

ÅRHUS AMTSKOMMUNE

Amtsvandvæsenet

**Undersøgelser af afvandingsforholdene
i og omkring Kolindsund.**

Førprojekt - september 1983

HEDESELSKABET

Klostermarken 12 - 8800 Viborg

INDHOLDSFORTEGNELSE

Side:

o. Indledning	1
o.1. Anmodning	1
o.2. Forhistorie	1
1. Opgørelse af oversvømmede randarealer	2
2. Digernes gennemsvivningsforhold	4
2.1. Jordbundsanalyse	4
2.2. Beregning af udsivning	7
2.3. Vandføringsmålinger	11
3. Sætningsundersøgelse	15
3.1. Generelle bemærkninger om sætninger	15
3.1.1. Konsolideringssætninger	15
3.2. Nivellement af sætningerne	19
3.3. Tidligere undersøgelser	19
3.4. Skøn over beregnede sætninger	23
3.4.1. Konsolideringssætninger	23
3.4.2. Forbrænding af organisk stof	24
3.4.3. Sætninger ialt	24
4. Vandbalance	26
4.1. Pumpeprøver	26
4.2. Vurdering af pumpeafprøvningsprøverne	26
4.3. Udpumpede vandmængder	32
4.4. Fordampning	33
4.5. Nedbør	34
4.6. Indstrømning	34
4.7. Vurdering af forholdet mellem de to indsivningsformer	42
5. Kanalernes vandføringsevne	43
5.1. Vandløbssystemet	43
5.2. Vandløbsdata	43
5.3. Stationær strømningsmodel	44
5.4. Sammenligning af beregnede og observerede vand-spejlsforløb	44
5.4.1. Grenåen	44
5.4.2. Nordkanalen	47
5.4.3. Sydkanalen	48
5.5. Sammenligning af målte og udregnede vandføringer	48
5.6. Simulering af vandspejlsforløb under hændelsen i august 1981	50
5.7. Vandløbenes vandføringsevne ved en normalafstrømning	55
5.8. Vurdering af kanalernes vandføringsevne	58
6. Belastning på vandløbssystemet fra byer	59
6.1. Opgørelse af befæstet areal	59
6.2. Modelbeskrivelse	59
6.3. Nedbørs data	60
6.4. Data for afløbssystemer i Ryomgård og Kolind	62
6.5. Beregning af byers belastning af vandløbssystemet	65
6.5.1. Ryomgård	65
6.5.2. Kolind	68
6.6. Vurdering af byernes belastning på vandløbssystemet	70

	Side
7. Forbedring af vandafledningen m.v.	72
7.1. Forelagte forslag	72
7.2. Indgreb i Grenåen	75
7.3. Uddybning af hele vandløbssystemet	76
7.4. Øvrige forhold	77
7.4.1. Energitab ved broer	77
7.4.2. Aflastningsboringer	77
7.4.3. Injektion af vådområderne	77
7.4.4. Ændret pumpedrift	77
8. Forslag til videregående undersøgelser	77
9. Litteraturliste	79

BILAGSFORTEGNELSE

1. Oversvømmede arealer pr. 25/8 1981, 1:25.000 (tegn.nr. 1)
2. Teksturanalyser m.v.
3. Sætninger 1935-83, 1:25.000 (tegn.nr. 2)
4. Sætninger langs Midtkanal, 1:100, 1:10.000 (-"- 3)
5. Sætninger i linie 1-14, -"- -"- (-"- 4)
6. Oversigtskort, nord for Midtkanal, 1:2.000 (tegn.nr.82005/3)
7. -"- , syd -"- , 1:1.000 (-"- 82005/1)
8. Boreprofiler nord for Midtkanal, 1:100,1:2.500 (-"- 82005/5)
9. -"- -"- (-"- 82005/4)
10. -"- syd -"- (-"- 82005/2)
11. Oplands- og deloplandsgrænser for Grenåen (tegn.nr. 5)
12. Redegørelse om landkanalernes skråningsanlæg.
13. Oversigt over vandløbsdimensioner, topografiske oplande samt vandslug i broer.
14. Eksempel på beregningsudskrift fra Ryomgård.
15. Notat vedr. undersøgelse af enkelttab ved broer.

RESUME

Det følgende resumé er opdelt i afsnit, således at det samtidig kan anvendes om en vejledning, for de som kun er interesseret i specielle dele af rapporten.

I afsnit 1 gøres der kort rede for opgørelsen af de oversvømmede randarealer med blankt vand, som viser sig at være væsentlig mindre end de stærkt vandlidende arealer.

I afsnit 2 foretages en vurdering af sætningerne i Kolindsund udfra to nivellementer udført i 1938-39 henholdsvis 1981, samt en teoretisk beregning af sætningsudviklingen ved forskellige tykkelser af det sætningsgivende lag.

I afsnit 3 omtales nogle udførte jordbundsundersøgelser, som anvendes til beregning af udsivningen fra landkanalerne. Udsivninger er dårligt bestemt p.g.a. grove antagelser. Endelig beskrives nogle vandføringsmålinger, som bruges til beregning af udsivningen af Sydkanalen ved Revn-området.

I afsnit 4 præsenteres resultaterne af afprøvningen af samtlige pumper i Fannerup- og Enslev pumpestationer. Endvidere foretages en beregning af vandbalancen for Kolindsund, som viser at den tilstrømmede vandmængde er meget stor i forhold til nedbør og fordampning.

I afsnit 5 findes beregninger af vandløbssystemets vandføringsevne på grundlag af dimensioner og faldforhold, der strækningsvis med tilnærmelse svarer til forholdene før sidste hovedoprensning, og med regulativmæssige forhold. Denne beregning viser, at de regulativmæssige forhold er en smule bedre end forholdene før hovedoprensningen.

I afsnit 6 foretages beregninger til vurdering af byernes belastning på vandløbssystemet, som viser sig at have en lille og kortvarig effekt på vandstanden, men ingen betydning har på den vedblivende høje vandstand.

I afsnit 7 beskrives forskellige forslag til forbedring af vandafledningen fra såvel Kolindsund som randarealerne ved landkanalerne og Ryom å, og for nogle af disse vurderes virkningen af indgrebene.

I afsnit 8 beskrives de forhold der nøjere bør undersøges i forbindelse med det videregående arbejde.

o. Indledning

o.1. Anmodning

Nærværende forprojekt er udarbejdet efter anmodning af 1. april 1982 fra Århus amtsråd, Udvalget for Teknik og Miljø, og i henhold til aktivitetsbeskrivelse af 23. april 1982 med supplement af 25. januar 1983 samt aftale ved orienteringsmøde 10. juni 1983. Baggrunden for forprojektet er de store oversvømmelser, der skete den 21/8 1981 i Kolindsund samt i arealer med afvanding til landkanalerne, Korup å og Ryomgård å.

Med forprojektet er der søgt tilvejebragt en række modeller dels til vurdering af forholdene omkring, dels til vurdering af effekten ved evt. supplerende eller forbedring af de nuværende (1981) forhold.

o.2. Forhistorie

Under istiden blev den relativt brede og dybe lavning mellem Grenå og Kolind ikke opfyldt med smeltevandssand, som det kendes fra så mange andre steder i landet.

Da Litorinahavet for ca. 6000 år siden dækkede området med saltvand i et niveau 4-5 m over nuværende havniveau, blev der samtidig dannet strandvolde i området sydvest for Grenå. En egentlig ferskvandsø formodes dog kun at have eksisteret i ca. 500-1000 år.

Afvandingsarbejdet blev påbegyndt i 1872 og i 1874 havde projektets enlige pumpestation ved Fannerup tørlagt sundet /1/.

Det viste sig meget hurtigt nødvendigt at etablere yderligere en pumpestation, "Østre maskine", ca. 1,5 km øst for Revn.

Grenåen blev etableret som en kanal i 1873, idet afløbet tidligere havde bestået af et fladvandet flergravet åsystem.

Efterhånden som det afvandede område satte sig og som følge af de økonomisk vanskelige forhold i begyndelsen af 1930-erne blev der i 1933 udarbejdet en betænkning som grundlag for en forbedring af afvandingen. Arbejderne blev afsluttet i 1939 og 28/10 1939 blev "Pumpelaget Kolindsund" oprettet. Udover mindre detailafvandingsarbejder og sædvanlig vedligeholdelse er der ikke siden foretaget ændringer af de oprindelige anlæg.

1. Opgørelse af oversvømmede randarealer

Oversvømmelserne i de af forprojektet omfattede vandområder opstod i løbet af de meget regnfulde sommermåneder 1981 og kulminerede i uge 35, 1981, efter en usædvanlig kraftig nedbør i løbet af dagene 20-22. august.

En foreløbig registrering af oversvømmelsernes udstrækning blev straks udført af konsulent J. Larsen-Ledet, som foretog en overflyvning og luftfotografering af Kolindsund og de tilstødende randarealer.

Den oversvømmelsessituation var medvirkende til, at pumpelaget Kolindsund i en skrivelse af 17. november 1981 anmodede Århus amtsråd om at lade udarbejde projektmateriale til forbedring af afvandingsforholdene i og omkring Kolindsund. I skrivelsen nævnes, at formentlig mellem 5000 og 10000 tdl. land (2750-5500 ha) udenfor Kolindsund, ligesom et stort område indenfor pumpelaget har været oversvømmet.

Opgørelsen af oversvømmelsesarealerne er foretaget på grundlag af de ovennævnte luftfotografier og rekognoscering i marken, herunder orienterende samtaler med sundforvaltningen og lodsejere i randområderne. Et forsøg på at fremskaffe supplerende LANDSAT-fotos måtte opgives, da brugbare satellitfotos ikke forelå for den periode, hvor oversvømmelserne kulminerede.

Iøvrigt viste forundersøgelserne i april 1982 særdeles god overensstemmelse mellem fotografierne optaget fra flyvemaskine og oversvømmelsessituationen som beskrevet af de lokalkendte personer. Dette bekræftedes også i nogen grad af de endnu synlige højvandsmærker (flodskarn). Disse var imidlertid i løbet af de mellemliggende måneder blevet så udviskede, at de måtte anses som for usikre til indmåling og nivellering.

Oversvømmelsesarealerne er på dette grundlag indtegnet og opmålt på planer 1:25.000 som vist på bilag 1 og i tabel 1.1.

Det i pumpelagets henvendelse til amtsrådet anførte skøn over oversvømmelsesskadede arealer er således langt større end de tal, tabel 1.1 udviser. Denne tilsyneladende uoverensstemmelse må dog betragtes i sammenhæng med den langvarige periode med stærkt forringede afvandingsforhold på grund af stor nedbør og højt grundvandsspejl.

Langt større arealer end de områder, hvor der i slutningen af august 1981 stod blankt vand, må derfor antages at have lidt skade i form af afgrødetab eller forringet udbytte. En vurdering heraf henhører dog ikke under forprojektets aktiviteter.

Areal nr.	Beliggenhed	Opmålt areal i ha	
		Fandareal	I Kolindsund
1	Ryom/Korup å, S f. Koed	150	
2	Ø.f. Kolindbro, N f. Kolind	80	
3	Lunden, Sivested Kær	15	
4	V f. Kærby	40	
5	V f. Albøge	50	
6	NV f. Albøge		10
7	NØ f. Skarnæs		8
8	Ved Midtkanal, N f. Ingvorstrup		23
9	Ved Ingvorstrup, Næsby	4	
10	Mindre enkelte områder	18	7
Total		357	48

Tabel 1.1. Oversvømmede arealer pr. 25. august 1981.

2. Digernes gennemsvivningsforhold

2.1. Jordbundsanalyse

Til vurdering af digernes gennemsvivningsforhold har Hedeselskabet's Forsøgsvirksomhed lavet to undersøgelser af jordbundsforholdene. Disse er udført ved Djursgårds bro i Nordkanalen (st. 16260) og ved Søby bro i Sydkanalen (st. 8410). Undersøgelsen ved Djursgårds bro blev noget mangelfuld, da almindeligt boreudstyr ikke kunne trænge ned i diget, så jordbunden ikke kunne undersøges der. De fundne jordprofiler er vist i figurerne 2.1 og 2.2 med tilhørende jordbundsbeskrivelse. I bilag 2 er vist resultaterne af teksturanalyser for alle profiler ved Søby bro og et enkelt ved Djursgårdsbro.

Generelt bemærkes, at jordbundsforholdene langs digerne varierer meget i det enkelte profil og fra strækning til strækning, hvorfor der skal udføres meget omfattende boringer, såfremt gennemsvivningsforholdene skal beskrives nøjere.

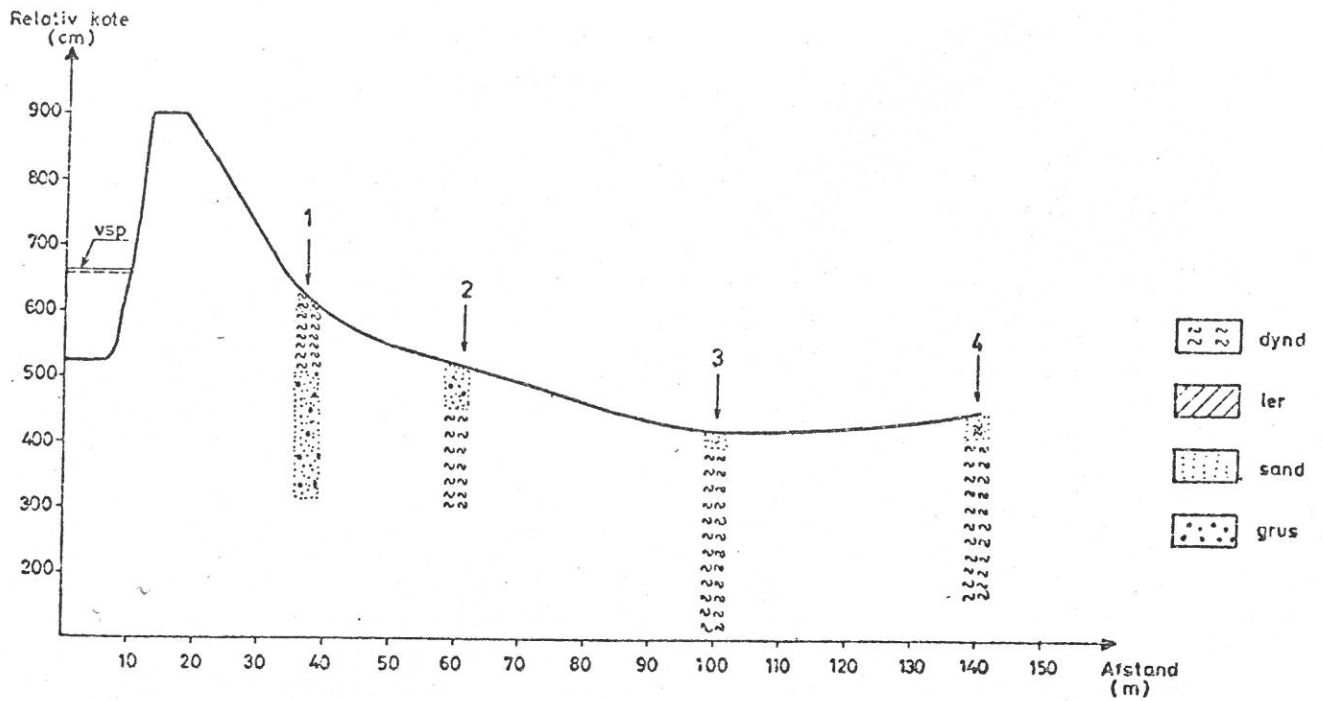
De to jordbundsprofiler på figur 2.1 og 2.2 er som ventet meget forskellige, idet de ved Søby bro er meget sandede, mens de ved Djursgårds bro er meget dyndede. Det viser også, at en beregning af udsivningen vil være meget upræcis, idet der kræves detaljeret kendskab til jordbunden langs digerne.

Da det som tidligere nævnt ikke var muligt at bestemme jordbunden i digeprofilet ved Djursgårds bro, vil der ikke blive foretaget en beregning af udsivningen igennem dette. Ved Søby bro er jordens permeabilitet bestemt i profilerne 2, 3 og 4 ved laboratorieforsøg efter nedsvivningsmetoden og fremgår af tabel 2.1.

Profil nr.	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Middelværdi
2	9,5	9,4	9,0	9,3
3	0,13	0,16	0,23	0,17
4	11,4	9,6	-	10,5

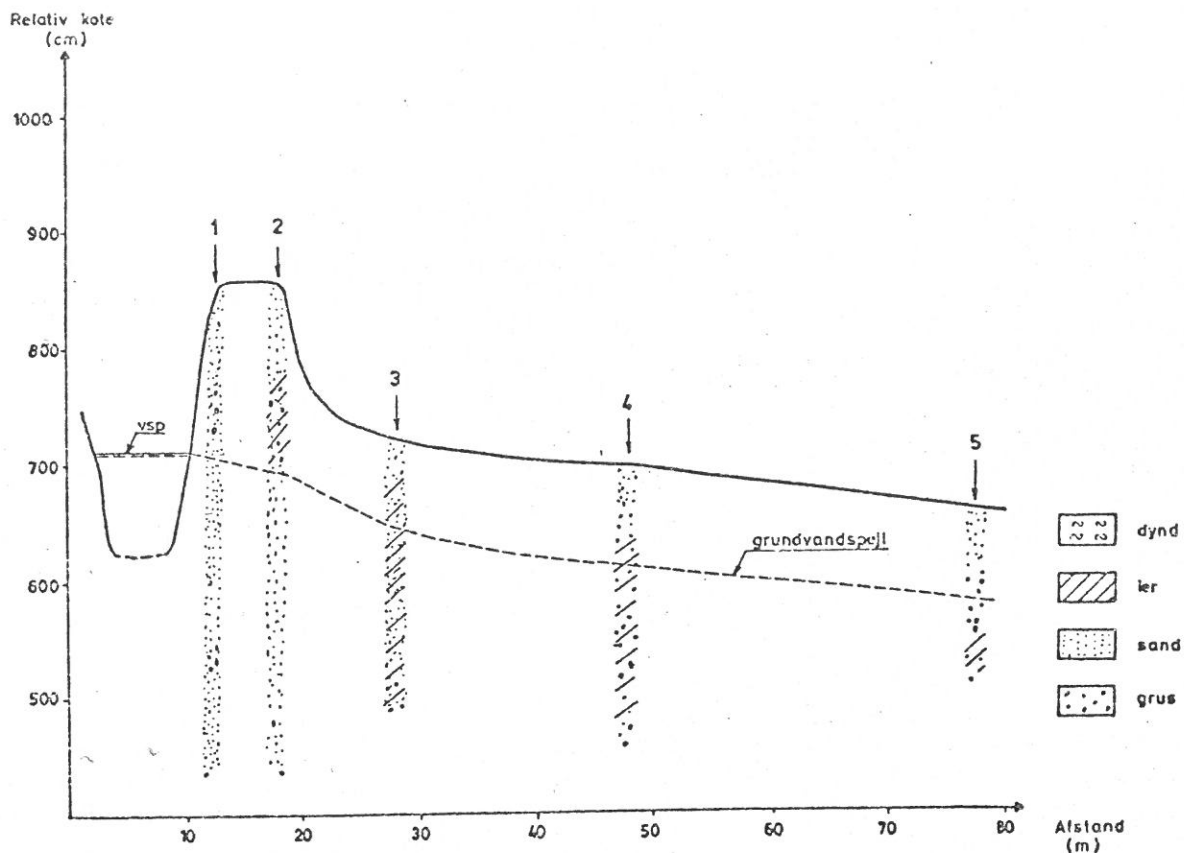
Tabel 2.1. Jordens permeabilitet (m/dag) ved Søby bro.

Jordens permeabilitet i profil 3 er en faktor 60 mindre end de



Profil nr.	Dybde under terræn cm	Beskrivelse
1	0-30	dyndblandet sandmuld
	30-50	finsandsblandet lerdynd
	50-110	lerdynd, mørk grå-brun
	110-290	fin- og grovsand med småsten, lidt dyndblandet i øvre lag
2	0-30	fin- og grovsandet muld
	30-50	fin- og grovsand, lyst gråt
	50-70	finsandsblandet lerdynd
	70-220	lerdynd, mørk grå-brun
3	0-30	sandblandet dynd
	30-110	lerdynd
	110-120	dynd med grus og sten
	120-290	lerdynd, mørk grå-brun
4	0-40	sandblandet dynd
	40-90	finsandsblandet lerdynd
	90-280	lerdynd, mørk grå-brun

Fig. 2.1. Jordbundsprofiler ved Djursgårds bro (st. 16260 i Nordkanalen).



Profil nr.	Dybde under terræn cm	Beskrivelse
1	0-40	sandmuld
	40-120	fin- og grovsand
	120-150	fin- og grovsand med småsten
	150-300	fin- og grovsand
	300-310	fin- og grovsand med grus og sten
	310-400	fin- og grovsand
2	0-30	sandmuld
	30-60	fin- og grovsand
	60-90	let lerblandet fin- og grovsand
	90-110	fin- og grovsand med småsten
	110-120	fin- og grovsand med småsten med kalk
	120-150	lerblandet fin- og grovsand med sten
	150-420	fin- og grovsand
3	0-30	sandmuld
	30-35	let lerblandet fin- og grovsand med småsten
	35-185	sandblandet ler med kalk
	185-240	lerblandet fin- og grovsand
4	0-30	sandmuld
	30-60	fin- og grovsand med småsten og kalk
	60-90	lerblandet fin- og grovsand med småsten
	90-240	lerblandet fin- og grovsand med sten og kalk
5	0-50	sandmuld
	50-95	fin- og grovsand
	95-105	fin- og grovsand med grus og sten
	105-150	lerblandet fin- og grovsand med småsten

Fig. 2.2. Jordbundsprofiler ved Søby bro (st. 8410 i Sydkanalen)

Øvrige profiler, hvilket betyder, at dette lag virker vandstandsende. Dette ses også af figur 2.2, hvor gradienten på grundvandspejlet er stor mellem profil 2 og 3.

2.2. Beregning af udsivning

Til beregning af udsivningen er benyttet /2/. Udsivningen er beregnet ved 2 forskellige vandspejlssituationer i landkanalerne. Den ene for en normal afstrømning, hvor permeabilitet for det vandstandsende lag antages, og en maksimalafstrømning, hvor permeabilitet svarende til sandet i diget.

Beregningsmetoden i /2/ er nogle kurveskarer, hvor indgangsparametrene er: vanddybden, bundbredde, anlæg, forskellen mellem vandspejlet i vandløbet og GVS i en passende afstand fra diget. Der forudsættes bl.a. ensartet jordbund.

Normal afstrømning:

Middelvanddybde i landkanalerne	~ 1 m
Grundvandspejl under terræn i Kolindsund	~ 1 m
Forskel mellem de to vandspejl	~ 6 m
Permeabilitet (bestemmende for udsivningen)	~ 0,17 m/dag

Ved hjælp af nogle forskellige kurver i /2/ findes udsivningen i Kolindsund til $\sim 0,043 \text{ m}^3/\text{m}$ vandløb. Med en samlet vandløbslængde på $\sim 46 \text{ km}$, bliver den totale udsivningsmængde $\sim 2000 \text{ m}^2/\text{dag} \sim 0,08 \text{ mm/dag}$.

Maksimal afstrømning:

Middeldybde i landkanalerne	~ 2 m
Grundvandspejl under terræn i Kolindsund	~ 0 m
Forskel mellem de to vandspejl	~ 6 m
Permeabilitet (bestemmende for udsivningen)	~ 10 m/dag

Ved hjælp af nogle forskellige kurver i /2/ findes udsivningen i Kolindsund til $\sim 2,3 \text{ m}^3/\text{m}$ vandløb. Med en samlet vandløbslængde på $\sim 46 \text{ km}$, bliver den totale udsivningsmængde $\sim 105000 \text{ m}^3/\text{dag} \sim 4,0 \text{ mm/dag}$.

Det må igen pointeres, at de foretagne beregninger er meget usikre p.g.a. mange ukendte faktorer, specielt jordbundsforholdene. Beregningerne viser, at indsivningen kan være lille ved en normalafstrømning, og vokse markant ved en maksimalafstrømning.

Hvis man antager, at jordens permeabilitet er konstant i Kolindsundområdet, giver beregninger, at udsivningen næsten er konstant uanset vandstanden i landkanalerne. I figur 2.3. er søgt skitseret strømningssituationen ved en høj og en normal vandstand i landkanalerne. Til beregning af udsivningen v.h.a. strømnets benyttes formel 2.1.

$$Q = h \cdot k \cdot \frac{n_s}{n_q} \quad (2.1)$$

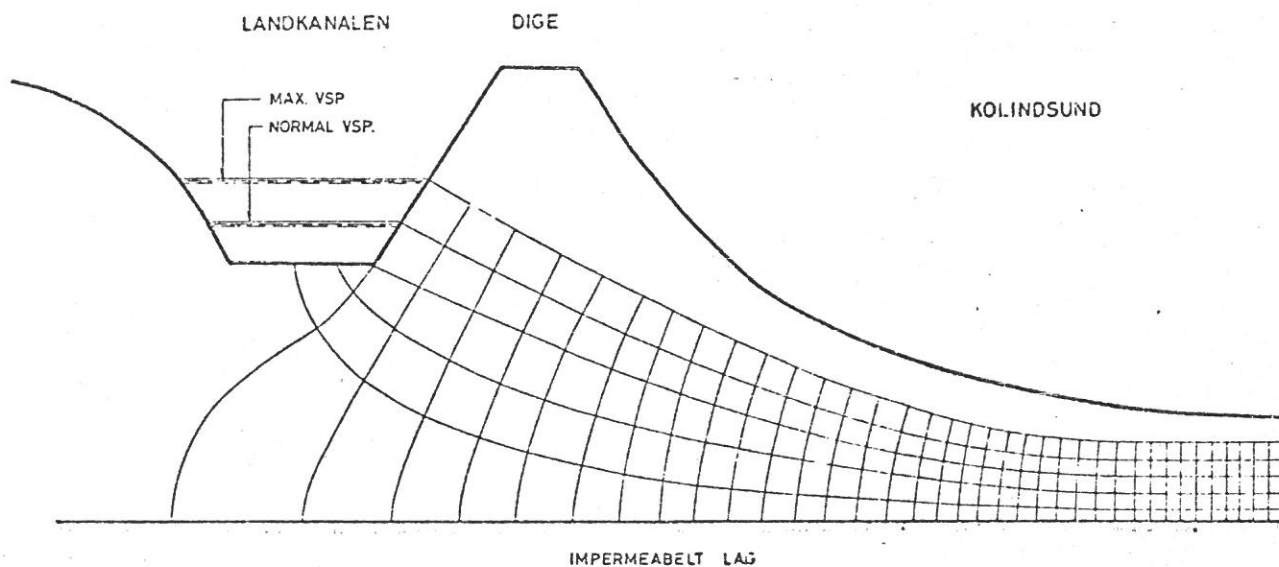
Q = udsivning fra landkanalerne

h = drivtryk

k = permeabilitetskoefficient

n_s = antal strømrør (linie i vandets strømningssituation)

n_q = antal potentiellinier



Figur 2.3. Illustration af strømnets-metoden.

Af det skitserede eksempel ses, at forskellen imellem udsivningen ved en normal- og maksimalafstrømning er et ekstra strømrør og en lidt mindre h-værdi. Heraf ses, at ændringen i udsivningen ved ændret vandstand i landkanalerne vil være lille, når antal strømrør er stor (større dybde til impermeabel), og den vil være stor når antal strømrør er lille (mindre dybde til impermeabelt lag). Ved Djursgårds bro og Søby bro er der udover jordbundsundersøgelser også nedsat piezometerår, hvori vandstanden er aflæst på forskellige dag. Disse er vist i tabellerne 2.1 og 2.2.

Observation	18/8	25/8	31/8	5/9	7/9	9/9
Nordkanal	687	685	682	690	693	679
Profil 1	549	563	565	516	568	571
Profil 2	404	397	409	422	419	422
Profil 3	292	295	295	298	300	299
Profil 4	306	308	308	313	312	317

Tabel 2.1. Piezometeraflæsninger ved Djursgårds bro (cm)

Observation	26/4	27/7	9/9
Sydkanalen	711	699	714
Profil 1	703	693	-
Profil 2	695	687	690
Profil 3	638	626	642
Profil 4	613	609	627
Profil 5	575	581	592

Tabel 2.2. Piezometeraflæsninger ved Søby bro (cm)

Disse kan også benyttes til beregning af tilstrømninger til Kolind-sund, men dette er summen af udsivning fra landkanalen og grundvandstilstrømningen.

Til beregning af grundvandsstrømning med frit vandspejl kan man benytte Darcy's lov under Dupuis forudsætninger:

- a) Små gradienter på grundvandsspejlet.
- b) Strømlinier vandrette og potentielt linier lodrette.

Under disse antagelser får Darcy's ligning udseendet:

$$h^2 = - \frac{Q}{k} \cdot x + c$$

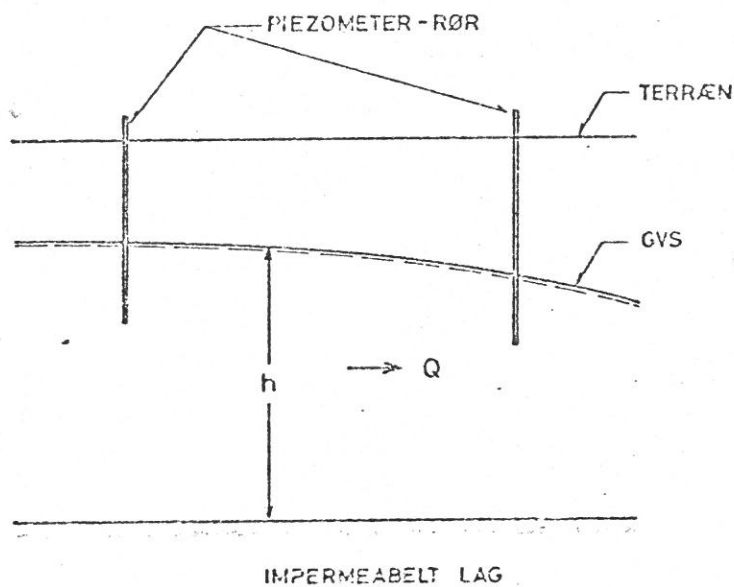
h: tykkelse af vandførende lag (varierende i x-retning)

x: Vandret afstand

k: Permeabilitetskoefficient

c: konstant (udregnes for x = 0)

Q: grundvandsstilstrømning



Figur 2.4. Grundvandsstrømning ved frit vandspejl.

I figur 2.4 er skitseret grundvandsstrømningen, hvorpå Darcy's ligning benyttes. Heraf ses, at den ukendte faktor er afstanden til det underliggende impermeable lag. I tabel 2.3 er udsivningen beregnet ved Djursgårds bro ved varierende dybde til underliggende impermeable lag. Da data i tabel 2.3 faktisk er ens, er det valgt at foretage beregningen p.g.a. observationen den 7/9 1983. Mellem profilerne 1 og 3 er afstanden 65 m og vandspejlsforskellen 2,18 m. Permeabilitetskoefficienten er udfra jordbundsundersøgelser skønnet til 5 m/dag.

