til den oprindelige, og bundbredden er udvidet med 3.5 m. Den uddybede del er ca. 1300 m lang, den egentlige Holme Kanal er i dag således ca. 5.2 km lang.

Ved pejling (se p. 4) af kanalen fra indløbsværket til broen ved Hodde-Nordenskovvejen i 1969, efter den nævnte oprensning, konstateredes bundkoten 13.75 m DNN ved stemmeværket og 13.10 m DNN ved Hodde-Nordenskovvejen. Gennemsnitsdybden var 0.8–0.9 m. Bundens gennemsnitsfald fra indløbet til sammenløbet med Karlsgårde Kanal er $2.7\text{--}3.0 \cdot 10^{-4}$. Tværprofiler (se fig. 3) er kun opmålt i forbindelse med målinger ved st. 600, Hodde-Nordenskovvejen, den målte bundbredde er ca. 6.0 m, og vandspejlsbredden er 7.5 m. Anlægget kan ikke bestemmes, da bredden er kantet med faskiner. Forudsat det ovenfor angivne tværprofil har været gældende for hele kanalen, må man regne med, at en betydelig erosion har fundet sted i kanalen. På bunden konstateredes grus og sten, svarende til beskaffenheden af det omliggende terræn. Kun i nærheden af indløbsbygværket blev der fundet sand svarende til det, der transporteres i vandløbene.

HYDRAULISKE FORHOLD OG VANDFØRING

Vandspejlets fald er på grundlag af det opmålte længdeprofil (se pl. 4) ca. $2.5 \cdot 10^{-4}$ fra indløbet til Hodde-Nordenskovvejen. Hvis vandstanden i Karlsgårde Sø sættes til kote 12.80 m DNN, vil faldet på den resterende strækning være ca. $2.2 \cdot 10^{-4}$.

Gennemsnitshastigheden ved vandføringsmålingerne har været ca. 0.4 m/sek. Højeste og laveste gennemsnitshastighed var henholdsvis 0.2 m/sek og 0.6 m/sek.

Medianvandstand og vandføring ved målingerne har

Tabel 3. Holme Kanal. Station 600.
Table. 3. Holme Kanal. Station 600.

Date	Vandstand DNN Water level DNN	Vandføring m ³ /sek. Discharge m ³ /sec.	Suspenderet transport t/døgn Suspended load transp. t/day	Transport af opløste stoffer t/døgn Dissolved load transport t/day
1969				
26/8	13.76	1.49	1.01	18.20
31/7	13.75	1.31		
26/9	13.66	1.21	0.58	13.06
30/10	13.72	1.59		
26/11	13.85	2.31		
17/12	13.75	1.88	3.94	21.81
1970				
18/2	14.14	1.75	5.09	17.71
18/3	14.14	1.35	4.70	6.41
15/4	13.82	2.91	17.78	40.42
12/5	13.67	1.91	21.99	19.00
10/6	13.73	1.72	4.73	17.54
1/7	13.94	2.21	2.29	19.69
5/8	14.01	1.36	2.19	13.76

været henholdsvis kote 13.77 m DNN og 1.7 m³/sek. Højeste og laveste vandstand kote 14.14 m DNN og 13.66 m DNN. Største og mindste målte vandføring 2.9 m og 1.2 m³/sek (jfr. tabel 3).

Forsøg på at finde en sammenhæng mellem vandstand og vandføring viser, at en veldefineret sammenhæng ikke forekommer. Dette skyldes, at vandspejlet i kanalen er påvirket af svingninger i Karlsgårde Sø's vandspejl. Det er endvidere konstateret, at tilstopning af kanalen i forbindelse med grødeskæring og isdannelse kan stemme vandet op.

MATERIALETRANSPORT

Som følge af indløbsbygværkets udformning og frislusens normalt lukkede tilstand vil alt transporteret materiale fra Holme Å nå Holme Kanal. Ved oprettelsen af målestedet ved Hodde-Nordenskovvejen st. 600 forsøgt bundtransport målt med kassemåler. De opfangede mængder var minimale, og der kunne ikke med vandkikkert konstateres transport langs bunden, jfr. bemærkning om bundmateriale ovenfor. Bundtransporten er derfor ikke målt på dette sted.

Vandføring, suspenderet og opløst transportmængde er angivet i tabel 3. Medianværdien for henholdsvis transporten af suspenderet materiale og opløst stof er 4.5 t/døgn og 18.0 t/døgn.

SEDIMENTATION VED INDLØBSBYGVÆRKET

I forbindelse med forsøgene med farvet sand er der optaget bundprøver for hver 50 m i Holme Å og Holme Kanal. Herved konstateredes sandbund med rippler ved indløbet (hvilket er ensbetydende med en transport). Sandets middeldørnstørrelse var ca. 0.4 mm. Længdeprofil (pl. 4) viser lavere dybder omkring indløbet, svaren-

de til en aflejring af sand. Materialeflytning synes dog at foregå langsomt, idet hovedmassen af de sandkorn, som var udlagt ved Hostrup Bro efter 8 måneder endnu ikke var nået frem til indløbsbygværket. De farvede korn, som var nået længst, var transporteret ca. 1 km ind i kanalen.

Karlsgårde Kanal

Karlsgårde Kanal er bygget i perioden 1941-1945. Kanalen leder vandet fra Grindsted Å og Ansager Å til Karls-

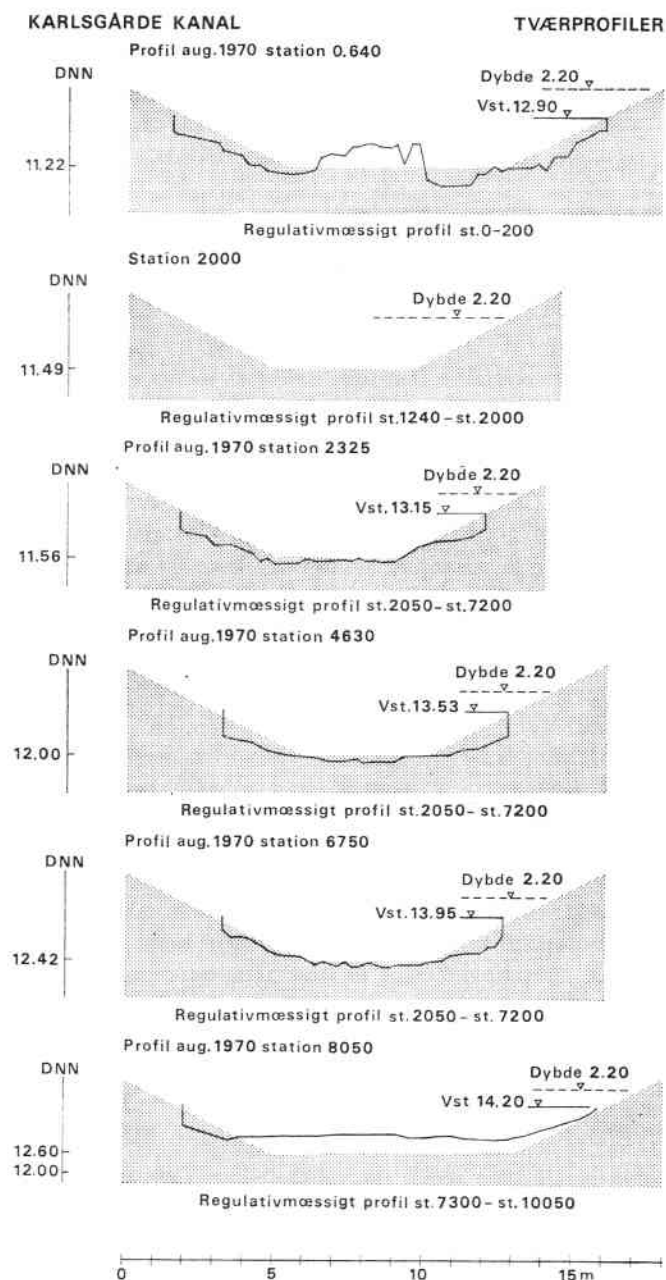


Fig. 4. Karlsgårde Kanal, målte tværprofiler og de tilsvarende regulativmæssige.

Fig. 4. Karlsgårde Kanal, cross-profiles measured and the corresponding profiles in accordance with prescript.



Fig. 5. »Ansager Sø« set fra sammenløbet mellem Grindsted Å og Ansager Å mod dæmningen ved Hoddeskov. Til højre opgravet sand. (Foto Esbjerg Kommune).

Fig. 5. "Ansager Sø" seen from the confluence of Grindsted Å and Ansager Å towards the dam at Hoddeskov. To the right dredged sand. (Photo Esbjerg Kommune).

gårde Sø. Kanalen begynder ca. 400 m neden for sammenløbet mellem Grindsted Å og Ansager Å og følger Varde Å's dal ca. 2.5 km, hvorefter den drejer mod syd-øst. Kanalens videre forløb frem til Holme Å's dal bestemmes af en svag SV-gående sænkning i terrænet. Holme Å's dal krydses på en dæmning. I en afstand af ca. 1.5 km fra Karlsgårde Sø forenes kanalen med Holme Kanal og følger herfra dennes oprindelige linieføring. Længden er ca. 10 km, stationeringen starter ved kanalens udløb i søen: station -0.070, og ender ved indløbsbygværket st. 10.050. Der er dog ikke foretaget nogen stationsafmærkning.

Det konstruktionsmæssige fald er fra st. 0-St. 7.200: 0.197 0/00 og fra st. 7.200-st. 10.050: 0.100 0/00, se pl. 4. Udformningen af tværprofilet er forskellig, således er bundbredden fra st. 0.000-ca. st. 1.200 7.0 m, fra st. 1.240-st. 2.000 4.5 m, fra st. 2.050-st. 7.200 4.0 m og fra st. 7.300-st. 10.050 er den 8.0 m. Anlægget er 2.0 for samtlige tværprofiler, se fig. 4. Dæmninger langs Varde Å's dal og dæmningen over Holme Å er udformet med lerkærne for at hindre gennemsivning. Det vides, at kanalen flere steder går gennem lag fra tertiærtiden.

INDLØBSBYGVÆRKET

Indløbsbygværket er beliggende i venstre side af en ca. 300 m lang jorrdæmning tværs over Varde Å's dal. Frislusen og indløbsslusen har hver 2 åbninger med henholdsvis 2×3.75 m og 2×4.25 m vandslug, og bundkote henholdsvis kote 11.70 m og 12.80 m DNN. Flodemålet kote 15.00 m DNN er markeret med en indstøbt bronzeplade. Af plan K 114: Boringer i dæmningslinien fremgår det, at den oprindelige terrænkote i dæmningslinien var kote 13.0 m-13.5 m DNN, endvidere fremgår det, at

bundkoten i den daværende Varde Å var ca. 11.75 m DNN og vandspejlet i kote 12.50 m DNN.

Varde Å oven for indløbsbygværket har fra sammenløbet mellem Grindsted Å og Ansager Å retning mod frislusen, se fig. 5; ca. 100 m oven for indløbsbygværket ligger en ø, således at vandet løber dels direkte mod indløbsslusen og dels mod frislusen og derfra til venstre mod indløbsslusen, langs med dæmningen.

Ifølge regulativ for »Ansager Sø« af 16. december 1953 skal bundbredden for Varde Å være 7.85 med anlæg 1, 4.71 for Grindsted Å med anlæg 1 og 2.51 for Ansager Å, ligeledes med anlæg 1. Bundbredden ved indløbet til »søen« er angivet i de for vandløbene gældende regulativer.

Ifølge overenskomst med Sig Ferskvandsfiskeri har Karlsgårdeværket forpligtet sig til at tilføre fiskeriet en vis minimumsvandmængde. Frislusen er derfor delvis åben i perioden maj-november. I »Undersøgelse af vandføringen i åsystemet fra Grindsted til Sig«, Grindsted Kommune, Teknisk Forvaltning, angives de til visse stillinger af sluseværket svarende vandmængder gennem frislusen. En beregning af vandmængden gennem frislusen kræver kendskab til sluseåbning ved alle anvendte stillinger af løfteanordningen samt kendskab til vandstanden. Disse oplysninger haves ikke.

KANALENS SKIKKELSE I UNDERSØGELSESPERIODEN

I forbindelse med undersøgelsen af det farvede sands vandring er der foretaget en pejling af kanalens bund. Dybden er målt i midten af kanalen, målepunkterne ligger relativt tæt i den øverste del, fordi afstanden her var



Fig. 6. Karlsgårde Kanal ved st. 500, bemærk opmålingen af bundformerne.

Fig. 6. Karlsgårde Kanal at st. 500. The bed-forms are being measured.

afmærkede. I den nederste del er punkternes beliggenhed fastlagt ud fra målebordsbladet. Resultatet af pejlingen ses af længdeprofilen, hvor også konstruktionsbunden er indtegnet, pl. 4.

Fra indløbsværket til ca. st. 7.600 er bunden over hele bredden hævet ca. 0.4 m i forhold til konstruktionsbunden. Bundmaterialet er løst mellemkornet sand af samme karakter som i Grindsted Å og Ansager Å. Det må konstateres, at der er foregået en indvandring af sand på en ca. 2.5 km lang strækning. Neden for st. 7.300 er bunden lavere end konstruktionsbunden. Underuddybningen er størst fra st. 7.200–st. 5.500, 0.3 m–0.5 m. Ved Hodde-Nordenskovvejen (se fig. 6) er bunden kun ca. 0.1 m–0.2 m lavere, end den burde være, hvorefter underuddybningen bliver større mellem st. 2.500 og st. 4.000. På strækningen fra st. 1.000–st. 2.500 er bunden kun ca. 0.1 m lavere end angivet på konstruktionstegningen; endelig synes der at være større dybder på strækningen frem til Karlsgårde Sø.

Der er opmålt 5 tværprofiler, fig. 4, således at de forskellige konstruktionsprofiler er repræsenteret. Bunden i tværprofilerne svarer rimeligt til bunden i længdeprofilen. Tværprofilen st. 0.640 er meget ujævnt, og en del ligger over konstruktionsbunden. I de øvrige profiler er bunden jævn. Der er ved undersøgelsen konstateret banker på bunden efter tøbruddet, hvor store mængder materiale (større end 100 m³) blev spulet ud i kanalen fra skrænterne i den del af oplandet, som hælder mod kanalen. Langs kanalens sider er opsat faskiner, og de opmålte profiler viser, at der fra skrænterne er bortroderet betydelige mængder materiale af størrelsesordenen 1–2 m³/m. Tværprofilen st. 8.050 viser en hævnning af bunden, medens skrænterne viser tegn på bortgang af materiale. Det er således sandsynligt, at profilen har været uddybet forud for aflejringen af sandet.

HYDRAULISKE FORHOLD OG VANDFØRING

Vandstanden er målt daglig ved Hodde-Nordenskovvejen. Højeste vandstand er 14.27 m DNN ved tøbruddet marts 1970 og laveste 13.06 m i juni 1969.

Gennemsnitligt fald i kanalen er $1.69 \cdot 10^{-4}$ ved en vandstand på 12.80 m DNN i søen og 14.50 m ved indløbet. Afhængig af vandstandsvariationen i søen og ved indløbet kan faldet variere mellem $1.3\text{--}2.3 \cdot 10^{-4}$.

Gennemsnitsstrømhastigheden ved målestedet har fra maj til november været ca. 0.2–0.3 m/sek og den øvrige del af året 0.3–0.6 m/sek. Største gennemsnitshastighed er 0.81 m/sek målt den 18/3 1970.

Vandføring og tilhørende vandstand er vist i tabel 4, størst målte vandføring er 17.1 m³/sek i marts 1970, mindste vandføring er 2.65 m³/sek juli 1969. Medianvandføringen for det målte år er ca. 5.6 m³/sek.

Relationen mellem vandføring og vandstand er dårlig, idet der især i sommerperioden fås høje vandstande uden en tilsvarende stigning i vandføringen.

Tabel 4. Karlsgårde Kanal. Station 500.

Table 4. Karlsgårde Kanal. Station 500.