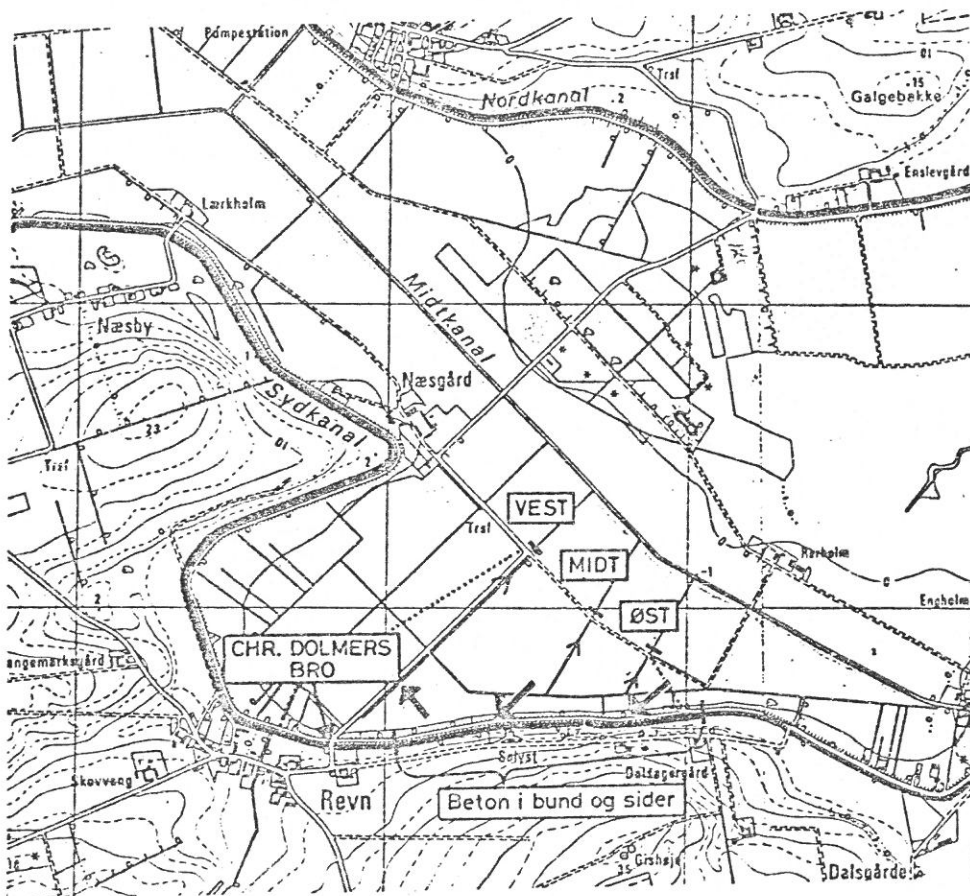
h profil 1 (m)	h profil 3 (m)	Q (m ³ /m/dag)	V. (mm/dag)
5	2,8	0,66	1,2
10	7,8	1,49	2,7
15	12,8	3,17	5,4

Tabel 2.3. Tilstrømning som funktion af dybden til impermealt lag.

Tabel 2.3 viser igen, at tilstrømningen fra landkanalen er meget forskellig afhængig af det vandførende lags tykkelse.

2.3. Vandføringsmålinger

Med henblik på en vurdering af variationen af strømningen gennem digerne er der foretaget jævnlige målinger af vandføringen i tre grøfter nordøst for Revn, jfr. figur 2.5.



Figur 2.5. Område ved Revn.

Det bemærkes, at der i begyndelse af undersøgelsesperioden blev søgt etableret permanente måleoverfald men at opstuvningerne herfra kombineret med den store nedbør i april-juni gav landbrugsmæssige gener. Disse overfald blev herefter fjernet og pålidelige vandføringsmålinger er først udført fra den 2/6 1983, hvor nedbøren indtil 1/9 har været beskednen og vandstanden i Sydkanalen dermed forholdsvis lav. De målte vandstande og vandføringer er vist i tabel 2.4.

Dato	Chr. Dolmers bro VSP-kote ¹⁾	Vandstandskote (m)			Vandføring (l/sek)			Tilstrømning (l/sek.)	
		Vest	Midt	Øst	Vest	Midt	Øst		Ialt
2/6	1,14 m	-3,06	-2,75	-3,25	82	119	77	278	230
16/6	ca.0,85 m	-3,12	-2,77	-3,30	22	53	57	132	90
30/6	0,78 m	-3,08	-2,71	-3,30	17	20	48	85	55
19/7	0,82 m	-2,86	-2,64	-3,07	46	78	129	253	230
1/8	0,75 m	-3,12	-2,79	-3,26	14	36	35	85	75
9/9	ca.0,95 m	-3,08	-2,72	-3,15	25	43	67	135	125

1) Forudsat at skala 0 = kote 100 cm D.N.N.

Tabel 2.4. Vandstand og vandføring i område ved Revn.

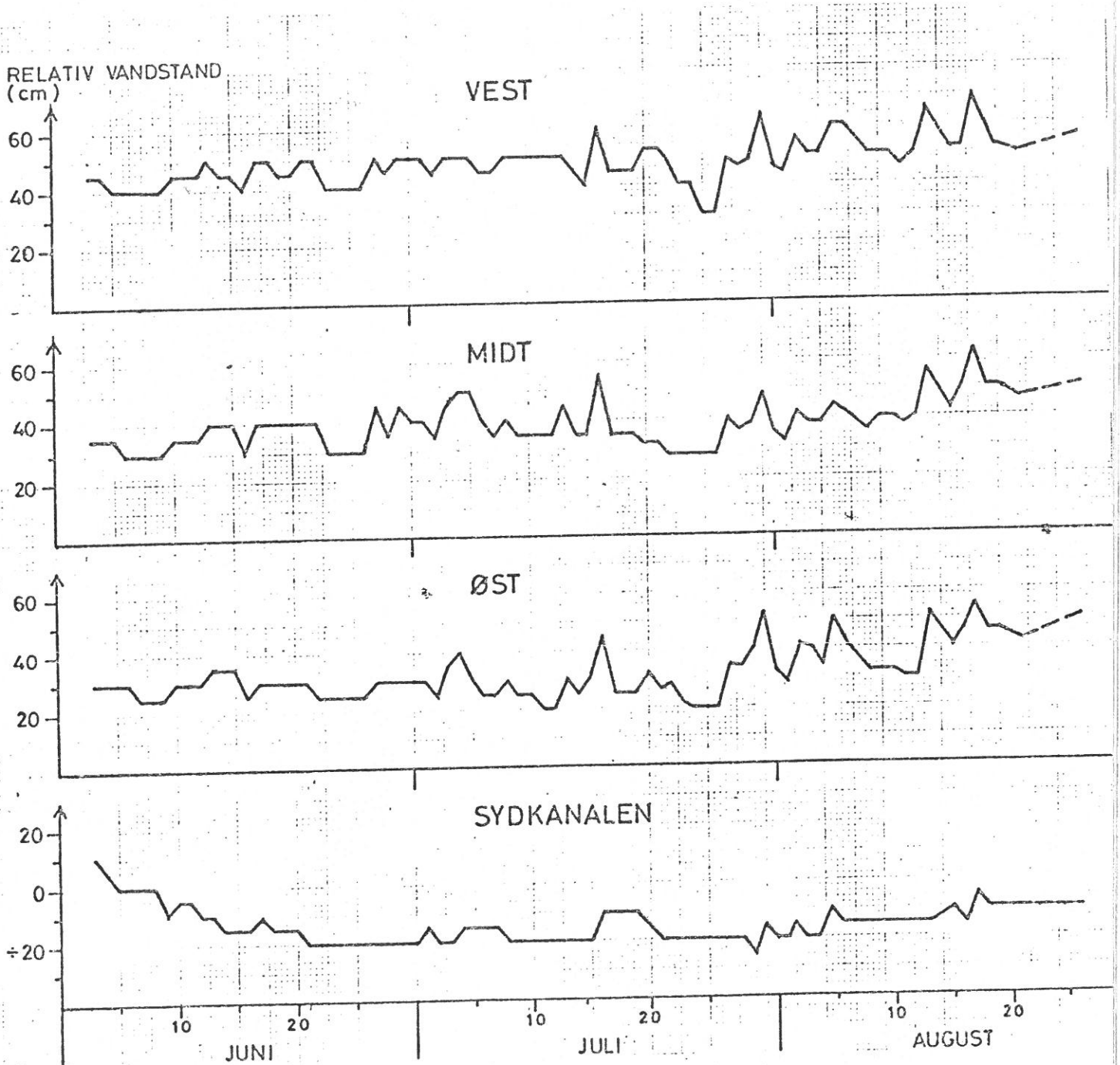
Nedbøren i området kan anslås til følgende baseret på målinger fra de nærmeste nedbørsstationer:

maj 1983 : 120 mm
 jun 1983 : 15 mm
 jul 1983 : 5 mm
 aug 1983 : 20 mm

Afstrømningen fra drænedde landbrugsarealer kan i samme periode antages at have været ca. 0,5-0,8 l/sek/ha primo juni og jævnt faldende til ca. 0,01-0,2 l/sek/ha primo august og september. Idet det samlede opland til de tre målesteder er ca. 85 ha, bliver den forventede landbrugsmæssige afstrømning ca. 50 l/sek/ha primo juni og ca. 10 l/sek. primo september. Disse værdier er benyttet til beregning af tilstrømningen i tabel 2.4.

Det bemærkes, at der generelt har været en høj vandstand i grøfterne p.g.a. kraftig grødevækst, som ikke blev fjernet nedstrøms målestederne skønnes dog ikke at have særlig indflydelse på tilstrømningen ligesom pumpe-driften ikke skønnes at påvirke vandstanden ved målestederne.

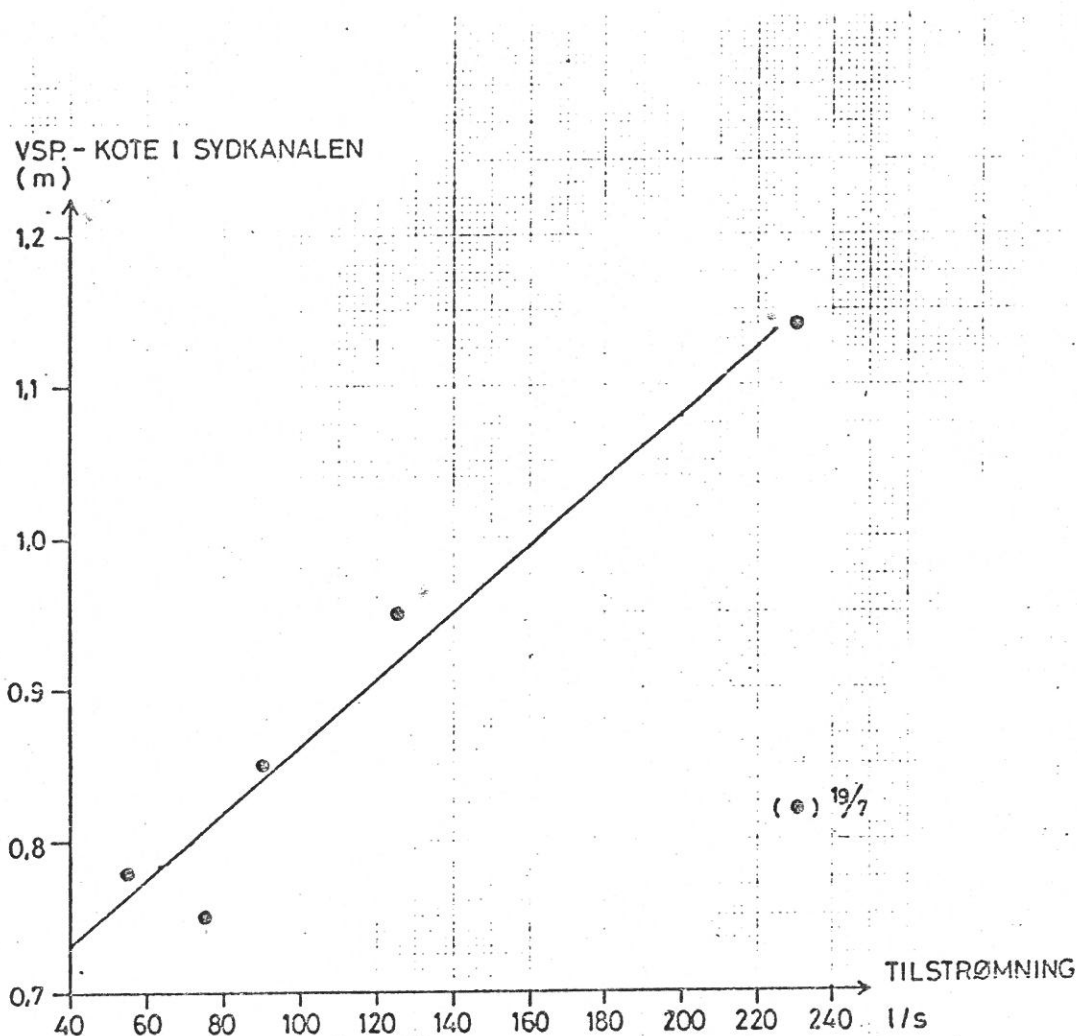
På figur 2.6 er den relative vandstand optegnet, og der er en tendens til, at selv små vandstandsstigninger i Sydkanalen giver højere vandstand (vandføring) i grøfterne. I juni er vandstanden i grøfterne ikke højere end i resten af perioden, skønt vandstanden i Sydkanalen er relativ høj. Det skyldes, at der på det tidspunkt stadig var en beskedne grødevækst i grøfterne.



Figur 2.6. Relativ vandstand i Sydkanalen og grøfter.

På figur 2.7 er optegnet forholdet mellem vandstanden i Sydkanalen og tilstrømningen. Det må formodes, at vandføringsmålingerne den 19/7 er behæftet med en ensidig fejl, idet vandføringen er forholdsvis stor, hvilket dog i en vis grad kan skyldes, at vandstanden i Sydkanalen kontinuert over ca. 4 dage, jfr. figur 2.6, har været relativ høj.

Det må antages, at tilstrømningen fra Sydkanalen samt eventuelt fra oplandet mellem Sydkanalen og Vejlbj bidrager med ca. 50-150 l/sek. ved lav-normal vandstand i Sydkanalen og ca. 150-300 l/sek. eller mere ved normal-høj vandstand.



Figur 2.7. Tilstrømning til Kolindsund ved Revn som funktion af VSP-koten i Sydkanalen.

3. Sætningsundersøgelse

3.1. Generelle bemærkninger om sætninger

Ved afvanding af dynd- og tørvejorder m.v. fremkommer der en sænkning af terrænoverfladen - i det følgende benævnt sætning - hvorved afvandingsdybden forringes. Sætninger skyldes især følgende forhold:

- a. Reduceret opdrift på jordlagene som følge af lavere grundvandstand efter afvandingen.
- b. Forbrænding (iltning) af det organiske stof i jorden.
- c. Trafikbelastning m.v. (underordnet betydning).

Med sætningen følger en forøget volumenvægt og permeabiliteten reduceres. Med forbrændingen følger, at jorden bliver mere mineralholdig og produktiviteten kan blive nedsat som følge af forringet vandholdende egenskaber.

3.1.1. Konsolideringssætninger

Ved grundvandssænkning i områder, hvor jorden har et stort indhold af organisk materiale, skyldes hovedparten af den samlede sætning den såkaldte konsolideringssætning.

Konsolideringssætninger skyldes, at opdriften fjernes på jordlag beliggende mellem det tidligere og nye grundvandspejl. De underliggende jordlag får som følge heraf en større belastning. Over grundvandsspejlet kan kapillarkræfter medføre et undertryk i porevandet, hvorved belastningen øges. De øgede belastninger (forøgede effektive spændinger) medfører en sætning, hvis størrelse afhænger af jordlagenes evne til sammentrykning.

Konsolideringssætninger for et jordlag beregnes normalt efter følgende formel:

$$S = \frac{Q}{\gamma^1} \cdot \log \frac{K^K \cdot N^N}{L^L \cdot M^M} \quad (3.1)$$

hvor S = sætningen af jordlaget

Q = dekadehældningen bestemt ved belastningsforsøg

γ^1 = jordens reducerede rumvægt

$K = d \cdot \gamma_W =$ effektiv spænding i overkant af laget før grundvandsenkning

$d =$ grundvandstand før grundvandsenkning

$\gamma_W =$ vandets rumvægt

$L = K + \gamma^1 \cdot H =$ effektiv spænding i underkant af laget før grundvandsenkning

$H =$ lagtykkelse før sætning

$M = (d + \Delta d - S) \cdot \gamma_W =$ effektiv spænding i overkant af laget efter sætning

$\Delta d =$ grundvandsenkning

$N = M + \gamma^1 \cdot H =$ effektiv spænding i underkant af laget efter sætningen.

Forholdene er skitseret på fig. 3.1.

Før grundvandsenkning

Efter grundvandsenkning og konsolidering

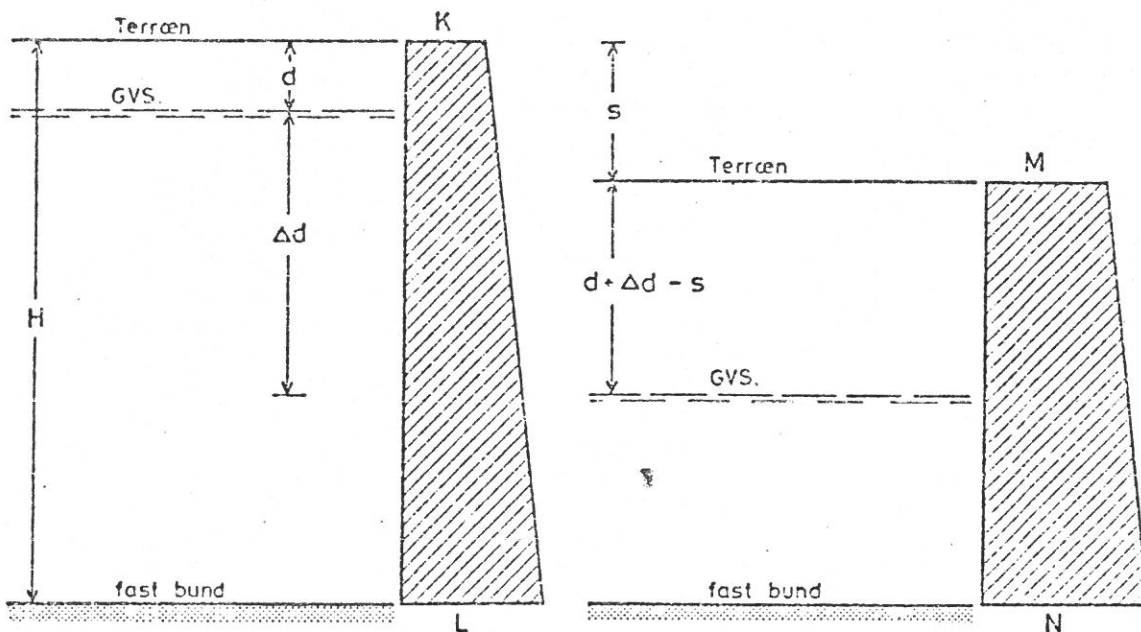


Fig. 3.1. Betegnelser til brug for beregning konsoliderings-sætninger.

Lagens sammentrykkelighed kan måles i konsolideringsapparat ved at påføre en vandfyldt dyndprøve en konstant belastning. Umiddelbart efter belastningen er påført bæres belastningen udelukkende af poreovertrykket. Efterhånden som overtrykket bortdrænes, overføres en stadig større del af belastningen gennem jordpartiklerne. Når hele overtrykket er bortdrænet, er den primære konsolidering afsluttet, og hele belastningen overføres nu gennem jordpartiklerne. Herefter foregår der en sekundær konsolidering. Forholdet er vist på fig. 3.2. Den initiale konsolidering skyldes især tilpasning mellem prøve og apparatur og medtages normalt ikke ved sætningsberegninger.

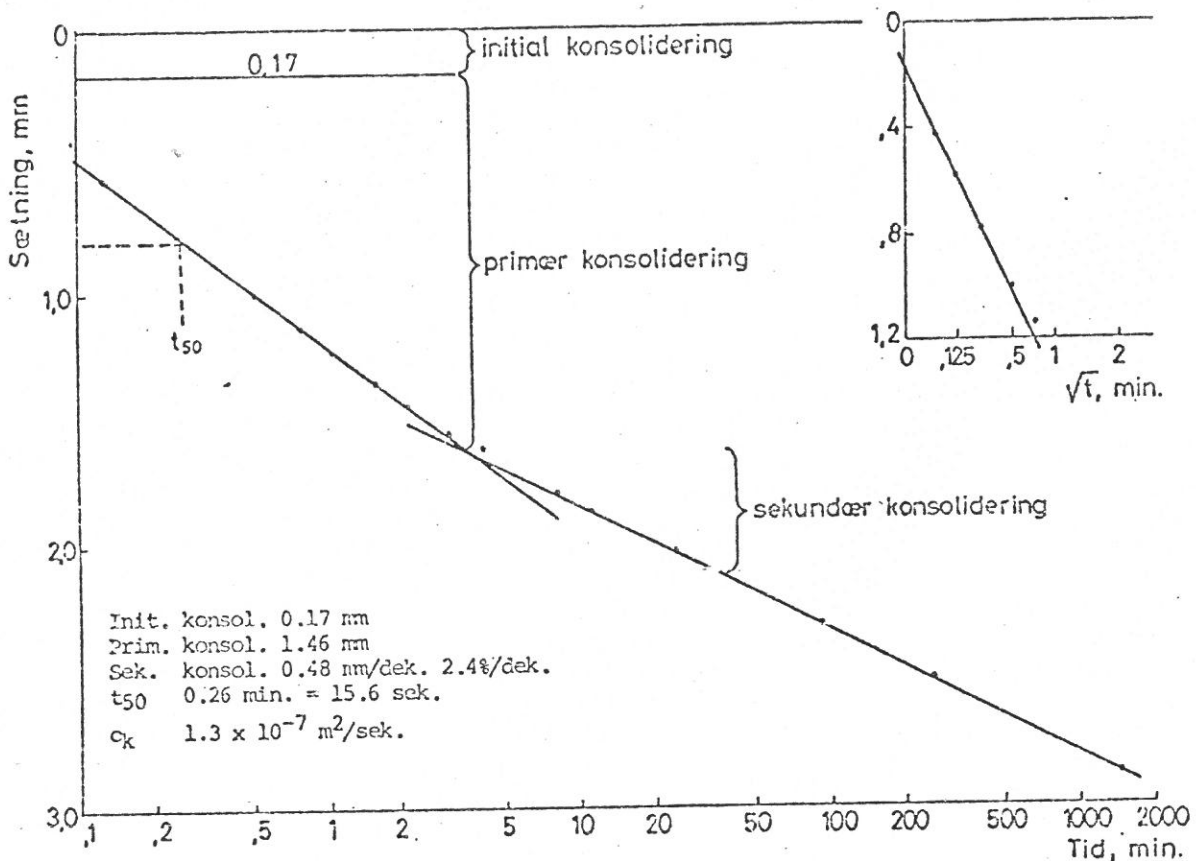


Fig.3.2. Eksempel på tidskurve for konsolideringssætning i laboratorie.

Konsolideringsgraden, U , angiver forholdet mellem sætningen til en given tid og den endelige sætning. På fig. 3.3. er konsolideringsgraden angivet som funktion af tidsfaktoren, T (dimensionsløs).

$$T = \frac{c_k}{H^2} \cdot t \quad (3.2)$$

hvor $c_k = 0,2 \cdot \frac{H^2}{t_{50}}$ = konsolideringskoefficienten

H = lagtykkelsen (er laget dobbeltsidig drænet, er H halvdelen af lagtykkelsen)

t = tiden

t_{50} = tiden, hvorefter 50% af den primære konsolidering er tilendebragt.

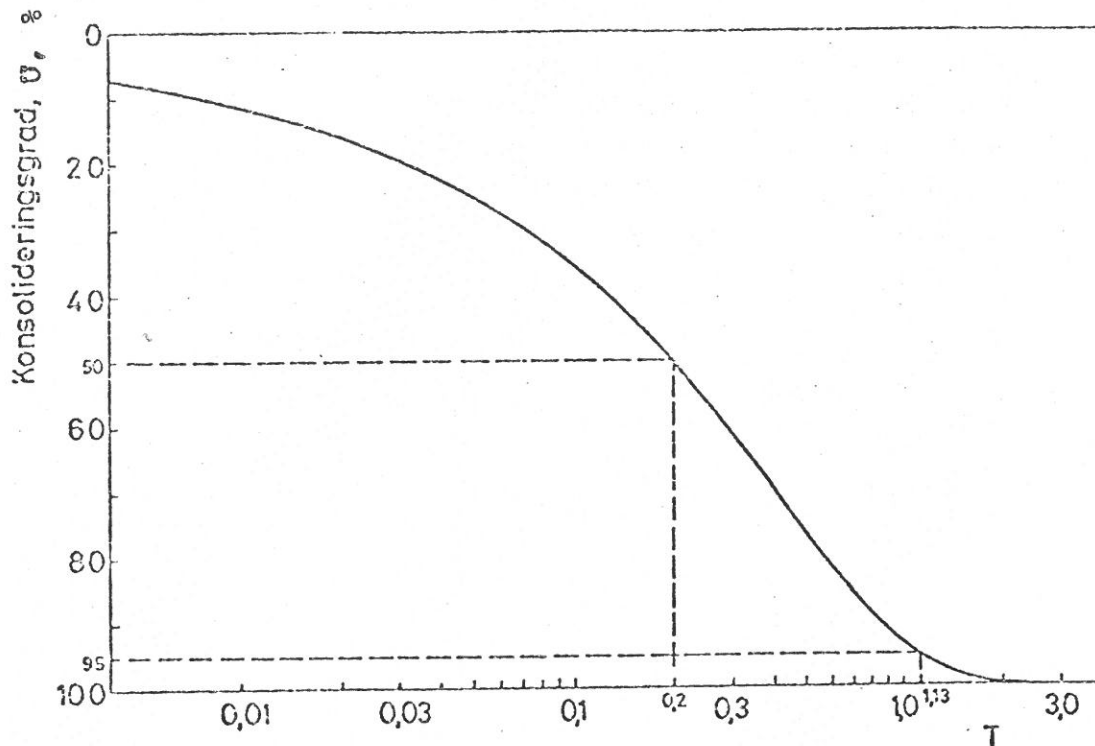


Fig. 3.3. Konsolideringens tidsforløb i forhold til tidsfaktoren T.

Den primære konsolidering er omtrent afsluttet for $T = 1$, jfr. fig. 3.3.

Med kendskab til

- konsolideringskoefficient (laboratorieforsøg)
- tykkelsen af de sætningsgivende jordlag
- "undergrundens" drænvirkning

kan sammenhørende værdier af konsolidering og tid beregnes.

3.2. Nivellement af sætningerne

På baggrund af nivellement fra 1935 af terrænpunkter i nogle delområder, har amtsvandvæsenet i 1982-83 så vidt muligt foretaget nivellement af de samme terrænpunkter med henblik på en vurdering af de sætninger, der er foregået i denne periode på ca. 45 år. De udvalgte områder er angivet på bilag 3. Der er indlagt 14 profilinier på "tværs" af sundet samt to linier, der følger nord- og sydsiden af Midtkanalen fra Benzonzhøjbro til Allelev bro. Sætningerne langs disse linier fremgår af bilag 4 og 5.

Langs Midtkanalen er sætningerne i den vestlige del mellem Kolind og Fannerup forholdsvis beskedne med ca. 5-30 cm, dog ca. 20-40 cm mellem Søby bro og sideløb til Fannerup pumpestation. Mellem Fannerup og Fævejle bro samt i området øst for Allelev bro er der forholdsvis store sætninger på ca. 30-60 cm.

På bilag 4 er desuden angivet det indmålte vandspejl i maj/juni 1935 samt projekteret bundlinie og normalvandspejl. Den forøgede afvandingsdybde var således

ca. 15 cm ved Benzonzhøj bro

ca. 90 cm ved sideløb til Fannerup pumpestation

ca. 60 cm ved Allelev bro

Af bilag 5 fremgår ligeledes, at sætningerne ved linie 1-2 (Pognæs-Søholm) og linie 13-14 (Næsgård-Revsn) er beskedne med ca. 10-30 cm, mens der ved linie 3-12 er sætninger på ca. 30-60 cm.

De virkelige sætninger langs Midtkanalen og bikanalerne er sandsynligvis større end angivet på tegningerne, idet der her kan være oplagt fyld fra oprensningsarbejder.

På bilag 3 er sætningerne angivet i intervaller.

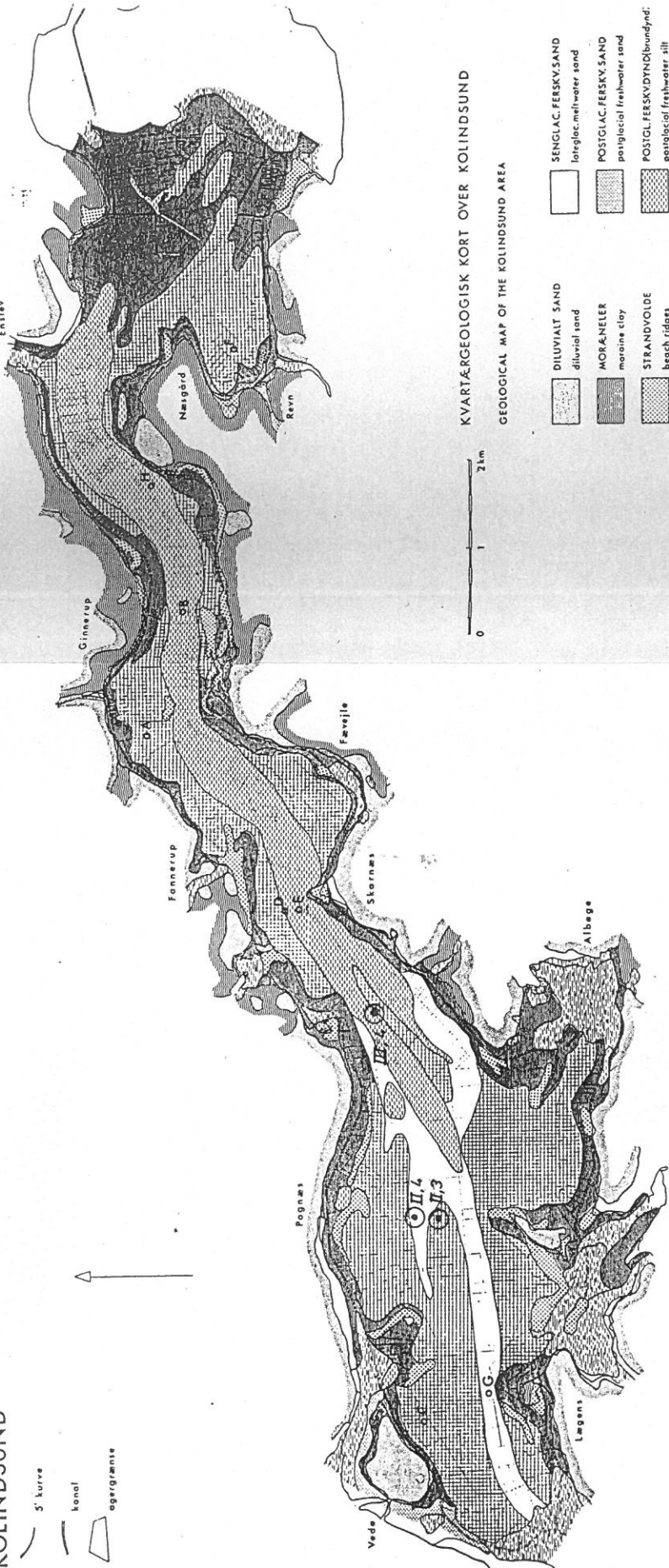
Endvidere er grænsen mellem salt- og ferskvandsdynd angivet /3/.

3.3. Tidligere undersøgelser

Der er så vidt vides ikke foretaget egentlige konsolideringsmålinger af jordprøver fra Kolindsund, ligesom omfanget af boringer til fast bund er meget sparsomt. Det er derfor ikke muligt at lave en nøjere beregning af sætninger i de forskellige områder.

KOLINDSUND

- 5' kurve
- kanal
- agergrænse



KVARTÆR-GEOLOGISK KORT OVER KOLINDSUND GEOLOGICAL MAP OF THE KOLINDSUND AREA

- | | | | |
|--|--|--|---|
| | DILUVIALT SAND
diluvial sand | | SEGLAC. FERSKY.SAND
lateglac. meltwater sand |
| | MORÆ-NEJER
moraine clay | | POSTGLAC. FERSKY.SAND
postglacial freshwater sand |
| | STRANDVOLDE
beach ridges | | POSTGL. FERSKY.DYND(blandt):
postglacial freshwater silt |
| | POSTGLAC. MAR. SAND
postglacial marine sand | | TØRV
peat |
| | MAR. DYND (blødt)
marine silt | | MAR. DYND (Codium-dynd)
marine silt |

(after Hansen F., 1959).

KILDER:
G.I. Høleboardsblade M.2117.2118.2119.
S.A. Andersen: Geologisk kortering af
KOLINDSUND, 1935 (ikke publ.).
Omarbejdet og supplementeret med tilføjelse Ia 18/5/97 af Geodætisk Institut.

De sætningsgivende aflejringer i Kolindsund består af marint dynd (blådynd og cardium-dynd) som i den midterste, lavtliggende del af sundet senere er dækket af ferskvandsdynd (brundynd), jfr. figur 3.4 /3/.

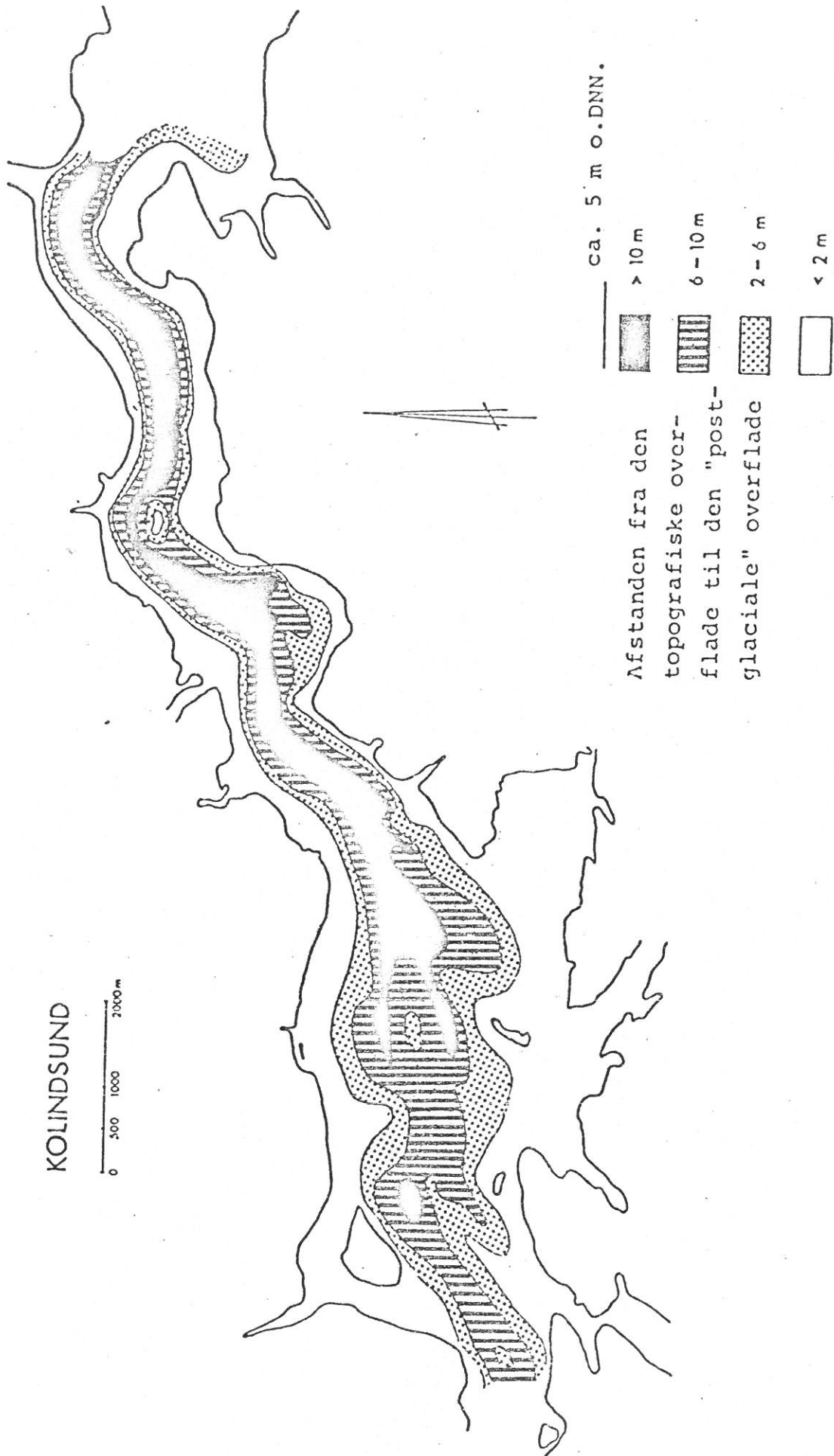
Ifølge /4/ kan det antages, at vandspejlet før afvandingen i 1874 var i kote 0,9-2,0 og bunden af søen umiddelbart efter afvandingen gennemsnitlig har ligget i kote ca. - 1,45 m. I perioden 1874-1935 (ca. 60 år) har mindst 600 ha sat sig mere end 1 m. Vandspejlet ved indløbet til pumpestationerne kan anslåes til følgende:

År	VSP-kote	Laveste terrankote
1870	+1,3	
1880	-2,6	-1,9
1935	-3,5	-3,0
1938	-4,0	
1982	-4,5	-3,6

I 1935-36 er der foretaget en del boringer m.v. i Kolindsund som findes upubliceret ved Danmarks Geologiske Undersøgelser (DGU) og her refereret efter /3/. Af de foreliggende boringer er det kun få, som går igennem de postglaciale aflejringer. Den omtrentlige tykkelse af de sætningsgivende aflejringer fremgår af fig. 3.5. efter /5/.

I området omkring Direktørvældet har Hedeselskabet i 1982 foretaget nivellement, sonderinger af jordbundsforholdene samt måling af potentialet i piezometerrør, jfr. bilag 6-10. Det fremgår heraf, at der tilsyneladende er store variationer i tykkelsen af de sætningsgivende lag indenfor det forholdsvis beskedne område. I området nord for Midtkanalen er der nærmest denne (bilag 8) mindst 7-9 m til "fast bund" og længere mod nord (bilag 9) ca. 1-9 m til "fast bund". Porevandstrykket i de underliggende sand- og gruslag er ca. 1,5-3,0 m over vandspejlet i kanalerne (OGVS).

I området syd for Midtkanalen (bilag 10) er der ca. 4-12 m til "fast bund" og et porevandsovertryk i dyndet på ca. 0-2,8 m over vandspejlet i kanalerne (OGVS), hvilket kan skyldes resterende overtryk efter afvandingen og/eller artetisk vandrejsning p.g.a. de store gradienter på grundvandspejlet udenfor Kolindsund.



Figur 3.5. Lagtykkelse af sætningsgivende jordlag.

3.4. Skøn over beregnede sætninger

I det følgende er foretaget en beregning over sætninger under idealiserede og skønnede forudsætninger. Resultaterne, der naturligvis er behæftet med en del usikkerhed, skal illustrere, hvilke faktorer, der især har indflydelse på størrelsesordenen af sætningerne og tidsforløbet heraf. De benyttede værdier er baseret på målinger fra tilsvarende områder.

3.4.1. Konsolideringssætninger

I tabel 3.1. er konsolideringssætninger og -tider angivet for forskellige afvandingsforhold og lagtykkelser. Beregningerne er udført for en "stiv dyndjord" ($Q = 0,20$, $\gamma^1 = 5 \text{ KN/m}^3$ og $c_k = 10 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$) samt for en "blød dyndjord" ($Q = 0,40$, $\gamma^1 = 0,5 \text{ KN/m}^3$ og $c_k = 1 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$) og forudsat dobbeltsidigt drænet. De anførte konsolideringer er generelt for store, idet der er regnet med vandmættet jord til terræn. Beregningerne er udført v.h.a. Hedeselskabets EDB-model for sætninger.

	GVS før afv. d m	GVS- sækn. Δd m	Konsolidering, S			Konsolideringstid		
			H = 5 m m	H = 10 m m	H = 15 m m	H = 5 m år	H = 10 m år	H = 15 m år
"stiv dynd- jord"	1,0	0,5	0,03	0,11	0,13	0,2	0,8	1,8
	0,5	0,5	0,11	0,14	0,15	0,2	0,8	1,8
	0,5	1,0	0,19	0,25	0,29	0,2	0,8	1,8
	0,0	3,0	0,53	0,72	0,83	0,2	0,8	1,8
"blød dynd- jord"	1,0	0,5	0,20	0,28	0,32	2	8	18
	0,5	0,5	0,27	0,34	0,37	2	8	18
	0,5	1,0	0,51	0,66	0,73	2	8	18
	0,0	3,0	1,71	2,12	2,41	2	8	18

Tabel 3.1. Eksempel på beregnede konsolideringssætninger og -tider under ideale forhold (se figur 3.1).

Det fremgår af tabel 3.1. at konsolideringen

- afhænger meget af jordens egenskaber
- kun i ringe grad afhænger af grundvandstanden før afvandingen
- øges betydeligt ved øget afvandingsdybde
- kun i mindre grad afhænger af lagtykkelsen, hvor grundvandssænkningen er ringe i forhold til lagtykkelsen.

og at konsolideringstiden

- afhænger meget af jordens egenskaber
- øges meget med lagtykkelsen (i 2. potens)

3.4.2. Forbrænding af organisk stof

Ifølge /3/ er der i 1935-36 målt et glødetab (ca. 700°C og reduceret for CaCO₃) på ca. 10% v/boring II, 3 og II, 4 (marint dynd) og ca. 20% v/boring II, 4 (ferskvandsdynd) jfr. figur 3.4.

Glødetabet angiver den sætning, der på længere sigt kan foregå p.g.a. nedbrydningen af det organiske materiale i jordlag over grundvandspejlet. Ved en afvandingsdybde på ca. 1,0 m kan de resterende sætninger p.g.a. mineralisering efter 1935 således antages at udgøre 10-20 cm. Hastigheden, hvormed mineraliseringen foregår, øges især ved

- lavt vandindhold
- høj pH-værdi (kalkning)
- højt indhold af næringsstoffer.

Det kan antages, at der vil forløbe 50-200 år, før mineraliseringen er ophørt /6/.

3.4.3. Sætninger ialt

Dyndet i Kolindsund har sandsynligvis egenskaber, der kommer nær "blødt dynd" i tabel 3.1.

For hele afvandingsperioden (1874-1982) kan der regnes med en grundvandssænkning fra kote ca. ÷ 1,4 m (terræn) til ca. ÷ 4,2 m eller ialt ca. 2,8 m i den centrale, lavtliggende områder. Det svarer til en samlet sætning, jfr. afsnit 3.4.1. og 3.4.2. på ca.

1,8-2,2 m, hvilket giver en terrænkote i dag på ca. \div 3,2 - \div 3,6 m, hvilket er i rimelig overensstemmelse med de faktiske forhold. For den seneste afvandingsperiode (1935-83) kan sætningerne teoretisk "beregnes" til nedcnstående:

Fævejle bro	Benzonhøj bro	
$d = 1,2$ m	$d = 0,9$ m	(bilag 4)
$\Delta d = 0,8$ m	$\Delta d = 0,15$ m	(bilag 4)
$H = 10-15$ m	$H = 5-10$ m	(fig. 3.5.)
$S = 0,5-0,7$ m	$S = 0,05$ m	(tabel 3.1.)

Der er en rimelig overensstemmelse med de målte sætninger på ca. 0,5 m ved Fævejlebro og ca. 0,1 m ved Benzonhøj.

4. Vandbalance

4.1. Pumpeprøver

Den 6/4 og 8/4 1983 udførte Hedeselskabet's Hydrometriske Undersøgelser afprøvning af pumperne i Fannerup og Enslev pumpestationer. Resultatet heraf fremgår af tabel 4.1.

Elforbruget er beregnet ud fra aflæsning af pumpestationernes kWh-målere (voltmetre var ude af drift).

Efter oplysning fra elselskabet Arke svarer 1 kWh til 6 ankeromdrejninger i Fannerup pumpestation og 9,6 ankeromdrejninger i Enslev pumpestation.

Vedrørende løftehøjder skal det bemærkes, at ved prøverne den 6/4 1983 blev pumperne afprøvet efter de på dagen naturlige vandstandsforhold.

En undersøgelse af 5 års pumpedata viser, at den maksimale løftehøjde for begge pumpestationer er omkring 6 m. Derfor blev der ved afprøvningerne d. 8/4 1983 opsat stemmeplanker i alle afløb fra pumperne for derved at øge løftehøjderne kunstigt til omkring 6 m. Disse løftehøjder kunne ikke være opnået med de på dagen naturlige vandstandsforhold.

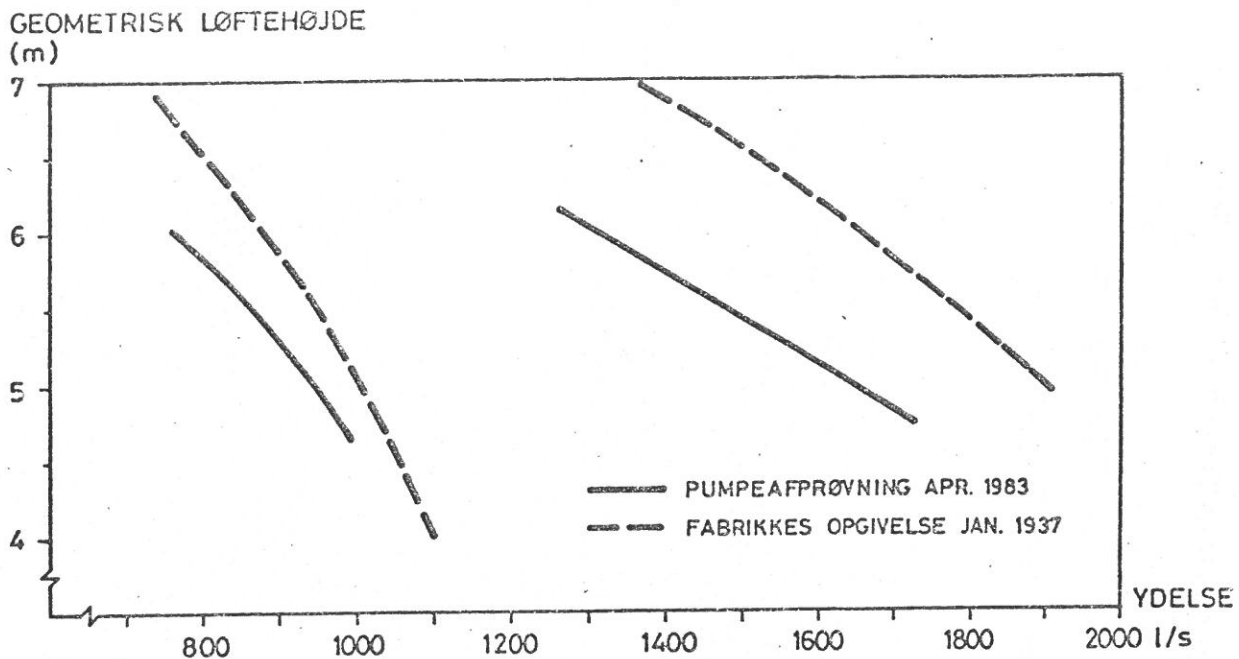
4.2. Vurdering af pumpeafprøvningerne

På figurerne 4.1 og 4.2 er optegnet QH-kurverne for pumpeafprøvningerne i april 1983 på basis af to prøver pr. pumpe samt QH-kurverne efter fabrikkens opgivelser. Af disse ses, at for de to store pumper er vandføringen for en given løftehøjde ca. 250-350 l/s mindre end fabrikkens opgivelser, som foreligger i form af kurveblade af januar 1937 for hver pumpe. De små pumper giver et noget andet resultat. Pumpen i Enslev har en større ydelse end fabrikkens opgivelser, ca. 70-120 l/s mere for en given løftehøjde, mens den lille pumpe i Fannerup giver ca. 50-100 l/s mindre for en given løftehøjde end fabrikkens opgivelser.

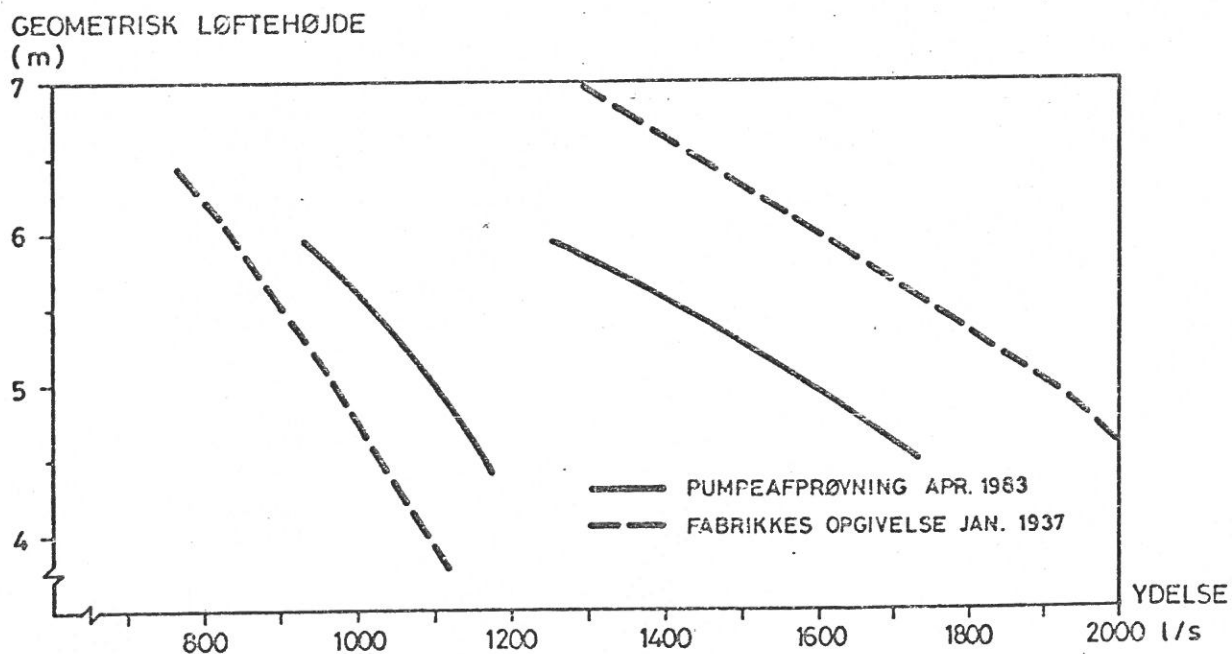
1983 Dato/sted	Pumperne		Motorerne			Anlæggets virkningsgrad efter anker (%)
	Vandføring (l/s)	Geometrisk løftehøjde (m)	Effekt (HK)	Forbrug ef- ter anker (HK)	Amp. pr.min.	
<u>Fannerup</u>						
6/4	993	4,64	61,4	119	156	51,6
8/4	757	6,01	60,1	141	177	42,6
	<u>Store pumpe</u>					
6/4	1730	4,72	108,9	172	243	63,5
8/4	1260	6,16	103,5	196	265	52,8
<u>Enslev</u>						
6/4	1170	4,42	69,0	122	151	56,6
8/4	930	5,95	73,8	134	165	55,1
	<u>Store pumpe</u>					
6/4	1730	4,50	103,8	160	211	64,8
8/4	1250	5,95	99,2	178	240	55,6

Tabel 4.1.: Oversigt over afprøvning af pumpeanlæg d. 6/4 og 8/4 1983.

Det danske Hedeselskab
Hydrometriske Undersøgelser
Slagelse, den 01.06.1983



Figur 4.1. QH-kurve for Fannerup pumpestation.



Figur 4.2. QH-kurve for Enslev pumpestation.

I tabel 4.2 er vist virkningsgraderne for Fannerup og Enslev pumpestationer, beregnet på 3 forskellige tidspunkter. Afprøvningen i 1955 er udført af Hydrometriske Undersøgelser, dog ved en lidt mindre løftehøjde.

Pumpe- station	Hgeo m	Virkningsgrad		
		jan. 1937 %	jun. 1955 %	apr. 1983 %
Fannerup	4,64	75	52	52
lille pumpe	6,01	74	-	43
Fannerup	4,72	78	52	64
store pumpe	6,16	72	-	53
Enslev	4,42	74	60	57
lille pumpe	5,95	74	-	55
Enslev	4,50	78	52	65
store pumpe	5,95	69	-	56

Tabel 4.2. Virkningsgrader for anlæggene.

Af tabel 4.2 ses, at nyttevirkningen er væsentlig forringet i forhold til fabrikkens data, mens nyttevirkningen i forhold til afprøvningen i 1955 for de små pumper er uændret, mens den er bedret for de store pumper. Årsagen til dette er de ændringer og forbedringer, man har foretaget siden midt i 1960-erne. En liste over disse er vist i tabel 4.3 og 4.4. Den lille pumpe i Fannerup viser sig at have en virkningsgrad på kun 52%-43% svarende til ca. 30% forringelse i forhold til fabrikkens data.

Generelt kan det anføres, at en øget benyttelse af de store pumper giver en besparelse i elforbruget p.g.a. væsentlig bedre virkningsgrad. Specielt i Fannerup, hvor virkningsgraden indenfor afprøvningsintervallet er ca. 10% større end for den lille pumpe. Det forudsættes, at det øgede antal starter ikke medfører andre gener. I tabel 4.5 er vist det antal kWh, der skal til at udpumpe 1000 m³ vand, så man bedre kan fornemme udgifterne.

Pumpestationen i Fannerup

Lille pumpe:

22.11. 1966	2 lejer i motor
15. 2. 1971	1 støtteleje ved pumpe
16. 7. 1971	1 topleje i motor
nov.dec. 71	motor repareret efter brand
25. 2. 1974	2 lejer i motor. Ny foringer, nye skovlblade. Emderør pålagt. Aksel og afdrejet. Nyt bærel- leje (tryk 55 t) nr. 29328.
13. 5. 1976	1 støtteleje ved pumpe
11. 7. 1975	1 topleje i motor. Do. 8.8. 1975
23.10. 1978	Klap knækket. Ny aksel m.m.
14. 6. 1979	1 topleje i motor
30. 4. 1982	1 topleje i motor.

Motorleje nr. 21320

Støtteleje - N 230 C 3.

Stor pumpe:

18. 2. 1966	2 lejer i motor + 1 støtteleje i pumpe
27. 9. 1967	Underste leje i motor udskiftet
5.11. 1970	1 støtteleje i pumpe
1. 2. 1971	1 støtteleje. Nyt bærelleje (tryk 106 t) nr. 29340 Glideforinger afdrejet, rustfri emderør, pålagt aksel og propelblade rettet op.
juni 1979	Klap oppe til reparation (revne i 2/3 længde) Ny aksel og kontravægte.

Motorlejer nr. 21322

Støttelejer - N 230 C 3.

Tabel 4.3. Ændringer/forbedringer vedrørende pumperne i Fannerup.

Pumpestationen i Enslev

Lille pumpe:

2. 8. 1968	2 lejer i motor og bevikling repareret
22.2. 1971	1 støtteleje ved pumpe
19. 4.1972	2 lejer i motor
dec. 1978	Klap oppe til reparation. Ny aksel og kontravægte
5. 5. 1980	Ny propelblade og nyt støtteleje.

Støttelejer nr. N 230 C 3

Motorlejer ,nr. 21320

Bærelaje nr. 29328

Stor pumpe:

1. 2. 1968	1 støtteleje i pumpe. Skovlblade rettet op.
før 1972	2 lejer i motor
dec. 1978	Klap oppe til eftersyn. Ny aksel og kontravægte.

Støttelejer nr. N 230 C 3

Motorlejer nr. 21322

Bærelaje i det oprindelige glideleje (Metchell) skal laves om en gang til nr. 29340..

Tabel 4.4. Ændringer/forbedringer vedrørende pumperne i Enslev.

Pumpe- station	Hgeo m	Effektforbrug (kWh/1000 m ³)		
		jan. 1937	jan. 1955	apr. 1983
Fannerup lille pumpe	4,64	17	24	24
	6,01	22	-	38
Fannerup store pumpe	4,72	16	25	20
	6,16	24	-	32
Enslev lille pumpe	4,42	16	20	21
	5,95	22	-	29
Enslev store pumpe	4,50	16	23	19
	5,95	24	-	29

Tabel 4.5. Effektforbrug (kWh/1000 m³) for anlæggene.

Det samlede indtryk er, at de store pumper arbejder tilfredsstillende, mens de små pumper arbejder utilfredsstillende, idet virkningsgraden i Fannerup generelt er for lav og ved moderate løftehøjder også er for lav i Enslev.

4.3. Udpumpede vandmængder.

Til bestemmelse af de udpumpede vandmængder fra Kolindsund er det nødvendigt at have kendskab til pumpekarakteristik og samhørende værdier af løftehøjder og pumpetider.

Pumpekarakteristikken er fastlagt gennem en pumpeprøve indenfor det løftehøjdeinterval, hvor pumperne arbejder, jfr. afsnit 4.1 og 4.2.

Af pumpelaget er der for årene 1975, 76, 79, 81 og 82 modtaget ugentlige registreringer af start- og stopkoter i pumpekanalen, vandstandskote i afløbskanalen, pumpetider og kWh forbrug. Da man mangelfuldt ikke har timetæller på pumperne, er driftstiden af disse bestemt ud fra de ugestrimler, hvorpå vandstandskoterne i pumpe- og afløbskanal er registreret. På disse kan man p.g.a. pludselig vandstandsvariation se, hvornår pumperne starter og stopper.

Da der er data for pumpetider og kWh, har man en overbestemmelse, da kWh/h er nogenlunde konstant for de enkelte pumper, hvormed eventuelle inddateringsfejl m.v. ved overførsel af de mange data til

EDB har kunnet kontrolleres.

Ved hjælp af EDB-program er de udpumpede ugentlige vandmængder fra Fannerup og Enslev pumpestation beregnet og konverteret til månedsværdier. Disse tal er vist i tabel 4.3 og 4.4.

Ar	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.	Aret
1975	350	265	222	244	214	218	297	280	255	265	253	228	3091
1976	303	242	213	210	185	193	197	219	204	259	250	256	2731
1979	224	200	505	349	306	282	291	319	313	303	336	345	3773
1981	368	261	357	228	244	283	462	534	452	428	428	332	4377
1982	297	421	303	209	233	242	241	231	204	220	262	300	3163
middel	308	278	320	248	236	244	298	317	286	295	306	292	3427

Tabel 4.3. Udpumpede vandmængder (mm) fra Enslev pumpestation, baseret på et opland på ca. 900 ha (3427 mm = 30,8 mio. m³).

Ar	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Maj	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dec.	Aret
1975	193	134	95	117	84	72	80	86	82	84	86	82	1195
1976	143	88	91	99	89	76	57	67	67	85	84	116	1052
1979	101	88	261	178	132	97	82	83	84	84	102	165	1457
1981	203	148	190	125	103	113	205	240	230	215	225	178	2175
1982	186	209	161	113	113	103	96	92	90	112	112	144	1531
middel	165	133	160	126	104	92	104	114	111	115	122	137	1484

Tabel 4.4. Udpumpede vandmængder (mm) fra Fannerup pumpestation, baseret på et opland på ca. 1700 ha (1484 mm = 25,2 mio. m³).

4.4. Fordampning

Som fordampningsdata er benyttet den potentielle fordampning. Denne er defineret som den af klimaet betingede vandfordampning fra et areal med kort, tæt, homogen grøn og voksende afgrøde, der dækker et betydeligt areal af jorden, som er optimalt forsynet med vand. Det må anses for rimeligt, specielt da afgrøden i Kolindsund sandsynligvis er optimalt forsynet med vand i hovedparten af tiden. Som aktuelle beregningsdata er benyttet den rene middelværdi fra følgende målestationer i Østjylland: Grenå, Ødum og Skanderborg, jfr. tabel 4.5. Fordampningen måles ikke i perioden dec.-mar. og er sat til 0 mm, hvilket er uden større betydning, jfr. afsnit 4.6.

År	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	ialt
1975	42	91	105	114	106	57	27	10	552
1976	54	71	97	137	121	55	27	10	572
1979	39	77	90	94	63	53	32	9	457
1981	57	93	65	82	72	35	27	14	445
1982	55	64	88	105	93	43	20	15	483

Tabel 4.5. Anvendte fordampningsdata (mm).

4.5. Nedbør

Som nedbørsdata er anvendt den rene middelværdi af følgende syv målestationer i Århus amtskommune, angivet med Meteorologisk Institut's numre.

<u>Station</u>	<u>Geografisk placering</u>
110	Voldby
120	Fornæs
130	Djursgård
140	Lyngdalsgård
190	Tirstrup
200	Kolind
208	Skaføgård

De anvendte nedbørsdata fremgår af tabel 4.6. idet bemærkes, at der ikke er søgt korrigeret for befugtningstab og aerodynamisk effekt.

År	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	ialt
1975	81	9	12	61	22	18	49	33	42	31	42	29	429
1976	66	10	13	22	48	13	27	13	29	90	39	70	440
1979	40	15	58	39	67	29	28	71	45	22	91	94	599
1981	55	34	66	10	67	91	134	91	51	70	92	60	821
1982	46	7	31	11	49	90	16	88	33	79	48	62	563

Tabel 4.6. Anvendte nedbørsdata (mm).

4.6. Indstrømning

Med de kendte månedsværdier af nedbør, N , fordampning, E , og udpumpning, A_o , er opstillet en vandbalance for oplandene: Fannerup pumpestation (ca. 1700 ha), Enslev pumpestation (ca. 900 ha) og for hele Kolindsund (ca. 2600 ha). Disse fremgår af tab. 4.7-4.11.

Generelle data		Emslev pumpestation				Famrup pumpestation				Kolindsund ialt						
Ar	Ned- bor	For- damp- ning	Ud- pump ning	Ind- strøm- ning	Vandspejls- koter	Løfte- højde	Ud- pump ning	Ind- strøm- ning	Vandspejls- koter	Løfte- højde	Ud- pump ning	Ind- strøm- ning	Vandspejls- koter	Løfte- højde		
1975	mm	mm	mm	mm	m	m	mm	mm	m	m	mm	mm	m	m		
Jan.	81	0	350	269	-4.18	0.48	4.66	193	112	-4.14	0.90	5.04	167	-4.16	0.69	4.85
Feb.	9	0	265	256	-4.16	0.33	4.49	134	125	-4.15	0.82	4.97	170	-4.16	0.57	4.73
Mar.	12	0	222	210	-4.17	0.20	4.37	95	83	-4.15	0.54	4.69	127	-4.16	0.37	4.53
Apr.	61	42	244	225	-4.19	0.28	4.48	117	98	-4.16	0.66	4.83	142	-4.18	0.47	4.66
Maj	22	91	214	283	-4.25	0.23	4.48	84	153	-4.23	0.54	4.76	198	-4.24	0.39	4.62
Jun.	18	105	218	305	-4.17	0.24	4.41	72	159	-4.21	0.57	4.78	210	-4.19	0.41	4.60
Jul.	49	114	297	362	-4.11	0.34	4.45	80	145	-4.15	0.68	4.83	219	-4.13	0.51	4.64
Aug.	33	106	280	353	-4.16	0.36	4.52	86	159	-4.12	0.72	4.84	226	-4.14	0.54	4.68
Sep.	42	57	255	270	-4.14	0.26	4.40	82	97	-4.20	0.56	4.76	157	-4.17	0.41	4.58
Okt.	31	27	265	261	-4.16	0.25	4.40	84	80	-4.22	0.55	4.77	142	-4.19	0.40	4.59
Nov.	42	10	253	221	-4.15	0.23	4.38	86	54	-4.25	0.60	4.85	112	-4.20	0.42	4.62
Dec.	29	0	228	199	-4.15	0.23	4.38	82	53	-4.18	0.56	4.75	104	-4.16	0.40	4.57
Året	429	552	3091	3214	-4.17	0.29	4.45	1195	1318	-4.18	0.64	4.82	1851	-4.17	0.46	4.64

Tabel 4.7. Vandbalance for 1975.