Dato Date	Vandstand DNN Water level DNN	Vandføring m ³ /sek. Discharge m ³ /sec.	Suspenderet transport t/døgn Suspended load transp. t/day	Transport af opløste stoffer t/døgn Dissolved load transport t/day
1969				
30/7	13.35	2.65	5.39	55.26
26/8	13.46	2.99	2.74	65.29
27/9	13.60	2.97	2.38	63.30
31/10	13.27	2.93	8.26	49.89
29/11	13.72	7.46	14.94	124.96
1970				
15/1	13.31	4.90	13.66	91.35
18/2	13.18	5.18	20.99	89.53
18/3	14.27	17.13	245.09	94.72
25/4	13.47	7.83	21.45	146.86
12/5	13.37	5.93	24.07	91.17
10/6	13.31	3.67	10.78	53.59
1/7	13.64	3.78	6.23	45.67
5/8	13.61	3.09	6.66	55.60

Som nævnt ovenfor er frislusen delvis åben i perioden ca. 1/6 til ca. 1/11. I 1969 var der åbnet med 20 omdrejninger på frislusens løfteanordning den 28/5, den 1/6–9/6 lukket, den 9/6–9/11 åben med 20 omdrejninger, den sidste uge dog kun med 10 omdrejninger. Under tøbruddet åbnedes frislusen den 17/3, idet det dog ikke var muligt at åbne helt, og indløbet lukkedes delvis. Den 21/3 lukkes frislusen igen, og indløbet åbnes. Sommeråbning foretages i 1970 den 2/6 med 15 omdrejninger, den 6/6 med 20 omdrejninger og den 10/6 med 25 omdrejninger. Den resterende del af måleperioden har åbningen været 25 omdrejninger. Da der ikke er foretaget kontinuert måling af vandstanden ved stemmeverket, kan vandmængden gennem frislusen ikke bestemmes nøjagtigt.

Undersøgelsen, foretaget af Grindsted Kommunes Tekniske Forvaltning, maj 1968, angiver vandmængden gennem frislusen ud fra en formel: $Q = 1.86 \times b (h_1^{3/2} - h_2^{3/2})$, hvor Q er vandmængden, b er slusebredden, og h_1 og h_2 er henholdsvis afstanden fra overvandet til sluseåbnings bund og top. Med overvandet i kote 14.50 m og 35 omdrejninger fås beregnet $Q = 1.03$ m³/sek, med overvandet i kote 14.30 m fås $Q = 0.95$ m³/sek.

Som nævnt er frislusen stillet med færre omdrejninger end i beregningseksemplet, svarende til at den aktuelle vandføring gennem frislusen er mindre. Dette bekræftes også af målingerne af vandføring i de ovenfor liggende vandløb og i selve kanalen.

MATERIALETRANSPORT

Ved st. 500 (Hodde-Nordenskovvejen) er kun konstateret et 1–2 m bredt bælte af løst sand, som ved den pågældende måling ikke bevægede sig. Måling af bundtransport er derfor ikke foretaget. Bundtransport i den

nedre del af kanalen må formodes kun at finde sted ved meget store vandføringer i kanalen.

Sammenhørende værdier af målt vandføring og målt suspenderet transport er angivet i tabel 4. Mediantransporten for et år (30/7 1969–10/6 1970) ca. 16 t/døgn, største og mindste målte værdi er 2.4 t/døgn og 24.5 t/døgn.

For transportmængden af opløste stoffer er årsmedianværdien 85 t/døgn, største og mindste værdi henholdsvis 146 t/døgn og 46 t/døgn.

FORSØG MED FARVET SAND

Af længdeprofilen, pl. 4, ses det, at der er foregået en indvandring af sand i kanalens øvre del. For at følge forløbet af materialindvandringen i kanalen blev der den 16/8 1969 udlagt gult fluorescensfarvet sand i en linie tværs over indløbet, det udlagte sand var i forvejen optaget ved indløbet.

Prøver indsamledes og behandlede som nævnt ovenfor. Resultaterne af undersøgelsen er angivet i tabel 5. I tabellen ses på en given dato den yderste afstand, i hvilken farvede korn er konstateret (hvis 3 på hinanden følgende prøver ikke indeholder farvede korn, angives sidste prøve med farvede korn som den yderste), samt »tyngdepunktsafstanden« for »tracerskyen«, beregnet som $Ta = \sum c_i \cdot x_i / \sum c_i$, hvor c_i og x_i er henholdsvis koncentration og afstand i det i 'te målepunkt. Resultaterne tolkes på følgende måde: Det farvede sand vandrer i begyndelsen hurtigt ind i kanalen, fordi opblandingen med det øvrige bundmateriale ikke er fuldstændig. I perioden frem til november 1969 bevæger »tyngdepunktet« sig ikke, medens den yderste afstand bliver større; der foregår en selektiv transport, således at de små korn vandrer hurtigere nedstrøms. I november er vandføringen stor

(endvidere lukker frislusen), dette forårsager en flytning af det groveste materiale; der konstateres endvidere farveskaller fra Grindsted Å (røde). Dette viser dels, at farvehinden på Grindsted-korn er mindre holdbar, og dels, at let materiale transporteres direkte ned i kanalen. Det viser sig endvidere, at den maksimale koncentration af farvede korn pr. kg prøve falder brat fra oktober til november. Dette indikerer, at der i den mellemliggende periode foregår en kraftig transport og dermed forbunden opblanding. Sandet vandrer i forbindelse med selektiv transport i december–februar, idet det visuelt kan konstateres, at de yderste prøver har mindre kornstørrelse. Februar-målingen viser lave koncentrationsværdier og en yderste afstand, som er mindre end den foregående. Dette kan skyldes, at et afstrømningsmaksima i begyndelsen af måneden har tilført materiale, som er lejret oven på det farvede sand.

Det har ikke været muligt at måle under flommen i marts 1970. Efter flommen er der konstateret farvet sand frem til ca. st. 6400 m. »Tyngdepunktet« er ikke bestemt, fordi det ikke har været muligt at tage prøver for hver 50 m frem helt hertil. Det kan nævnes, at der efter tøbruddet er fundet små grønne korn (Ansager) og røde (Grindsted).

Fordelingen af farvet sand i tværsnittet er undersøgt i enkelte tilfælde. I begyndelsen er koncentrationen størst i midten af kanalen, men senere er fordelingen ujævn. Ved måling den 22. jan. 1970 er koncentrationen i midten af kanalen meget ringe, medens der findes en høj koncentration af små korn langs begge bredder.

Sammenfattende kan det siges, at indvandringen af materiale ved små vandføringer foregår meget langsomt. Fra august 1969 til februar 1970 er yderste transportafstand ca. 2 km. Heraf er det længsttransporterede fintkornet materiale. Ved tøbruddet transporteres materialet langt ned i kanalen. En betragtelig del af groft materiale transporteres kun ved store vandføringer.

Den i kanalen indvandrede mængde er, hvis man regner med, at sedimentationen er foregået oven på den konstruktionsmæssige bund: ca. $0.4 \cdot 9 \cdot 2550 = 9200 \text{ m}^3$; hvis man regner med en forudgående underuddybning, svarende til den på strækningen nedenfor målte, fås $9200 \text{ m}^3 + 0.3 \cdot 7 \cdot 2550 = 14600 \text{ m}^3$. Indvandringen af et sammenhængende sandlag er sandsynligvis først påbegyndt, efter at området ovenfor stemmeværket er fyldt til et vist niveau.

SEDIMENTATION VED INDLØBSBYGVERKET

Ifølge målebordsbladet fra 1870 er den oprindelige dalbund ved stemmeværket beliggende i kote ca. 14.00 m DNN stigende til ca. kote 15.7 m ved Lerbæks udløb. I forbindelse med bygningen af spærredæmningen er der foretaget en opmåling af tværprofilen og bundforholdene i dæmningslinien. Dalbundens maksimale terrænhøjde er her ca. kote 14.00 m DNN, medens det gamle åløbs bund-

Tabel 5. Karlsgårde Kanal. Station 500.

Forsøg med farvet sand.

Table 5. Karlsgårde Kanal. Station 500.

Experiment with fluorescent-coloured sand.

Dato Date	Yderste afstand fra udlægningspunkt Extreme advance of sand from initial point	»Tyngdepunkts- afstand« "Centroid"-distance from initial point	Maksimal koncentr. korn/kg Max. concentration grains/kilo
	m	m	
1969			
16/8	udlægning af farvet sand tracer laid out		
27/8	250	103	5930
24/9	550	100	8480
29/10	900	91	9700
29/11	950	214	665
19/12	1700	358	807
1970			
22/1	2000	431	347
20/2	800	412	37
17/4	6400	—	700

kote er ca. 11.8 m DNN, overensstemmelsen med målebordsbladet er således rimelig. Den i 1969 opmålte længdeprofil, pl. 4, viser, at terrænkoten langs højre bred fra dæmningen og ca. 1200 m opad vandløbet var ca. i kote 15.5 m DNN. Åbundens niveau var i gennemsnit i kote 13.8 m DNN. Materialet langs bredden består af materiale opgravet i vandløbet, bredden af de oplagte materialedynger er ca. 30 m. Hvis den oprindelige bredkote sættes til 14.00 m DNN, fås således aflejret $1200 \cdot 30 \cdot 1.5 = \text{ca. } 55000 \text{ m}^3$. Hertil må lægges materiale aflejret i det gamle åleje og oplagt på venstre bred. Det må bemærkes, at vandløbets bredde er større end angivet i regulativet.

En egentlig opmåling af det opgravede materiale skønnes ikke at give resultater, hvis nøjagtighed står i forhold til arbejdet, idet der ved opgravningen af materialet iflg. maskinmester K. Bager er konstateret sætninger i dalbunden. Dette forekommer rimeligt, da boringerne i dæmningslinien viser, at der findes tørvejord i dalbundens øverste del.

Den aflejrte materialemængde er dernæst søgt beregnet ud fra oplysninger om opgravede materialemængder stillet til rådighed af *Esbjerg Kommune* og maskinmester K. Bager.

Man blev først opmærksom på sandaflejringen omkring 1955. Vandløbet blev i perioden 1955–1958 oprenset to gange med en sandsuger fra Stemmeværket og ca. 1200 m opstrøms. I perioden 1958–1963 er der foretaget to opgravninger af samme omfang som nævnt ovenfor. I 1964 er der opgravet ca. 7000 m³ beregnet ud fra den samlede regning for opgravningen, når prisen sættes til 2 kr. pr. m³. I 1967 og 1968 opgraves henholdsvis ca. 8000 m³ og 9000 m³. Fra de perioder, hvor regning ikke forefindes, skønnes opgravet samme mængde som i 1968, altså 9000 m³. Efter afslutningen af herværende undersøgelses feltarbejde er der i efteråret 1970 foretaget en opgravning af ca. 19.000 m³, idet man dog denne gang har gravet længere opstrøms end tidligere og bl.a. gravet ned i den

Tabel 6. Opgravning af materiale i »Ansager Sø« beregnet på grundlag af regninger for oprensingsarbejdet.
Table 6. Sediment dredged from 'Ansager Sø' computed on the basis of contractor bills.

År Year	Opgravet sediment Dredged sediment m ³
1956	9000
1958	9000
1960	9000
1962	9000
1964	7000
1967	8000
1968	9000
1970	19000
Total	79000 m ³

oprindelige dalbund. Tabel 6 viser de til forskellige tidspunkter opgravede materialemængder i tidsrummet 1945–1970. Den samlede opgravede materialemængde indtil 1968 incl. andrager således 80.000 m³. Hertil kommer den i det oprindelige strømløje afsatte materialemængde.

Siden 1955 er der i gennemsnit foretaget en materialeopgravning hvert andet år, se fig. 5. Beregningsgrundlaget er for spinkelt til at påvise en øgning af materialetransporten igennem perioden. At problemet først bliver aktuelt i 1955 betyder ikke, at materialetilførslen først begynder på dette tidspunkt, men snarere at det gamle strømløje på grund af sin lavere bundkote har kunnet opmagasinere betydelige sandmængder.

Ud fra de opmålte længdeprofiler, pl. 4, ses det, at sedimentationen på bunden af vandløbet når ca. kote 13.5 m DNN. Når området ovenfor stemmeværket er fyldt til ca. dette niveau, vandrer materialet ind i kanalen.

Holme Å

BESKRIVELSE AF VANDLØBET

Relation til Karlsgårde-systemet. Ved anlægget af kraftværket i 1921 ledtes kun vandet fra Holme Å via en kanal frem til Karlsgårde Sø. Kanalen indløbsbygværk blev placeret i Holme Å ca. 700 m vest for broen ved Hostrup. *Oplandsareal.* I projektbeskrivelsen af 14. februar 1940, Carl Jensen Stürup og Prosch-Jensen, Wright-Thomsen og Kier angives et produktionsareal for det oprindelige kraftværk på 170 km², svarende til søens, kanalens og Holme Å's topografiske opland.

Oplandsarealet er i dag opgjort ud fra en planimetring af områderne inden for vandskellene. Vandskellene er kontrolleret ved sammenligning med vandskelskort fra *Hedeselskabets Mose- og Engafdeling* i Varde:

Holme Å, opland st. 400	148 km ²
Holme Å, oven for kanal	149 km ²
Holme Kanal, st. 600	152 km ²
Holme Kanal ialt	154 km ²
Total opland ÷ Karlsgårde Kanal og dens tilløb	171 km ²

Tekniske foranstaltninger i vandløbet. Det fremgår af *Geodætisk Instituts* målebordsblade fra omkring 1910, at der på dette tidspunkt fandtes engvandingsanlæg langs størstedelen af vandløbet. En undersøgelse af engvandingen i Danmark, foretaget af S. Rasmussen (1964), viser, at disse anlæg er forsvundet i perioden frem til 1961–1962. Der har tidligere ligget en vandmølle i et tilløb nær Haltrup og en ved Hovborg.

De til ovennævnte anlæg hørende stemmeværker overtages af dambrug, nedrives eller forfalder. Konsekvensen af de sidstnævnte muligheder vil være, at erosionstærskler i bunden fjernes, og en ny ligevægtsbundlinie udarbejdes. Den suspenderede materialmængde, som før tilførtes engvandingskanalen, vil nu fortsætte i vandløbet.

I Holme Å findes der oven for indløbsbygværket 7 dambrug. Der er rettet forespørgsel om materialeopgravningen ved Haltruplund Dambrug, beliggende 2 km oven for indløbsbygværket. Dambruget er oprettet i 1948, det blev oplyst, at der om året opgraves ca. 1200 m³. Der var store problemer med at finde plads til det opgravede materiale, og de opgravede mængder forekom (subjektivt) at være stigende igennem de senere år.

Holme Å fremtræder hovedsageligt som et naturligt vandløb, idet hovedvandløbet dog er reguleret fra udspringet frem til Bækkemark. Sidevandløbene er regulerede ved afvandingsarbejder. Efter en sådan regulering vil et vandløb søge mod en ligevægtstilstand, hvor vandløbets dimensioner er afstemt de givne vandmængder og den naturligt forekommende materialetransport. Hvis vandløbet ved reguleringen ikke er bygget med dimensioner svarende til ligevægtstilstanden, kan der foregå betydelige materialeflytninger i systemet.

Vidnesbyrd om erosion. Vandløbet er besøgt ved vejbroer oven for Starup, hvorved tilstedeværelsen af dambrug samt regulering er konstateret. Fra Starup til indløbsbygværket er vandløbet og bredderne undersøgt. Bundbredden er 4–5 m, og bunden består af sand og grus, stedvis med al-tærskler. Dybden varierer betydeligt, ved indsnævninger er konstateret 1.7 m dybde ved sommervandføring. Gennemsnitsdybden er ca. 1 m. Langs bredderne findes flere steder kraftig plantevækst, og der er på den undersøgte strækning ikke konstateret steder, hvor vandløbet skærer sig ind i dalsiden; kun få steder i sving ses tegn på erosion i bredderne. På grundlag heraf må det anses for sandsynligt, at hovedparten af det transporterede materiale hidrører fra sidevandløb. På den undersøgte strækning er kun konstateret stemmeverker i forbindelse med dambrugene.

Materialer i ådalen. Der er foretaget boringer i en linie tværs over dalen ca. 100 m vest for st. 400 ved Hostrup Bro. Der er konstateret ler i dalbunden ca. 3 m under terræn, herover findes dynd og tørveblandet sand, undertiden rent sand. Øverst findes 0.3 m–0.7 m tørv og gytje, ofte blandet med sand.

Vandløbet har således ved erosion i ådalen også mulighed for at optage sand. Erosion af bredderne vil kunne tilføre vandløbet organisk materiale i form af tørve- og gytjerester.

Længdeprofil. Vandløbets og breddens længdeprofil er målt fra Hostrup Bro til indløbsbygværket, pl. 4. Det ses, at faldet mindskes betydeligt ved overgangen til kanalen.

HYDRAULISKE FORHOLD OG VANDLØBET

Vandstand. Kontinuert registrering af vandstanden er foretaget ved Hostrup Bro. Måleserien er som følge af frost inkomplet i vinterperioden. I tabel 7 angives vandstanden ved målingstidspunkterne. Ved højeste vandstand stod de sumpede arealer langs vandløbet under vand.

Tabel 7. Holme Å. Station 400.

Table 7. The river Holme Å. Station 400.