Ar	Ned- bar	Før- damp- ning	Ud- pump ning	Ind- strøm- ning	Erslev pumpestation		Fannerup pumpestation		Kolindsund ialt							
					Vandspejls- koter	Løfte- højde	Vandspejls- koter	Løfte- højde	Vandspejls- koter	Løfte- højde						
1976	mm	mm	mm	mm	indre	ydre	indre	ydre	indre	ydre						
Jan.	66	0	303	237	-4.15	0.37	4.53	143	77	-4.17	0.75	4.93	198	-4.16	0.56	4.73
Feb.	10	0	242	232	-4.15	0.18	4.33	88	78	-4.18	0.50	4.67	141	-4.16	0.34	4.50
Mar.	13	0	213	200	-4.15	0.15	4.30	91	78	-4.17	0.44	4.61	133	-4.16	0.30	4.46
Apr.	22	54	210	242	-4.18	0.15	4.33	99	131	-4.20	0.51	4.71	137	-4.19	0.33	4.52
Maj.	48	71	185	208	-4.20	0.19	4.39	89	112	-4.22	0.49	4.71	122	-4.21	0.34	4.55
Jun.	13	97	193	277	-4.18	0.21	4.39	76	160	-4.22	0.49	4.72	117	-4.20	0.35	4.55
Jul.	27	137	197	307	-4.05	0.22	4.27	57	167	-4.13	0.57	4.69	105	-4.09	0.40	4.43
Aug.	13	121	219	327	-4.12	0.23	4.35	67	175	-4.15	0.66	4.81	120	-4.14	0.45	4.58
Sep.	29	55	204	290	-4.16	0.21	4.37	67	93	-4.18	0.74	4.91	114	-4.17	0.47	4.64
Okt.	90	27	259	196	-4.17	0.22	4.39	85	22	-4.26	0.81	5.07	145	-4.22	0.51	4.73
Nov.	39	10	280	221	-4.17	0.16	4.33	84	55	-4.25	0.70	4.95	141	-4.21	0.43	4.64
Dec.	70	0	256	186	-4.17	0.24	4.41	116	46	-4.15	0.86	5.01	164	-4.16	0.55	4.71
Aret	440	572	2731	2663	-4.15	0.21	4.37	1062	1194	-4.19	0.63	4.82	1640	-4.17	0.42	4.59

Tabel 4.8. Vandbalance for 1976.

Gærelle data		Ersløv pumpestation				Færnerup pumpestation				Kollindsrud ialt						
Ar	Ned-bør	For-damp-ning	Ud-pump-ning	Ind-strøm-ning	Vandspejls-koter	Løfte-højde	Ud-pump-ning	Ind-strøm-ning	Vandspejls-koter	Løfte-højde	Ud-pump-ning	Ind-strøm-ning	Vandspejls-koter	Løfte-højde		
1979	mm	mm	mm	mm	m	m	mm	mm	m	m	mm	mm	m	m		
Jan.	40	0	224	184	-4.18	0.28	101	61	-4.30	1.00	5.30	144	104	-4.24	0.64	4.88
Feb.	15	0	200	185	-4.13	0.25	88	73	-4.29	1.01	5.30	127	112	-4.21	0.63	4.84
Mar.	58	0	505	447	-4.14	0.68	261	203	-4.10	1.31	5.41	345	287	-4.12	1.00	5.12
Apr.	39	39	349	349	-4.22	0.47	178	178	-4.16	0.95	5.13	237	237	-4.20	0.71	4.91
Maj.	67	77	306	316	-4.30	0.43	132	142	-4.27	0.93	5.20	192	202	-4.29	0.68	4.97
Juni.	29	90	282	343	-4.28	0.39	97	158	-4.26	0.86	5.12	161	223	-4.27	0.63	4.89
Juli.	28	94	291	357	-4.20	0.33	82	148	-4.18	0.81	4.99	154	221	-4.19	0.57	4.76
Aug.	71	63	319	311	-4.16	0.35	83	75	-4.22	0.82	5.04	165	157	-4.19	0.58	4.78
Sep.	45	53	313	321	-4.19	0.34	84	92	-4.18	0.83	5.01	163	171	-4.18	0.58	4.78
Okt.	22	32	303	313	-4.20	0.28	84	94	-4.25	0.72	4.97	160	169	-4.22	0.50	4.72
Nov.	91	9	336	254	-4.25	0.42	102	20	-4.24	0.84	5.03	183	102	-4.24	0.63	4.88
Dec.	94	0	345	251	-4.18	0.59	165	71	-4.20	1.06	5.26	227	133	-4.19	0.82	5.02
Aret	599	157	3773	3631	-4.20	0.40	1457	1315	-4.22	0.93	5.15	2259	2117	-4.21	0.66	4.88

Tabel 4.9. Vandbalance for 1979.

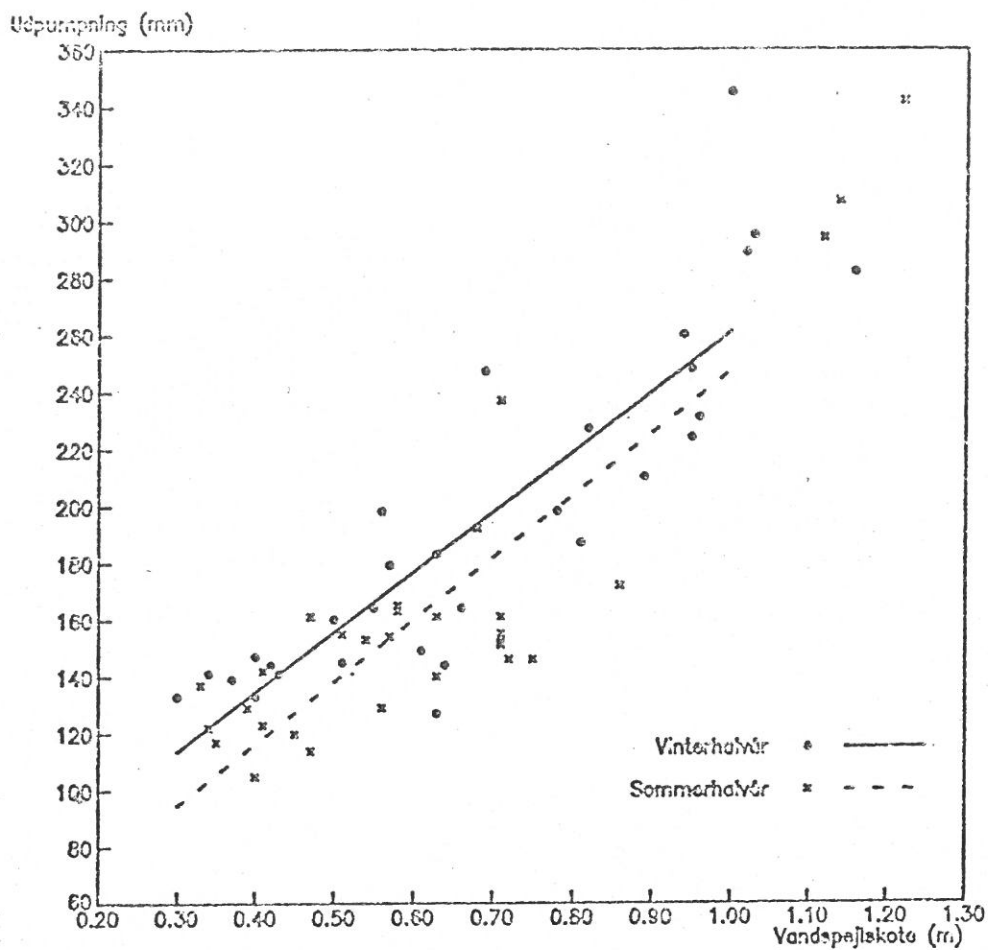
Ar	Ned- bar	Føl- ning	Eoslev pumpestation				Færøer pumpestation				Kolindurd ialt						
			Ud- pump	Ind- ning	Vandspejls- koter	Løfte- højde	Ud- pump	Ind- ning	Vandspejls- koter	Løfte- højde	Ud- pump	Ind- ning	Vandspejls- koter	Løfte- højde			
1981	mm	mm	mm	mm	m	mm	mm	m	mm	mm	m	mm	m				
Jan.	55	0	368	313	-4.18	0.69	4.87	203	148	-4.25	1.18	5.43	260	205	-4.22	0.94	5.15
Feb.	34	0	261	227	-4.16	0.58	4.74	148	114	-4.23	1.03	5.26	187	153	-4.20	0.81	5.00
Marc	66	0	367	291	-4.24	0.75	4.99	190	124	-4.17	1.15	5.31	248	182	-4.20	0.95	5.15
Apr.	10	57	228	275	-4.30	0.54	4.84	125	172	-4.20	0.87	5.07	161	208	-4.25	0.71	4.96
Maj	67	93	244	270	-4.28	0.55	4.83	103	129	-4.24	0.87	5.11	152	178	-4.26	0.71	4.97
Jun.	91	65	263	257	-4.22	0.61	4.83	113	87	-4.21	1.10	5.31	172	146	-4.22	0.86	5.07
Jul.	134	82	462	410	-4.17	0.85	5.03	205	153	-4.20	1.38	5.58	294	241	-4.18	1.12	5.31
Aug.	91	72	534	515	-4.12	0.91	5.03	240	221	-4.11	1.53	5.65	342	323	-4.12	1.22	5.34
Sept.	51	35	452	436	-4.25	0.84	5.09	230	214	-4.19	1.44	5.63	307	291	-4.22	1.14	5.36
Okt.	70	27	428	385	-4.22	0.80	5.03	215	172	-4.22	1.25	5.47	289	246	-4.22	1.02	5.25
Nov.	92	14	428	350	-4.24	0.85	5.09	225	147	-4.21	1.20	5.41	295	217	-4.22	1.03	5.25
Dec.	60	0	332	272	-4.19	0.75	4.94	178	118	-4.10	1.18	5.28	231	171	-4.14	0.96	5.11
Aret	821	445	4377	4001	-4.21	0.73	4.94	2175	1799	-4.19	1.18	5.38	2937	2561	-4.20	0.95	5.16

Tabel 4.10. Vandbalance for 1981.

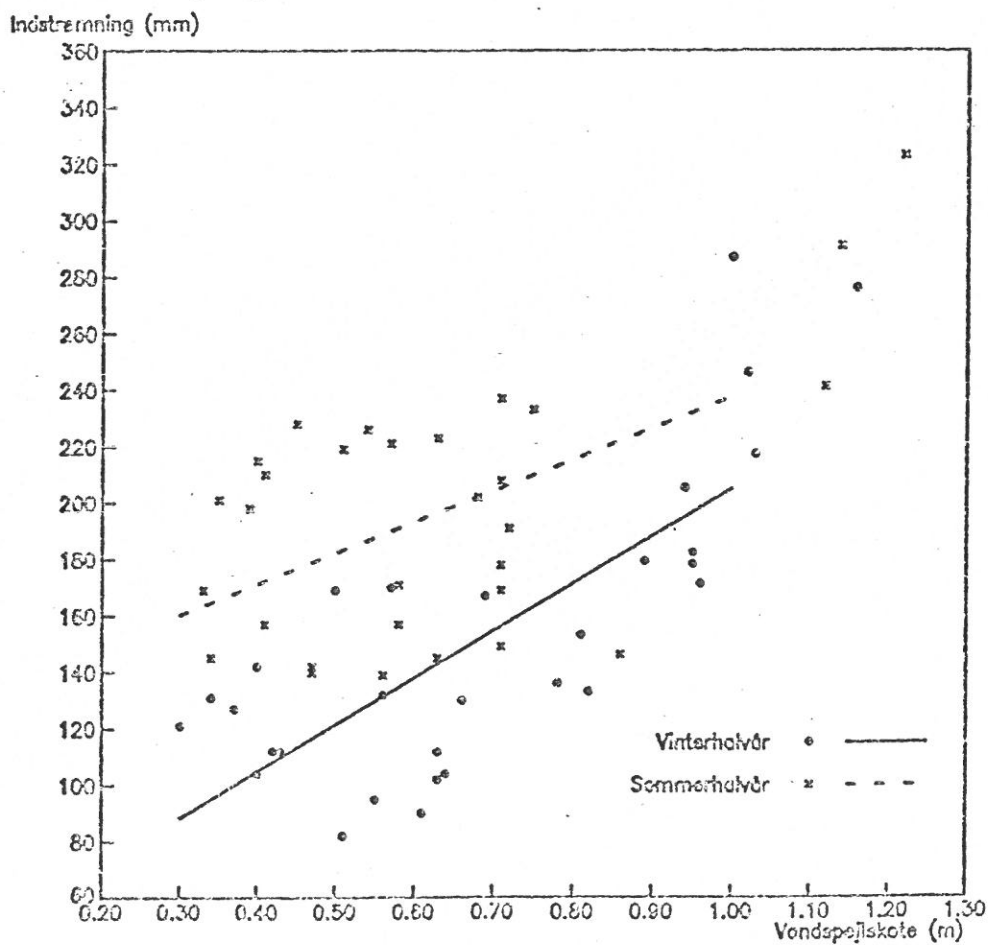
Ved vandbalance er den underjordiske tilstrømning A_u (i tabellerne betegnet indstrømning), beregnet under forudsætning af, at magasinændringen, ΔS , er nul (samme grundvandstand og ingen sne ved månedsskift). Tilstrømningen bestemmes som $A_u = A_o + F - N$ og består af to bidrag. Disse er den almindelige grundvandstilstrømning, der hidrører fra oplandet udenfor Kolindsund samt den gennemsivning, der hidrører fra landkanalens diger. Hvorledes forholdet er mellem disse, er vurderet i afsnit 4.7. Af vandbalancerne fremgår, at indstrømningsmængderne er af samme størrelse som de udpumpede mængder. Det betyder, at nedbør og fordampning ikke spiller den store rolle i vandbalancen, hvilket berettiger den lille indsats, der er gjort på vurdering af disse i forhold til de udpumpede vandmængder.

For at belyse, om vandspejlskoten i landkanalerne har sammenhæng med de udpumpede vandmængder er udpumpningsmængderne som funktion af vandspejlskoten optegnet på figur 4.3. Som data for udpumpning er anvendt månedsværdier for Kolindsund under et. Som data for vandspejlskoten i landkanalerne er anvendt middelværdi af månedsmiddelvandspejlet ved Fannerup og Enslev pumpestation. Når det bliver optegnet på månedsbasis, skal man være klar over, at der hermed indføres en udjævning, så ekstremværdierne ikke vises så tydeligt. Men af figur 4.3 ses, at der er en klar sammenhæng. Voksende vandspejlskote i landkanalerne giver voksende udpumpningsmængde. Da denne afbildning skjuler effekten af nedbør og fordampning, er på figur 4.4 desuden optegnet indstrømningen som funktion af vandspejlskoten.

Af denne figur er sammenhængen ikke så klar, men man skal hæfte sig ved, at når vandspejlskoten er over ca. 1 m, øges indstrømningen markant. Dette kan måske bekræfte det faktum, at når vandspejlskoten i landkanalerne kommer over en vis kote, vokser vandføringen væsentligt i mange tilløbskanaler til Midtkanalen. Når vandmængden her pludselig vokser, kan det skyldes, at vandspejlet i landkanalerne står i forbindelse med meget let gennemtrængelige lag i digerne.



Figur 4.3. Udpumpede vandmængder som funktion af vandspejlskoten.



Figur 4.4. Indstrømning som funktion af vandspejlskoten.

4.7. Vurdering af forholdet mellem de to indsivningsformer

En vurdering af forholdet mellem indsivning fra landkanalerne og fra baglandet vil være behæftet med stor usikkerhed, da gennemsivningen fra kanalerne, jfr. afsnit 2 er meget dårligt bestemt. Derimod er den totale indstrømning til Kolindsund godt bestemt.

I afsnit 2.2. er gennemsivningen fra kanalerne anslået til ca. 0,1 mm/dag eller ca. 3 mm/måned ved en normalvandstand og til ca. 4 mm/dag eller ca. 120 mm/måned ved en maksimalvandstand, jfr. tabel 4.7-4.11. Hertil kommer en nogenlunde konstant basistilstrømning fra væld og kilder hvoraf en del stammer fra landkanalerne /5/.

Ved en normalvandstand synes bidraget fra landkanalerne således at være beskedent, medens det ved en maksimalvandstand andrager ca. 40% af den totale indstrømning.

Det bemærkes, at den i afsnit 2.3 målte indstrømning ved Revn andrager ca. 50-100 l/s ved lav- normal vandstand i Sydkanalen svarende til 5-10 mm/måned.

5. Kanalernes vandføringsevne

5.1. Vandløbssystemet

På bilag 11 er vist oplands- og deloplandsgrænser for Grenåen. Desuden er påskrevet samtlige navne på vandløb og de tilhørende deloplandes størrelser.

5.2. Vandløbsdata

Til beregning af vandløbenes vandføringsevne, har vi anvendt de regulativmæssige forhold og de "virkelige" forhold før hovedoprensningen i 1982 (opmålt i efteråret 1981). De regulativmæssige forhold er gengivet fra regulativer, hvori definitionen af skråningsanlæg ikke altid er klar. Efter en nærmere gennemgang af ældre sager vedr. Kolindsund (bilag 12) findes, at tangens-værdien til anlægget, er vinklen med lodret, mens man i dag mest anvender vinklen med vandret. (Ved anlæg på f.eks. 2 underforstås 1:2). De regulativmæssige forhold for Ryom å, Korup å, Nordkanalen, Sydkanalen og Grenåen fremgår af bilag 13.

De virkelige forhold er opmålt pr. 200 m samt ved alle broer. Da det giver et meget stort inddataarbejde, hvis de opmålte profiler anvendes direkte, er disse profiler transformeret til et tilnærmet trapezformet profil, således at det våue tværsnitsareal ikke ændres. Det kan tilføjes, at den gevinst, der kunne opnåes i beregningsnøjagtighed på tværsnitsprofilerne, er minimal i forhold til den usikkerhed, der er på fastlæggelse af f.eks. Manningtal.

Ved opmålingen i 1981 er vandløbsprofilerne kun indmålt under det daværende vandspejlsniveau.

Ved store afstrømninger går vandløbene over sine bredder, hvorfor det har været nødvendigt at få kendskab til profilet over det indmålte niveau i de enkelte profiler. Der er derfor benyttet opmålinger fra 1953, hvorved der indføres en unøjagtighed i beregningerne. Denne kote har det kun været muligt at fastlægge for Nordkanalen og Sydkanalen, hvorfor de øvrige vandløb i beregningerne må antages ikke at løbe over deres bredder.

Ved vandets videre forløb over bredderne skønnes groft, at anlægget mod Kolindsund er 3 og bort fra Kolindsund er 7.

For de regulativmæssige forhold anvendes samme koter og anlæg, når vandløbene går over deres bredder, som beskrevet ovenfor.

5.3. Stationær strømningsmodel

Til beregning af vandspejlsforløbet er anvendt en stationær strømningsmodel, som er indlagt på Hedeselskabet's EDB-anlæg. Modellen tager hensyn til stuvning- og sænkningsskurver i vandspejlsforløbet. Endvidere regnes med en varierende vandføring i vandløbssystemet (tilstrømning eller evt. udsivning) hvorved der tages hensyn til samtlige tilløb. Endelig tages der også hensyn til energitab ved broer, idet der er indbygget en speciel beregningsrutine til dette. I forbindelse med modellen er lavet et program, som muliggør en hurtig ændring af vandløbsdata, hvis man er interesseret i et vandspejlsforløb med f.eks. en ny bundbredde. Modellen kan derimod ikke regne på vandløb, hvor strømmingen er ikke-stationær. Dette kan f.eks. være en enkel tidsbegrænset stigning i vandstand og vandføring fremkaldt af en lokal tordenbyge. Afdelingens seneste EDB-model (ILLUDAS), der anvendes i afsnit 6 til at beregne byernes belastning på vandløbssystemet, kan imidlertid tage hensyn hertil, men det kræver data, som endnu ikke er fastlagt.

5.4. Sammenligning af beregnede og observerede vandspejlsforløb

Under vandløbsprofileringen er vandstandskoten i de enkelte profiler indmålt. De opmålte vandstandskoter er anvendt til at sammenligne det EDB-beregnete vandspejlsforløb, og har dermed muliggjort en kontrol af modellen og en yderligere kontrol af de vandløbsdata, som er overført til EDB.

5.4.1. Grenåen

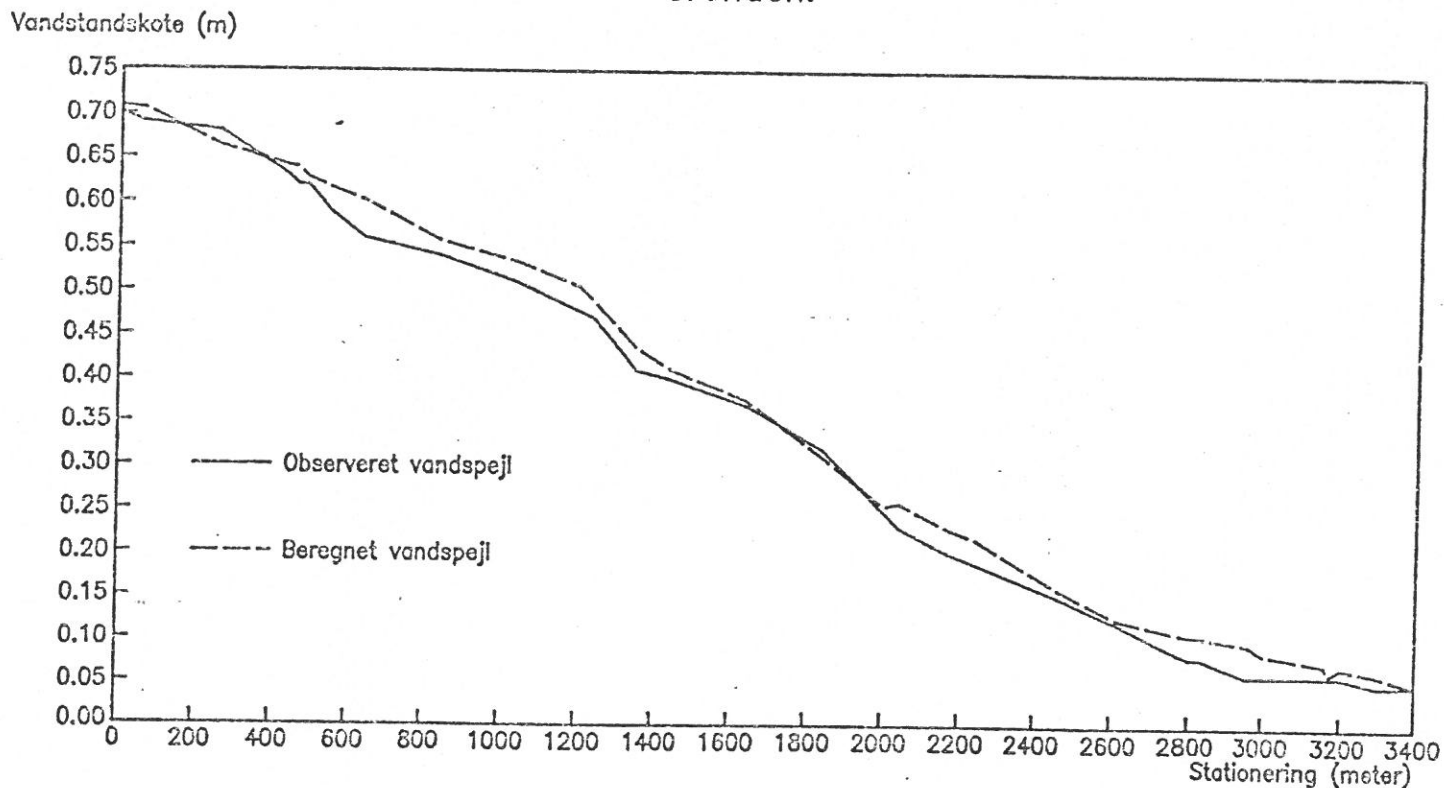
Vandløbet er blevet profileret den 22/10 1981. Ved vandføringsstation 24.01, Ryom å, Ryomgaard bro, 24.04, Ørum å, Gammelmølle, 24.06, Skod å, Ridderlund og 24.07, Skærvad å, Kirial A 16, er der i tidsrummet 19-22/10 1981 målt følgende specifikke afstrømninger:

Dag	Ryom å 1/s/km ²	Ørum å 1/s/km ²	Skod å 1/s/km ²	Skærvad å 1/s/km ²
19/10	11,3	10,7	14,3	6,0
20/10	13,2	13,9	19,9	8,3
21/10	15,2	14,6	22,8	8,7
22/10	14,6	12,8	18,4	7,1

Med vandføringsstationernes opland som vægt bliver middelværdien for disse 4 dage $13,2 \text{ l/s/km}^2$. Denne vandføring forudsættes konstant på opmålingsdagen. Fra Enslev og Fannerup pumpestation er udpumpningen beregnet til $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ og $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Da oplandet til Grenåen excl. Kolindsund er ca. 438 km^2 , beregnes vandføringen den 22/10 1981 at være $8,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Men p.g.a. udsivningen gennem digerene langs landkanalerne skal denne værdi reduceres til ca. $7 \text{ m}^3/\text{s}$. En nærmere omtale heraf finder sted i afsnit 5.5. I oplandet foretages vandindvinding ifølge /7/ på godt $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ gennem året, som vi ser bort fra.

Som Manningtal er anvendt 30 mellem st. 0-2800 og mellem st. 2800-3400 (udløb) er p.g.a. saltvandsindtrængning anvendt et højere Manningtal på 42. Hermed beregnes et vandspejlsforløb som vist på figur 5.1. Af denne ses, at den maksimale gennemsnitlige afvigelse indenfor en strækning på 200 m er ca. 3 cm. Med andre ord, der er en god overensstemmelse.

Grenåen.



Figur 5.1. Vandspejlsforløb i Grenåen.

Udskriften af de beregninger, som ligger til grund for figur 5.1 er vist i tabel 5.1.

Vandløb : Grenåen.

Station (meter)	Vandstands- kote (meter)	Vand- dybde (meter)	Vand- føring (m ³ /s)	Hastig- hed (m/s)	Vandløbsdata				
					Bund- kote (m)	Bund- bredde (m)	Anlæg	Manning- tal (m ^{1/3} /s)	Profil- dybde (m)
0	0.71	1.61	7.00	0.38	-0.90	10.00	1.00	30	
60	0.70	1.60	7.00	0.33	-0.90	10.50	1.70	#	
260	0.66	1.57	7.00	0.47	-0.91	7.50	1.30	#	
440	0.64	1.44	7.00	0.41	-0.80	9.70	1.40	#	
465	0.64	1.57	7.00	0.39	-0.93	10.00	1.00	#	
490	0.63	1.28	7.00	0.52	-0.65	8.80	1.40	#	
550	0.62	1.67	7.00	0.43	-1.05	7.40	#	#	
640	0.60	1.65	7.00	0.43	-1.05	6.50	2.00	#	
840	0.56	1.61	7.00	0.49	-1.05	6.00	1.80	#	
1040	0.53	1.43	7.00	0.43	-0.90	10.50	0.70	#	
1200	0.51	1.41	7.00	0.43	-0.90	#	#	#	
1240	0.49	1.46	7.00	0.52	-0.97	5.50	2.50	#	
1350	0.44	1.52	7.00	0.58	-1.08	3.00	3.30	#	
1440	0.41	1.29	7.00	0.56	-0.88	6.50	2.50	#	
1640	0.38	1.37	7.00	0.43	-0.99	9.30	2.00	#	
1800	0.32	1.32	7.00	0.54	-1.00	8.00	1.40	#	
1840	0.31	1.31	7.00	0.55	-1.00	8.30	1.10	#	
2000	0.25	1.25	7.00	0.58	-1.00	#	#	#	
2040	0.26	1.28	7.00	0.39	-1.02	12.20	1.40	#	
2170	0.23	1.03	7.00	0.47	-0.80	13.00	#	#	
2240	0.22	1.33	7.00	0.40	-1.11	11.50	#	#	
2460	0.16	1.20	7.00	0.50	-1.04	9.70	1.70	#	
2614	0.13	1.29	7.00	0.45	-1.17	12.00	0.00	#	
2800	0.11	1.17	7.00	0.36	-1.06	16.50	#	#	
2830	0.10	1.05	7.00	0.34	-0.95	13.00	6.00	12	
2955	0.10	1.17	7.00	0.32	-1.07	16.50	2.00	#	
2965	0.10	1.20	7.00	0.34	-1.10	14.20	2.50	#	
3000	0.09	1.23	7.00	0.45	-1.14	9.50	#	#	
3160	0.07	1.17	7.00	0.50	-1.10	#	#	#	
3170	0.06	1.14	7.00	0.68	-1.08	7.10	1.70	#	
3200	0.07	2.50	7.00	0.22	-2.43	6.70	2.50	#	
3300	0.06	1.15	7.00	0.37	-1.09	12.50	3.30	#	
3400	0.05	1.10	7.00	0.43	-1.05	13.00	1.50	#	

Transporttiden ialt gennem vandløbet

: 2 tim. 13 min.

Beregning af vandspejlsforløb 20.10.81

Der er anvendt HYDRAULISK RADIUS ved beregningen.

Tabel 5.1. Beregningsudskrift af vandspejlskoter i Grenåen.

5.4.2. Nordkanalen

Vandløbet er blevet profileret i perioden 12-19/11 1981. Ved de omtalte vandføringsstationer i afsnit 5.4.1. er de specifikke afstrømninger målt til:

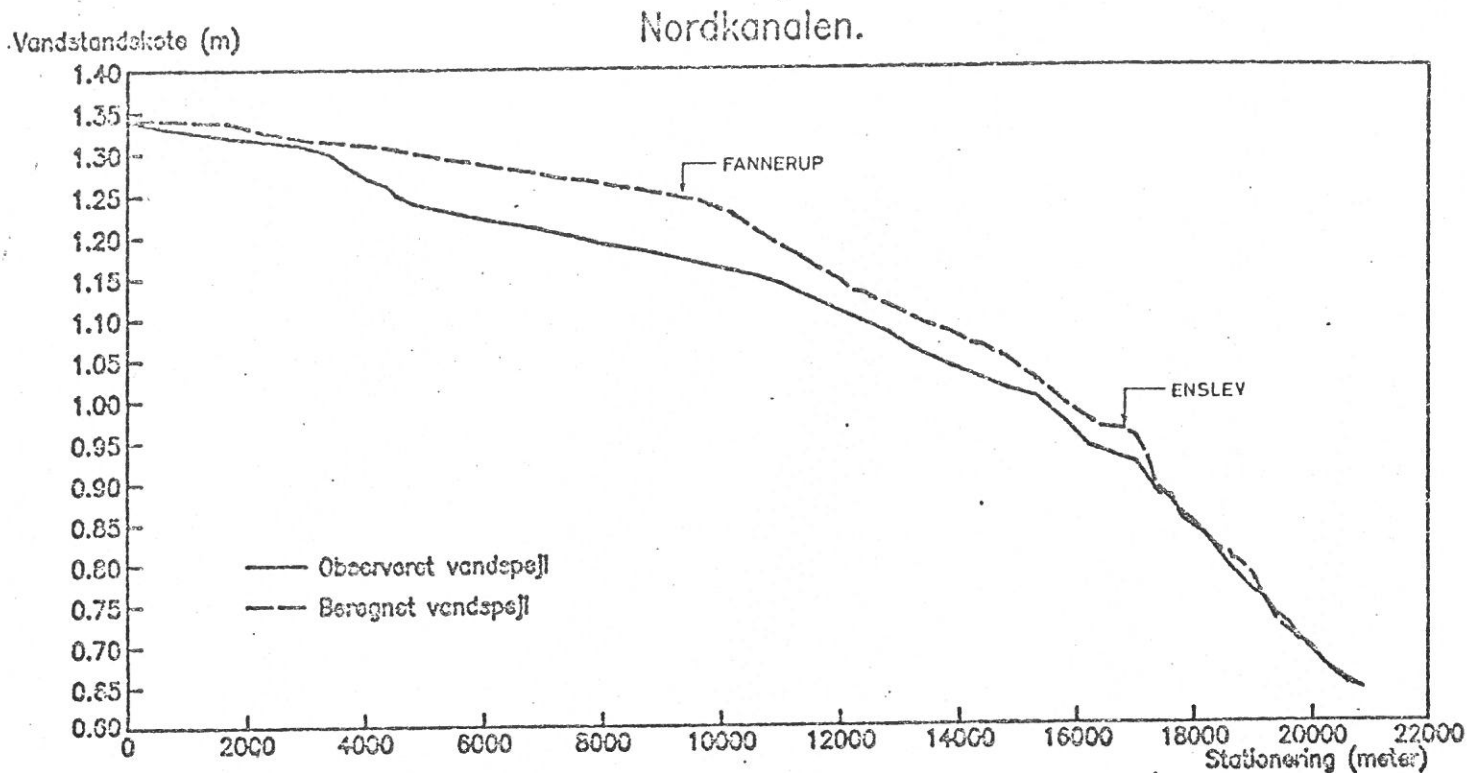
Dag	Ryom å l/s/km ²	Ørum å l/s/km ²	Skod å l/s/km ²	Skærvad å l/s/km ²
12/11	13,1	11,1	15,3	6,5
13/11	12,9	11,1	15,3	6,3
14/11	12,9	10,8	15,0	6,1
15/11	12,1	10,3	14,5	5,9
16/11	11,8	10,0	14,2	6,0
17/11	12,2	10,6	16,0	6,2
18/11	13,6	12,0	19,2	6,7
19/11	15,9	12,9	28,5	7,0

Med vandføringsstationernes opland som vægt bliver middelværdien for perioden 12,1 l/s/km². Denne afstrømning antages at være konstant for hele oplandet til Grenåen excl. Kolindsund. Herfra udpumpes både ved Enslev og Fannerup pumpestationer 1,1 m³/s. Vandføringen i Grenåen bliver da 7,5 m³/s, og p.g.a. udsivning skal denne reduceres med ca. 1,5 m³/s. Af beregningsmæssige årsager er udsivningen antaget at finde sted omkring Enslev i Nordkanalen og omkring Revn bro i Sydkanalen.

Ved vandspejlsberegningen tages der hensyn til samspillet mellem Nord- og Sydkanalen, idet der skal være samme kote ved nedre og øvre sammenløb. Kravene bliver opfyldt ved et Manningtal i Nord- og Sydkanalen på 32 og 35.

Da profileringen er foretaget over 7 dage, forekommer der nogle spring i det observerede vandspejl ved de stationer, som man er nået til ved fyraften. Disse er forsøgt udjævnet, således at vandspejlsforløbet bliver mere naturligt.

Af figur 5.2. fremgår, at overensstemmelsen mellem observeret og beregnet vandstandskote er rimelig. Det beregnede vandspejl er dog ca. 8 cm højere end det observerede på strækningen st. ca. 4.000-8.000, hvilket kan skyldes variationer i vandføringen, måleunøjagtighed m.v.



Figur 5.2. Vandspejlsforløb i Nordkanalen.

5.4.3. Sydkanalen

For Sydkanalen er de beregnede og observerede vandstande ikke optegnet imod hinanden. Dette skyldes to ting, nemlig, at vandstandsobservationerne på de øverste 5,6 km p.g.a. fejlnivelleret skala ikke er anvendelige, og at vandspejlsforløbet på sidste opmålingsdag ikke er faldende i nedstrømsretning, men stigende, hvilket kan skyldes måleunøjagtighed, tidevand, udsivning til Kolindsund m.v.

5.5. Sammenligning af målte og udregnede vandføringer

I 1982 blev der umiddelbart før landkanalernes indløb i Grenåen etableret en vandstandsstation i Nordkanalen, samtidig med, at der løbende foretoges vandføringsmålinger i Nord- og Sydkanalen. Disse giver mulighed for at sammenligne målte og beregnede vandføringer. Hvor de sidstnævnte antages fundet på følgende måde:

$$Q_B = A_G \cdot q_R + Q_F + Q_E \quad (5.1)$$

Q_B = Beregnet vandføring i Grenåen (m^3/s)

A_G = Grenåens oplandsareal excl. Kolindsund (km^2) ($438 km^2$)

q_R = Registreret afstrømning i Ryom å, Ryomgaard bro ($m^3/s/km^2$)

Q_F = Ugegennemsnit af udpumpede vandmængder fra Fannerup (m^3/s)

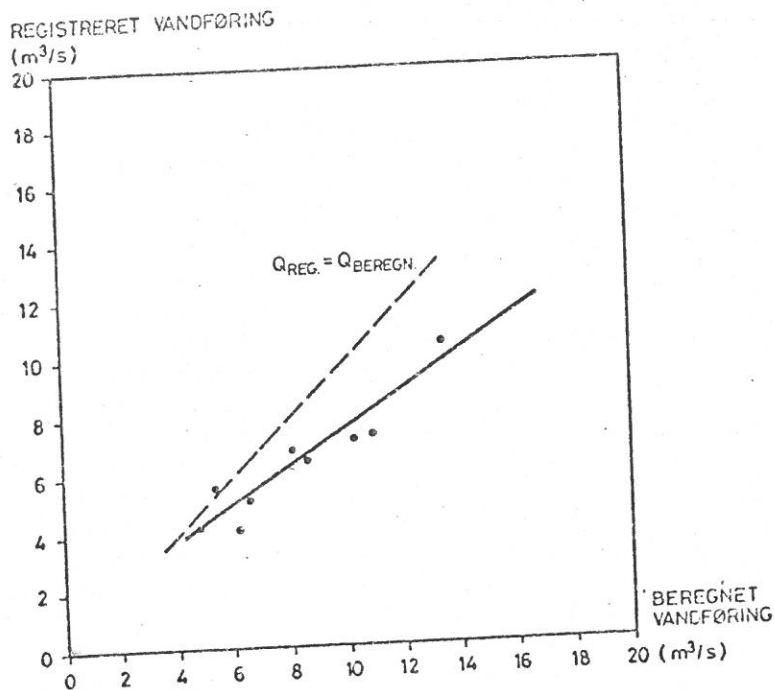
Q_E = Ugegennemsnit af udpumpede vandmængder fra Enslev (m^3/s)

Beregninger af vandføringer i Grenåen er vist i tabel 5.2.

1	2	3	4	5	6	7	8
Dato	q_R Ryom- gaard $l/s/km^2$	Q_F Fanne- rup (l/s)	Q_E Enslev (l/s)	Q_B Grenåen (l/s)	Q_N Nordka- nalen (l/s)	Q_S Sydka- nalen (l/s)	Q_N+Q_S Grenåen (l/s)
4/2 82	17.7	1270	1300	10300	5429	1709	7138
11/2 82	33.3	2130	2420	19100	7188	2252	9440
17/2 82	23.6	1290	1470	13100	8164	2168	10332
25/2 82	8.2	930	910	5430	3822	1788	5610
4/3 82	19.9	1080	1140	10900	5361	1998	7359
11/3 82	13.4	1160	1190	8220	4860	1974	6839
18/3 82	15.2	1010	950	8620	4714	2069	6783
25/3 82	11.1	900	850	6620	3724	1704	5029
13/4 82	7.4	780	770	4790	2896	1357	4253
5/5 82	6.5	810	840	6110	3100	1083	4183

Tabel 5.2. Vandføringer

- 1): Dato for vandføringsmåling i Nord- og Sydkanalen
- 2): Registreret vandføring ved Ryomgaard bro
- 3): Udpumpede vandmængder på ugegennemsnit ved Fannerup
- 4): Udpumpede vandmængder på ugegennemsnit ved Enslev
- 5): Vandføring ved nedre sammenløb beregnet efter (5.1)
- 6): Målt vandføring i Nordkanalen umiddelbart før indløb i Grenåen
- 7): Målt vandføring i Sydkanalen umiddelbart før indløb i Grenåen
- 8): Vandføring i Grenåen, søjle 6 + søjle 7.



Figur 5.3. Registrerede vandføring som funktion af den beregnede vandføring

På figur 5.3 er optegnet den registrerede vandføring som funktion af den beregnede vandføring. Af denne fremgår, at når den målte vandføring i Grenåen er større end ca. $6 m^3/s$, holder beregningsforudsætningerne (5.1) ikke mere, da denne vandføring sandsynligvis giver anledning til en vandstand i landkanalerne, som øger udsivningen betydeligt.

5.6. Simulering af vandspejlsforløb under hændelsen i august 1981

Vandspejlsforløbet vil både blive beregnet for de regulativmæssige forhold og virkelige forhold i august 1981, dog med den undtagelse, at Ryom å kun beregnes for regulativmæssige forhold, da der ikke er foretaget profilering af Ryom å indenfor de sidste år. Præsentationen af resultatet vil ske på to figurer, hvor de to vandspejlsforløb optegnes.

Bestemmelsen af vandføringen i systemet er hovedsagelig baseret på vandføringsstationen 24.01, Ryom å, Ryomgård bro. Denne har som døgnmiddelværdi den 21/8 1981 en vandføring på $24,4 l/s/km^2$, som er forudsat konstant for hele oplandet til Grenåen, excl. Kolindsund. Derfra er anvendt ugemiddelværdien af de udpumpede vandmæng-

der omkring den 21. august 1981.

Enslev pumpestation:

Middelløftehøjde = 4,90 m.

Driftstid af store pumpe = 168 timer (1 uge = 168 timer)

Driftstid af lille pumpe = 135 timer

De af HU bestemte pumpekarakteristikker giver:

Udpumpning af store pumpe 1,6 m³/s

Udpumpning af lille pumpe 1,1 m³/s

Ugemiddelværdien for udpumpningsmængderne fra Enslev pumpestation bliver da:

$$Q = (168 \cdot 1,6 + 135 \cdot 1,1) / 168 = \underline{2,5 \text{ m}^3/\text{s}} \quad (\text{fuld kapacitet: } 2,7 \text{ m}^3/\text{s})$$

Fannerup pumpestation:

Middelløftehøjde = 5,70 m

Driftstid af store pumpe = 140 timer

Driftstid af lille pumpe = 160 timer

De af HU bestemte pumpekarakteristikker giver:

Udpumpning af store pumpe = 1,4 m³/s

Udpumpning af lille pumpe = 0,8 m³/s

Ugemiddelværdien for udpumpningsmængderne fra Fannerup pumpestation bliver da:

$$Q = (140 \cdot 1,4 + 160 \cdot 0,8) / 168 = \underline{1,9 \text{ m}^3/\text{s}} \quad (\text{fuld kapacitet: } 2,2 \text{ m}^3/\text{s})$$

Grenåen har excl. Kolindsund et opland på 438 km³, dermed bliver vandføringen i denne:

$$Q = 438 \cdot 0,0244 + 2,5 + 1,9 = \underline{15,1 \text{ m}^3/\text{s}}$$

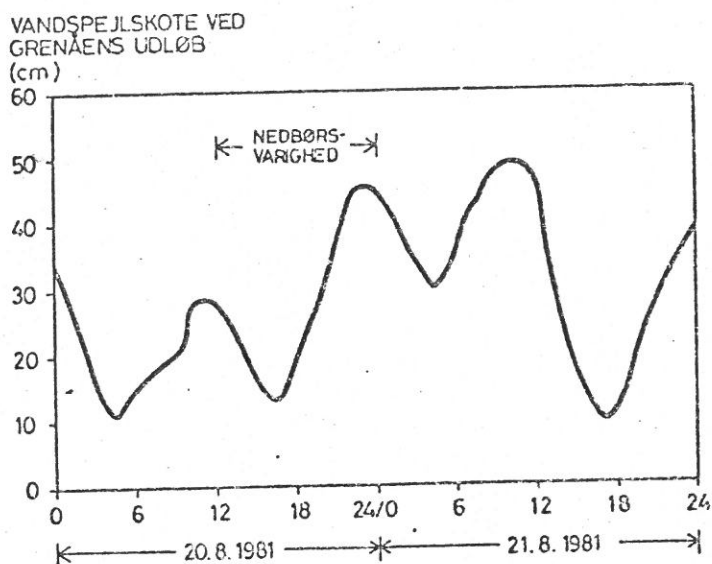
Men p.g.a. udsivningen til Kolindsund fra landkanalerne samt oplandets afstrømningsvariation er denne vandføring i Grenåen i virkeligheden for stor som omtalt i afsnit 5.5.

Under forudsætning af, at figur 5.3. er rimelig, skal den beregnede vandføring den 20/8 81 på 15,1 m³/s reduceres med ca. 4 m³/s til 11 m³/s.

Bestemmelse af Manningtal beror til dels på et skøn og følgende værdier er anvendt:

Vandløb	Manningtal
Grenåen	35
Nordkanalen	25
Sydkanalen	25
Ryom å	20

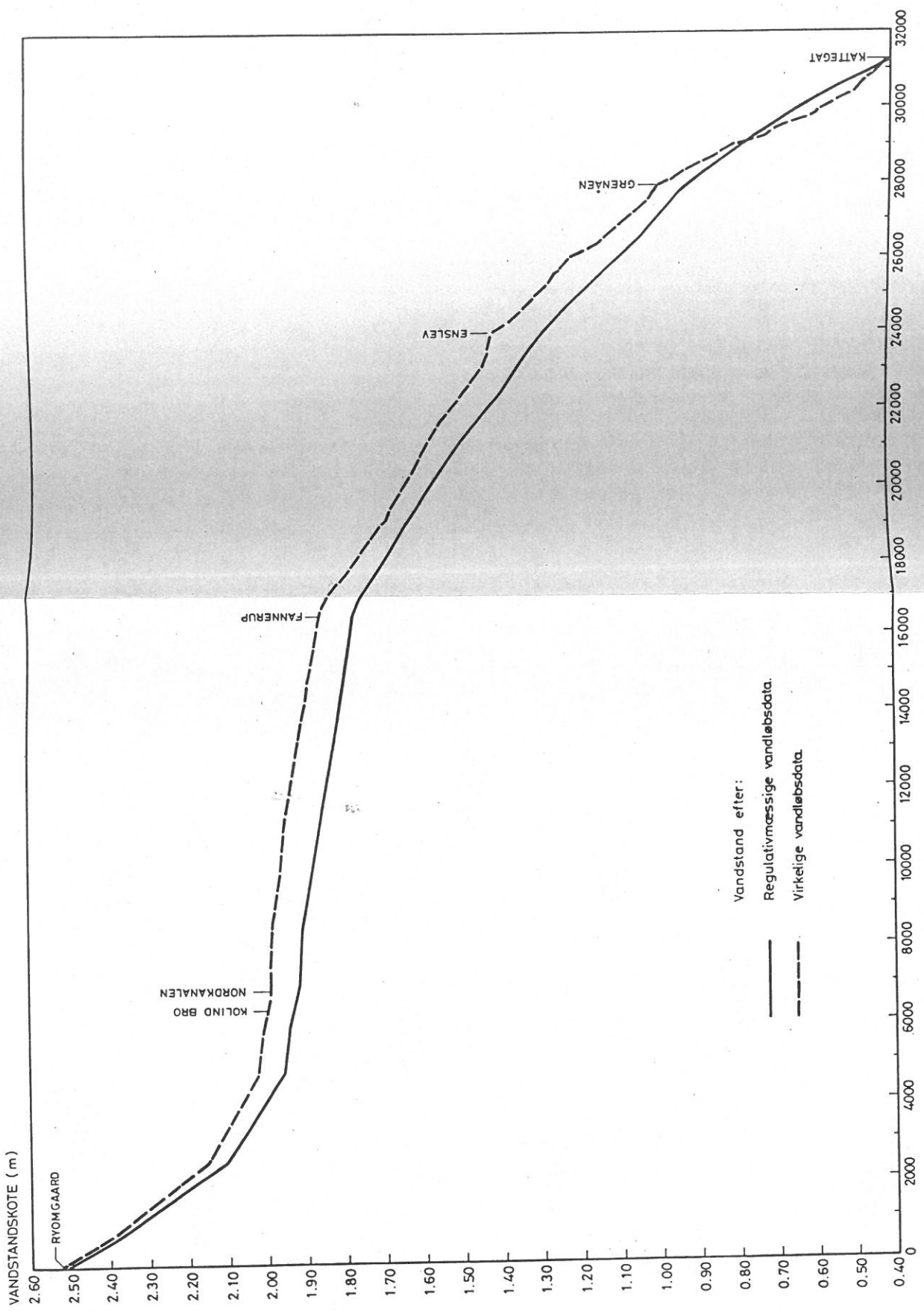
Som nedre randbetingelse er vandspejlskoten for Grenåens udløb i Kattegat. Denne er målt af Grenå Havnevæsen og vist på figur 5.4.



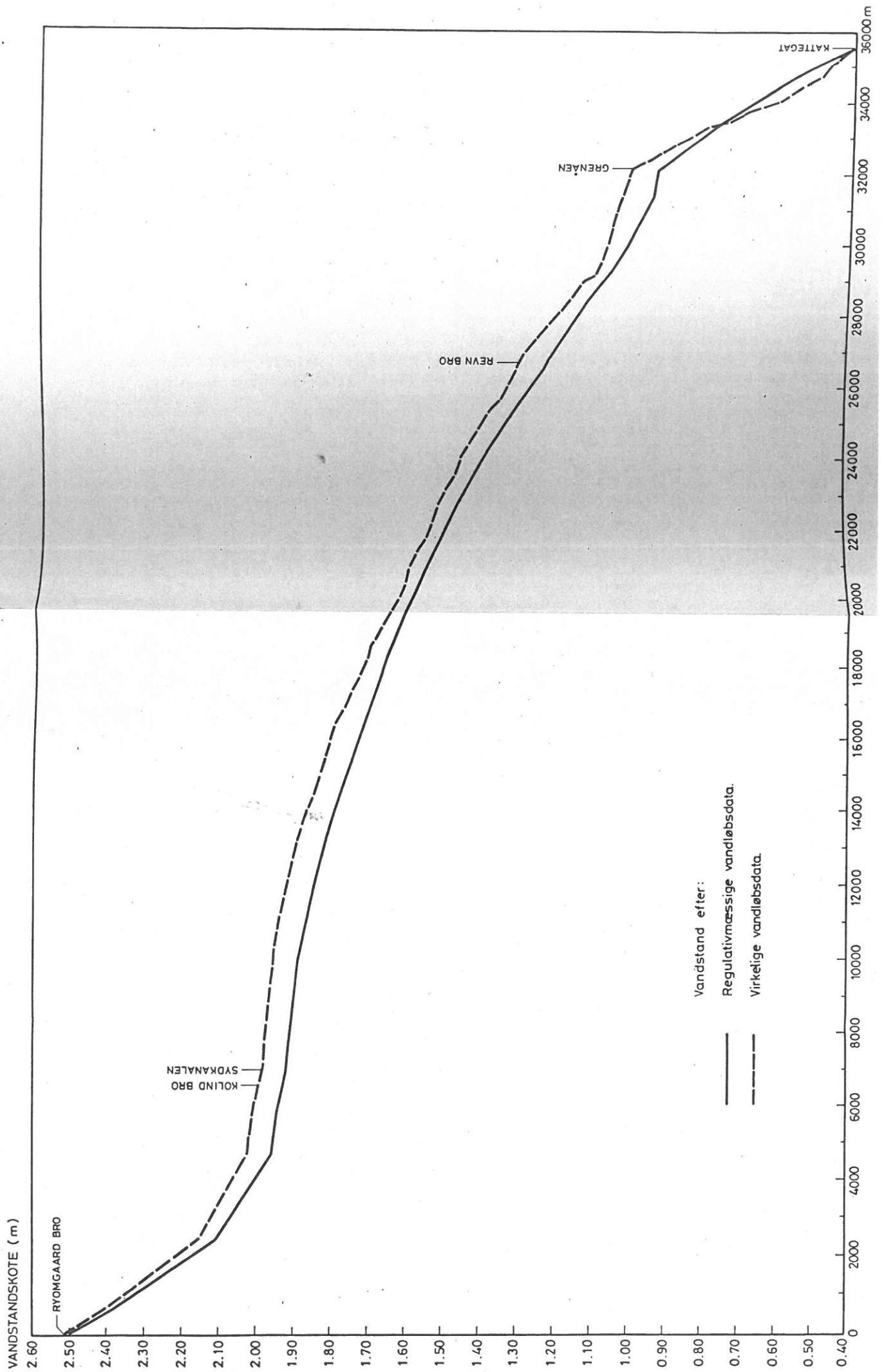
Figur 5.4. Vandstandsvariation ved Grenåens udløb.

Af figur 5.4. ses, at vandspejlskoten den 20/8-21/8 1981 varierer mellem koterne 0,10 m og 0,50 m. Med disse to randbetingelser og de øvrige omtalte data beregnes vandspejlskoten ved sammenløbet af Nord- og Sydkanalen til Grenåen til 0,94 m og 1,03 m. Valget af udløbskoten er altså ikke af stor betydning for forholdene opstrøms sammenløbet, og er i det følgende sat til 0,40 m.

Med de nu fastlagte data er der foretaget en simulering af vandspejlsforløbet for de to sæt vandløbsdata. Resultatet af beregningerne er optegnet på figur 5.5 og figur 5.6, hvor vandspejlsforløbet fra Ryomgård bro gennem Nord- henholdsvis Sydkanalen og til udløbet i Kattegat, er vist.



Figur 5.5. Vandspejlsforløb ved en maksimalafstrømning fra Ryonggaard bro gennem Nordkanalen til udløbet i Kattegat.



Vandstand efter:

Regulativmæssige vandløbsdata.

Virkelige vandløbsdata.

Af begge figurer ses, at vandspejlsforløbet for de regulativmæssige og de virkelige forhold følges pænt ad, men over det meste af strækningen er vandstanden beregnet ud fra de regulativmæssige forhold omkring 10 cm lavere. Så selvom de regulativmæssige forhold havde været til stede i august 1981, ville vandstanden i vandløbssystemet ikke være reduceret meget.

Under selve regnhændelsen i august 1981 er der målt vandstandskoter forskellige steder, som i tabel 5.3 er sammenlignet med de beregnede.

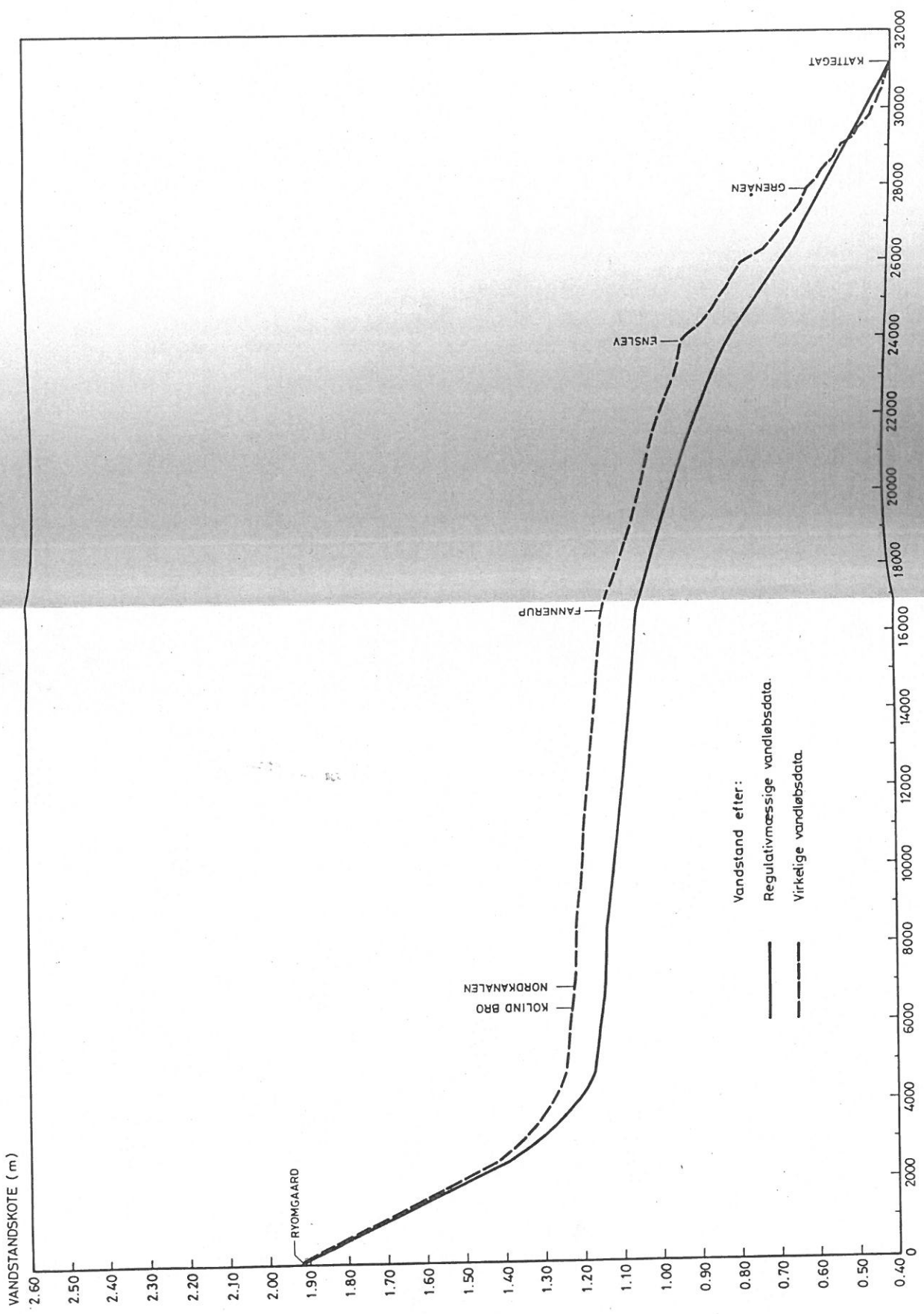
Sted	Vandstandskote	
	Observeret	Beregnet
Ryomgård bro	250 cm	250 cm
Kolind bro	205 cm	200 cm
Fannerup pumpestation	180 cm	185 cm
Enslev pumpestation	110 cm	140 cm

Tabel 5.3. Observerede og beregnede vandstandskoter.

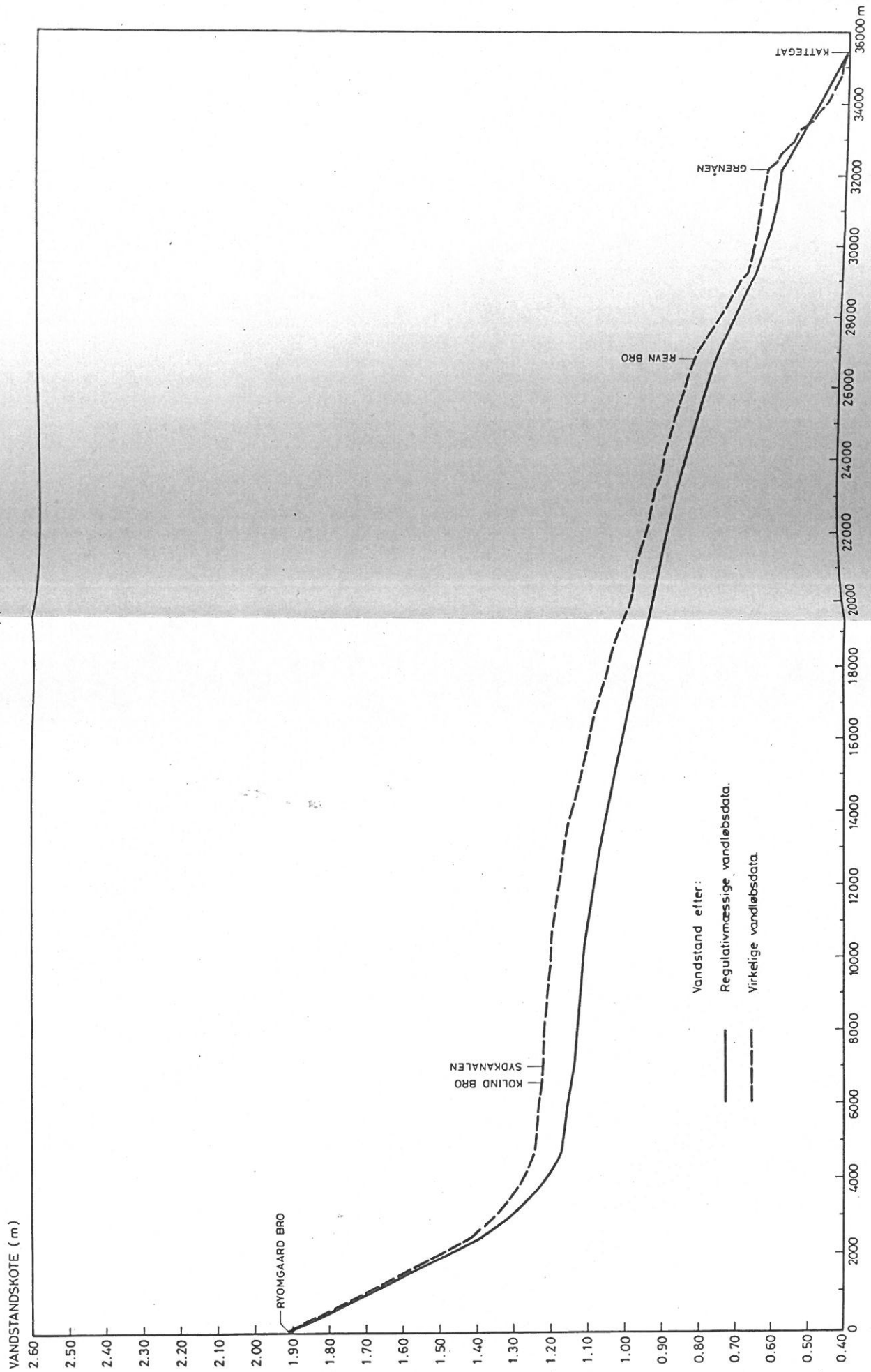
Af tabel 5.3 fremgår, at der er rimelig overensstemmelse mellem de beregnede og målte koter. Ved Enslev pumpestation er differencen dog 30 cm, hvilket kan skyldes, at udsivningen er større end antaget i beregningerne.

5.7. Vandløbenes vandføringsevne ved en normalafstrømning

For en periode over 31 år er månedsmiddelværdien for den specifikke afstrømning målt til $7,8 \text{ l/s/km}^2$ ved Ryomgård bro. Og over en 5 års periode er månedsmiddelværdien af de udpumpede vandmængder fra Fannerup og Enslev pumpestation $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ og $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Under den forudsætning, at den specifikke tilstrømning er konstant for hele oplandet til Grenåen excl. Kolindsund, bliver vandføringen i Grenåen $438 \times 0,0078 + 0,8 + 1,0 = 5,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Af figur 5.3. ses, at denne vandføring ligger i det område, hvor udsivningen er minimal, og derfor antages ingen udsivning til Kolindsund fra landkanalerne. Idet vi anvender samme Manningtal og samme udløbskote i Kattegat som i afsnit 5.5, er der foretaget en simulering af vandspejlsforløbet for de to sæt vandløbsdata. Resultatet af beregningerne er optegnet på figur 5.7 og figur 5.8, hvor vandspejlsforløbet fra Ryomgård bro gennem Nord- henholdsvis Sydkanalen og til udløbet i Kattegat er vist. Af disse fremgår, at forskellen i vandspejlskoter op til indløbet af Ryom å er ca. 5 cm. Der er altså ikke megen vandspejlssænkning at hente, hvis de regulativmæssige forhold er overholdt, ved en normalafstrømning.