Dato Date	Vandstand DNN Water level DNN	Vandføring m ³ /sek. Discharge m ³ /sec.	Suspenderet transport t/døgn Suspended load transp. t/day	Bundtransport t/døgn Bed load transport t/day
1969				
29/7	15.10	1.23	0.78	0.17*
29/8	15.02	1.52	2.61	1.45
26/9	15.07	1.58	1.46	6.20
1/11	15.08	1.57	1.64	2.98
28/11	15.21	2.73	4.27	16.87
19/12	15.05	1.46	2.98	5.00
1970				
1/3		1.82	3.25	1.63**
20/3	15.67	8.60	61.11	19.21
17/4	15.10	3.20	14.94	3.84**
13/5	14.95	1.84	5.05	3.97**
11/6	14.93	1.74	4.21	1.23
2/7	15.06	1.79	4.37	4.88**
3/8	15.13	1.43	4.80	0.86*

* Værdi målt med sandfælde + 40 %.

Result from pressure difference sampler + 60 %.

** Værdi målt med sandfælde + 40 %.

Result from pressure difference sampler + 60 %.

Vandløbets fald. Ved måling af vandspejlsfaldet ved station 400 er gennemsnitsfaldet $7.4 \cdot 10^{-4}$. For strækningen oven for broen, hvor målingerne er foretaget, er gennemsnitsfaldet $5.0 \cdot 10^{-4}$. Gennemsnitsfaldet på strækningen ned til indløbsbygværket målt ud fra længdeprofilen er $6.4 \cdot 10^{-4}$, i kanalen er vandspejlsfaldet samme dato $1.6 \cdot 10^{-4}$.

Vandløbets dimensioner. Vandspejlsbredden i måleområdet er ved vandføringer svarende til årsmiddel varierende mellem 8 m og 10 m. På målestrækningen umiddelbart oven for Hostrup Bro konstateredes ved undersøgelsens begyndelse jævn sandbund med en vanddybde på ca. 0.6 m, bundbredden var 6–7 m. Længere oven for broen var bunden ujævn, bundtransporten foregik i en 3–4 m bred og 1 m dyb rende langs højre bred, medens der i vandløbets midte fandtes en bank, ved venstre bred konstateredes et hul med vanddybde større end 1.2 m. Generelt kan det siges, at vandløbets bundbredde varierede betydeligt inden for den observerede strækning.

I forbindelse med grødeskæring foregår der ofte en op-hobning af grøde oven for broen. På den i august 1969 fastsatte måledag var vandløbet spærret, ved måling få dage senere konstateredes en uddybning, forårsaget ved at vandet var løbet under grødelaget. Ved uddybningen var den ovennævnte sandbund bortroderet ned til et stenlag i bunden, vanddybde større end 1.5 m. Den dannede uddybning formindskedes kun langsomt i perioden frem til marts 1970. Efter tøbruddet var den forsvundet. Dette støtter den antagelse, at transporten af bundmate-

riale er lille på dette sted, hvilket uden tvivl skyldes, at en stor mængde bundmateriale opgraves ved dambruget. *Strømhastighed og vandføring.* På grundlag af vandføringsmålingerne kan angives en median strømhastighed på 0.3 m/sek, idet det dog bemærkes, at måletværsnittet på grund af grødevækst og andre ulemper ikke altid er det samme.

Laveste gennemsnitshastighed i et tværsnit er 0.14 m/sek. og højeste 0.52 m/sek.

Resultaterne af vandføringsmålingerne er angivet i tabel 7 sammen med tilhørende vandstand. Største og mindste vandføring er henholdsvis 8.60 m³/sek og 1.23 m³/sek. En sammenligning mellem vandstand og tilhørende vandføring før og efter tøbruddet tyder på, at bunden er ændret ved målestedet.

MATERIALETRANSPORT

Transport af suspenderet materiale. Resultatet af de enkelte målinger ses i tabel 7. Vandføring og den tilhørende mængde af materiale transporteret i suspension er plottet på dobbeltlogaritmisk papir, se fig. 7, og den logaritmiske regressionslinje med vandføringen som uafhængig variabel er beregnet: $Q_s = 1.08 \cdot Q^{1.92}$, hvor Q_s er suspenderet transport i ton/døgn, og Q er vandføring i m³/sek. Der ses en betydelig spredning omkring linien, regressionskoefficienten r er 0.9039, dvs. signifikant forskellig fra 0 på mindst 0.05 niveauet.

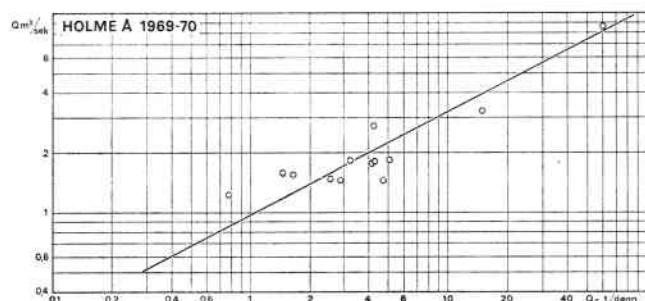


Fig. 7. Holme Å, suspenderet transport og vandføring.
Fig. 7. Holme Å, relation between suspended load transport and discharge.

Transport af opløste stoffer. Ved analysen af vandprøverne bestemtes som nævnt også indholdet af opløste stoffer. Gennemsnitskoncentrationen var 112 mg/l, største og mindste koncentration var henholdsvis 138 mg/l og 76 mg/l. Dette støtter den visuelle iagttagelse, at vandløbet kun i ringe grad er præget af spildevand.

Bundtransport. Resultatet af målingerne er angivet i tabel 7. Hvor der ved måling af bundformernes vandring er konstateret bundtransport, er den herved målte mængde angivet. I de tilfælde, hvor transporten er foregået uden dannelse af erkendbare riller eller banker, er resultatet af målingerne med sandfælden modificeret efter Hedeselskabets konstruktion anvendt med et

tillæg på 40–60 %, afhængig af vandføringen. Sammenligninger har vist, at sandfælden underestimerer i forhold til målinger ud fra bundformen. Ligeledes angives i litteraturen, at målere af denne type vil give for små resultater. Tillægget på 60 % er anvendt ved de højeste vandføringer, fordi gennemstrømningshastigheden i måleren bliver større.

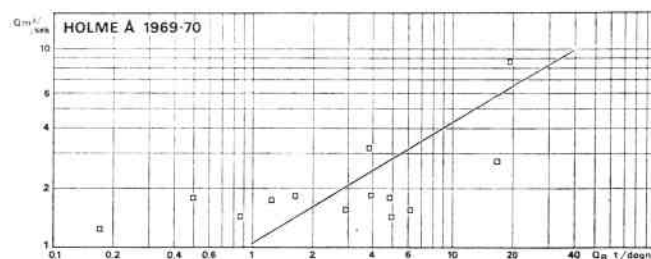


Fig. 8. Holme Å, bundtransport og vandføring.
Fig. 8. Holme Å, relation between bed load transport and discharge.

Relationen mellem bundtransportmængden og vandføringen er mindre veldefineret end i de øvrige vandløb: fig. 8, $Q_b = 0.93 \cdot Q^{1.65}$, $r = 0.6652$ er signifikant forskellig fra 0 på 0.05 niveau. Spredningen er ret stor, den højeste vandføring giver ikke en tilsvarende høj bundtransport. Resultaterne tolkes i retning af, at vandløbet ved målestedet er »underforsynet« med materiale som følge af materialeopgravningen ved dambruget.

Transport af farvet sand. Det fluorescensfarvede sand (gult) er udlagt tværs over vandløbet 15 m oven for broen ved Hostrup den 17/8 1969 kl. 18.45. I tabel 8 er vist resultatet af prøvetagningerne i de følgende måneder. Yderste forekomst og »tyngdepunktsafstand« er vist. Det ses, at transporten foregår langsomt. »Sandskyens«

Tabel 8. Holme Å. Station 400.

Forsøg med farvet sand.

Table 8. The river Holme Å. Station 400.

Experiment with fluorescent-coloured sand.

Dato Date	Yderste afstand fra udlægningspunkt Extreme advance of sand from initial point	»Tyngdepunkts- afstand« "Centroid"-distance from initial point	Maksimal koncentr. korn/kg Max. concentration grains/kilo
	m	m	
1969			
17/8	udlægning af farvet sand tracer laid out		
28/8	250	42	14150
25/9	500	70	3490
31/10	550	124	7815
26/11	850	200	6970
17/12	1100	280	1770
1970			
18/2	1850	409	676
17/4	2000	704	262
13/5	2000	834	154

tyngdepunkt er således fra 17/8 1969 til 18/2 1970 kun forskudt ca. 400 m, svarende til midtvejs mellem indløbsbygværket og Hostrup Bro. Først ved tøbruddet foregår der en betydelig flytning af materialet. Undersøgelsen bekræfter således, at transportintensiteten i Holme Å er beskeden.

Beregning af materialetransport for et gennemsnitsår. Såfremt det antages, at varighedskurven fra Varde Å ved Sig (*Hedeselskabets 7. Beretning*) tilnærmelsesvis er gældende for Holme Å, kan gennemsnitsårstransporten beregnes ud fra kendskab til oplandsarealet og en relation mellem transportmængder og vandføring gældende for st. 400. De ved målestedet beregnede transportmængder ses af tabel 9.

Gennemsnitsårstransporten af suspenderet materiale var 1496 t/år svarende til 10.1 t/km²/år. De tilsvarende tal for bundtransporteret materiale var 989 t/år og 6.7 t/km²/år. Hvis den opgravede materialemængde ved Haltruplund Dambrug (ca. 2040 t/år) regnes med, bliver den i vandløbet bundtransporterede materialemængde 20.5 t/km²/år.

De ved st. 400 beregnede transportmængder må antages at nå frem til Karlsgårde-systemet. Bundtransporteret materiale vil fortrinsvis aflejres ved stemmeværket og dernæst begynde at vandre ind i kanalen, medens det suspenderede materiale vil transporteres til søen via kanalen.

Tabel 9. Holme Å. Station 400.

Beregning af materialetransport for et gennemsnitsår.

Table 9. The river Holme Å. Station 400.

Computation of sediment transport for an 'average' year.

Varighed døgn Duration days	Vandføring m ³ /sek. Discharge m ³ /sec.	Suspenderet transport Suspended load transp.		Bundtransport Bed load transport	
		Q _S t/døgn t/days	Q _S × varighed duration	Q _B t/døgn t/days	Q _B × varighed duration
1	0.73	0.58	0.6	0.53	0.5
4	0.81	0.71	2.8	0.63	2.5
10	0.90	0.87	8.7	0.74	7.4
50	1.04	1.17	58.5	1.00	50.0
50	1.20	1.52	76.0	1.22	61.0
50	1.39	2.05	102.5	1.57	78.5
50	1.63	2.80	140.0	2.02	101.0
50	1.88	3.60	180.0	2.60	130.0
50	2.32	5.45	272.5	3.65	182.5
30	3.02	8.95	268.5	5.30	159.0
10	3.77	13.70	137.0	8.10	81.0
5	4.44	18.60	93.0	10.70	53.5
3	5.22	25.80	77.4	14.00	42.0
1	5.95	33.00	33.0	17.2	17.2
0.5	6.62	41.00	20.5	20.5	10.3
0.3	7.38	50.00	15.0	24.5	7.4
0.2	7.54	52.0	10.4	25.2	5.0
		1496 t/år t/year		989 t/år t/year	

Beregning af transport på basis af Meyer-Peters formel. Som følge af de specielle forhold i dette vandløb, hvor en stor del af materialet opfanges ved Haltruplund Dambrug, vil en beregning baseret på hydrauliske data sandsynligvis give en for stor værdi af transporten.

Middeldøgntransport beregnes ud fra ovenstående til 2.7 t/døgn, den hertil svarende vandføring er 1.9 m³/sek. Som beregningseksempel er anvendt data fra målingen den 13. maj 1970. Vandføringen den pågældende dag er 1.8 m³/sek, bundtransport ud fra relationen med vandføringen er 2.50 t/døgn, målt bundtransport (måling med kassemåler + 60 %) er 3.97 t/døgn.

Følgende data er indsat i formlen:

Rumvægt 2.65 t/m³, fald $4.7 \cdot 10^{-4}$, middeldybde 0.62 m, middelfalddiameter 0.32 mm, sigtediameter d₃₅ 0.27 mm og bredden 7.0 m. Den beregnede transportmængde: 11.3 t/døgn er som ventet for høj.

Grindsted Å

BESKRIVELSE AF VANDLØBET

Relation til Karlsgårde-systemet. Ifølge projektet fra 1940 skulle vandet fra Varde-Grindsted Å via en kanal føres til Karlsgårde Sø. Grindsted Å har således siden projektets fuldførelse i 1945 leveret vand til Karlsgårde Kraftværk.

Oplandsareal. Vandskellet ses indtegnet på oversigtskortet (pl. 1). Oplandsarealet til målestation 101 er iflg. planimetrering 221 km². Oplandsarealet ved stemmeværket er 238 km². Grindsted Å's opland udgør således 36 % af det samlede oplandsareal.

Tekniske foranstaltninger i vandløbet. Der har tidligere ligget vandmøller ved Mølby Bro, Eg, Løvlund, Grene og Slaugaard. Af de ældre målebordsblade ses det, at åen har været stærkt udbygget med engvandingsanlæg på strækningen neden for Grene. Ved S. Rasmussens undersøgelse i 1961-1962 var der endnu anlæg i drift på strækningen mellem Eg og Grindsted. Stemmeværkerne er ligesom for Holme Å's vedkommende forfaldet eller overtaget af dambrug. Oven for Grindsted findes i dag (1970) 6 dambrug. Et dambrug beliggende ca. 6 km oven for indløbet til Karlsgårde Kanal er nedlagt på grund af det tilførte vands dårlige kvalitet. Vandløbet er reguleret oven for Grene Kirke, og det største tilløb Grene Å er reguleret i hele sin udstrækning; også øvrige mindre tilløb er regulerede.

En stor del af ovennævnte ændringer er foregået i den periode, hvor Grindsted Å har leveret vand til Karlsgårdeværket. Det må forventes, at reguleringer medfører øget materialetransport i en periode, indtil ligevægt er opnået. Nedlæggelsen af dambrug og engvandingsanlæg vil også øge mængden af materiale, som transporteres mod Karlsgårde-systemet.

Vidnesbyrd om erosion. Der er foretaget en rekognosce-



Fig. 9. Grindsted Å ved st. 101.
Fig. 9. Grindsted Å at st. 101.

ring langs vandløbet fra Grindsted til Karlsgårde Kanal. Ved rekognosceringen konstateredes det, at vandoverfladen generelt ligger lavere i forhold til det omliggende terræn end ved Ansager Å og Holme Å. I de fleste sving er bredden uden beskyttende vegetation, og der konstateredes 9 steder, hvor vandløbet skærer sig ind i dalsiden.

For at få et indtryk af, hvor meget materiale der evt. kunne tilføres vandløbet fra de nævnte skrænter, blev der foretaget observationer på skrænten umiddelbart neden for st. 101. Skrænten er 4–5 m høj og længden langs vandet ca. 25 m; det samlede areal er ca. 90 m². Erosion er konstateret ved tøbruddet, hvor der målt 4–25 cm bortgang af materiale ved målepindene. Erosion er iøvrigt forekommet i forbindelse med kraftige regnskyl i november 1969. De øvrige måneder er ændringerne på skrænten meget små. Erosionen udviser iøvrigt stor variation, idet den største materialeafgang foregår på den øverste trediedel af skrænten. Materialet lejres en tid ved foden af skrænten og føres først bort af en passende høj vandstand. I løbet af observationsperioden har materialeafgangen fra skrænten været ca. $0.15 \text{ m} \times 90 \text{ m}^2 = 13.5 \text{ m}^3$.

Ved den undersøgte skrænt begrænses erosionen uden tvivl af et lerholdigt lag, som ligger i niveau med vandoverfladen, hvorfor den kan være atypisk. Det samlede areal af ådalsskrænter er ca. 700 m², der med en erosion svarende til den undersøgte skrænt vil give ialt ca. $0.15 \cdot 700 = 105 \text{ m}^3/\text{år}$.

Materialer i ådalen. Materialerne er iagttaget i forbindelse med rekognosceringerne, endvidere er der ved st. 101, se fig. 9, foretaget boringer i en linie tværs over dalen.

Materialet i åens bund består hovedsageligt af sand med en middeldkornstørrelse på 0.4–0.45 mm. Kornstørrelsen er bestemt ud fra sigtning af de prøver, som er op-

taget med sandfælder. Langs bredderne forekommer stedvis mudder og fint sand.

Boringerne viser, at der øverst i ådalens sider findes sand, herunder er fundet ler. I dalbunden findes ler 2–4 m under terræn. Det har dog enkelte steder ikke været muligt at nå lerlaget på grund af sand eller sten, som fyldte borehullet. Over lerlaget findes mellemkornet sand i niveau med vandløbets bund. Sandet er øverst blandet med silt og tørv. Øverst findes tørvslag af vekslende tykkelse i niveau med den ved sommervandstand tørre del af bredderne. En del steder konstateres der øverst dyndblandet sand, som formodes at være aflejret i forbindelse med oversvømmelser.

Et tværprofil fra dæmningslinien ved »Ansager Sø« har ligeledes tørv i niveau med vandløbets bredder og sand, der stedvis er blandet med tørv i niveau med vandløbets bund.

Længdeprofil. Åens længdeprofil er opmålt fra Tiphede Bro til Karlsgårde Kanal, pl. 4. På længdeprofilen er angivet bundens niveau i midten af vandløbet samt niveauet på en af bredderne og vandstanden 8/8 1969.

Det ses, at terrænet ligger 0.5–1.0 m over vandoverfladen på strækningen fra Tiphede Bro til st. 2600. Herfra og indtil de opgravede materialebunker er breddens niveau kun 0.2–0.5 m over vandoverfladen. Størst målte dybde er 1.2 m, og gennemsnitsdybden er ca. 0.8 m på det pågældende tidspunkt. Lokale beboere har meddelt undertegnede, at en forsumpning af arealerne har fundet sted 3.5–4 km oven for stemmeværket. Som indicium nævnes, at drænuvløb i åen er under vand selv om sommeren. Sammenholdt med ovennævnte iagttagelser af terrænhøjden i forhold til vandspejlet tyder det på, at anlægget af stemmeværket har forårsaget en hævnning af vandløbets bund udover det område, hvor opgravning foretages.

Vandspejlet falder fra 18.60 m DNN til 14.10 m DNN på strækningen fra Tiphede Bro til stemmeværket 8/8 1969. Gennemsnitsfaldet er ca. $7 \cdot 10^{-4}$. Ved station 101 er faldet ca. $6 \cdot 10^{-4}$.

HYDRAULISKE FORHOLD OG VANDFØRING

Vandstanden målt samtidig med måling af vandføring og sedimenttransport er angivet i tabel 10. Højeste vandstand er målt i forbindelse med tøbruddet marts 1970. Det er bemærkelsesværdigt, at dalens bund ikke var oversvømmet, således som det var tilfældet ved Ansager Å og Holme Å. Observationer i alluviale vandløb har ofte vist, at vandløbet bredfyldes af vandføringer, der statistisk vil overskrides ca. én gang hvert andet år. Den målte flom skulle således have oversvømmet bredderne; dette viser, at åens profil ved st. 101 er for dybt.

Gennemsnitsfaldet ud fra længdeprofilen var ca. $7 \cdot 10^{-4}$. Målinger af faldet ved st. 101 har vist et fald varierende mellem $5.6 \cdot 10^{-4}$ og $7.2 \cdot 10^{-4}$. Det må bemærkes, at fal-

Tabel 10. Grindsted Å. Station 101.

Table 10. The river Grindsted Å. Station 101.

Dato Date	Vandstand DNN Water level DNN	Vandføring m ³ /sek. Discharge m ³ /sec.	Suspenderet transport t/døgn Suspended load transp. t/day	Bundtransport t/døgn Bed load transport t/day
1969				
30/7	17.12	1.99		
25/8	17.06	2.16	3.87	10.74
22/9	17.08	2.09	7.57	8.29
30/10	17.05	1.98	6.32	8.84
27/11	17.26	3.09	7.79	16.42
18/12	17.16	2.54	6.57	9.61
1970				
14/1	17.10	2.42	7.99	10.06
19/2	17.02	2.00*		11.09
19/3	17.78	9.87	122.00	52.00
16/4	17.26	4.23	29.01	33.60
14/5	17.17	2.93	8.71	23.10
12/6	17.06	2.32	11.56	10.35
3/7	17.07	2.57	6.94	12.30
4/8	17.07	2.01	5.31	11.62

* Beregnet.

* Computed.

det først er målt efter måleperiodens afslutning august 1970.

Dimensioner. Ifølge regulativ fra 17/3 1854 er åens dybde under terræn ca. 1.2 m. Bundbredden er ved stemmeværket for Ålling Dambrug 3.8 m og ved jernbanebroen 4.4 m. Ved målestrækningen st. 101 skulle bundbredden således skønmæssigt være 4 m.

Bundbredden målt i forbindelse med materialetransportmålingerne varierer fra 4.5–6.0 m. Gennemsnit er ca. 5.2 m. Vanddybden varierede mellem 0.5 m og 1.2 m og vandspejlsbredden mellem 7.4 m og 10.7 m.

Strømhastighed og vandføring. Tværprofilens gennemsnitshastighed har i måleperioden varieret mellem 0.4 m/sek. og 0.8 m/sek, hastigheden er hyppigst 0.45–0.55 m/sek. Resultatet af vandføringsmålingerne fremgår af tabel 10.

MATERIALETRANSPORT

Transport af suspenderet materiale. Resultatet af de enkelte målinger ses af tabel 10, p. xx. Transportmængden er plottet mod vandføringen på dobbeltlogaritmisk papir, og den beregnede logaritmiske regressionslinje er indtegnet fig. 10. Korrelationskoefficienten $r = 0.9450$ er signifikant forskellig fra 0 på 0.05 niveauet. Regressionsliniens ligning er: $Q_s = 1.33 \cdot Q^{1.95}$, når Q regnes i m³/sek og Q_s i t/døgn.

Der har i dette vandløb undertiden været vanskeligheder ved prøvetagningen, fordi de i vandet transporterede »lammehaler« blokerede målerens indtagsåbning, som derfor ofte måtte renses.

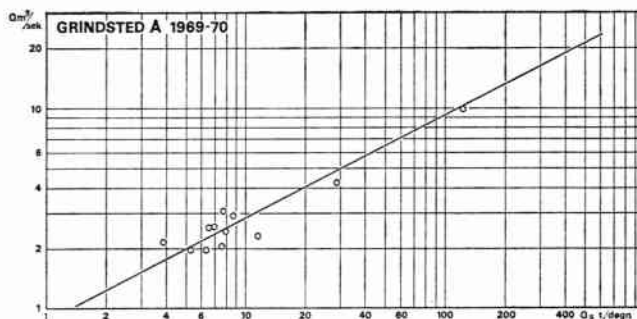


Fig. 10. Grindsted Å, suspenderet transport og vandføring.

Fig. 10. Grindsted Å, relation between suspended load transport and discharge.

Transport af opløste stoffer. Den gennemsnitligt observerede koncentration er 224 mg/l. Største koncentration er 303 mg/l og mindste 122 mg/l. De målte resultater ligger med undtagelse af Kærbæk væsentligt højere end for de øvrige vandløb. Den nævnte koncentrationsforskel skyldes uden tvivl spildevandsbelastningen.

Bundtransport. I tabel 10 er angivet bundtransport beregnet på grundlag af målingerne af bundformens dimension og vandringshastighed. Bundformen på målestedet har ved alle målinger været banker. Det har vist sig, at disse målinger giver en rimelig defineret sammenhæng mellem vandføring og bundtransport i modsætning til de samtidig udførte sandfældemålinger. Den beregnede regressionslinje er indtegnet på dobbeltlogaritmisk papir sammen med måleresultaterne fig. 11. Ligningen bliver: $Q_B = 4.18 \cdot Q^{1.19}$, hvor Q_B er bundtransport i t/døgn og Q den tilsvarende vandføring. Korrelationskoefficienten $r = 0.9216$ er signifikant forskellig fra 0 på 0.05 niveau.

Forsøg med farvet sand. Det farvede sand (rødt) er udlagt den 17/8 kl. 20.05 ved st. 101. I tabel 11 angives yderste forekomst, tyngdepunktsafstand og maksimal koncentration. Tallene sammenlignet med de øvrige vandløb viser, at transportintensiteten er størst her. Opgivelserne af den yderste forekomst skal for de første måneders vedkommende tages med forbehold, idet man ved

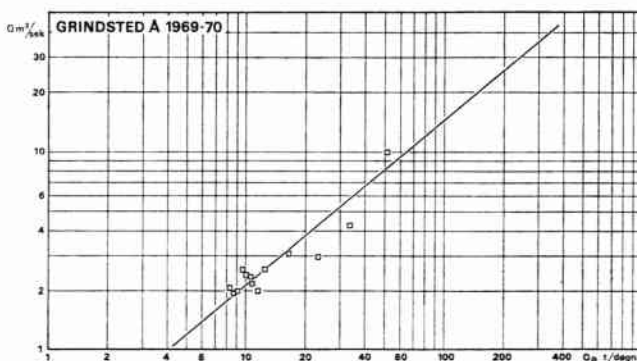


Fig. 11. Grindsted Å, bundtransport og vandføring.

Fig. 11. Grindsted Å, relation between bed-load transport and discharge.

de første analyser ikke var klar over, at farveskaller var løsnet fra nogle korn og som følge af deres lave vægtfylde transporteret meget langt. Sandprøver optaget hver dag ved Mølby Bro viser, at farvede korn ankommer her til den 27/2 1970. Målingerne viser fortsat tilstedeværelse af farvede korn frem til tøbruddet, hvor prøvetagning ikke var mulig. De røde korn når ved tøbruddet frem til Karlsgårde Kanal. Ved prøvetagningen den 15/4 konstateredes bemærkelsesværdigt få korn. Dette tolkes som et vidnesbyrd om, at store, nytillkomne materialmængder er aflejret oven på det vandrende sand neden for udlægningsstedet.

Beregning af materialtransporten for et gennemsnitsår. Det antages, at varighedskurven for Varde Å ved Sig er repræsentativ for målestedet. Ud fra varighedskurven og målestationens oplandsareal beregnes den til forskellige varighedsintervaller hørende gennemsnitsvandføring. Den til varighedsintervallerne svarende materialtransport i tons pr. døgn multipliceres med antal døgn. Årstransporten fås ved at addere transportmængderne for de enkelte varighedsintervaller.

I tabel 12 ses beregningen af den suspenderede års-transport. Den samlede vægt er ca. 4100 t/år, svarende til ca. 18 t/km²/år. Den samlede årlige bundtransport er ca. 5000 t, svarende til 22.8 t/km²/år. De beregnede års-værdier bliver ved stemmeværket for suspenderet transport og bundtransport henholdsvis 4440 t og 5410 t. Rumfang bundtransporteret materiale ved stemmeværket bliver ca. 3200 m³/år, hvis vægtfylden sættes til 1.7 t/m³.

Beregning af transport på basis af Meyer-Peters formel. Ud fra beregningerne af middellårstransporten fås en middeldøgnsbundtransport på ca. 14 t/døgn; denne trans-

Tabel 11. Grindsted Å. Station 101.

Forsøg med farvet sand.

Table 11. The river Grindsted Å. Station 101.

Experiment with fluorescent-coloured sand.

Dato Date	Yderste afstand fra udlægningspunkt Extreme advance of sand from initial point	»Tyngdepunkts- afstand« "Centroid"-distance from initial point	Maksimal koncentr. korn/kg Max. concentration grains/kilo
1969	m	m	
17/8	udlægning af farvet sand tracer laid out		
27/8	600	172	1042
24/9	1100	529	1875
30/10	1250	707	382
26/11	1650	955	148
17/12	1900	864	95
1970			
13/1	2300	1073	88
19/2	3800	2023	48
18/3	—	—	—
15/4	4800	—	9

Tabel 12. Grindsted Å. Station 101.

Beregning af materialetransport for et gennemsnitsår.

Table 12. The river Grindsted Å. Station 101.

Computation of sediment transport for an 'average' year.

Varighed døgn Duration days	Vandføring m ³ /sek. Discharge m ³ /sec.	Suspenderet transport Suspended load transp.		Bundtransport Bed load transport	
		Q _S t/døgn t/days	Q _S × varighed duration	Q _B t/døgn t/days	Q _B × varighed duration
1	1.08	1.65	1.6	4.4	4.4
4	1.22	1.98	7.9	5.2	20.8
10	1.35	2.35	25.5	5.8	58.0
50	1.35	3.10	155.0	6.8	340.0
50	1.79	4.13	206.0	8.1	405.0
50	2.08	5.60	280.0	9.7	485.0
50	2.43	7.40	370.0	11.8	590.0
50	2.81	10.00	500.0	14.0	700.0
50	3.47	14.90	745.0	18.0	900.0
30	4.51	25.00	750.0	24.6	738.0
10	5.64	38.50	385.0	32.3	323.0
5	6.63	53.00	265.0	39.0	195.0
3	7.81	72.00	216.0	48.0	144.0
1	8.88	92.00	92.0	56.0	56.0
0.5	9.89	114.00	57.0	64.0	32.0
0.3	10.94	140.00	42.0	72.0	21.6
0.2	11.28	150.00	30.0	75.0	15.0
		4126	t/år t/year	5028	t/år t/year

portmængde forekommer ifølge Q, Q_B relationen ved en vandføring på 2.79 m³/sek. Bundtransporten er beregnet ud fra Meyer-Peters formel for datoen den 14/5 1970, hvor vandføringen er 2.93 m³/sek, altså nær den ovennævnte. Ifølge relationen mellem vandføring og bundtransport fås Q_B = 14.8 t/døgn, ud fra målinger af bundformen i marken fås 23.1 t/døgn. I formlen indsættes følgende parametre: rumvægt: 2.65 t/m³, fald: 6 · 10⁻⁴, middeldybde: 0.77 m, middelfalddiameter: 0.39 mm, sigtediameter d₃₅: 0.33 mm og bredde: 5.3 m. Den heraf beregnede transportmængde bliver 24.0 t/døgn. En middeldøgnsbundtransport af denne størrelse forekommer urimelig stor, sammenlignet med de øvrige vandløb. De store værdier kan forårsages af en relativ stor dybde, som i formlen medfører en stor beregnet materialtransport.

Ansager Å

BESKRIVELSE AF VANDLØBET

Relation til Karlsgårdesystemet. Vandløbet er sammen med Grindsted Å ved ændringen i 1945 ført til Karlsgårde Sø via Karlsgårde Kanal.

Oplandsarealet er bestemt ud fra en planimetrering af området, som afgrænses af vandskellene mod Grindsted Å, Holme Å og Kærbæk, idet sidstnævnte dog hører til Ansager Å's opland neden for Ansager, se oversigtskortet, pl. 1.



Fig. 12. Ansager Å ved Ansager Mølle. Oversvømmelse ved tøbruddet marts 1970.

Fig. 12. Ansager Å at Ansager Mølle. Flood in March 1970.

Oplandsarealet til station 200 er 129 km², til Kærbæk 63 km². Ansager Å's totale oplandsareal ved udløbet i Varde-Grindsted Å er 201 km².

Tekniske foranstaltninger i vandløbet. Der har været anlagt vandmøller ved Donslund og Ansager; i forbindelse med opstemningerne er der i dag anlagt dambrug. *Geodætisk Instituts* kort viser, at der omkring 1910 fandtes en række engvandingsanlæg langs vandløbet. *S. Rasmussens* undersøgelse viser, at ingen af disse var i funktion i 1961–62.

Ifølge *Generel Landskabsplan for Ribe Amt* findes der i forbindelse med vandløbet 10 dambrug. Dambruget oprettet i forbindelse med opstemningen ved Ansager er besøgt, idet dambruget kun ligger ca. 4.5 km oven for indløbet til Karlsgårde Kanal (smlg. p. 73). Dambrugets vandindtag ligger i kort afstand fra møllestedet, hvor en frisluse kan åbnes, således at det i møllekanalen aflejrede sand ved store vandføringer kan spules forbi dambruget. Oprensning angives ifølge personale ved dambruget at foregå ca. 10 dg. pr. år. Den oprensede mængde angives at være i hvert fald mindre end 500 m³, sandsynligvis mindre end 100 m³/år. Det er derfor rimeligt at antage, at den i Ansager Å transporterede mængde når frem til »Ansager Sø« ved Karlsgårde Kanals indløb.

Hovedvandløbet er reguleret frem til Donslund, og sidevandløbene er reguleret i næsten hele deres udstrækning.

Vidnesbyrd om erosion. Vandløbets bredder er besøgt på strækningen fra Stenderup til Karlsgårde Kanal. Langs de lavtliggende bredder forekommer ofte mudderbanker og kraftig vækst af vandplanter. På strækningen mellem Stenderup og Ansager skærer åen sig to steder ind i dal-siden og danner mindre skrænter. Neden for Ansager løber åen ca. 500 m under høje skrænter, erosionen synes som følge af disses bevoksning at være af ringe omfang.

Sammenfattende kan det siges, at erosionen på den undersøgte strækning er svag til moderat.

Materialer i ådalen. Ved sandfældemålingerne er der indsamlet prøver af bundmaterialet, som består af sand med gennemsnitskornstørrelse på 0.4 mm. Der er stedvis fundet grus og sten. Mellem bundmaterialet findes også jernkonkretioner og rullede tørvestumper; dynd og finsand findes langs bredderne.

Boringer er foretaget i ådalen umiddelbart oven for Lavborg Bro, st. 200. Der er ikke på dette sted konstateret ler nederst i lagserien, idet boringerne har måttet standses på grund af et stenlag i 2–3 m dybde under terræn. Oven på stenlaget findes sand med vekslende indhold af dynd og planterester. Sandet er i niveau med vandløbets bund. Over sandet findes tørvelag af vekslende tykkelse, stedvis med sand og gytjelag. De nævnte lag er i niveau med den opretstående del af bredderne. Vandløbet har som vist mulighed for at optage sand ved en erosion i bunden.