Figur 5.7. Vandspejlsforløb ved en normalafstrømning fra Ryomgård bro gennem Nordkanalen til udløbet i Kattegat.



Figur 5.8. Vandspejlsforløb ved en normalafstrømning fra Ryomgård bro gennem Sydkanalen til udløbet i Kattegat.

5.8. Vurdering af kanalernes vandføringsevne

Når de regulativmæssige forhold sammenlignet med forholdene i august 1981 har en bedre vandføringsevne, skyldes dette, at bunden i Nord- og Sydkanalen generelt er noget lavere i regulativet end de faktiske forhold. Men ved at uddybe til de regulativmæssige dimensioner, vinder man kun ca. 10 cm ved en maksimalafstrømning og ca. 5 cm ved en normalafstrømning.

Endelig må der gøres opmærksom på, at der er megen usikkerhed forbundet med beregningerne ved store afstrømninger. Dette ligger i, at der ikke er kendskab nok til størrelsen af udsivningsmængderne fra landkanalerne til Kolindsund, og alle de strækninger, hvor det sker.

6. Belastning på vandløbssystemet fra byer

6.1. Opgørelse af befæstet areal

Ifølge /7/ er der foretaget en opgørelse over det befæstede areal i Grenåens opland, som er gengivet i tabel 6.1. med enkelte mindre ændringer.

	Opstrøms øvre sammenløb		Opstrøms Grenåen	
	1940	1980	1940	1980
Topografisk opland	160 km ²	160 km ²	464 km ²	464 km ²
Bymæssig bebyggelse m/kloak	1,9 km ²	4,3 km ²	3,7 km ²	8,5 km ²
Heraf befæstet (10% til 20%)	0,2 km ²	0,9 km ²	0,4 km ²	1,7 km ²
Bymæssig bebyggelse u/kloak	2,0 km ²	0,0 km ²	4,0 km ²	0,0 km ²
Indbyggerantal opgjort som personækvivalenter - PE	-	ca. 10.000	-	ca. 20.000
Spildevandsmængde, middel	-	23 l/s	-	46 l/s

Tabel 6.1. Opgørelse af oplandsarealer og spildevandsmængder, baseret på statusoplysninger fra de kommunale spildevandsplaner 1977-80.

Sammenlignes det kloakerede befæstede areal opstrøms Grenåen i 1940 med det befæstede areal i 1980 er dette vokset med en faktor på ca. 4. Indflydelsen heraf på afstrømningen og især vandstanden i landkanalerne er undersøgt i de følgende afsnit.

6.2. Modelbeskrivelse

Til simulering af afstrømningen fra byerne er anvendt en EDB-model ved navn ILLUDAS (Illinois Urban Drainage Simulator), som både kan analysere og dimensionere afløbsnet. Modellen blev udviklet i Illinois, USA i 70-erne og er siden blevet videreudviklet ved Chalmers Tekniske Højskole, ved laboratoriet for Teknisk Hygiejne Dth og endelig har Hedeselskabet også udviklet sin version.

Modellen arbejder efter Kinematisk bølge princippet, også kaldet magasineringsmetoden. ILLUDAS kan for et givet regnskyl regne et givet konvergent afløbssystem igennem fra alle toppunkter til udløbspunktet, og undervejs analysere de enkelte ledningsstrækninger for kapacitet og maksimalvandføring.

Afstrømningen på overfladen modelleres i forbindelse med en tid-areal model, hvor der tages hensyn til overflademagasinering, infiltration m.m.

I afløbssystemet kan der tages hensyn til overløbsbygværker, bassiner og pumpestationer under forudsætning af fast afløb fra disse. Der kan udskrives hydrografer i alle ønskede punkter, såvel overløbshydrografer, tilløbshydrografer fra oplande og almindelige udløbshydrografer.

Udover analyse, kan modellen også dimensionere et afløbssystem for et givet regnskyl og give nye dimensioner for rørene i spring, der svarer til de kendte handelsdimensioner.

Modellens væsentligste begrænsning er, at den ikke kan regne egentlige stuvningsproblemer igennem. Ved en kapacitetsoverskridelse "gemmes" det overskydende vand beregningsmæssigt i et fiktivt bassin. Størrelsen af dette vil fremgå af beregningsudskriften.

Med modellen er man i stand til at beregne effekten ved indførelse af nye elementer i afløbssystemet, såsom ledningsstrækninger, bassiner, overløb, pumpestationer samt ændringer i oplandets beskaffenhed.

Modeloutputtet består af en udskrift, hvor der først er angivet nogle generelle oplysninger samt det anvendte regnskyl. Derefter følger for hver ledningsstrækning de anvendte inddata, de tilhørende beregningsresultater og hydrografer på de strækninger, hvor dette er ønsket. Endelig kan der nemt og hurtigt udtegnes plot af nedbør og plot af hydrografer, hvilket ikke foregår automatisk i forbindelse med beregningerne af hardware årsager.

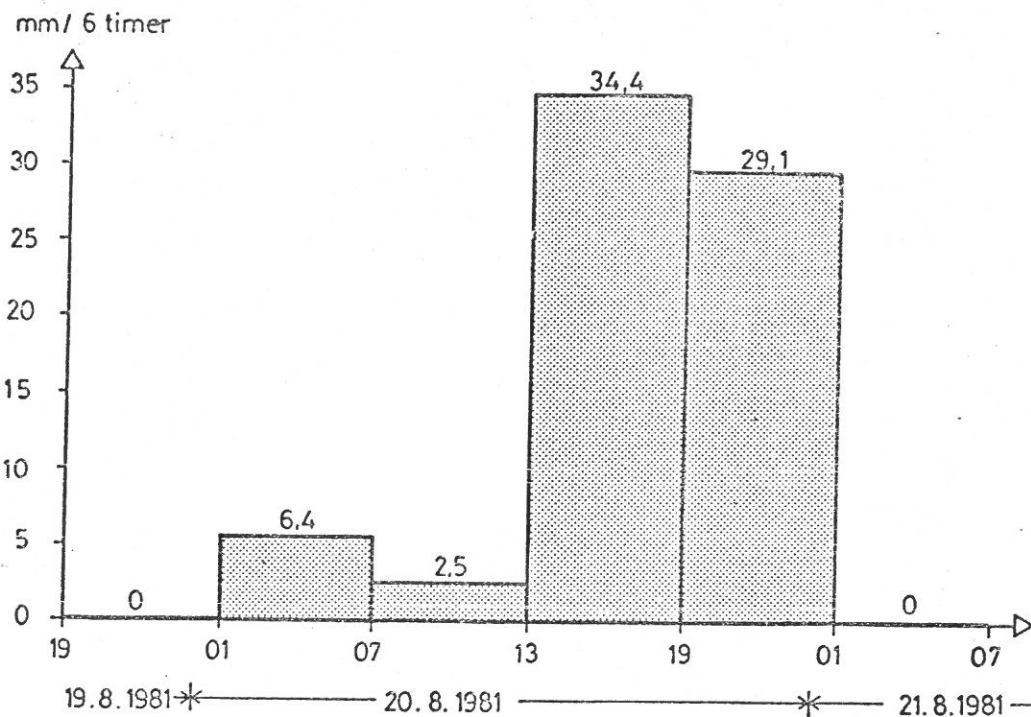
6.3. Nedbørs data

Som grundlag for beregningerne er anvendt det aktuelle regnskyl den 20 og 21. august 1981. Dette er observeret ved flere nedbørsstationer i området, men ved beregningerne er benyttet Tirstrup Lufthavn's nedbørsstation, da man her registrerer regnen med en tidsopløsning på 6 timer, modsat de øvrige stationer, hvor den kun registreres en gang i døgnet. Den registrerede nedbør ved nedbørsstationerne i området er vist i tabel 6.2., og det ses at nedbøren

ved Tirstrup svarer til middelværdien for området. Til sammenligning er det kraftigste regnskyl, der er målt i hele perioden 1933-62 i Danmark på 104 mm.

Station	20. og 21. august 1981
Langholm	72,4 mm
Fornæs Fyr	53,3 mm
Djursgård	81,5 mm
Lyngdal	77,2 mm
Skaføgård	60,2 mm
Tirstrup	72,7 mm
Middel	69,6 mm

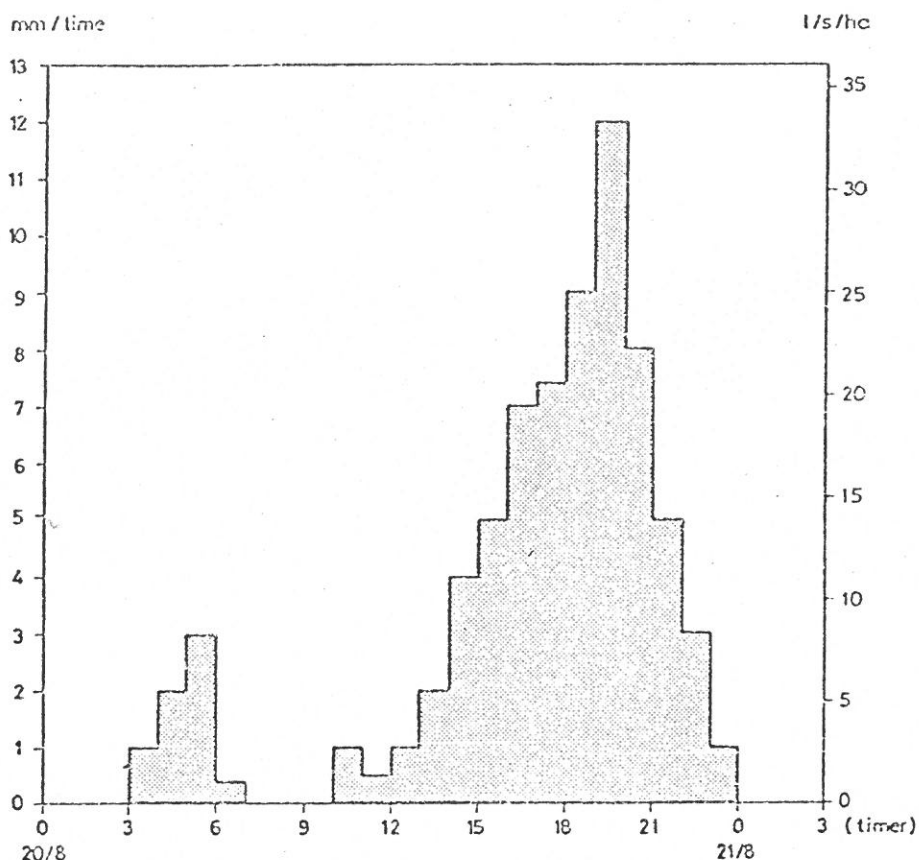
Tabel 6.2. Registreret nedbør (mm)



Figur 6.1. Nedbør i Tirstrup.

På figur 6.1. er vist det registrerede regnskyl i Tirstrup. Da tidsopløsningen er på 6 timer, betyder det, at intensitettoppene i regnen er væsentligt dæmpet. En tilnærmelse til regnens "virkelige" udseende er vist i figur 6.2 med en opløsning på en

time baseret på variationen af den registrerede vandføring ved målestation 24.01, Ryomgård bro, således at toppene af disse er noget forskudt.



Figur 6.2. Konverteret nedbør ved Tirstrup.

6.4. Data for afløbssystemer i Ryomgård og Kolind

Beregningerne er udført for byerne Ryomgård og Kolind, som hver har et kloakeret oplandsareal på 80 ha og 72 ha og en gennemsnitlig befæstigelsesgrad på 30% og 44%. De nødvendige oplands- og ledningsdata har vi fået fra de pågældende kommuners spildevandsplaner, som for begge byers vedkommende er noget mangelfulde. Til det egentlige beregningsnet er medtaget de betydeligste ledningsstrækninger (dimensioner større end ca. \varnothing 25 cm) bassiner og pumper. Når alle ledningsstrækninger ikke er medtaget, skal det ses i sammenhæng med det meget dårligt bestemte regnskyl. Selvom de øverste ledninger i nettet er udeladt, tager modellen alligevel hensyn til forsinkelsen i disse ledninger, idet der er skønnet en afløbstid. For begge byer benyttes følgende karakteristika:

- 1) Initialtab på befæstede flader 0,6 mm
- 2) Initialtab på ikke befæstede flader 3,0 mm
- 3) Jorden regnes at have lav infiltrationshastighed, og jorden antages ved regnens start at være relativ fugtig. Modellen bruger disse oplysninger til at beregne afstrømningen fra de ikke befæstede flader efter Hortons formel:

$$f = f_{\infty} + (f_0 + f_{\infty}) e^{-K t} \quad (6.1)$$

hvor f = infiltrationen til tiden t efter regnens start

f_{∞} = infiltration til tiden $= \infty$ efter regnens start

f_0 = initial infiltrationskapacitet

t = tid fra regnens start

K = konstant for jordtype og overflade

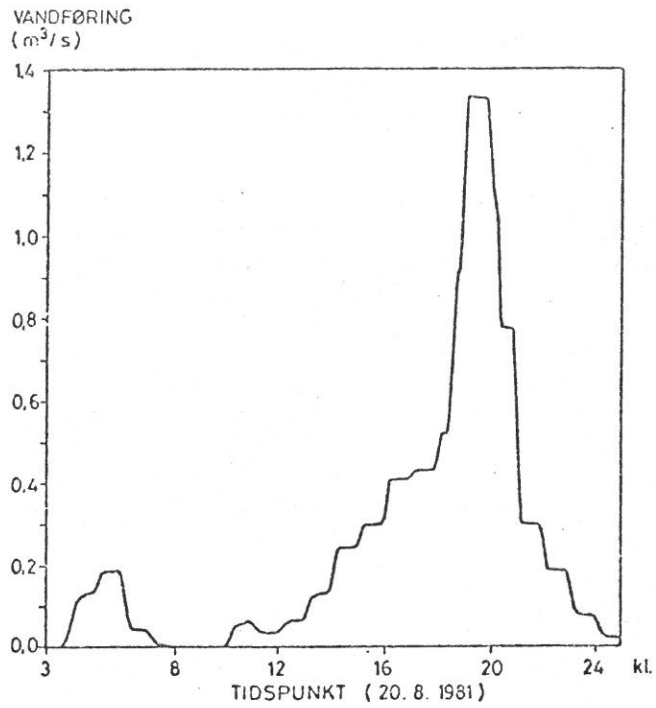
I dette tilfælde gives værdierne i Hortons formel følgende:

$$f_0 = 125 \text{ mm/time}, f_{\infty} = 6 \text{ mm/time}, K = 2 \text{ time}^{-1}$$

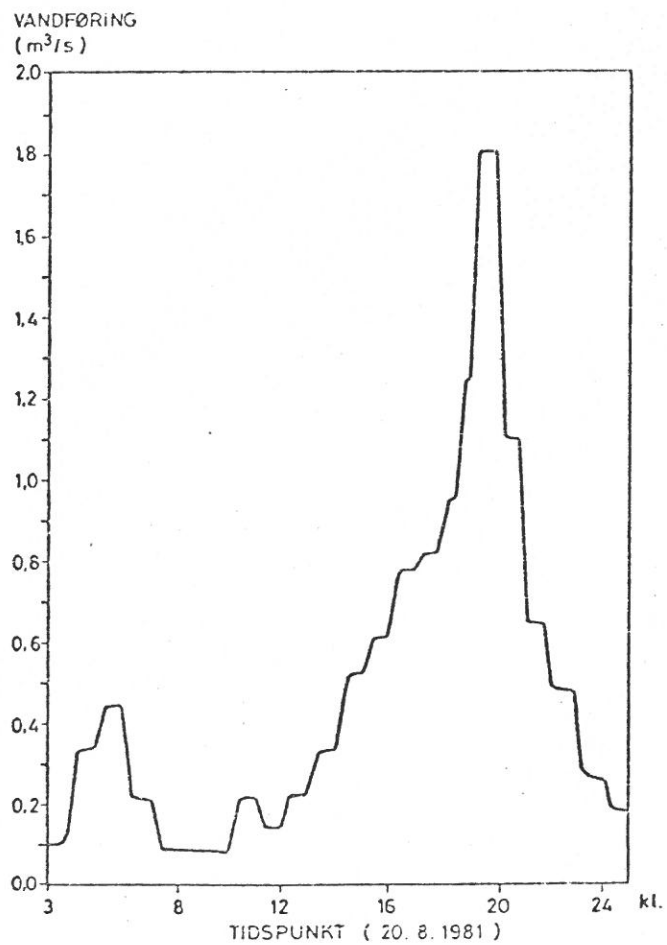
Dette betyder, at efter ca. 3 timers nedbør er infiltrationen faldet til den konstante værdi f_{∞} 6 mm/time.

- 4) Ruhed for betonrør $k = 1 \text{ mm} \sim M = 80 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- 4) Afløbstid på befæstede flader 4 min.
- 6) Afløbstid på ikke befæstede flader 10 min.

Data for de to byer overføres via et specielt inddateringsprogram til EDB, hvor beregningsnettene for Ryomgård og Kolind består af henholdsvis 28 og 32 beregningsstrækninger. I bilag 14 er som eksempel vist en beregningsudskrift fra Ryomgård. Her består udløbet fra Ryomgård af 2 udløb, som udmunder i Ryom å via Møllebækken, og fra Kolind af et udløb direkte til Ryom å og 2 udløb, som udmunder i Ryom å via en bæk. Med det på figur 6.2 viste regnskyl er vandføringen fra byerne ud i vandløbssystemet beregnet og den totale vandføring er vist på figur 6.3 og figur 6.4.



Figur 6.3. Samlede udløbshydrograf fra Ryomgård.

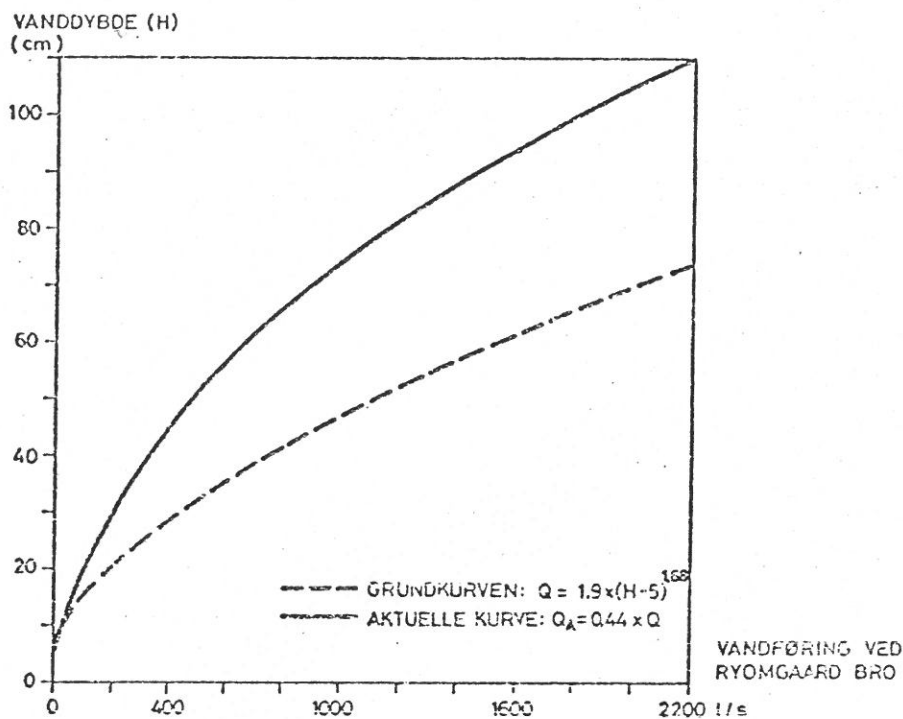


Figur 6.4. Samlede udløbshydrograf fra Kolind.

6.5. Beregning af byers belastning af vandløbssystemet

Til vurdering af udløbshydrografen er variationen i vandføringen omkring den 20. og 21. august 1981 ved Ryomgård bro beregnet, idet de registrerede vandstandskoter er konverteret til en vandføring. Dette er gjort efter den af HU fastlagte grundkurve, som gælder for et grødefrit vandløb. Til bestemmelse af vandføringen antages, at grødepåvirkningen svarer til en proportional reduktion i vandløbets vandføringsevne.

For de aktuelle dage i august 1981 er denne beregnet til $\sim 44\%$. Grundkurven og den aktuelle vandføringskurve er optegnet på figur 6.5.

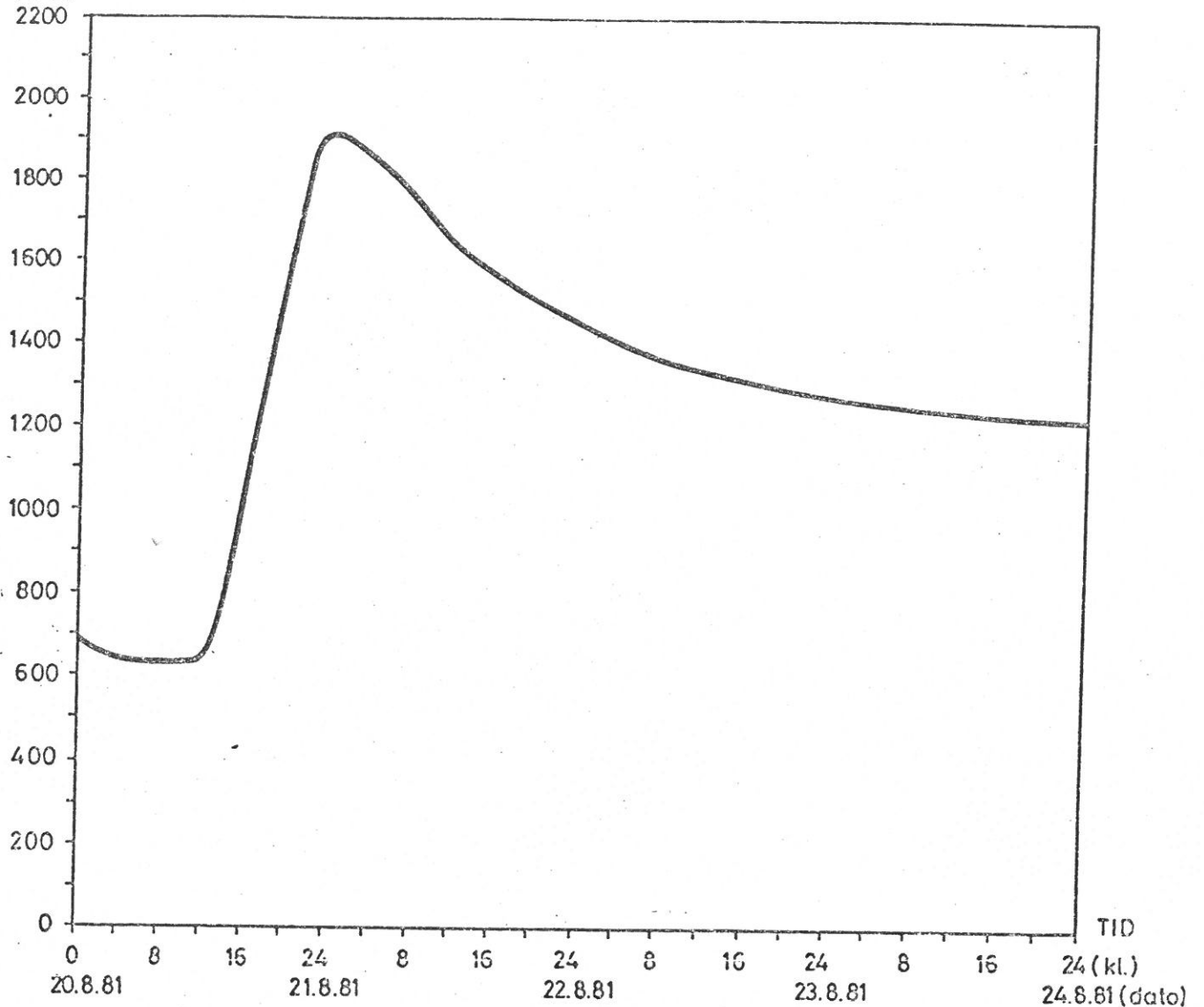


Figur 6.5. Q-H-kurven ved Ryom å, Ryomgård bro.

6.5.1. Ryomgård

Med den aktuelle vandføringskurve og de registrerede vandstandskoter ved Ryomgård bro har vi på figur 6.6. optegnet vandføringen som funktion af tiden.

VANDFØRING VED
RYOMGAARD BRO
(l/s)

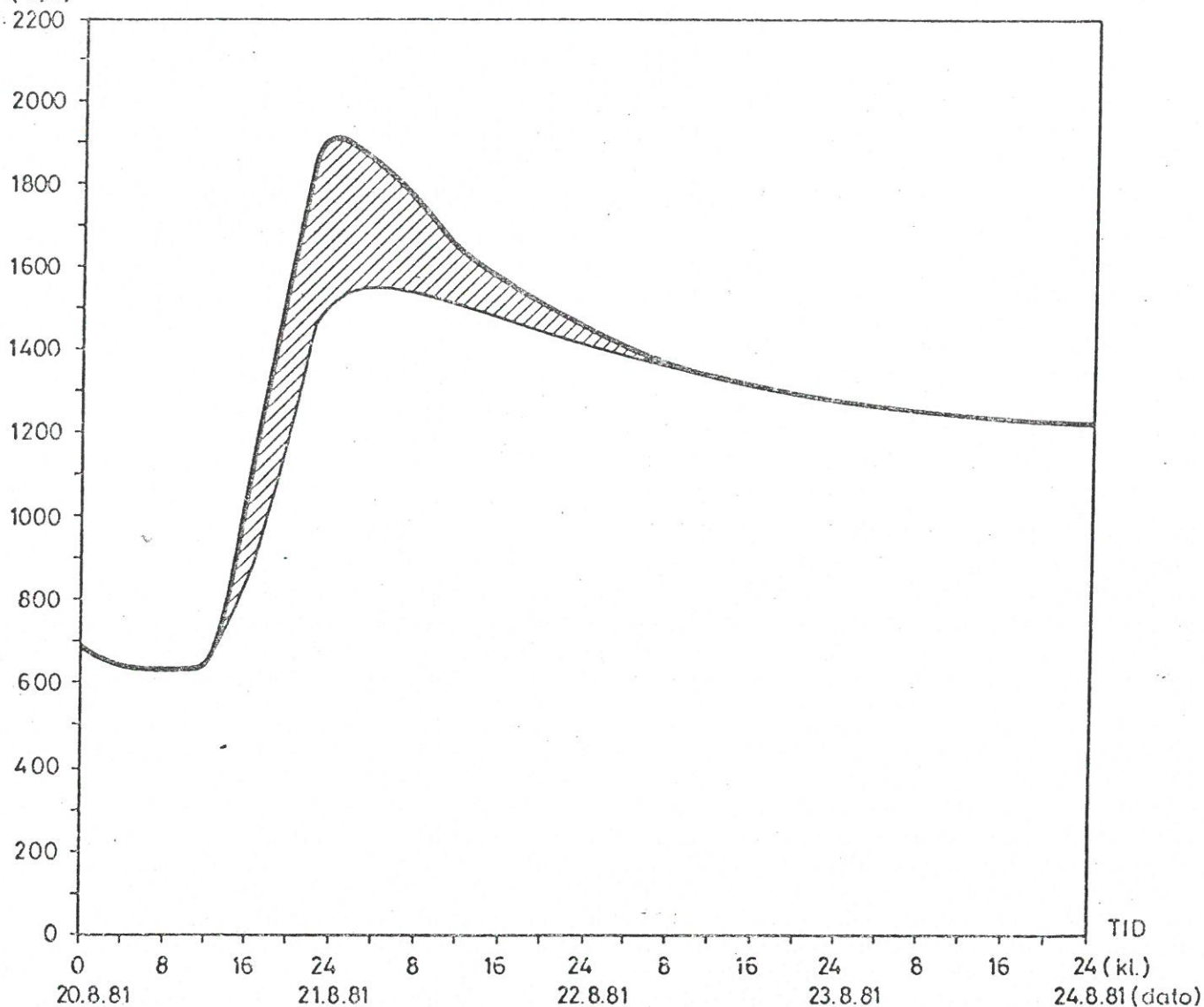


Figur 6.6. Vandføring ved Ryomgård bro.

Ved at sammenligne denne med udløbshydrografen fra Ryomgård (figur 6.3) ses, at de ikke topper samtidig. Det skyldes, at udløbet fra byen til Møllebækken sker ca. 1 km opstrøms vandføringsstationen ved Ryomgård bro. Det betyder også, at der sker en væsentlig dæmpning af denne, hvilket ses i, at vandføringsmaximum er mindre markant ved broen end ved udløbet fra byen.

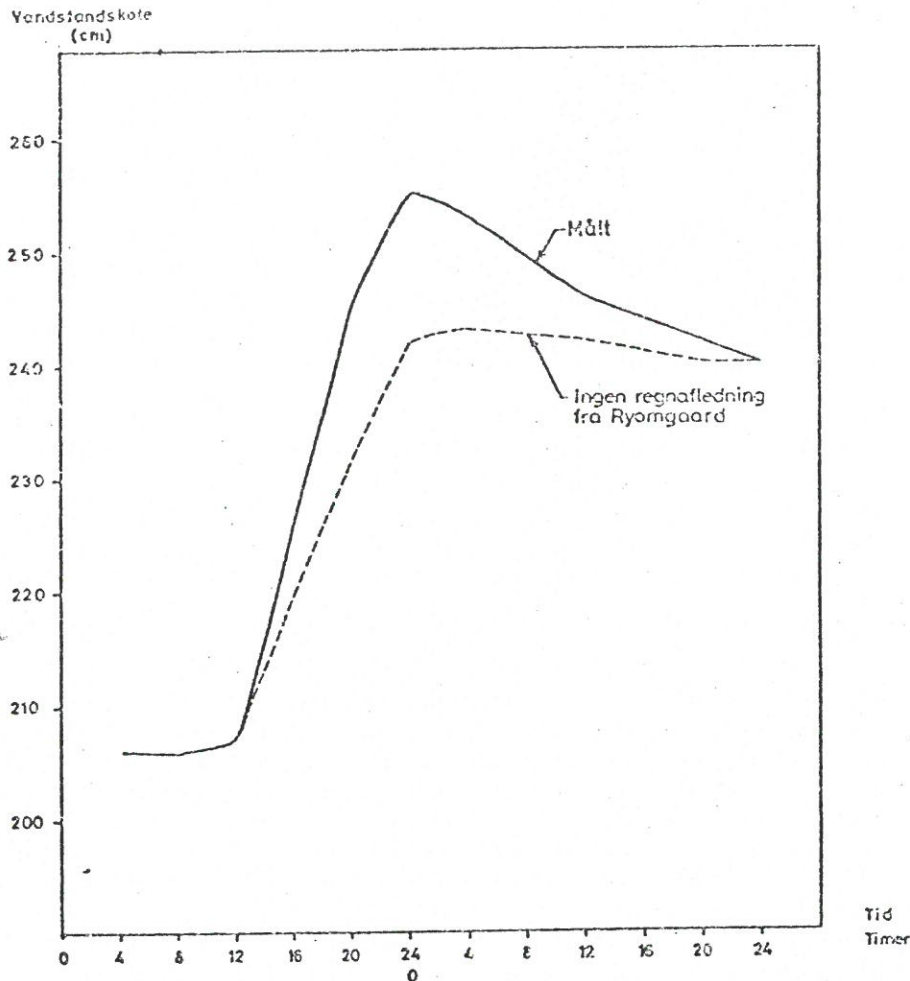
For at se, hvilken reduktion, det vil have, såfremt der ikke er tilløb fra Ryomgård har vi på figur 6.7. optegnet en ny vandføringskurve ved Ryomgård bro, hvor det skraverede areal svarer til udløbsvolumet fra Ryomgård.