Længdeprofil. Åens længdeprofil er opmålt på strækningen fra Lavborg Bro til Karlsgårde Kanal, pl. 4. På figuren er tegnet terrænoverfladen, bundlinien samt vandoverflade ved måletidspunktet.

Profilen deles i to dele af opstemningen ved Ansager. Oven for Ansager er terrænet beliggende 0.1–0.5 m over vandoverfladen. Største målte dybde er 1.15 m, gennemsnitsdybden er ca. 0.7 m. Vandspejlet falder på strækningen fra kote 19.42 m DNN til 18.10 m DNN, dvs. i gennemsnit $4.4 \cdot 10^{-4}$. Faldet på den del af strækningen, som ikke er påvirket af opstemningen, er dog større, ca. $5.3 \cdot 10^{-4}$. Faldhøjden ved møllestedet var på måledatoen 1.7 m.

Neden for Ansager er terrænoverfladen 0.3 m–0.8 m over vandoverfladen på størstedelen af strækningen. Størst målte vanddybde er 1.25 m, gennemsnitsdybden er ca. 0.8 m, dybden aftager i den nederste del af åen. Vandspejlet falder fra 16.43 m DNN ved Ansager til 14.10 m ved Karlsgårde Kanal svarende til et gennemsnitsfald på $5.4 \cdot 10^{-4}$.

HYDRAULISKE FORHOLD OG VANDFØRING

Vandstanden, som er observeret i forbindelse med målingerne, er angivet i tabel 13. Højeste og laveste vandstand var henholdsvis kote 19.96 m DNN og 19.36 m DNN. Ved tøbruddet i marts 1970 oversvømmedes store dele af bredderne ved målestedet.

Faldet på målestrækningen er ud fra det opmålte længdeprofil ca. $5 \cdot 10^{-4}$. Målinger i forhold til indnivellerede vandstandsbrædder giver et gennemsnitsfald for målestrækningen $5.5 \cdot 10^{-4}$, størst og mindst målte fald er henholdsvis $5.9 \cdot 10^{-4}$ og $4.9 \cdot 10^{-4}$.

Vandløbets dimensioner. Regulativet fra 16/8 1851 angiver åens dybde neden for Ansager til ca. 1.3 m (2 alen) under terræn. Bundbredden ved frislusen ved Ansager Møllested skulle være ca. 2.2 m og ved jernbanebroen ca. 2.5 m.

Tabel 13. Ansager Å. Station 200.
Table 13. The river Ansager Å. Station 200.

Dato Date	Vandstand DNN Water level DNN	Vandføring m ³ /sek. Discharge m ³ /sec.	Suspenderet transport t/døgn Suspended load transp. t/day Q _S	Bundtransport t/døgn Bed load transport t/day Q _B
1969				
28/7	19.53	1.28	1.22	5.15
25/8	19.63	1.31	2.78	4.44
23/9	19.42	1.11	—	3.51
31/10	19.42	1.05	0.85	3.01
26/11	19.55	1.91	3.34	7.80
17/12	19.48	1.60	3.12	4.22
1970				
13/1	19.43	1.51	3.26	5.60
18/2	19.38	1.35	2.83	6.62
20/3	19.96	5.78	21.77	—
15/4	19.51	2.49	8.22	13.39
13/5	19.42	1.80	3.63	8.61
11/6	19.36	1.45	2.02	4.73
2/7	19.50	1.72	6.19	7.80
3/8	19.45	1.28	1.75	4.03

Bundbredden ved station 200 Lavborg Bro varierede mellem 4.0 m og 6.4 m, i gennemsnit 5.3 m. Dybden var i gennemsnit ca. 0.5 m, største dybde 1.6 m og mindste 0.4 m.

Vandføring og strømhastighed. Strømhastighederne varierer mellem 0.3 m og 0.8 m/sek. De målte vandføringsværdier fremgår af tabel 13. Største og mindste vandføringsværdi var henholdsvis 5.78 m³/sek og 1.05 m³/sek.

MATERIALETRANSPORT

Transport af suspenderet materiale. De enkelte måleresultater er anført i tabel 13. Resultaterne er afbildet på dobbeltlogaritmisk papir sammen med vandføringen. På papiret fig. 13 er endvidere afbildet den beregnede logaritmiske regressionslinje. Regressionsligningen er $Q_s = 1.26 \cdot Q^{1.78}$, korrelationskoefficienten $r = 0.9197$ er signifikant forskellig fra 0 på 0.05 niveauet.

Transport af opløste stoffer. Gennemsnittet af de obser-

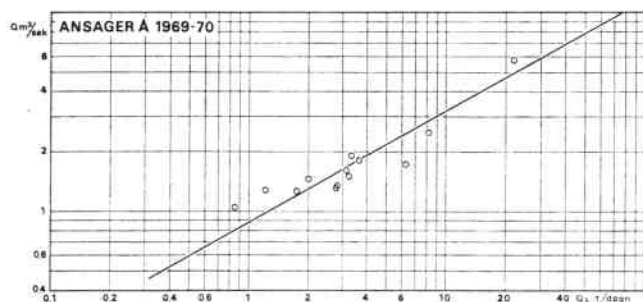


Fig. 13. Ansager Å, suspenderet transport og vandføring.
Fig. 13. Ansager Å, relation between suspended load transport and discharge.

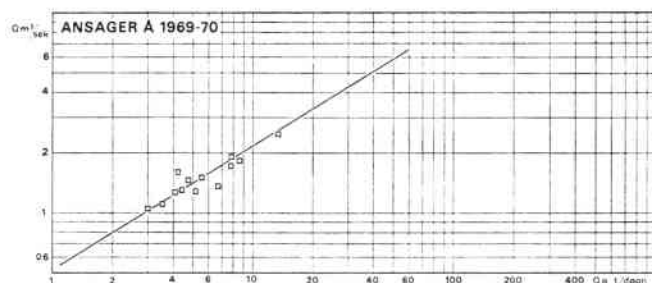


Fig. 14. Ansager Å, bundtransport og vandføring.
Fig. 14. Ansager Å, relation between bed-load transport and discharge.

verede koncentrationer er 98 mg/l. Største koncentration er 135 mg/l og mindste 70 mg/l. De målte værdier er lave, og vandløbet synes ikke at være belastet med spildevand i større mængde.

Bundtransport. De beregnede bundtransportmængder er angivet i tabel 13. Beregningerne er foretaget ud fra observationer af bundformernes vandring. Bundformerne i måltværsnittet er på overgangen mellem rippler og banker, ved de laveste vandføringer forekommer kun rippler. Sammenhængen mellem vandføring og bundtransport er bestemt ved logaritmisk regression, regressionslinjen er plottet sammen med de observerede værdier på dobbeltlogaritmisk papir, fig. 14.

Regressionsligningen er $Q_B = 2.95 \cdot Q^{1.61}$.

Korrelationskoefficienten $r = 0.9123$ er signifikant forskellig fra 0 på 0.05 niveauet.

Forsøg med farvet sand. Det farvede sand (grønt) er udlagt 17/8 1969 kl. 17.00 i måltværsnittet neden for Lavborg Bro. Tabel 14 viser yderste forekomst, tyngdepunktsafstand i m fra udlægningstværsnittet og maksimal kon-

Tabel 14. Ansager Å. Station 200.

Forsøg med farvet sand.

Table 14. The river Ansager Å. Station 200.

Experiment with fluorescent-coloured sand.

Dato Date	Yderste afstand fra udlægningspunkt Extreme advance of sand from initial point	»Tyngdepunkts- afstand« "Centroid"-distance from initial point	Maksimal koncentr. korn/kg Max. concentration grains/kilo
1969	m	m	
17/8	udlægning af farvet sand tracer laid out		
28/8	400	97	11627
25/9	900	288	1970
30/10	1000	309	1709
27/11	1200	438	1518
18/12	1450	416	1145
1970			
15/1	1500	431	468
20/2	1600	625	306
—			
16/4	5200	1137	122

centration. Det ses, at det farvede sand bevæger sig langsommere end i Grindsted Å, men hurtigere end i Holme Å. Dette harmonerer med indtrykket fra de øvrige transportmålinger. Den største materialeforskydning foregår også her i forbindelse med tøbruddet. Forskydningen i forbindelse med tøbruddet er større end i hele den forudgående periode. Materiale udlagt ved Lavborg når således frem til Karlsgårde Kanal i løbet af et års tid.

Beregning af materialetransport for et gennemsnitsår. Varighedskurven for Varde Å ved Sig er antaget gældende, og gennemsnitsårstransporten er beregnet på grundlag af varighedskurven og relationen mellem vandføring og transportmængden. Beregningen og resultatet er vist i tabel 15.

Gennemsnitsårstransporten af suspenderet materiale ved st. 200 bliver 1221 t/år, svarende til 9.5 t/km²/år, og for bundtransport 2540 t/år, svarende til 19.7 t/km²/år. De tilsvarende værdier ved udløbet i »Ansager Sø« bliver for suspenderet 1300 t/år. Materialet, som opgraves ved Ansager dambrug, hidrører overvejende fra det bundtransporterede materiale, mængden af opgravet materiale sættes til ca. 100 m³/år, med en rumvægt på 1.7 t/m³ fås en vægt på 170 t. »Ansager Sø« vil således årligt modtage $19.7 \text{ t/km}^2/\text{år} \cdot 138 \text{ km}^2 \div 170 \text{ t/år} = \text{ca. } 2500 \text{ t/år}$ som bundtransporteret materiale, svarende til 1470 m³/år, hvis rumvægten sættes til 1.7 t/m³.

Tabel 15. Ansager Å. Station 200.

Beregning af materialetransport for et gennemsnitsår.

Table 15. The river Ansager Å. Station 200.

Computation of sediment transport for an 'average' year.

Varighed døgn Duration days	Vandføring m ³ /sek. Discharge m ³ /sec.	Suspenderet transport Suspended load transp.		Bundtransport Bed load transport	
		Q _S t/døgn t/days	Q _S × varighed duration	Q _B t/døgn t/days	Q _B × varighed duration
1	0.63	0.56	0.6	1.45	1.5
4	0.71	0.69	2.8	1.67	6.7
10	0.79	0.84	8.4	2.00	20.0
50	0.90	1.04	52.0	2.47	123.5
50	1.04	1.38	69.0	3.15	157.5
50	1.21	1.79	89.5	4.00	200.0
50	1.42	2.40	120.0	5.15	258.0
50	1.64	3.10	155.0	6.60	330.0
50	2.06	4.50	225.0	9.40	470.0
30	2.63	7.10	213.0	14.00	420.0
10	3.28	10.40	104.0	20.00	200.0
5	3.87	14.00	70.0	26.00	130.0
3	4.55	18.50	55.5	34.00	102.0
1	5.18	23.80	23.8	42.00	42.0
0.5	5.77	29.00	14.5	49.50	25.0
0.3	6.38	34.00	10.2	58.00	17.4
0.2	6.58	36.00	7.2	62.00	12.4
		t/year		t/year	
		1221 t/år		2536 t/år	

Beregning af transport på basis af Meyer-Peters formel. Ud fra omstående kan middeldøgnbundtransportmængden findes som 6.9 t/døgn. Ifølge relationen mellem vandføring og bundtransport fås en hertil svarende vandføring på 1.7 m³/sek.

Som beregningseksempel er udtaget data fra en måling 13/5 1970, hvor vandføringen var 1.8 m³/sek, altså lidt højere end den ovennævnte. Materialetransporten bestemt ud fra bundformernes vandring er 8.61 t/døgn, fra relationen mellem vandføring og bundtransport fås 7.6 t/døgn. Følgende data indsættes i Meyer-Peters formel: Rumvægt 2.65 t/m³, fald $5.5 \cdot 10^{-4}$, dybde 0.49 m, middelfalddiameter 0.41 mm, sigtediameter d₃₅: 0.37 mm og bredde 6.4 m. Den heraf følgende beregnede transportmængde bliver 7.1 t/døgn, altså en væsentlig bedre overensstemmelse end for Grindsted Å. Det bemærkes, at tværsnittet her er bredere og mindre dybt end for Grindsted Å's vedkommende.

Kærbæk

BESKRIVELSE AF VANDLØBET

Relation til Karlsgårde-systemet. Vandløbet er et sidevandløb til Ansager Å, med hvilken det forener sig vest for Ansager. Årsagen til, at dette vandløb målttes særskilt, var dels, at der ikke fandtes egnede målesteder i Ansager Å neden for sammenløbet, og dels af oplandsarealet var stort. Vandløbet har følgelig været tilsluttet systemet siden 1945.

Oplandsarealet er dels angivet på kort over reguleringen af den nederste del af vandløbet og dels planimetreret i forbindelse med de øvrige planimetreringer. Oplandsarealet er 63 km².

Tekniske foranstaltninger i vandløbet. Der har tidligere været engvandingsanløb langs med vandløbet, alle anlæg var imidlertid forsvundet ved undersøgelsen i 1961–1962. Ved Holtgård sydøst for Kvie Sø findes et mindre dambrug. Vandløbet er, bortset fra en kort strækning, reguleret. Reguleringer i vandløbet har fundet sted i 50'erne, og den nederste strækning er reguleret i 1962.

Vidnesbyrd om erosion. Der er ikke foretaget en egentlig rekognoscering langs vandløbet, men en række overgangsteder er besøgt. Tværprofilet synes ved st. 301 udvidet lidt i forhold til regulativet. Bunden er ved st. 301 antagelig i perioder med lav vandføring hævet ved aflejring af sand, idet det ikke har været muligt at finde de i regulativet angivne bundpæle på målestrækningen. Ved Morsbøl var der tegn på, at der var eroderet i de nederste dele af skråningerne. Samme sted konstateredes efter en storm i foråret 1969, at flyvesand var vandret ud i vandløbet.

Materialet i bunden ved st. 301 består af sand af samme karakter som i de øvrige vandløb. I sommertiden er kornstørrelsen finere, og bunden bærer ofte præg af slam, som kommer fra slagteriudløbet, som ligger ca. 100 m

oven for målestedet. Ved Kvie Bro (oprindelig st. 300) består bunden af grus og sten, det samme er tilfældet ved Morsbøl. Der er ikke foretaget boreundersøgelser.

Længdeprofil. Der er ikke tegnet længdeprofil af vandløbet, idet vandløbets længde og fald er bestemt af reguleringerne. Vandløbet udspringer ca. 53 m over DNN nord for Hegnsvig, ved udløbet i Ansager Å er bundkoten 14.86 m DNN.

HYDRAULISKE FORHOLD OG VANDFØRING

Vandstand. Vandstandsmåling er kun foretaget i forbindelse med de månedlige rutinemålinger, og vandstanden er ikke indmålt i forhold til DNN. I tabel 16 er i stedet angivet den målte gennemsnitsdybde.

Vandløbets fald. Oplysninger om faldet kan fås ud fra regulativerne for de regulerede strækninger. Kun regulativet for den nederste del er undersøgt. Ud fra regulativet er faldet fra station 0014-1100 (stationeringen starter øverst i vandløbet) $10 \cdot 10^{-4}$, på den resterende strækning er faldet angivet $1.2 \cdot 10^{-4}$.

Vandløbets dimensioner. Målestrækningen har ifølge regulativet bundbredden 3.0 m og anlægget 1.5. Bundbredden synes at være udvidet 0.1-0.3 m, og der er sat faskiner langs kanten. Vanddybden fremgår af tabel 16.

Strømhastighed og vandføring. Største og mindste gennemsnitsstrømhastighed er henholdsvis 0.85 og 0.27 m/sek. Vandføringen ses i tabel 16. Det ses, at forskellen mellem største og mindste vandføring er større for dette vandløb end for de øvrige undersøgte. Dette kunne tyde på, at reguleringerne har medført en ændring i afstrømningsforholdene.

Tabel 16. Kærbæk. Station 301.

Table 16. Kærbæk. Station 301.