VANDFØRING VED
RYOMGAARD BRO
(l/s)



Figur 6.7. Vandføring ved Ryomgård bro, reduceret for Ryoms udløb.

Med figur 6.7 og Q-H-kurven fra figur 6.5 har vi på figur 6.8 optegnet den vandstandsvariation, som man ville få, hvis Ryomgård ikke eksisterede. Af figur 6.8 ses, at man vil få reduceret den maksimale vandstand ca. 10 cm, mens det ingen betydning har for den vedblivende høje vandstand.

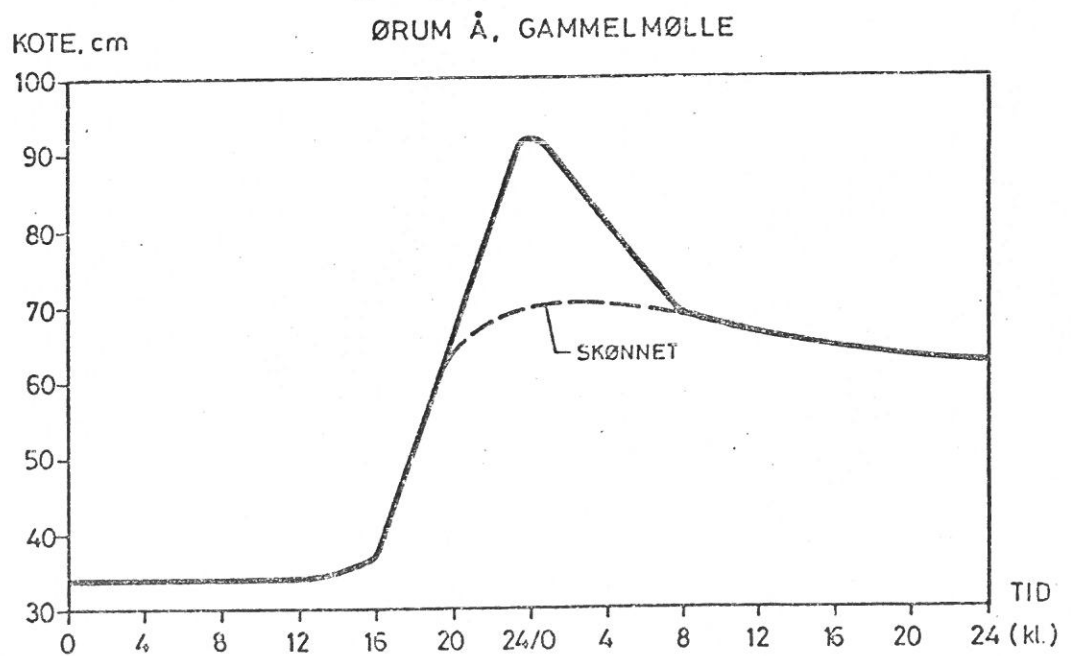
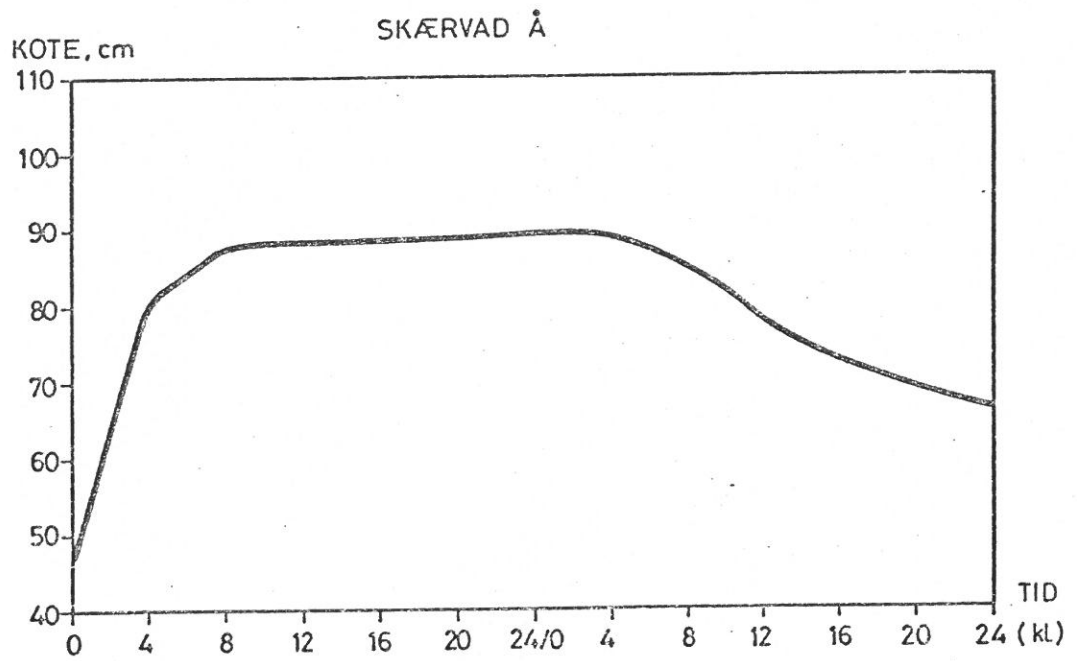
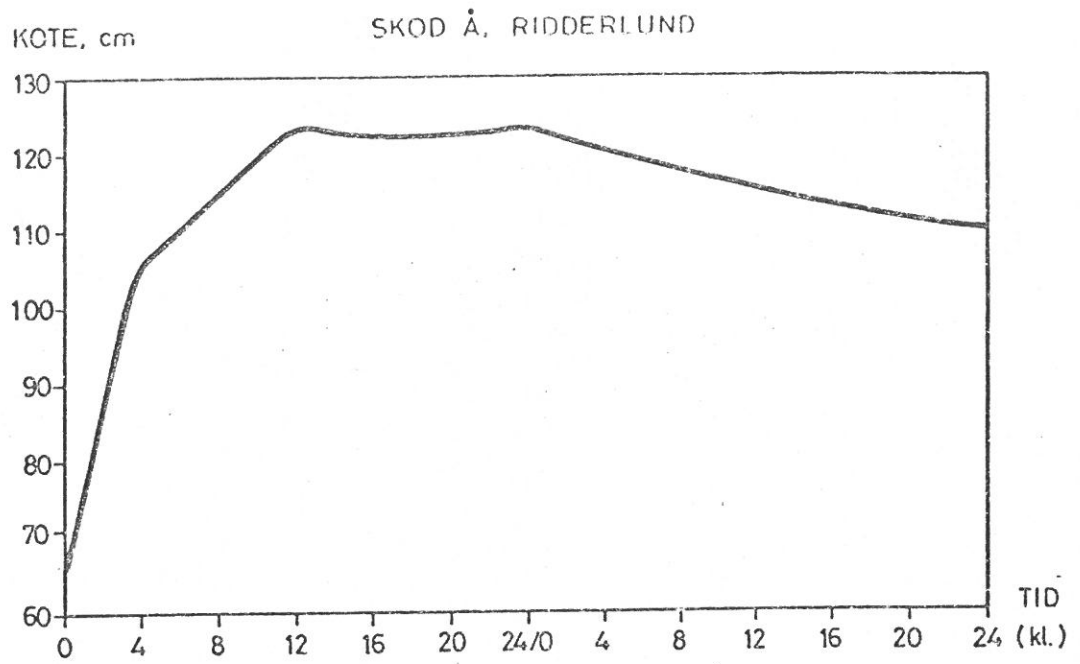


Figur 6.8. Vandstandsvariation ved Ryomgård bro med og uden regnafledning fra Ryom.

6.5.2. Kolind

Det samlede udløbsvolumen fra Kolind er beregnet til ca. 26.000 m³. Her kan der ikke som ved Ryomgård sammenlignes med en målt vandføring. Da udløbsvolumerne er af samme størrelse, kan man antage, at det også her vil give en reduktion af den maksimale vandstandskote på omkring 10 cm, såfremt der ikke er tilløb fra Kolind. Men den stationære strømningsmodel er det beregnet, at en reduktion på 10 cm ved Kolind vil reducere den maksimale vandstand ved Ryomgård bro med 2-4 cm.

Udover vandføringsstationen ved Ryomgård bro, er der også placeret målestationer ved Ørum å (Gammelmølle), Skod å (Ridderlund) og Skærvad å (Kirial A 16). Vandstandskoten som funktion af tiden er vist på figur 6.9.

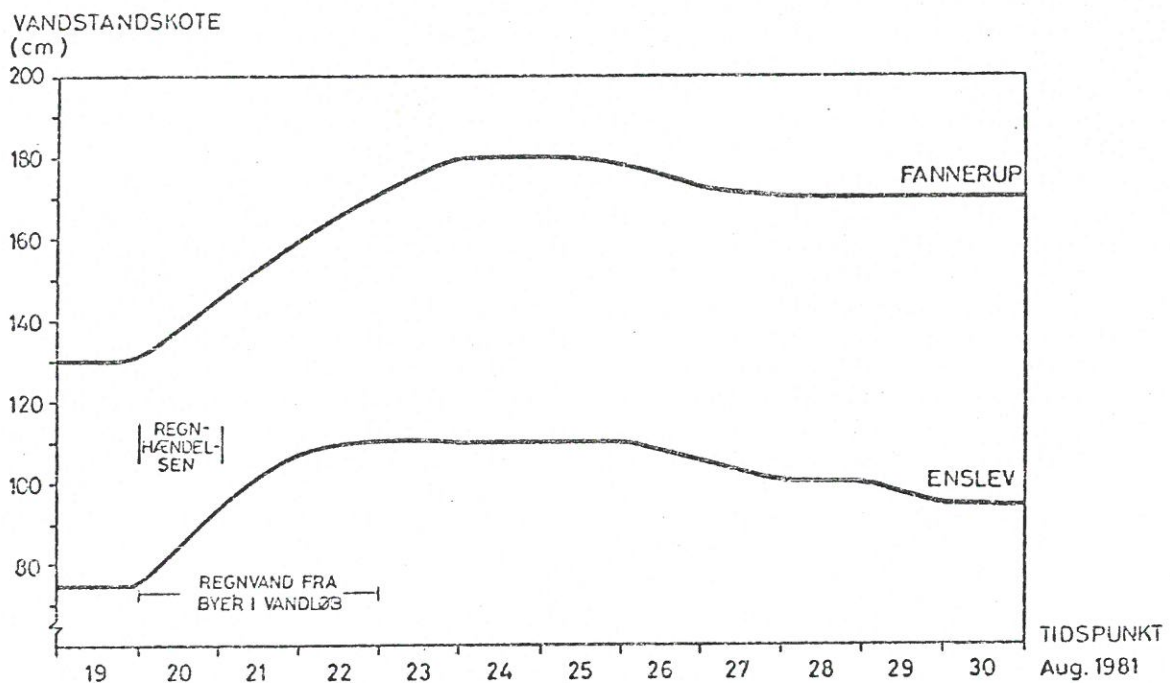


Figur 6.9. Vandstandavariationer den 20-21/8 1981.

Til Skod å og Skærvad å findes der regnafledning fra meget små byer, mens der til Ørum å findes et mere betydeligt befæstet areal, som afvander til åen. Af figur 6.9 ses, at målestationer ved Skærvad å og Skod å som ventet ikke giver en markant spidsværdi på vandstandskoten i modsætning til stationerne i Ryom å og Ørum å, hvor der kommer en markant spidsværdi. På vandstandskurven for Ørum er der indlagt en skønnet vandstandsvariation, hvis ingen byer udleder regnvand til åen.

6.6. Vurdering af byernes belastning på vandløbssystemet

Det kan konkluderes, at byerne i en ekstrem regnsituation er anledning til en kortvarig højere vandstand, specielt i de øvre dele af vandløbssystemet, men ikke er årsag til den vedblivende høje vandstand. Dette er vist på figur 6.10, hvor vandstandsvariationen ved Fannerup og Enslev pumpestationer er optegnet.



Figur 6.10. Vandstandsvariationer ved Fannerup og Enslev pumpestation.

Under hændelsen august 1981 var vandhastigheden i gennemsnit i landkanalerne 0,2 m/s, svarende til en transporttid fra Kolind til Kattegat på ca. 1½ døgn, d.v.s. byernes belastning på vandløbssystemet er væk efter et par døgn.

Af figur 6.10 fremgår, at den høje vandstand vedbliver mindst 1 uge altså lang tid efter afstrømningsvolumet fra byerne er ude af systemet.

Den vedblivende høje vandstand skyldes kanalernes ringe fald og dermed evnen til at føre de store vandmængder væk fra oplandet, der stammer fra grundvandsmagasinet.

Såfremt der skal gives præcise tal på, hvor meget byernes belastning betyder for vandløbssystemet, vil det kræve en gennemgribende beregning af vandløbene med ILLUDAS, som kræver en meget detaljeret indsamling af data.

7. Forbedring af vandafledningen m.v.

7.1. Forlagte forslag

I dette afsnit er opstillet idéoplæg til mulige forbedringer af vandafledningsevnen m.v.

Lodsejerudvalget vedr. Kolindsund m.v. har på møde 1/7 1983 opstillet følgende forslag:

1. Etablering af aflastningskanal fra Dalsgårde til Kattegat ved Pullerrevet.
2. Udvidelse af midterkanalen med direkte forbindelse fra "baglandet" vest for det inddæmmede område.
3. Etablering af højvandsluse med pumpe ved Grenåens udløb i Kattegat.
4. Udvidelse af Grenåen i bredde og dybde fra Pavillonon (evt. Enslev) til Kattegat.
5. Kombination af forslag 3 og 4.
6. Etablering af dæmning og pumpeanlæg ved sammenløb af Nord- og Sydkanal med oversvømmelsesbassin i Grenå-enge mellem Søndermølle og Sydkanal.
7. Etablering af vandret turbine sammesteds til forøgelse af strømhastigheden og dermed afstrømningsmængden i Grenåen.
8. Rørlægning af Grenåen med etablering af trykpumpe.
9. Forbindelse til spildevandsafledning fra Grenå by og kommune.
10. Forlængelse af Grenåens udløb i Kattegat til forbindelse med havstrøm ud for havnen.
11. Kolindsund opgives som dyrkningsområde og bliver igen helt (eller delvist) et søområde.

Endvidere har Karl Aage Sørensen, Emmelev, Kærvej 4 A, Grenå opstillet forslag til etablering af "pumpesystemer" i landkanalerne, udformet som "grødesnitter" eller "vandhjul". Denne idé svarer til ovenstående pkt. 7 og kommenteres sammen med dette.

Ovenstående forslag er kort kommenteret i det følgende.

ad. 1,4 og 10.

En forbedring af vandafledningen mellem Ryomgård og Koed vil tilsyneladende kunne etableres ved en uddybning af Ryom å på denne strækning.

En forbedring af vandafledningen mellem Koed og Grenå vil primært skulle søges i en forøgelse af vandløbsdimensionerne af Grenåen og

sekundært i tilsvarende forlandkanalerne. Eksempler herpå er gennemgået i afsnit 7.2 og 7.3 ud fra den beskrevne maksimalafstrømning i afsnit 5.6. Om der etableres et supplerende afløb fra landkanalerne til Kattegat eller en udvidelse af Grenåen er underordnet for vandafledningen, men er naturligvis af stor økonomisk, miljømæssig og anlægsteknisk betydning.

Afhængig af materiallevandringen m.v. omkring udløbet af Grenåen vil det evt. være nødvendigt med en sikring af udløbet. Det er iøvrigt forudsat, at bunden omkring udløbet ikke ligger højere end regulativmæssig bundkote (- 1,10 m). Eksempelvis kan nævnes de regulativmæssige udløbskoter fra andre større vandløb.

Skive-Karup å	- 0,95 m
Skals å	- 1,51 m
Ry å	- 2,70 m

ad 3.

Etablering af sluse har til formål at forhindre opstuvning og kortvarig tilbagestrømning ved stigende vandstand på udløbssiden og benyttes især i tidevandsområder (vadehavet) og ved udløbet fra Vejleområderne i Thy.

Det skal igen pointeres, at med de nuværende dimensioner for Grenåen har selv forholdsvis høje vandstande i Kattegat en minimal indflydelse på vandstanden i landkanalerne.

I figur 7.1. er den beregnede vandspejlskote ved Kobro (sammenløbet af Nord- og Sydkanalen) angivet som funktion af vandspejlskoten i Kattegat ved en ekstrem vandføring i Grenåen på $15 \text{ m}^3/\text{s}$.

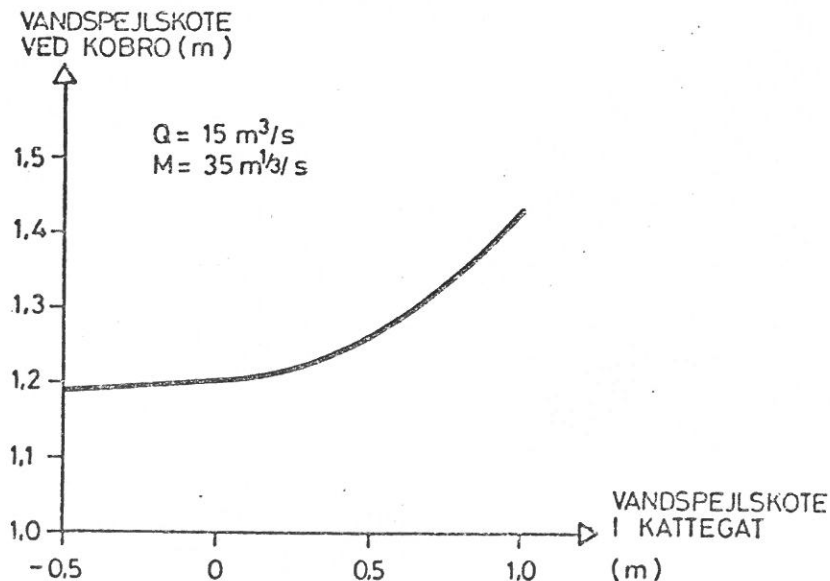


Fig.7.1. Effekt af højvande i Kattegat.

Ved normalvandføring og -vandstand i landkanalerne vil høj vandstand i Kattegat give en forholdsvis større opstuvning - og dermed kunne registreres længere oppe i kanalerne - men adderet til normalvandstanden vil der stadig være tale om en beskedent vandstand. Disse mindre opstuvninger kan forøge tilstrømningen til Kolindsund betydeligt, jfr. afsnit 2.3 og 4.6.

Betragtes eksemplet i figur 7.1., og tænkes vandstanden i Kattegat at stige fra kote 0,0 m til 1,0 m, vil vandstanden bag de lukkede sluseporte stige mod samme kote og ved Kobro stige fra kote 1,2 m til 1,4 m. Såfremt der ingen stigning kan accepteres, kræves en pumpekapacitet af en evt. højvandspumpe på $15 \text{ m}^3/\text{s}$.

ad. 5.

Ved en generel vandstandssænkning i landkanalerne p.g.a forøgede vandløbsprofiler vil en sluse med evt. højvandspumpe have større effekt end omtalt ovenfor.

ad 2.

De dårlige afvandingsforhold i områderne langs den nedre del af Korup å og langs Ryom å omkring Kolind kan evt. løses ved inddigning og med afløb til Kolindsund. Uden ændring af pumpekapaciteten vil det generelt medføre en forringelse af afvandingsforholdene i Kolindsund.

"Baglandets" problemer løses sandsynligvis bedst ved en inddigning samt lokale pumpestationer.

ad 6.

Under henvisning til ad.pkt.3 vil effekten af et reservoir være meget beskedent.

Ved en evt. udvidelse af vandløbsprofilerne vil effekten være større.

ad. 7.

For at en "vandret turbine" (pumpe) skal kunne sænke vandstanden i landkanalerne skal de have større kapacitet end den naturlige afstrømning, idet strømmingen foregår med frit vandspejl. (I et lukket rørsystem vil et trykforøgeranlæg kunne øge vandføringen). De skal således have en kapacitet på $5-15 \text{ m}^3/\text{s}$ og vil blot sænke vandstand på en delstrækning opstrøms "turbinen" og hæve vandstanden på en delstrækning nedstrøms denne.

ad. 8.

Vil kunne give en effektiv vandstandssenkning, men vil være uhyre kostbart i anlæg og drift.

ad. 9.

En udnyttelse af evt. ledig kapacitet i spildevandssystemet for Grenå har ingen effekt.

ad.11.

Skal ikke kommenteres. Dog kan det overvejes, at inddige de største væld-/indsivningsområder der ligger tæt ved landkanalerne og føre afløbet hertil.

7.2. Indgreb i Grenåen

Efter sammenløbet af Nord- og Sydkanalen fortsætter vandløbene i Grenåen, hvis regulativmæssige dimensioner er mindre end Nordkanalens arene. Det naturlige ville være, at Grenåen har dimensioner svarende til summen af Nord- og Sydkanalen.

Effekten på vandspejlsforløbet ved forskellige indgreb er optegnet på figur 7.2. og i tabel 7.1. er effekten landkanalerne angivet. Ved udbygning er der forudsat, at regulativmæssig bundbredde og anlæg bevare Afstrømning, vandstand i Kattegat m.v. svarer til det i afsnit 5.6 beskrevne.

Vandstandskote (m)

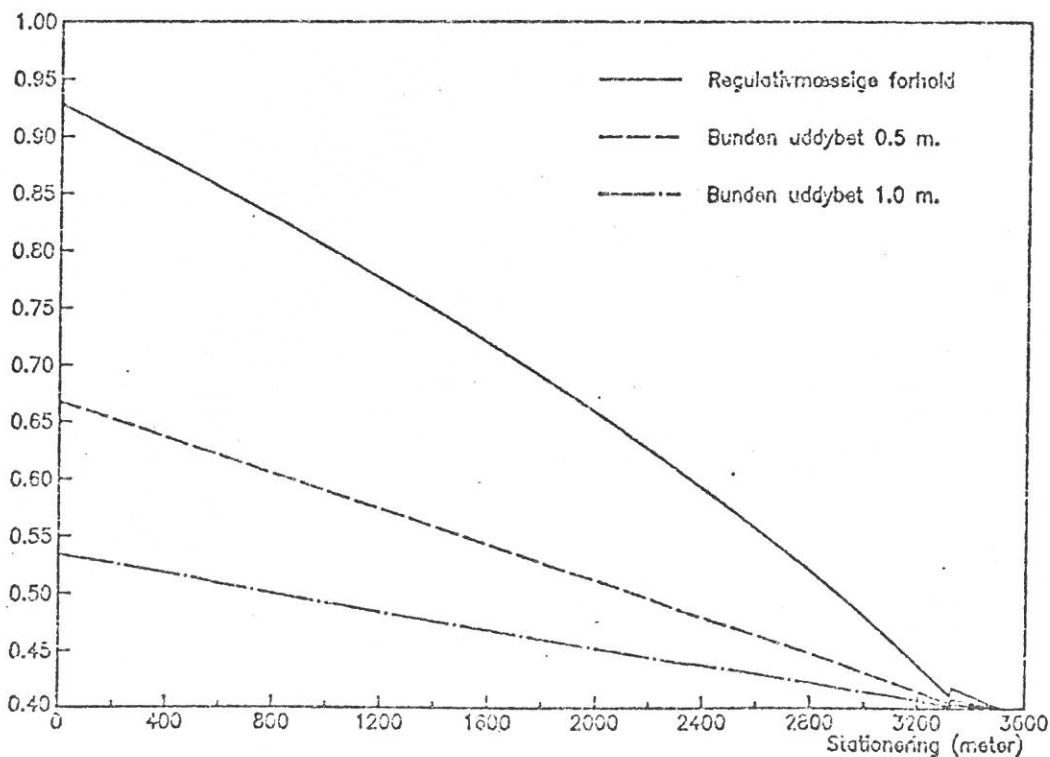


Fig. 7.2. Vandspejlsforløb i Grenåen.

Af tabel 7.1. ses, at store indgreb i Grenåen vil bevirke en relativ lille vandstandssænkning, og at denne har effekt ca. 10 km opstrøms nedre sammenløb. Til gengæld er det også på denne strækning, hvor indsivningen er størst, og denne vil sandsynligvis reduceres.

Forslag	Nedre sammenløb	Revn bro Sydkanalen	Enslev pumpestation	Fannerup pumpestation	Øvre sammenløb
1	95	125	130	180	190
2	70	115	120	175	190
3					
4	55	110	115	170	190
5					

Tabel 7.1. Vandstandskoter i cm.

- 1: Regulativmæssige forhold.
- 2: Grenåens bundkote sænkes 0,5 m i hele sin længde.
- 3: Grenåens bundbredde øges 5 m i hele sin længde.
- 4: Grenåens bundkote sænkes 1,0 m i hele sin længde.
- 5: Forslag 2 og 3 sammen.

7.3. Uddybning af hele vandløbssystemet.

Hvis man ønsker en mere markant vandstandssænkning, skal hele vandløbssystemet op til Ryom å uddybes. Her har vi set på 3 forskellige uddybninger, nemlig 0,2, 0,5, og 1,0 m, og dette resultat er vist i tabel 7.2.

Uddybning	Nedre sammenløb	Revn bro (Sydkanalen)	Enslev pumpestation	Fannerup pumpestation	Øvre sammenløb
0 m	95	125	130	180	190
0,2 m	80	110	115	160	180
0,5 m	70	90	95	135	150
1,0 m	55	65	70	100	110

Tabel 7.2. Vandstandskoter i cm.

Af tabel 7.2. ses, at en given uddybning af hele vandløbssystemet bevirker, at vandstanden i gennemsnit sænkes 60-80% af uddybningsværdien ved den maksimalafstrømning, der er beskrevet i afsnit 5.6. Den beregnede sænkning vil i virkeligheden være mindre, da man ved sænkningen får nedsat indsivningen og dermed "øget" vandføringen i vandløbene.

7.4. Øvrige forhold

7.4.1. Energitab ved broer.

Langs landkanalerne er der ca. 1 bro pr. km, som kan give anledning til en højere vandstand p.g.a. enkelttab ved hver af disse.

Ved skrivelse af 2/5 1983 har amtsvandvæsenet anmodet om en særskilt vurdering heraf, samt den fordel som kan opnåes ved en effektiv oprensning under broerne.

Vurderingen fremgår af bilag 15 og det konkluderes, at opstuvningen ved Slemninggårds bro under de nuværende forhold er 1-2 mm og ved afløjringen til kote 0,0 m er opstuvningerne ca. 5 mm.

7.4.2. Aflastningsboringer.

Det skal foreslås, at muligheden for etablering af aflastningsboringer udenfor landkanalerne nærmere undersøges. Eventuelt kan der som forsøg etableres en boring ved Revn og Enslev hvor grundvandspotentialet er højt. Fra boringen føres en trykledning til landkanalen og indsivningen til Kolindsund skulle hermed blive reduceret.

7.4.3. Injektion af veldområderne.

Muligheden for injektion af sprækker m.v. i kalklaget hvor dette medfører stor tilstrømning bør undersøges nærmere, og der kan evt. udføres et forsøg i et velegnet område.

7.4.4. Ændret pumpedrift.

Med henblik på reduktion af pumpeudgifterne skal mulighederne for en ændret pumpedrift overvejes.

Tilsyneladende vil øget brug af de store pumper kunne medføre en besparelse.

Muligheden for at "overstyre" pumpedriften efter vandstanden i Nordkanalen bør ligeledes undersøges.

8. Forslag til videregående undersøgelser.

Af de nævnte forslag fremgår, at det er nødvendigt at udvide vandløbsprofilerne i hele vandløbssystemet, for at få en markant sænkning af vandspejlsforløbet, og dermed en reduktion af oversvømmelserne ved

maksimalafstrømninger. Desuden vil indsivningen fra landkanalerne til Kolindsund sandsynligvis også mindskes en del ved en uddybning af landkanalerne.

Ved videregående undersøgelser skal det primært foreslås, at de opstillede modeller nøjere kalibreres og at den samlede effekt for randarealerne samt Kolindsund beregnes nøjere, herunder opstilling af anlægsudgifter, reduktion af pumpeudgifter m.v.

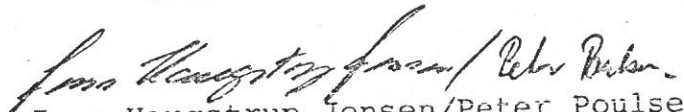
For Kolindsund skal det desuden foreslås, at man nøjere vurderer muligheden for yderligere reduktion af indsivning ved etablering af aflastningsboringer umiddelbart udenfor landkanalerne og injektion af sprækker i kalklaget. For at reducere pumpeudgifterne og forbedre afvandingsforholdene lokalt skal ændringer i pumpedriften samt etablering af sekundære pumpestationer nærmere vurderes.

For randarealerne skal det desuden foreslås, at man nøjere vurderer mulighederne for inddigning og med afløb til Kolindsund ved høj vandstand i vandløbssystemet.

Alternativt at der etableres egne pumpestationer i randarealerne.

Viborg, d. 15. september 1983.

Det danske Hedeselskab
Grundforbedringsafdelingen


Jens Haugstrup Jensen/Peter Poulsen

9. LITTERATURLISTE

1. BYGD, 13. årg., nr. 2, 1982.
2. Twentieth International Course on land drainage: Seepage from open channels. Wageningen. The Netherlands 1981.
3. Larsen, Peter A.: Kolindsund.
Jordbundsmæssig og geologisk beskrivelse samt undersøgelse af de jordbundsdannende processer i et afvandet område. 1976.
Lab. for Fysisk Geografi, Århus Universitet.
4. Det danske Hedeselskab: Kolindsund.
Undersøgelser af afvandingsforholdene i landkanalerne udført af Det danske Hedeselskab i sommeren 1935. Marts 1936.
5. Korkman, Tor-Erik: En hydrologisk-hydrokemisk undersøgelse af det kunstigt afvandede Kolindsund. Århus Universitet, Det naturvidenskabelige fakultet. 1981.
6. Pedersen, E. Frimodt: Tørvelagets sammensynkning og mineralisering i Store Vildmose. Statens Planteavlsvforsøg. 1425. beretning. 1978.
7. Århus amtskommune, amtsvandvesenet: Notat om afstrømningsforhold i Grenåens opland, specielt vedrørende oversvømmelser i Kolindsund, samt oplandene ved Ryomgård å, ved Nord- og Sydkanal. August 1981.

Teksturanalyser m.v.

Mekanisk jordbundsanalyse

Teksturanalyse

af 4 jord prøver modtaget den 27 / 06 19 83
for regning Hedeselskabets forsøgsvirksomhed
vedr. Kolindsund forprojekt - Søby Sag nr. 401.82.012
Prøverne udtaget - / - af

Analyseret efter hydrometemetoden.