Dato Date	Vanddybde m Water depth	Vandføring m ³ /sek. Discharge m ³ /sec.	Suspenderet transport t/døgn Suspended load transp. t/day Q _S	Bundtransport t/døgn Bed load transport t/day Q _B
1969				
31/7	0.24	0.283		
26/8	0.26	0.336	0.363	2.17
26/9	0.19	0.226	0.389	0.48
31/10	0.20	0.262		0.50
27/11	0.43	0.821	4.639	4.71
18/12	0.36	0.600		
1970				
14/1	0.32	0.450		3.21
19/2	0.27	0.468	2.380	
18/3	1.34	4.436	90.450	7.62
16/4	0.45	1.089	5.617	6.07
12/5	0.20	0.397	1.205	5.59
12/6	0.25	0.405	2.205	2.83
3/7	0.20	0.490	1.727	3.29
4/8	0.22	0.334	1.132	1.87

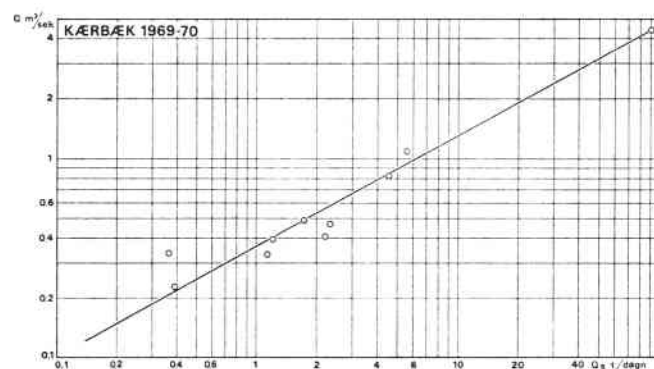


Fig. 15. Kærbæk, suspenderet transport og vandføring.

Fig. 15. Kærbæk, relation between suspended load transport and discharge.

MATERIALETRANSPORT

Transport af suspenderet materiale. De målte værdier er sammen med vandføringen angivet i tabel 16. Den beregnede regressionslinje er sammen med de enkelte målinger afsat på dobbeltlogaritmisk papir, figur 15. Regressionsliniens ligning er: $Q_s = 6.28 \cdot Q^{1.79}$, korrelationskoefficienten $r = 0.9676$ er signifikant forskellig fra 0 på 0.05 niveau. Der er ved beregningerne set bort fra en måling, som domineredes af spildevand.

Transport af opløste stoffer. Størst målte koncentration af opløste stoffer er 326 mg/l, og mindst målte er 64 mg/l. Gennemsnitskoncentrationen for de angivne målinger er 201 mg/l. De høje koncentrationsværdier er uden tvivl betinget af spildevand, især fra slagteriet, som udtømmer spildevand ca. 100 m oven for målestedet. Spildevandskoncentrationen vil antagelig have en døgnvariation, det må derfor bemærkes, at prøveoptagningen har fundet sted mellem kl. 09.00 og 17.00.

Bundtransport. De målte bundtransportværdier er angivet i tabel 16. Den beregnede regressionslinje $Q_B = 4.32 \cdot Q^{0.807}$ er tegnet sammen med de observerede værdier på dobbeltlogaritmisk papir. Korrelationskoefficienten

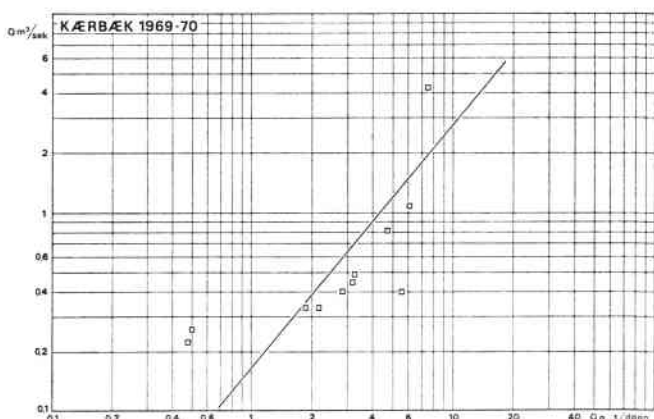


Fig. 16. Kærbæk, bundtransport og vandføring.

Fig. 16. Kærbæk, relation between bed-load transport and discharge.

ten $r = 0.7298$ er signifikant forskellig fra 0 på 0.05 niveau. Der forekommer betydelige afvigelser mellem enkelte punkter og regressionslinien, fig. 16. Den meget afvigende måleværdi den 12. maj 1970 skyldes antagelig de store mængder materiale, som er tilført vandløbet ved tøbruddet.

Beregning af materialetransport for et gennemsnitsår. Det er ovenfor nævnt, at reguleringen sandsynligvis kan have ændres vandløbets afstrømnings fordeling.

Sammenlignet med de øvrige vandløb synes Kærbæk at have mindre minimumværdier og større maksimumværdier. Anvendelsen af varighedskurven for Varde Å ved Sig til beregning af afstrømningsforløbet i Kærbæk giver således kun et skøn over de reelle værdier i mangel af bedre oplysninger. Beregningerne er vist i tabel 17. Årsmiddeltransporten af suspenderet materiale bliver 1693 t/år svarende til 26.9 t/km²/år, og for bundtransport fås 1270 t/år svarende til 20.2 t/km²/år. En varighedskurve med samme årsmiddelfastrømning som for Varde Å ved Sig, men med mindre minimumsværdier og større maksimumværdier vil, hvis den sammenholdes med de her angivne relationer mellem sedimenttransport og vandføring give større årstransportværdier end de her beregnede. Da en sådan ændring har fundet sted er de her angivne tal for årstransporten sandsynligvis for lave.

Tabel 17. Kærbæk. Station 301.

Beregning af materialetransport for et gennemsnitsår.

Table 17. Kærbæk. Station 301.

Computation of sediment transport for an 'average' year.

Varighed døgn Duration days	Vandføring m ³ /sek. Discharge m ³ /sec.	Suspenderet transport Suspended load transp.		Bundtransport Bed load transport	
		Q _S t/døgn t/days	Q _S × varighed duration	Q _B t/døgn t/days	Q _B × varighed duration
1	0.31	0.76	0.8	1.67	1.7
4	0.35	0.94	3.8	1.84	7.4
10	0.38	1.10	11.0	1.98	19.8
50	0.44	1.43	71.5	2.22	111.0
50	0.51	1.87	93.5	2.52	126.0
50	0.59	2.42	121.0	2.82	141.0
50	0.69	3.24	162.0	3.20	160.0
50	0.80	4.20	210.0	3.60	180.0
50	0.99	6.20	310.0	4.31	216.0
30	1.28	10.00	300.0	5.38	161.7
10	1.62	15.00	150.0	6.40	64.0
5	1.89	20.00	100.0	7.36	36.8
3	2.22	26.50	79.5	8.30	24.9
1	2.53	33.80	33.8	9.20	9.2
0.5	2.82	41.00	20.5	10.10	5.1
0.3	3.12	49.00	14.7	11.10	3.3
0.2	3.21	52.00	10.4	11.30	2.3
		1693 t/år t/year		1270 t/år t/year	

Beregning af transport på basis af Meyer-Peters formel. Beregningen er udført ud fra data indsamlet 12/5 1970. Vandføringen målt den pågældende dag svarer ikke til den vandføring, som skulle give middeltransportmængden. Datoen er fastholdt for at kunne sammenlignes med de øvrige vandløb.

De indsatte data er følgende: Rumvægt 2.65 t/døgn, fald $12.0 \cdot 10^{-4}$, dybde 0.35 m, middelfalddiameter 0.40 mm, sigtediameter d_{35} : 0.37 mm og bredden 3.2 m. Den beregnede transportmængde er 12.28 t/døgn, den i marken målte er 5.59 t/døgn. Det ses, at disse tal afviger væsentligt fra de værdier, som fås ud fra regressionslinien og må anses for at være for store.

OVERSIGT OVER RESULTATERNE OG DISKUSSION

Der er konstateret en kraftig aflejring af materiale i Karlsgårde Sø, aflejringens placering og omfang ses af luftbillederne fig. 1 og ud fra en sammenligning mellem kortene over det oprindelige reservoir og det nuværende (1970) pl. 2 og 3. Materiale-mængden beregnet ud fra den del af aflejringerne, som er synlig på luftbillederne, udgør $0.215 \cdot 10^6$ m³. Den resterende materiale-mængde afsat i søens dybeste del er ud fra pejlinger skønnet til $0.08 \cdot 10^6$ m³, ialt $0.30 \cdot 10^6$ m³.

Karakteren af det aflejlrede materiale er bestemt ud fra overfladeprøver. I renden, som er udformet i aflejringerne, er materialet ret sandet, medens prøverne fra fladerne langs med renden har middeldkornstørrelse i siltfraktionen (0.06–0.002 mm). Indholdet af organisk materiale er højt i prøverne fra fladerne (30–50 %, vægt).

Den nuværende reservoirkapacitet er ca. 20 % mindre end den oprindelige regnet til vandstand i kote 12.80 m DNN. Det effektive reservoirtvolumen er mindsket fra $2.15 \cdot 10^6$ m³ til $1.74 \cdot 10^6$ m³. Heraf skyldes $0.30 \cdot 10^6$ m³ direkte en aflejring af materiale, medens $0.11 \cdot 10^6$ m³ skyldes, at aflejringerne afspærrer den sydøstlige del af søen.

Der findes kun få oplysninger om det oprindelige anlæg, sammenholdt med de udførte målinger synes der at være foregået en betydelig erosion i Holme Kanal.

En sammenligning mellem konstruktionstegningerne og de opmålte profiler viser, at der er foregået en kraftig brederosion i Karlsgårde Kanal. I kanalen er der fra st. 10050–st. 7500 sket en hævnning af bunden som følge af en sandindvandring på $14.6 \cdot 10^3$ m³. Fra st. 7500–st. 2500 er bunden underdybet i vekslende grad. På grundlag af brederosionen på strækningen, hvor sandet er aflejret (st. 10050–st. 7500) antages det, at der også her er foregået en underuddybning, inden sandet er vandret ind i kanalen. Sandet antages at vandre ind i kanalen fra det tidspunkt, hvor strømlejet i »Ansager Sø« er fyldt med aflejret sand.

Af ovenstående følger, at en del af det i Karlsgårde Sø aflejlrede materiale stammer fra erosion i tilførselskanaler-

Tabel 18. Materialetransport i vandløbene ved kanalindløbene.
 Table 18. Transport of material at the canal entrances.

Vandløb Watercourse	Opland Catchment area	Susp. transport Suspended load transport t/km ² /år	Bundtransport Bed load transport t/km ² /år	Susp. transport Suspended load transport t/år	Bundtransport Bed load transport t/år	Bundtransport Bed load transport m ³ /år
Grindsted Å	238	18.7	22.8	4400	5400	3200
Ansager Å	138	9.5	19.7	1300	2500*	1500*
Kærbæk	63	26.9	20.2	1700	1300	750
Holme Å	149	10.1	6.7	1500	1000	600
Sum				8900	10200	6050

* Der opgraves ca. 100 m³ materiale pr. år ved Ansager Dambrug.
 Estimated 100 m³ is dredged yearly at Ansager Troutpond Farm.

ne. At nedbrydning af kanalens sider kan tilføre store materialemængder, blev iagttaget ved tøbruddet i 1970, hvor der fra de arealer, som afvander direkte til kanalen som følge af de tilstrømmende vandmængder, dannedes store regnkløfter i kanalens skråninger, hvorved 100–200 m³ materiale spuledes ud i kanalen.

Ved indløbsbygværkerne sker der en betydelig ændring af vandløbets fald ved Holme Kanal fra ca. $5 \cdot 10^{-4}$ til $2.5 \cdot 10^{-4}$ og ved Karlsgårde Kanal fra ca. $6 \cdot 10^{-4}$ til $1 \cdot 10^{-4}$.

Der findes ingen oplysninger om aflejringernes størrelse ved indløbet til Holme Kanal. Ud fra indløbets form og den kendsgerning, at frislusen kun undtagelsesvis er åben, må det antages, at alt bundtransporteret materiale fra Holme Å vil aflejres ved indløbet eller i kanalen.

For Karlsgårde Kanals vedkommende er den aflejrede mængde skønnet ud fra oplysninger om omkostningerne ved oprensningen. Den således fundne materialemængde er ca. $80 \cdot 10^3$ m³, som er aflejret i selve kanalen, ialt ca. $95 \cdot 10^3$ m³. Årsagen til, at materialeaflejringen først er mærkbar, efter at anlægget har været i drift i ca. 10 år, er, at åens gamle leje, som har ligget lavere end indløbsbygværkets bundkote, først fyldes op.

Indvandring af materiale i kanalen begynder først, når bunden oven for indløbsbygværket er hævet over indløbets bundkote.

Bundtransport i den nedre del af kanalerne foregår kun i begrænset omfang som følge af materialets aflejring og oprensning ved indløbsbygværkerne.

Den som suspenderet materiale tilførte transportmængde vil, bortset fra den mængde, som løber ud gennem frislusen ved Karlsgårde Kanals indløb, føres frem til Karlsgårde Sø, hvor en stor del vil afsættes.

På grundlag af de ved undersøgelsen foretagne målinger er bestemt en relation mellem vandføring og materialetransport, som sammen med varighedskurven for Vardes Å ved Sig anvendes til beregning af gennemsnitsårs-transporten, se tabel 18.

Fra Holme Å modtager Karlsgårde-systemet 1500 t/år af suspenderet materiale svarende til 10.1 t/km²/år. For bundtransporten gælder særlige forhold, idet der ved Hal-

truplund Dambrug årligt ifølge oplysninger oprenses ca. 1200 m³/år, der, hvis rumvægten sættes til 1.7, giver 2040 t/år. Den beregnede middellårige bundtransportmængde er 990 t/år eller kun 6.7 t/km²/år; hvis denne mængde lægges sammen med den ved Haltruplund Dambrug oprensede mængde fås 3030 t/år som vandløbets årlige totaltransport. Dette divideret med oplandsarealet giver 20.3 t/km²/år, hvilket svarer godt til værdierne fra de øvrige vandløb. Holme Kanal modtager således kun 580 m³/år eller ca. 1/3 af den totale bundtransport i Holme Å.

Karlsgårde-systemet modtager fra sine tilløb i gennemsnit 8900 t/år af suspenderet materiale og 10200 t/år som bundtransport svarende til 6000 m³/år. Hertil kommer materiale tilført fra søens og kanalerens opland, som dog kun udgør 27 km² af de ialt 615 km².

Materialetransportens kilder

De enkelte vandløbs procentiske andel af totaltransporten kan beregnes (den her omtalte »totaltransport« omfatter ikke materialetilførsel fra den del af oplandet, som har direkte afløb til kanalerne eller Karlsgårde Sø). Fra Grindsted Å, hvis andel af oplandet er 238 km² eller 39 %, fås 49 % af den suspenderede transport og 53 % af bundtransportmængden. Fra Ansager Å, hvis opland med undtagelse af Kærbæk udgør 138 km² eller 22 % af total-oplandsarealet, fås 15 % af den suspenderede transport og 25 % af bundtransporten. Kærbæk har et opland på 63 km² eller 10 % af det samlede opland. Den suspenderede transport er 19 % og bundtransporten 12 % af totaltransportværdierne. Holme Å's andel af Karlsgårde-systemets opland er 149 km² eller 24 %, vandløbets andel af suspenderet transport er 17 % og af bundtransporten kun 10 %.

Det ses, at Grindsted Å i forhold til sit oplandsareal har en for stor materialetransport, og at Grindsted Å og Kærbæk har en stor andel af den suspenderede transport. Bundtransporten regnet som t/km²/år er omtrent af samme størrelse for de betragtede vandløb, omend Grindsted og Kærbæk sandsynligvis ligger lidt højere end de øvrige. Mængden af suspenderet transport regnet som t/km²/år er omtrent lige stor for Ansager Å og Holme Å,

medens Kærbæk og Grindsted har værdier mere end dobbelt så store.

Inden for de enkelte vandløbs nedbørsområder kan materiale tilføres ved erosion af terrænoverfladen, erosion i grøfter og dræn samt erosion i hovedvandløbets bund og sider. Endelig kan betydelige materialemængder tilføres vandløbene i forbindelse med jordfygning. Ud over ovennævnte naturbetingede materialetilførsel kan tilføres materiale ved udledning af spildevand. I Ansager Å og Holme Å er der ved rekognosceringerne kun konstateret en svag til moderat erosion i hovedvandløbets bund og sider, hvoraf følger, at det i vandløbet transporterede materiale hidrører fra en erosion, som er fordelt over oplandet.

I Grindsted Å er der ved rekognosceringen konstateret tegn på erosion i hovedvandløbet af større omfang end i de ovennævnte vandløb. En beregning på grundlag af en stikprøve viser, at der årligt på grund af erosion i dalsiderne tilføres i størrelsesordenen 100 t materiale eller ca. 2 % af bundtransportmængden i Grindsted Å. Selv om materialemængden hidrørende fra erosion i bund og bredder er større her end for Ansager Å og Holme Å, må man dog på grundlag af de ensartede værdier for bundtransporteret mængde pr. km² opland for de forskellige vandløb slutte, at hovedparten af materialet også her hidrører fra naturlig erosion i oplandet.

I Kærbæk har reguleringen antagelig øget erosionen i selve vandløbet, indtil en ny ligevægtssituation er opnået.

Grindsted Å og Kærbæk har som nævnt et større indhold af suspenderet materiale regnet i t/km²/år end Ansager Å og Holme Å. Den sandsynligste forklaring på dette fænomen er, at de to vandløb har en større spildevandsbelastning.

Opstilling af en materialebalance

I Karlsgårde Sø er aflejret $0.30 \cdot 10^6$ m³ siden oprettelsen af den første kraftstation i 1921. Dette er en nettomaterialetilgang, idet en ukendt mængde materiale bortgår ved kraftværket og frislusen ved Hoddeskov. Den heraf følgende årlige nettotilgang (se p. 66) vil i dag være 9500 m³.

Den i Holme Kanal aflejlrede mængde er ukendt. I Karlsgårde Kanal er aflejret ca. $14.6 \cdot 10^3$ m³ og foran indløbsbygværket ca. $80 \cdot 10^3$ m³, ialt ca. $95 \cdot 10^3$ m³.

De på grundlag af materialetransportmålingerne beregnede gennemsnits-transportværdier er angivet som t/år i modsætning til ovennævnte tal for de aflejlrede materialemængder, som angives i m³. En direkte sammenligning kræver kendskab til rumvægtene af såvel det aflejlrede materiale som suspenderet og bundtransporteret materiale. En bestemmelse af rumvægten er imidlertid kostbar og tidskrævende. Det er næppe urimeligt at sætte densiteten af det bundtransporterede materiale til 1.7 t/m³, medens densiteten af såvel aflejlret materiale som suspenderet materiale sandsynligvis udviser betydelige va-

riationer i rum og tid. En svensk undersøgelse af Valter Axelsson og Lars Håkanson: Sambandet mellem Kvicksilverförekomst och sedimentologisk Miljö i Ekoln. UNGI Rapport 11, Uppsala 1971, har observeret rumvægte på 1.25 t/m³ for søsedimenter; en rumvægt af denne størrelse er forsøgsvis anvendt her.

For Holme Å er gennemsnitsårstransporten af suspenderet og bundtransporteret materiale multipliceret med 49 år (den tid, som Holme Å har leveret materiale til Karlsgårde-systemet). Vægten af suspenderet materiale $1.5 \cdot 10^3 \cdot 49$ t = ca. $74 \cdot 10^3$ t, der hvis rumvægten sættes til 1.25 t/m³ svarer til $59 \cdot 10^3$ m³. For bundtransporten er den nuværende lave transportrate forudsat gældende for hele perioden $0.990 \cdot 10^3 \cdot 49$ t = $48 \cdot 10^3$ t eller $28 \cdot 10^3$ m³ med rumvægt 1.7 t/m³.

Tallene for de øvrige vandløb multipliceres med 25 år og de samme densitetsværdier, se tabel 19.

I systemet er der i perioden 1921-1970 konstateret en nettoaflejring på $0.30 \cdot 10^6$ m³ (i Karlsgårde Sø) + $0.015 \cdot 10^6$ (i Karlsgårde Kanal) + $0.080 \cdot 10^6$ m³ (ved indløbet til Karlsgårde Kanal) + $X \cdot 10^6$ m³ (i Holme Kanal), ialt mindst $0.40 \cdot 10^6$ m³. Den i samme periode under de givne forudsætninger beregnede tilførte materialemængde (summen af suspenderet transport + bundtransport fra hele området) er $0.40 \cdot 10^6$ m³. Den beregnede totale tilførte materialemængde er af samme størrelse som den i systemet aflejlrede materialemængde; da der imidlertid passerer en ukendt materialemængde gennem Karlsgårde Sø og frislusen ved Hoddeskov (se p. 66 og p. 68) er den beregnede totale tilførsel mindre end den faktiske. Den faktiske materialetilførsel i perioden kan ikke måles, men hvis søens opfangningseffektivitet (p. 65) er 40-50 %, betyder det, at den faktiske materialetilførsel må have været af størrelsesordenen $7 \cdot 10^5$ m³ (nettoaflejringen i Karlsgårde Sø $\times 2$ + aflejringen i Karlsgårde Kanal).

Tabel 19. Materialetransport 1921-70 (beregnet).

Tabel 19. Transport of material 1921-70 (Computed).

Vandløb Watercourse	Antal år Years	Opland Catchment area km ²	Suspenderet materiale Suspended matter 10 ³ m ³	Bund- transporteret materiale Bed load 10 ³ m ³
Grindsted Å	25	238	88	79
Ansager Å	25	138	26	38
Kærbæk	25	63	34	19
Holme Å	49	149	59	29
Karlsgårde Kanal	25	5	3*	
Holme Kanal + Nørbæk m.m.	49	22	22*	
Sum		615	232	165

* Sum af suspenderet og bundtransporteret materiale beregnet ud fra en antaget årlig ydelse på 20 m³/km².

* Sum of both transport forms computed of estm. 20 m³/km².

Mængden af materiale aflejret ved indløbet til Karlsgårde Kanal og i selve kanalen er ca. $9.5 \cdot 10^3 \text{ m}^3$. Summen af de beregnede bundtransportmængder for de vandløb, som samles her, er $13.5 \cdot 10^3 \text{ m}^3$. Da der i Karlsgårde Kanal foregår en begrænset transport af bundmateriale til søen, således at ikke al bundtransport vil aflejres ved indløbet til kanalen, forekommer de to transportværdier at stemme rimeligt overens. Endvidere er det muligt, at en del af den suspenderede transport indgår i bundtransportværdierne målt ud fra bundformens vandring (se p. 59). De målte værdier af bundtransport synes derfor at være rimelige, eventuelt lidt for store, medens den målte mængde suspenderet materiale synes for lille. En mulig forklaring er, at den suspenderede transportrate som følge af ændringer i oplandet tidligere har været større end i dag. Endelig kan det tænkes, at tilførslen af næringsholdigt spildevand har medført udfældning af stoffer eller øget organisk produktion i Karlsgårde Sø.

Sammenligning med andre undersøgelser og diskussion

Rutinemæssige undersøgelser af materialetransporten foretages ikke i Danmark. Der foreligger derfor kun i begrænset omfang publiceret materiale fra specialundersøgelser.

Den suspenderede transport i Skjernå er for et gennemsnitsår beregnet af civilingeniørstuderende fra DTH i et eksamensprojekt udført ved *Laboratoriet for Hydraulik* under ledelse af lic. tech. *Eggert Hansen*. Målingerne er udført med samme apparatur og metodik som anvendt i herværende undersøgelse. Den beregnede årstransport var 23883 t/år fra et opland på 2200 km², svarende til 11 t/km²/år. Dette tal svarer således meget godt til de tilsvarende tal fra Holme Å og Ansager Å, medens tallene fra Grindsted Å og Kærbæk er væsentlig større.

Målinger af bundtransport er foretaget af *Hedeselskabet* og *Laboratoriet for Hydraulik ved DTH* og publiceret i: *Eggert Hansen* »Bed load Investigation in Skive-Karup River«, *Ingeniøren*, Transactions nr. 3, 1966, og *Frank Engelund* »Bed Load Measurements in Danish Alluvial Streams«, *Basic Research Progress Report* nr. 15, okt. 1967. De heri angivne værdier for bundformernes størrelse og vandringshastighed er af samme størrelsesorden som de ved denne undersøgelse konstaterede. I *Hedeselskabets* »Rapport vedrørende sandvandringen i Brede Å fra Roost Bro til Ballum Sluse« 1968 er angivet en årlig bundtransportmængde på 4300 t/år fra et opland på 292 km² svarende til 14.7 t/km²/år, dvs. noget mindre end de transportrater, som er fundet i herværende undersøgelse.

Ved anvendelsen af undersøgelsens resultater må man gøre sig klart, at målinger af denne art er behæftet med en betydelig usikkerhed, som det også fremgår af de enkelte målingers spredning om regressionslinierne. Resultaterne er angivet som gennemsnitsårstransport, men må-

linger over en længere periode vil antagelig vise, at de enkelte års værdier kan afvige betydeligt fra gennemsnittet.

De opnåede resultater forekommer ved sammenligning med andre undersøgelser at være rimelige. De angivne bundtransportmængder er i rimelig overensstemmelse med de hidtil aflejrede materialemængder. Der synes således ikke at være grund til at antage, at bundtransporten er øget med tiden, men man må fremover regne med en tilførsel af lignende størrelse som i dag (1969–1970).

Mængden af suspenderet transport synes at være for lille, da der imidlertid i Karlsgårdeværkets funktionsperiode er foretaget mange ændringer i oplandet (vandløbs-regulering og øget opdyrkning) er det en rimelig antagelse, at transporten for suspenderet materiale tidligere har været større. Den målte mængde suspenderet materiale kan endvidere blive mindre end den faktisk tilstedeværende mængde, fordi målerens indtagsåbning kun når ned til ca. 10 cm over bunden. Da den største sedimentkoncentration findes nær bunden, får dette forhold større betydning, jo mindre dybden i vandløbet er. Sedimentationsraten på 9500 m³/år, som er beregnet på grundlag af materialeafsætningen i Karlsgårde Sø i perioden 1921–1970, er derfor antagelig i dag for stor. Ud fra de udførte målinger og en densitet på 1.25 t/m³/år fås, hvis opfangningseffektiviteten i Karlsgårde Sø er 40 %, en årlig materialeafsætning på $(8900/1.25 \cdot 0.40) = 2800 \text{ m}^3/\text{år}$. Man vil derfor være på den sikre side, hvis man anvender sedimentationsraten på 9500 m³/år.

De enkelte vandløb bidrager til den samlede materialetransport med en andel, der for bundtransportens vedkommende svarer nogenlunde til deres andel af oplandsarealet; dette er ikke tilfældet for den suspenderede transport. Inden for det enkelte vandløbs nedbørsområde er materialetransportbidragene spredt på forskellige kilder, således at det ikke er muligt med enkelte foranstaltninger at formindske materialetilførslen kendeligt.

FREMTIDIG UDVIKLING

Den nedenfor beskrevne fremtidige udvikling vil kun være gældende, hvis der i oplandet ikke foretages større ændringer, som kan have indflydelse på materialetransporten. Her tænkes især på en mere intensiv landbrugsmæssig udnyttelse og større vandløbsreguleringer.

Karlsgårde Sø

Der vil fremover foregå en udfældning af materiale i Karlsgårde Sø. Aflejringsraten beregnet ud fra den hidtidige aflejringsmængde er 9500 m³/år, dette tal er i forhold til de ved undersøgelsen målte værdier for højt. Reservoirets rumfang var i 1970 $1.74 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Med den nævnte maksimalrate på 9500 m³ vil der gå 150–200 år, inden reservoiret er helt fyldt op. Under hensyntagen til en formodentlig mindre aflejringsrate er det rimeligt at

antage, at der de første 25 år ikke vil være nogen væsentlige gener forbundet med aflejringen. Det lille åremål er sat, fordi aflejringen ikke foregår jævnt fordelt i reservoiret. Det tilførte materiale vil transporteres i renden og aflejres i området umiddelbart øst for den gamle NE-SV gående vej.

Holme Kanal

Den tilførte mængde suspenderet materiale vil transporteres videre til Karlsgårde Sø. Den tilførte bundmateriale-mængde vil fortrinsvis aflejres ved indløbsbygværket; efterhånden som mulighederne for aflejring her er udtømte, vil materialet vandre frem gennem kanalen til søen.

Den hidtil som bundtransport tilførte mængde er 580 m³/år. Denne lave tilførselsrate er betinget af en fortsat materialeoprensning ved det ovenfor liggende dambrug. Hvis forholdene ved dambruget ændres i retning af forholdene ved Ansager Dambrug, vil det være nødvendigt at foretage oprensninger ved indløbsbygværket 2-3 gange så hyppigt, som det i dag er tilfældet.

Karlsgårde Kanal og »Ansager Sø«

Den tilførte mængde suspenderet materiale vil, bortset fra den mængde, som forsvinder gennem frislusen, føres frem til Karlsgårde Sø.

Den årligt tilførte mængde bundmateriale er beregnet til ca. 5500 m³, hvoraf hovedparten (3200 m³) stammer fra Grindsted Å. For at opretholde status quo er det altså nødvendigt fremover at opgrave og skaffe plads til denne mængde. Hidtil er ca. hvert andet år opgravet 8-9000 m³, dvs. at en oprensning af samme omfang som hidtil fremover vil være nødvendig.

KONTROLFORANSTALTNINGER OG VIDERE GÅENDE UNDERSØGELSER

En væsentlig vanskelighed ved den herværende undersøgelse har været manglen på stort set alle relevante data fra tidligere år. Det vil derfor være en væsentlig støtte for fremtidige undersøgelser og beslutninger, at relevante oplysninger fremover indsamles i rimeligt omfang.

Stationering og pejling

Opsætning af afstandsmærkingspæle og indnivellerede vandstandsbrædder vil gøre det muligt med en begrænset arbejdsindsats ved hjælp af pejlinger at føre kontrol med aflejringen. Det vil således være muligt at dokumentere eventuelle ændringer og evt. sætte dem i relation til ændringer i oplandet. En stationering er allerede (efterår 1971) udført i »Ansager Sø«.

Kontrol med vandmængderne i systemet

Medens vandet fra Holme Å stort set hele året føres til systemet, afgives der for Grindsted og Ansager Å's ved-

kommende vand til gl. Varde Å i sommertiden. Den afgivne vandmængde afhænger af frislusens åbning og vandstanden ved indløbsbygværket. En kalibrering af sluseåbningens størrelse i forhold til antallet af omdrejninger på løfteapparatet samt en kontinuert registrering af vandstanden ville være ønskelig. Vandstanden ved indløbsbygværket kan evt. sættes i relation til Skalling-Laboratoriets vandstandsmålere i Grindsted og Ansager Å, hvis en selvregistrerende måler i en kortere periode opstilles ved indløbet. Den vandmængde, som passerer kraftværket, er afhængig af vandspejlet i søen, antal igangværende turbiner, åbning af frislusen og bagvandets højde. For at kunne bestemme vandmængden kan en måling af vandføring neden for værket sammenholdt med ovennævnte faktorer være nødvendig. En nøjere registrering af bagvandets højde vil antagelig være nødvendig.

Måling af materialetransport

Skalling-Laboratoriet opretholder i studieøjemed målingen af materialetransporten i Grindsted Å og Ansager Å, og resultater af disse målinger vil således fremover være tilgængelige. Såfremt der foretages større ændringer i oplandet, tilrådes det at udføre samtidige målinger af materialetransporten, således at evt. gener kan dokumenteres.

Undersøgelse af aflejringen i Karlsgårde Sø

Herværende undersøgelse har givet et groft billede af den i søen aflejlrede mængde. Såfremt en opgravning af materiale ønskes foretaget, tilrådes en mere detaljeret opmåling samt en gennemboring af det aflejlrede materiale med henblik på en bestemmelse af dybereliggende materials art og vægtfylde.

Med henblik på valg af oplægningssted for oprenset bundslam anbefales en kemisk undersøgelse af slammet, fordi søen har modtaget betydelige mængder spildevand.

SUMMARY

Different measuring methods have been applied in the present investigation, but most of them being conventional, they shall not be described in detail. For measuring the bed load transport, sampling were made with a sampler working on the pressure difference principle and with a home-made, portable sampler working on the pit principle. The bed load transport was, if possible, determined by studying the dimensions of the bed-forms and their downstream advance and finally also computed by means of Meyer-Peter's formula. Tests were made with fluorescent sand as tracer material. The purpose was to compare the migration speed of the sand in the streams and if possible, calculate the sand transport on the spatial integration principle (M. J. Crickmore).

It was attempted to relate discharge and bed load transport which had been measured in different ways. All relations established between the results obtained by the two samplers (pressure difference type and pit type) showed great dispersion around the calculated straight lines; in case of high discharge values the corresponding measured bed load transport lies beneath the computed straight line, indicating a decreasing sampler efficiency with increasing discharge. The pit sampler was difficult to handle at high water-levels and the dispersion was very great of the point measurements results. The bed load transport was calculated only in a few cases on the basis of the Meyer-Peter formula as it proved to be of little value in the Holme Å. Here part of the sediments are dug up at the trout pond farm above the measurement place. The results of the measurements of the advance of the bed-forms appear from figs. 8, 11, 14 and 16 and from tables 7, 10, 13 and 16.

The results of the tests with fluorescent sand as tracer material are shown in tables 5, 8, 11 and 14. Here is stated the extreme advance of the coloured sand from the initial point on the day of measurement. The indicated "centroid"-distance is calculated as $\sum \text{concentration} \times \text{distance} / \sum \text{concentration}$. Furthermore, the maximum number of grains per kilo bottom sample is indicated on the day of measurement. The results given in the tables correspond well with the intensity of the bed load transport found by measuring the bed-forms. The work with collecting sand samples and the later analysis was so time-consuming, however, that it has not been possible to collect samples more than in one place of the cross profiles for each 50 m downstream. Samples from some cross profiles show that the distribution of coloured sand can be very irregular. A few samples were collected to show the vertical distribution of coloured grains in the bottom layer. It proved that there were grains in a layer a bit thicker than the average height of the bed-forms. For these reasons the measurements of the coloured sand were rejected for a quantitative calculation of the sand transport. Conclusively it can be stated that application of fluorescent sand to measure the material transport after the spatial integration method is too laborious compared with application of radio-active tracers.

Survey of the results

The extent and location of material deposited in the Karlsgårde Sø appear from the air photo fig. 1 and from a comparison between the maps of the original reservoir and the present one (1970), pl. 2 and 3. The amount of material calculated on the basis of the part of the deposits visible on the

air photo is $0.215 \times 10^6 \text{ m}^3$. The remaining material deposited in the deeper part of the lake should, on the basis of levellings, be $0.08 \times 10^6 \text{ m}^3$, a total of $0.30 \times 10^6 \text{ m}^3$.

The structure of the deposited material has been determined on the basis of surface samples. In the stream furrow cut down into the deposits the material is rather sandy, whereas the samples from the shallow areas along the furrow have mean grain size in the silt fraction (0.06–0.002 mm). The content of organic material is high in these samples (30–50 %, weight).

The present volume of the reservoir is about 20 % less than the original one, when the water level is 12.80 DNN (Danish Ordnance Datum). The effective reservoir volume has decreased from $2.15 \times 10^6 \text{ m}^3$ to $1.74 \times 10^6 \text{ m}^3$. Of this $0.30 \times 10^6 \text{ m}^3$ is due to an actual deposition of material, whereas $0.11 \times 10^6 \text{ m}^3$ is due to the fact that deposited material bars the SE part of the lake.

Only few data are available on the first power station, but the measurements made seem to indicate that a substantial erosion has taken place in the Holme Kanal.

A comparison between the construction plans and the measured profiles shows that erosion has also taken place in the banks of the Karlsgårde Kanal. As a consequence of a sand deposition of $14.6 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ the canal bottom has risen from St. 10050 to St. 7500. From St. 7500 – St. 2500 the bottom is deepened to various degrees. On the basis of the bank erosion on the stretch where the sand has deposited (St. 10050 – St. 7500) a deepening of the bottom has apparently also taken place here before the sand migrated into the canal. Presumably the sand migrated into the canal when the stream bed in Ansager Sø was filled with deposited sand.

In consequence of the above, part of the material deposited in the Karlsgårde Sø must originate from erosion in the canals. Furthermore, erosion of the canal banks may supply large amounts of material. This was seen at the spring thaw in 1970. Due to the inflowing large quantities of water from the areas draining directly to the canal, deep gullies were eroded into the slopes of the canal causing 100–200 m^3 material to be washed down into the canal.

At the Holme Kanal inlet there is a considerable change in slope of the water-course from abt. 5×10^{-4} to 2.5×10^{-4} and at the Karlsgårde Kanal inlet from abt. 6×10^{-4} to 1×10^{-4} .

No data are available on the extent of the deposits at the inlet to the Holme Kanal. On the basis of the shape of the inlet and the fact that the flood-gate is only rarely open, it must be presumed that all bed load material coming from the Holme Å will deposit at the inlet or in the canal.

In the case of the Karlsgårde Kanal the deposited quantities have been estimated on the basis of invoices for dredging. The amount of material thus found is $80 \times 10^3 \text{ m}^3$. To this should be added abt. $15 \times 10^3 \text{ m}^3$ deposited in the canal itself, this gives a total of $95 \times 10^3 \text{ m}^3$. The reason why it has taken 10 years before the sedimentation caused troubles is that the old, lowerlying riverbed was filled first. Not until the riverbed above the inlet building rises to a level above the bottom level of the inlet, material will start migrating into the canal.

Bed load transport in the lower part of the canals occurs only to a limited extent because of sedimentation and dredging at the inlet.

The amount of suspended material supplied will – apart from the quantities flowing out through the flood-gate at the

Karlsgrårde Kanal inlet – be lead out into the Karlsgrårde Sø where a great part of it will deposit.

On the basis of the measurements made during the investigation period, a relation has been determined between discharge and transport of material and this together with the duration curve for the river Varde Å at Sig has been applied for computation of the material transport for an average year. The results are seen in table 18.

As to the bed load transport in the river Holme Å there are specific conditions as approx. 1200 m³/year were told to be dredged at the Haltruplund trout pond farm. With a specific volume of 1.7 this gives 2040 t/year. The computed, mean bed load transport is 990 t/year or only 6.7 t/km²/year. This quantity added to the dredging at the Haltruplund trout pond farm, the result will be an annual, total transport by the river of 3030 t. This divided by the catchment area gives 20.3 t/km²/year, a result corresponding well with the values from the other streams. Thus the Holme Kanal only receives 580 m³/year or approx. one third of the total bed load transport of the river Holme Å.

From its tributaries the Karlsgrårde system receives in average 8900 t/year of suspended material and 10200 t/year of bed load transport corresponding to 6000 m³/year. To this must be added material supplied from the catchment area of the lake and the canals, but this is only 27 km² of the total 615 km².

The sources supplying material

Each river's share of the total transport can be computed (the term "total transport" does not comprise the material supplied from the part of the area draining directly into the canals or into Karlsgrårde Sø). The Grindsted Å, whose share of the catchment area is 238 km² or 39 %, supplies 49 % of the suspended transport and 53 % of the bed load transport. The Ansager Å, whose catchment area (minus Kærbæk) is 138 km² or 22 % of the total, supplies 15 % of the suspended transport and 25 % of the bed load transport. The stream Kærbæk has a catchment area of 63 km² or 10 % of the total. The suspended transport is 19 % and bed load transport 12 % of the total transport values. The share of Holme Å of the catchment area of the Karlsgrårde system is 149 km² or 24 %, its share of suspended transport is 17 % and of bed load transport only 10 %.

It appears that in relation to its catchment area, the Grindsted Å has a too large material transport and that Grindsted Å and Kærbæk have a substantial share of the suspended transport. The bed load transport calculated as t/km²/year is of almost the same size for the investigated rivers, although Grindsted and Kærbæk presumably lead. The quantities of suspended transport calculated as t/km²/year are of almost the same size for the river Ansager Å and Holme Å, whereas Kærbæk and Grindsted show values more than the double of it.

Within the catchment area of each river, material may originate from erosion of the surface, of ditches and drains as well as erosion of the main river's bed and banks. Also soil drift may be of great importance. Besides these natural supplies of material, some may also originate from sewage disposal. For the rivers Ansager Å and Holme Å only a weak to moderate erosion was ascertained in the main river bed and banks, and consequently the transported material must originate from an overall erosion in the catchment area.

For the Grindsted Å, the erosion of the main stream seemed to be greater than for the above-mentioned streams. A calculation made on the basis of erosion measured in a few points show that the slopes of the river valley gives an annual supply of material of 100 tons, abt. 2 % of the bed load transport of Grindsted Å. Though the amount of material originating from erosion of riverbed and slopes is larger here than for the rivers Ansager Å and Holme Å, it must be concluded that also here most of the material comes from natural erosion because of the uniform values found for bed load per km² of catchment area of the different watercourses.

The regulation of Kærbæk presumably increased the erosion of the riverbed until a new equilibrium was obtained.

As mentioned, the rivers Grindsted Å and Kærbæk contain more suspended material calculated as t/km²/year than Ansager Å and Holme Å. The explanation is undoubtedly that the two rivers receive more waste water.

Material budget

Since the construction of the first power station in 1921, 0.30 × 10⁶ m³ has been deposited in the Karlsgrårde Sø. This figure represents the net supplies as an unknown quantity of material flows out at the power station and at the flood-gate at Hodde-skov. The consequent annual net supply will today be 9500 m³.

The quantities deposited in the Holme Kanal are unknown. In the Karlsgrårde Kanal are deposited abt. 14.6 × 10³ m³ and above the inlet abt. 80 × 10³ m³, a total of abt. 95 × 10³ m³.

The average transport values calculated on the basis of measurements are indicated as t/year, whereas the deposit values are stated in m³. A direct comparison demands a knowledge of the density of the deposited material as well as of bed load and suspended material. The density was not measured, but it should not be unrealistic to fix the density of the bed load transport at 1.7 t/m³, whereas the density of deposited and suspended material presumably variate with space and time. In a Swedish investigation by Valter Axelsson and Lars Håkanson: *Sambandet mellem Kvicksilverförekommst och sedimentologisk Miljö i Ekoln*. UNGI Rapport 11, Uppsala 1971, density values of 1.25 t/m³ were observed for lake sediments; as a trial the same value was applied in this investigation for the deposition and for the suspended load as well.

For the Holme Å the average yearly transport of suspended and bed load material has been multiplied by 49 year (the length of time during which the Holme Å has delivered material to the Karlsgrårde-system). The weight of suspended material is 1.5 × 10³ × 49 t = abt. 74 × 10³ t, which with a density of 1.25 t/m³ corresponds to 59 × 10³ m³. For the bed load transport the present low rate is supposed to be valid for the whole period: 0.990 × 10³ × 49 t = 48 × 10³ t or 28 × 10³ m³ with density 1.7 t/m³.

The figures for the other streams have been multiplied by 25 years and the same density values, cf. table 19.

For the period 1921–70 a net deposition has been ascertained of 0.30 × 10⁶ m³ (in the Karlsgrårde Sø) + 0.015 × 10⁶ (in the Karlsgrårde Kanal) + 0.080 × 10⁶ m³ (at the inlet to Karlsgrårde Kanal) + X × 10⁶ m³ (in Holme Kanal), a total of at least 0.40 × 10⁶ m³. The calculated value for the same period (sum of suspended plus bed load transport for the whole area) is 0.40 × 10⁶ m³, i.e. of the same magnitude as the factual deposition in lake and in canals. It must be taken into consid-

ration, however, that an unknown quantity passes through Karlsgårde Sø and the flood-gate at Hoddeskov, so the calculated value should have been higher. The actual supplies for the whole period have not been measured, but if the trap efficiency of the lake is 40–50 % it means that the supplied material must have been $7 \times 10^5 \text{ m}^3$ (twice the net deposition in Karlsgårde Sø plus the deposition in the Karlsgårde Kanal).

The deposition at the inlet to Karlsgårde Kanal and in the canal itself is approx. $95 \times 10^3 \text{ m}^3$. The sum of the calculated bed load transport of the rivers flowing together here is $135 \times 10^3 \text{ m}^3$. As the Karlsgårde Sø receives some bed load material via the canal and over the inlet, the two values seem to correspond reasonably. Furthermore, it is possible that part of the suspended transport is incorporated in the bed load transport values observed on the basis of the migration of the bedforms. Accordingly, the measured values of the bed load transport seem to be reasonable, maybe a little too high, whereas the measured value of suspended material seems to be too low. The explanation might be that the suspended transport rate has previously been higher than it is today, due to man-made alterations of the catchment areas. Finally, it is also possible that waste water has caused precipitation of agents or increased the organic production in the Karlsgårde Sø.

Comparison with other investigations and discussion

Routine measurements of material transport are not made in this country, and consequently there are not many data available.

Students at the Laboratory of Hydraulics at the Technical University of Denmark have computed the suspended load for an average year in the river Skjernå. The measurements were carried out with same apparatus and methods as applied in the present investigation. The annual transport was calculated to be 23883 t/year from a catchment area of 2200 km², corresponding to 11 t/km²/year. This result corresponds well with the values found for the rivers Holme Å and Ansager Å, whereas the values for the rivers Grindsted Å and Kærback are considerably higher.

Measurements of bed load have been made by The Danish Heath Society and the Laboratory of Hydraulics, Copenhagen, and published in: Eggert Hansen "Bed load Investigations in Skive-Karup River", Ingeniøren, Transactions No. 3, 1966, and Frank Engelund "Bed Load Measurements in Danish Alluvial Streams", Basic Research Progress Report No. 15, October 1967. The values given in these papers as to the size and migration speed of the bedforms are of the same magnitude as those observed in the present investigation. In "Rapport vedrørende Sandvandringen i Brede Å fra Roost Bro til Ballum Sluse", published 1968 by The Danish Heath Society a yearly bed load transport of 4300 t/year from a catchment area of 292 km² corresponding to 14.7 t/km²/year, i.e. somewhat less than the rates found here.

It must be realized that measurements of this kind are subject to a considerable amount of uncertainty as it also appears from the dispersion around the regression lines. The results are stated as transport for an average year but presumably measurements over a longer period will show considerable deviations around the average value for a single year.

When comparing with other investigations the results obtained seem reasonable. The indicated quantities of bed load

show fairly good accordance with the depositions up to now. Thus there should be no reason to believe that the bed load transport is increasing but it should be justified to expect future depositions to be of a similar magnitude as has been experienced up to now.

Apparently the suspended load is too low, but since a number of changes have been made in the catchment area (stream regulations and intensified farming) during the function period of the Karlsgårde power station, it is reasonable to presume that the suspended load has previously been larger. Furthermore, the measured value of the suspended load might be lower than it should be, because the intake hole of the sampler is situated 10 cm above the bottom. This becomes of increasing importance the lower the water depth is, because the highest concentration of sediments is found near the bottom. The sedimentation rate of 9500 m³/year computed on the basis of sedimentation in the Karlsgårde Sø for the period 1921–70, is presumably now too high. On the basis of the measurements carried out and with a density of 1.25 t/m³/year an annual sedimentation of $(8900/1.25 \times 0.40) = 2800 \text{ m}^3/\text{year}$ will occur in the Karlsgårde Sø, if the trap efficiency is 40 %. It should therefore be safe to reckon with a sedimentation rate of 9500 m³/year.

As to the bed load transport each stream contributes with a share corresponding fairly well with its part of the total catchment area; but this is not due for the suspended transport. Within the catchment area of each stream, there is a wide range of sources contributing material, and it will therefore not be possible to diminish the sedimentation substantially by a few measures only.

LITTERATUR

- Axelsson, V. och L. Håkanson (1971): Sambandet mellan Kvicksilverförekomst och Sedimentologisk Miljö i Ekoln. Del 1, UNGI, Rapport 11, Uppsala.
- Böcher, S. B. (1942): Vandkraftens udnyttelse i det sydlige Nørre-Jylland før og nu. Kulturgeografiske Skrifter 3.
- Christensen, K. F., T. Jøneh-Clausen, P. Mortensen og J. Hüberty Olsen (1970): Eksamensprojekt fra Laboratoriet for Hydraulik. Danmarks tekniske Højskole.
- Crickmore, M. J. (1967): Measurements of Sand Transport in Rivers with Special Reference to Tracer Methods. Sedimentology.
- Engelund, F. (1967): Bed Load Measurements in Danish Alluvial Streams. Basic Research Progress Report No. 15, Okt.
- Engelund, F. og E. Hansen (1967): A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams.
- Hansen, Eggert (1966): Bed Load Investigations in Skive-Karup River. Ingeniøren, Transactions nr. 3.
- Hubbel, D. W. (1964): Apparatus and Techniques for Measuring Bedload, Geological Water Supply Paper 1748.
- Nilsson, Bengt (1969): Development of a Depth-Integrating Water Sampler, UNGI Rapport 2, Uppsala Universitet.
- Rasmussen, S. (1964): Studier over Engvandingen i Danmark, specielt vedrørende Store Skjernå kanal. Geografisk Tidsskrift, bd. 63.

»Forslag til udvidelse af kraftproduktionen ved Karlsgårde 1940«. Esbjerg Kommunes arkiv.

»Karlsgårde«, København, den 14. februar 1940 (Rettelser og tilføjelser 15/4 1941), Carl Jensen, Stürup & Prosch-Jensen, Wright-Thomsen & Kier.

»Undersøgelse af vandføringen i åsystemet fra Grindsted til Sig«, Grindsted Kommune, Teknisk Forvaltning.

»Regulativ for Kærbæk«, 1962. Ansager Kommunes arkiv.

Hedeselskabets kulturtekniske afdelings hydrometriske undersøgelser, 1943-1950, 7. beretning.

»Regulativer for Grindsted Å, Ansager Å og Holme Å«. Ribe Amts vej- og vandløbsvæsenes arkiv.

»Regulativ for Ansager Sø, 16. december 1953«. Ribe Amts vej- og vandløbsvæsenes arkiv.

»Tillæg til regulativ for Varde Å fra Stokkebro til Karlsgårde Kanalens udløb, 16. december 1953«. Ribe Amts vej- og vandløbsvæsenes arkiv.

Det danske Hedeselskab (1968): Rapport vedrørende sandvandringen i Brede Å fra Roost Bro til Ballum Sluse.

»Længdeprofil af Dæmningslinien«. Plan K 114, 24.4.1942. Esbjerg Kommunes arkiv.

Geodætisk Institut, målebordsblade 1870, 1920 og 1956.

»Entreprenørerne ved Karlsgårde K.24«, Tværprofiler 1:200 og Længdeprofil 1:5.000. Esbjerg Kommunes arkiv.

Generel Landskabsplan for Ribe Amt 1971.

Danmarks geologiske Undersøgelser, 1. række nr. 14 og 15.