Prøvens mærke	Procentindhold af							
	Sten over 2 mm	Grovsand		Finsand		Silt	Ler	Humu
		2,0- 0,59 mm	0,59- 0,20 mm	0,20- 0,074 mm	0,074- 0,02 mm	0,02- 0,002 mm	< 0,002 mm	
Profil 2	11.0	6.3	31.7	38.7	0.0	5.8	6.2	0.3
- 3	5.1	6.2	18.7	34.2	12.0	11.8	11.8	0.2
- 4	15.3	9.0	23.4	36.3	0.0	8.2	7.6	0.2
- 5	0.1	0.7	28.0	62.2	6.7	0.6	1.4	0.3
	%	%	%	%				
	sten over 30 mm	sten 30 - 10 mm	sten 10 - 5 mm	sten 5 - 2 mm				
Profil 2	4.3	1.7	1.5	3.5				
- 3	0.0	1.4	1.3	2.4				
- 4	4.0	5.0	3.1	3.2				
- 5	0.0	0.0	0.0	0.1				

SIGTEANALYSE

af 1 sand prøve modtaget den 27.06.1983

vedr. Kolindsund forprojekt

Sag nr. 401.82.012

Profil 1

for regning Hedeselskabets forsøgsvirksomhed

Sigte nr. ASTM	Maskevidde mm	Gennemfald i vægt pct.			
	30	94.9			
	10	92.2			
4	4,76	89.9			
8	2,38	88.4			
10	2,00	88.0			
14	1,41	87.1			
18	1,00	86.1			
20	0,84	85.0			
30	0,59	80.9			
40	0,42	68.7			
45	0,35	61.5			
70	0,21	29.4			
100	0,149	15.6			
200	0,074	4.5			
bund	0				

KORNKURVE

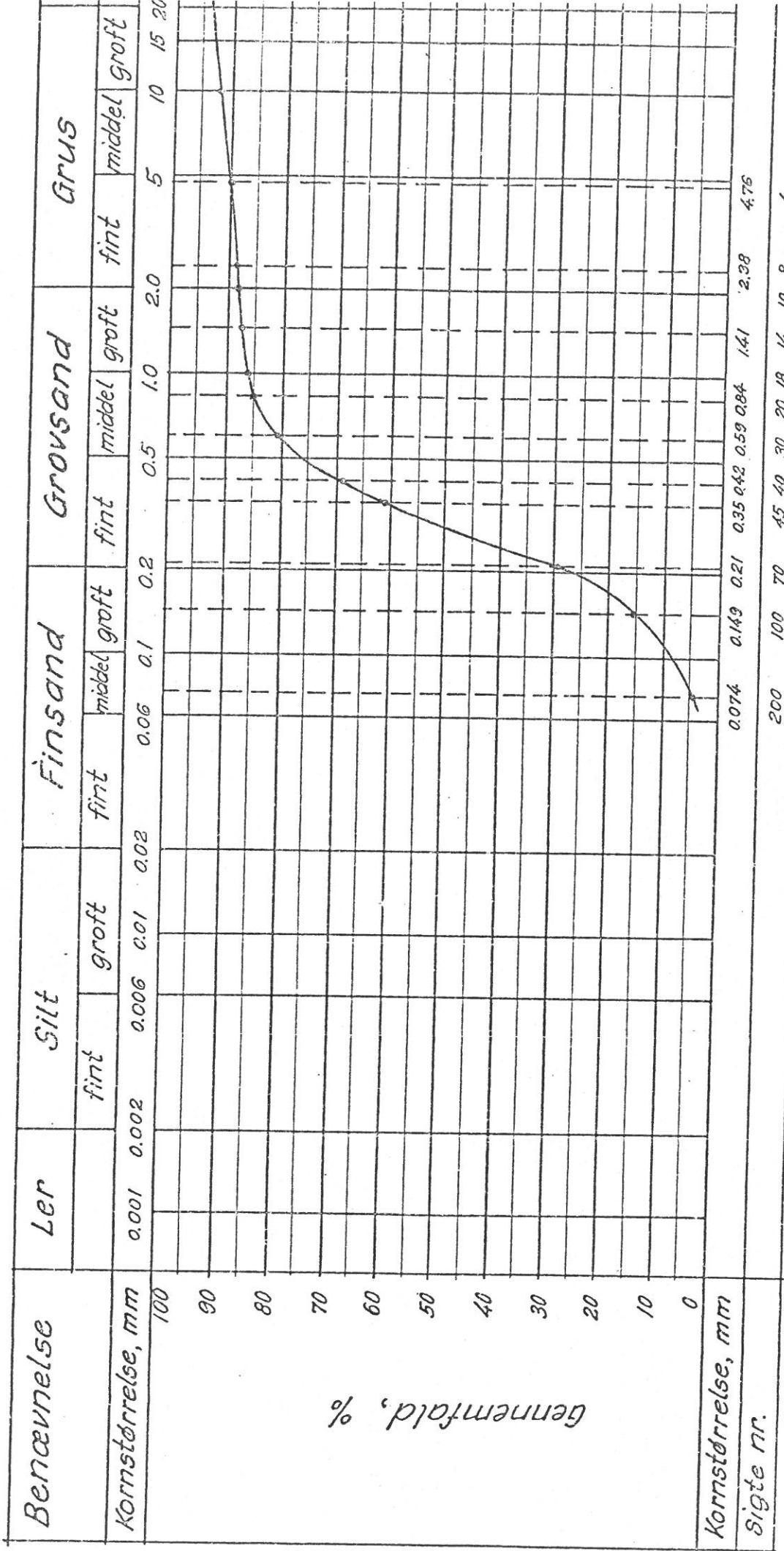
Prøven vedrører

Hedeselskabets forsøgsvirksomhed

Prøve nr.

Kolindsund forprojekt - sag nr. 401.82.012 - profil 1

Bemærkninger



Mekanisk jordbundsanalyse

Teksturanalyse

af 1 jord prøve modtaget den 28 / 07 19 83

for regning Hedeselskabets grundforbedringsafdeling

vedr. Sag nr. 401.82.012 Kolindsund forprojekt

Prøven udtaget 28/7 af konsulent John Mortensen

Analyseret efter hydrometermetoden.

Prøvens mærke	Procentindhold af					Glødetab, %
	grovsand 2,0-0,2 mm	finsand 0,2-0,02 mm	silt 0,02-0,002 mm	ler under 0,002 mm	humus (organisk stof)	
Djuvergårdsbro profil 1 Dybde 55-65 cm	12.4	6.8	34.4	26.0	7.5	12.9

Mekanisk jordbundsanalyse

Teksturanalyse

af 2 jord prøver modtaget den 28, 07, 19 83

for regning Hedeselskabets grundforbedringsafdeling

vedr. Sag nr. 401.82.012 Kolindsund forprojekt

Prøve modtaget 28, 7 af konsulent John Mortensen

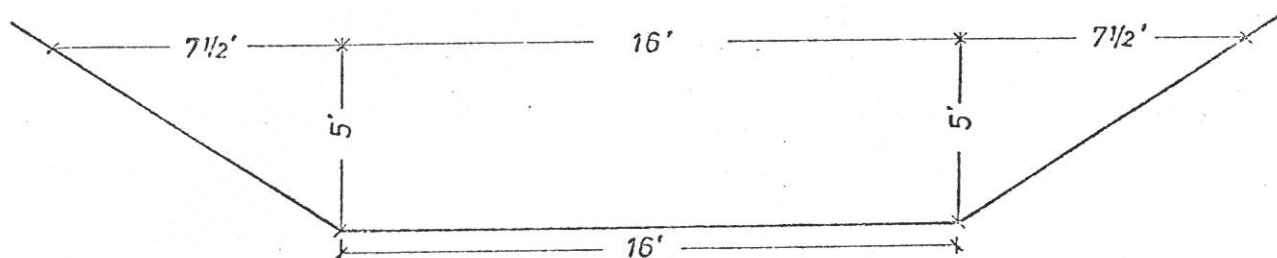
Analyseret efter hydrometernethoden.

Prøvens mærke	Procentindhold af							
	Sten over 2 mm	Grovsand		Finsand		Silt 0,02- 0,002 mm	Ler < 0,002 mm	Humus
		2,0- 0,59 mm	0,59- 0,20 mm	0,20- 0,074 mm	0,074- 0,02 mm			
Søby profil 2 dybde 65-75 cm	11.5	3.9	36.2	34.0	6.1	3.1	4.1	1.1
Djuvergårds- bro profil 1 dybde 110-130 cm	13.8	1.9	31.4	31.0	10.3	4.9	5.5	1.2
Sten over 2 mm fordeler sig således:								
					Søby %		Djuvergårdsbro %	
	over	30 mm			4.9		10.0	
	over	10 mm			1.6		2.4	
	over	5 mm			0.8		1.2	
	over	2 mm			4.2		0.2	

Redegørelse om landkanalernes
skråningsanlæg.

Redegørelse om landkanalernes skråningsanlæg.

1. I ing. Lunøe's "Rapport om eftersynet af landkanalerne ved Kolindsund" side 2 er Nord- og Sydkanalens tværsnit bl.a. anført ved hjælp af en skitse som nedenstående.



2. I bilag 4 til landvæsenskommissionsmøde d. 20/11 1890, angives sideskråninger som 1:2 og 1:1,5. Af teksten på side 16 fremgår, at anlæg 1:3 er fladere end 1:1.
3. I "Vedtægt for Pumpelaget Kolindsund" § 2, anføres, at afvandingskommissionen har fastsat dimensioner for landkanalerne i overensstemmelse med den i § 1 nævnte fortegnelse.
4. I "Fortegnelse og Beskrivelse over de Kolindsund Pumpelag tilhørende Anlæg" side 23 er skråningsanlægget angivet som 2:1, 1½:1 og 1:1.
5. I "Kolindsund. Undersøgelse af Afvandingsforholdene og Landkanalerne udført af Det danske Hedeselskab i Sommeren 1935" fremgår det, ved sammenligning af skråningsanlæg ved "gældende" og "målte" dimensioner og teksten under skemaet på side 30, at skråningsanlæg 2,0:1 og 2,25:1 er fladere end 1,5:1.

6. I "Forslag til Udbedring af Kanaldigerne ved Kolindsund", dateret Viborg d. 11. November 1935, er der på side 3 skitseret et digeprofil med skråningsanlæg angivet som 3:1 og 2:1.
7. I jordarbejdsliste for "Udvidelse af østre del af Nordkanal" dateret Viborg i Marts 1936 er skråningsanlægget anført som 1:1 og 1,5:1. Tverprofilerne, som omfatter en del af vandløbsstrækningen med anlæg 1,5:1, viser at anlægget efter udvidelsen er fladere end 1:1.

På grundlag af forannævnte aktstykker er det afdelingens opfattelse, at de under "4" omtalte skråningsanlæg 2,0:1 og 1,5:1 er et fladere anlæg end 1:1.

Viborg, den 11. februar 1983
Det danske Hedeselskab
Grundforbedringsafdelingen

Poul Nielsen

O v e r s i g t

over

vandløbsdimensioner, topografiske oplande
samt vandslug i broer.

Indhold:

Ryomgård Å.....	side 2 - 3
Korup Å	side 4
Nordkanalen.....	side 5 - 6
Sydkanalen	side 7 - 9
Grenå	side 10

St.	Bund- kote m	Bund- bred- de m	An- læg	Fald o/oo	Opland ha	Bro Vand- slug m	Vedtegning
Ryomgård å							
0 ⁰⁰	4,83	x			3090		Styrt. Skindløs
0 ⁰⁶	4,54						Styrt
0 ¹²	4,25	1,6					Styrt
0 ¹⁸	3,89						Styrt
0 ²⁴	3,53	x	x	x			
		2,5					
4 ³²		x					Kastrup engmosegrøft
4 ⁷⁵		3,0					Spang
7 ²⁶		x					Pindstrup bæk
11 ⁷⁴		3,5				5,0	Hvide bro
24 ⁵⁰		x					
			1,5	0,25			
29 ⁶⁶						5,5	Klemstrup bro
		3,7					
34 ⁶⁵						ca.7,0	Spang
36 ⁰⁹		x					
38 ⁵⁶		4,0				ca.7,0	Spang
43 ⁶²		x			4822 5750		Bøjstrup bæk
		4,5					
44 ⁴⁸	2,40	x	x			4,9	Jernbanebro
46 ⁵¹	2,35	2,5		x			
				2,0			
48 ¹⁶	2,02	x		x			
49 ³⁰							Spang
		3,0	1,0	0,6			
58 ²⁶							Spang
58 ⁵⁰	1,41	x		x			
59 ⁶⁵		4,0		0,3	7018 8013		Møllebæk
60 ⁷⁶						5,0	Ryomgård bro
61 ⁷⁵						4,6	Bro
66 ⁸⁸	1,15	x		x			
103 ⁶⁶		5,0				6,0	Ballebro
107 ⁸³	0,33	x		0,2			
		6,25					
119 ⁴⁰	0,10	x	x	x	8791 13602		Korup å

St.	Bund- kote m	Bund- bred- de m	An- læg	Fald o/oo	Opland ha.	Bro Vand- slug m	Vedtegning
119 ⁴⁰	0,10	x	x	x	8791 13602		Korup å
124 ⁵⁰	0,00			0,2 x		8,5	Jernbanebro
125 ⁷⁰						6,9	Kolindbro
129 ⁵⁰		10,50	1,0	0,09	13644 16483		Mårup å
129 ⁹⁰	-0,05	x	x	x	16483		Syd- og Nordkanalen

St.	Bund- kote m	Bund- bredde m	An- læg	Fald o/oo	Opland ha	Bro Vand- slug m	Vedtegning
Korup å 0 ⁰⁰	2,77	x	x	x	ca.		Rostved bro
3 ⁰³	1,79			3,25 x			
15 ⁰⁰		1,5		0,4	1270 1662		Ølvad bæk
17 ⁵¹	1,21	x		x	1678 2174		Dibbelbæk
22 ⁷⁰						3,0	Hvitvedgård bro
28 ³⁰						3,0	Bro
33 ⁸⁰						3,0	Ebdrup-Ellev enge bro
34 ³⁰		2,0				3,0	Bro
36 ¹⁰			1,0			3,0	Bro
36 ⁹⁰				0,15		3,0	Bro
39 ³²	0,88	x			2469 3944		Saksvad bæk
47 ⁴²						5,0	Ebdrup bro
66 ⁰⁰		3,0				5,0	Bro for Kolind-Thorsage vejen
68 ³⁶							Skarresø bæk
91 ⁵⁷	0,09	x	x	x	4811		Ryom å

St.	Bund- kote m	Bund- bred- de m	An- læg	Fald o/oo	Opland ha	Bro Vand- slug m	Vedtegning
<u>Nordkanalen</u>							
0 ⁰⁰	-0,05	x	x	x	9616		Ryom å
1 ³⁵						10,0	Højbro
6 ⁷⁵						7,9	Niels Thomsens bro
14 ⁸⁰					9681 16179		Nimtofte å
16 ⁴⁵						9,0	Vedø bro
28 ⁸⁵						9,9	Sivestedodde bro
35 ⁹⁰				0,047		9,3	Sivested bro
40 ⁵⁰						9,8	Søren Karrs bro
45 ¹⁵						10,0	Mejeribro
56 ²⁵		7,0	2,0			9,9	Mads Hansens bro
63 ²⁵						9,9	Ejner Madsens bro
74 ⁵⁰						9,1	Sofiemindes bro
83 ²⁵						9,1	Kratholms bro
96 ⁰⁵	-0,50			x	17009 18709		Fannerup pst., 1x1000 l/s 1x2000 l/s. Opland ca. 1700 ha
98 ⁰⁰					18709 24526		Ørum å
98 ¹¹						10,0	Fannerupbro
101 ⁹⁵				0,016		10,0	Fannerup Mejeribro
113 ²⁰						10,0	Brugsforeningsbroen
119 ⁵⁶							Tømningssluse, ø 30 cm, m/klap
125 ⁰⁰						9,5	Ginnerup bro
142 ⁸⁰						9,9	Asgård bro
147 ¹²						9,6	Sundbogårds bro
148 ⁶⁶							Tømningssluse, ø 30 cm, m/klap
153 ⁰⁰						9,9	Slemminggårds bro
162 ⁶⁰						9,9	Djursgårds bro
167 ¹⁰		x	x	x	25156 28525		Skærvad å

St.	Bund- kote m	Bund- bred- de m	An- læg	Fald o/oo	Opland ha	Bro Vand- slug m	Vedtegning
167 ¹⁰		x	x	x	25156 28525		Skervad å
167 ²⁰							Tømmingsssluse, ø 30 cm, m/klap
		7,0	2,0	0,016			
167 ⁹⁰						10,0	Joh. Slemmings bro
169 ⁶¹	-0,62	x	x	x	28525 29425		Enslev pst., 1x1000 l/s + 1x2000 l/s. Opland ca. 900 ha
173 ¹⁵						9,9	Enslev bro
186 ⁴⁵			1,0			9,9	Mortens bro
190 ³⁰		10,0				9,2	Enslevgårds bro
				0,07			
191 ⁹²							Afvandingsssluse, ø 15" m/klap
195 ⁴⁰	-0,80		x	x			Øster Fløjdige
201 ⁶⁵				0,076		12,0	Bro for A 16
206 ⁸⁵			2,0			9,7	Kobro
208 ⁵⁹	-0,90	x	x	x	30144		Grenå

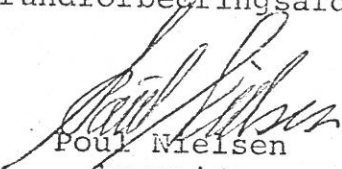
St.	Bund- kote m	Bund- bred- de m	An- læg	Fald o/oo	Opland ha	Bro Vand- slug m	Vedtegning
<u>Sydkanalen</u>							
0 ⁰⁰	-0,05	x	x	x	6867		Ryom å
4 ¹⁵						8,1	Niels Poulsens bro
7 ⁶⁵						8,2	Dommerens bro
10 ⁰⁰	-0,40			0,015		7,55	Stemmeværk
11 ¹⁰						7,5	Ras Skovsens bro
14 ³⁵						8,3	Lægens bro
19 ²³							Tømningssluse, ø 30 cm, m/klap
28 ⁰⁵						8,3	Kjeldstrup bro
28 ²⁸							Tømningssluse, ø 30 cm, m/klap
33 ⁵³	-0,10			x	7787 10356		Skod å
		5,0	2,0				
37 ⁰⁰						7,6	Kærby bro
39 ³⁵							Tømningssluse, ø 30 cm, m/klap
43 ⁸⁰						8,2	Privat bro
49 ¹⁰						8,8	Niels Mikkelsens bro
56 ⁸⁰						8,3	Albøge bro
				0,02			
59 ⁶⁰					10548 11944		Nygård å
61 ¹⁹							Tømningssluse, ø 30 cm, m/klap
68 ⁹⁰						8,5	La Cours bro
76 ¹⁰						8,7	Christen Bondes bro
84 ¹⁰	-0,20					8,4	Søby bro
87 ⁶⁵						8,5	Katrinesminde bro
102 ⁵⁰							Tømningssluse, ø 30 cm, m/klap
108 ⁰⁵						7,8	Frederiksdal bro
114 ⁹⁵		x	x	x		7,9	Vestre Fævejlebro

St.	Bund- kote m	Bund- bred- de m	An- læg	Fald o/oo	Opland ha	Bro Vand- slug m	Vedtegning
114 ⁹⁵		x	x	x		7,9	Vestre Fævejlebro
117 ³²						7,4	Østre Fævejlebro
118 ⁵⁵						7,4	Landfaster v/gl. Fævejle- bro
128 ⁹⁵		5,0	2,0	0,02		7,6	Ydemandens bro
135 ⁵⁰						7,6	Georg Nielsens bro
139 ⁵⁵						7,9	Allelev bro
143 ³⁹						8,0	Privat bro
145 ⁶⁰						8,0	Thomas Kingos bro
150 ³⁸							Tømmingsssluse ø 30 cm, m/klap
150 ⁵⁰						8,5	Joh. Overgårds bro
152 ¹⁹						8,5	Privat bro
160 ⁰⁰	-0,35			x		8,2	Ingvorstrup bro
174 ⁰⁰						8,3	Næsby bro
176 ³⁷				0,015			Tømmingsssluse ø 30 cm, m/klap
196 ⁷⁰						8,5	Revn bro
198 ⁸¹	-0,41	x	x	x	13404 15103		Revn bæk
200 ⁸⁰							Chr. Dolmers bro
200 ⁸²							Tømmingsssluse, ø 30 cm m/klap
201 ²⁰	-0,39					6,5	Stemmeværk
202 ⁸⁷							x
213 ¹⁹				0,016			Betonstøbning i bund og sider x
216 ³⁰						8,4	Pers bro
223 ⁰⁵		5,5	1,5			6,25	Lavvandssluse
223 ²⁵						8,3	Bro v/Lavvandssluse
223 ²⁷	-0,45	x	x	x	15203 15752		Barnebækken
228 ⁵⁰						8,7	Privat bro v/Engholm
237 ⁷⁰		6,0	2,0	0,151		8,5	Nybro
243 ²⁵		x	x	x		7,6	Beiers bro

St.	Bund kote m	Bund- bred- de m	An- læg	Fald o/co	Opland ha	Bro Vand- slug m	Vedtegning
243 ²⁵		x	x	x		7,6	BeiERS bro
245 ¹³		6,0	2,0	0,151		10,0	Bro for A 16
252 ⁷⁰						8,5	Spang
252 ⁷²	-0,90	x	x	x	16572		= Grenå

St.	Bund- kote m	Bund- bred- de m	An- læg	Fald o/oo	Opland ha	Bro Vand- slug m	Vedtegning
Grenå							
0 ⁰⁰	-0,90	x	x	x	46716		Syd- og Nordkanal
0 ³⁰						12,2	Spang
4 ⁵⁰						12,5	Sønderbro
4 ⁸⁰						12,6	Jernbanebro
12 ⁰⁵		10,0		0,057		12,0	Bro for N.P.Josiassens ve.
24 ³⁵						12,0	Spang v/Hornslet Allé
31 ⁷⁵⁺⁾							Bro for Kystvej
33 ³⁰	{ -1,09 -1,50					10,5 +	Spang v/Brogade
34 ⁴⁰					2x7,5		
35 ⁰⁶	-1,50	x	x	x		12,5	Bro for A 15 og A 16
+)	29 ⁷⁵	i regulativet					

Viborg, den 16. februar 1983
 Det danske Hedeselskab
 Grundforbedringsafdelingen


 Poul Nielsen
 ingeniør

Eksempel på beregningsudskrift
fra Ryomgård.

REGENVOLUMEN = 72.20 MM

KØRSEL	OPLANDSAREAL	TIDSSTEP	JORDTYPE	KØRSELSFORM	ENHEDER
	HA	(MINUTTER)	(12345=ABCDE)	(1=DIM,2=ANA)	(1=SI,2=ENG)
1	82.0	6.0	3	2	1

GVE.	INITIALTAB PE.	INITIALTAB IMP.	MIN.DIM.
FUGT	MM	MM	MM
3	0.60	3.00	200.

NEDEØR (MM/TIDSSTEP)

0.000	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040	0.040
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700
0.740	0.740	0.740	0.740	0.740	0.740	0.740	0.740	0.740	0.740
0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300
0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIAM.	VANDFØ.	OPSTUVNING	BASSI
		M			M/S	M	M		MM	M ³ /S	M/S	M ³ /S	M ³ /S	M ³	M ³
1	0	95.	0.0800	-1.0	0.0000				250.	0.182	3.70	0.000	0.110	0.	0.
		NDEL= 2	ANALYSE									0.110	0.111	0.	

REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 1412. M³*3

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIAM.	VANDFØ.	OPSTUVNING	BASSI
		M			M/S	M	M		MM	M ³ /S	M/S	M ³ /S	M ³ /S	M ³	M ³
1	1	230.	0.0050	-1.0	0.0000				500.	0.282	1.44	0.000	0.243	0.	0.
		NDEL= 5	ANALYSE									0.243	0.246	0.	

REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 3105. M³*3

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIM.	VANDEFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M ³ /S	M	M		MM	M ³ /S	M/S	M ³ /S	M ³ /S	M ³	M ³
1	2	140.	0.0050	-1.0	0.0000				600.	0.456	1.61	0.000	0.274	0.	0.
NDEL=		3	ANALYSE									0.274	0.278	0.	

REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 3476. M³*3

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIM.	VANDEFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M ³ /S	M	M		MM	M ³ /S	M/S	M ³ /S	M ³ /S	M ³	M ³
2	0	35.	0.0550	-1.0	0.0000				400.	0.522	4.15	0.000	0.215	0.	0.
NDEL=		1	ANALYSE									0.215	0.216	0.	

REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 2796. M³*3

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIM.	VANDEFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M ³ /S	M	M		MM	M ³ /S	M/S	M ³ /S	M ³ /S	M ³	M ³
2	1	75.	0.0550	-1.0	0.0000				500.	0.940	4.79	0.000	0.244	0.	0.
NDEL=		2	ANALYSE									0.244	0.245	0.	

REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 3167. M³*3

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIM.	VANDEFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M ³ /S	M	M		MM	M ³ /S	M/S	M ³ /S	M ³ /S	M ³	M ³
2	2	105.	0.0500	-1.0	0.0000				500.	0.896	4.56	0.000	0.256	0.	0.
NDEL=		2	ANALYSE									0.256	0.256	0.	

REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 3308. M³*3

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIM.	VANDEFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M ³ /S	M	M		MM	M ³ /S	M/S	M ³ /S	M ³ /S	M ³	M ³
2	3	60.	0.0500	-1.0	0.0000				500.	0.896	4.56	0.000	0.298	0.	0.
NDEL=		1	ANALYSE									0.298	0.298	0.	

REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 3778. M³*3

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIM.	VANDEFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M ³ /S	M	M		MM	M ³ /S	M/S	M ³ /S	M ³ /S	M ³	M ³
2	4	55.	0.0460	-1.0	0.0000				500.	0.859	4.38	0.000	0.345	0.	0.
NDEL=		1	ANALYSE									0.345	0.345	0.	

REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 4439. M³*3

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIM.	VANDEFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M ³ /S	M	M		MM	M ³ /S	M/S	M ³ /S	M ³ /S	M ³	M ³
2	5	50.	0.0460	-1.0	0.0000				500.	0.859	4.38	0.000	0.356	0.	0.
NDEL=		1	ANALYSE									0.356	0.355	0.	

REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 4580. M³*3

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIAM.	VANDFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M/S	M	M		MM	M ³ /S	M/S	M ³ /S	M ³ /S	M ³	M ³
1	3	210.	0.0050	-1.0	0.0000				700.	0.684	1.78	0.000	0.772	0.	0.
NDEL=		4	ANALYSE									0.772	0.684	255.	

REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 9924. M³/3

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIAM.	VANDFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M/S	M	M		MM	M ³ /S	M/S	M ³ /S	M ³ /S	M ³	M ³
1	4	120.	0.0050	-1.0	0.0000				1100.	2.243	2.36	0.000	0.794	0.	0.
NDEL=		3	ANALYSE									0.794	0.796	0.	

REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 11336. M³/3

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIAM.	VANDFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M/S	M	M		MM	M ³ /S	M/S	M ³ /S	M ³ /S	M ³	M ³
3	0	80.	0.0180	-1.0	0.0000				400.	0.298	2.37	0.000	0.027	0.	0.
NDEL=		2	ANALYSE									0.027	0.027	0.	

REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 362. M³/3

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIAM.	VANDFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M/S	M	M		MM	M ³ /S	M/S	M ³ /S	M ³ /S	M ³	M ³
3	1	65.	0.0300	-1.0	0.0000				400.	0.385	3.06	0.000	0.057	0.	0.
NDEL=		1	ANALYSE									0.057	0.057	0.	

REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 742. M³/3

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIAM.	VANDFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M/S	M	M		MM	M ³ /S	M/S	M ³ /S	M ³ /S	M ³	M ³
3	2	100.	0.0260	-1.0	0.0000				500.	0.645	3.29	0.000	0.146	0.	0.
NDEL=		2	ANALYSE									0.146	0.147	0.	

REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 1979. M³/3

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIAM.	VANDFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M/S	M	M		MM	M ³ /S	M/S	M ³ /S	M ³ /S	M ³	M ³
3	3	55.	0.0290	-1.0	0.0000				500.	0.682	3.47	0.000	0.199	0.	0.
NDEL=		1	ANALYSE									0.199	0.199	0.	

REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 2640. M³/3

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIAM.	VANDFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M/S	M	M		MM	M ³ /S	M/S	M ³ /S	M ³ /S	M ³	M ³
3	4	40.	0.0290	-1.0	0.0000				500.	0.682	3.47	0.000	0.213	0.	0.
NDEL=		1	ANALYSE									0.213	0.213	0.	

REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 2715. M³/3

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIAM.	VANDEFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M/S	M	M		MM	M/S	M/S	M/S	M/S	M/S	M/S
3	5	180.	0.0330	-1.0	0.0000				600.	1.176	4.16	0.000	0.298	0.	0.
NDEL= 4		ANALYSE										0.298	0.297	0.	
REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 3828. M**3															

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIAM.	VANDEFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M/S	M	M		MM	M/S	M/S	M/S	M/S	M/S	M/S
3	6	60.	0.0300	-1.0	0.0000				600.	1.121	3.96	0.000	0.314	0.	0.
NDEL= 1		ANALYSE										0.314	0.315	0.	
REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 4059. M**3															

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIAM.	VANDEFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M/S	M	M		MM	M/S	M/S	M/S	M/S	M/S	M/S
3	7	125.	0.0290	-1.0	0.0000				700.	1.653	4.30	0.000	0.335	0.	0.
NDEL= 3		ANALYSE										0.335	0.336	0.	
REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 4330. M**3															

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIAM.	VANDEFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M/S	M	M		MM	M/S	M/S	M/S	M/S	M/S	M/S
4	0	440.	0.0280	-1.0	-0.0000				400.	0.372	2.96	0.000	0.115	0.	0.
NDEL= 9		ANALYSE										0.115	0.118	0.	
REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 1493. M**3															

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIAM.	VANDEFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M/S	M	M		MM	M/S	M/S	M/S	M/S	M/S	M/S
4	1	110.	0.0300	-1.0	0.0000				700.	1.681	4.37	0.000	0.181	0.	0.
NDEL= 2		ANALYSE										0.181	0.182	0.	
REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 2326. M**3															

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIAM.	VANDEFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M/S	M	M		MM	M/S	M/S	M/S	M/S	M/S	M/S
4	2	210.	0.0300	-1.0	0.0000				700.	1.681	4.37	0.000	0.264	0.	0.
NDEL= 4		ANALYSE										0.264	0.265	0.	
REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 3367. M**3															

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIAM.	VANDEFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M/S	M	M		MM	M/S	M/S	M/S	M/S	M/S	M/S
4	3	10.	0.0200	-1.0	0.0000				700.	1.372	3.57	0.000	0.276	0.	0.
NDEL= 1		ANALYSE										0.276	0.276	0.	
REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 3507. M**3															

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIM.	VANDEFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M ³ /S	M	M		MM	M ³ /S	M/S	M ³ /S	M ³ /S	M ³	M ³
3	8	30.	0.0290	-1.0	0.0000				700.	1.653	4.30	0.000	0.632	0.	0.
NDEL= 1		ANALYSE										0.632	0.633	0.	

REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 8109. M³*3

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIM.	VANDEFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M ³ /S	M	M		MM	M ³ /S	M/S	M ³ /S	M ³ /S	M ³	M ³
1	5	185.	0.0100	-1.0	0.0000				1200.	3.990	3.53	0.000	1.429	0.	0.
NDEL= 5		ANALYSE										1.429	1.441	0.	

REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 19445. M³*3

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDE	SIDEHÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIM.	VANDEFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
		M			M ³ /S	M	M		MM	M ³ /S	M/S	M ³ /S	M ³ /S	M ³	M ³
5	0	1110.	0.0270	-1.0	0.0000				400.	0.365	2.91	0.150	0.200	163.	10.
NDEL= 22		ANALYSE										0.150	0.152	0.	

REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 2606. M³*3

OPLANDSAREAL 23.6 HA BEFÆSTET AREAL, 0.0 HA INDIR.BIDR.BEFÆS.AREAL 54.7 HA PERMEABELT AREAL
 TID-AREAL KURVE : BEFÆSTET AREAL TYPE 2 PERMEABELT AREAL TYPE 2

INDKOMMENDE HYDROGRAFER PLUS DELOPLANDETS HYDROGRAF I M³/S

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.017	0.038
0.059	0.092	0.122	0.131	0.131	0.131	0.132	0.130	0.130	0.132	0.131
0.140	0.166	0.190	0.196	0.196	0.197	0.197	0.197	0.197	0.197	0.197
0.174	0.113	0.067	0.040	0.026	0.027	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
0.025	0.019	0.012	0.006	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.004	0.017	0.038	0.055	0.063	0.067	0.066	0.065	0.065	0.066	0.066
0.063	0.056	0.044	0.036	0.034	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
0.035	0.042	0.054	0.061	0.065	0.067	0.065	0.065	0.065	0.066	0.065
0.070	0.094	0.121	0.131	0.131	0.130	0.132	0.131	0.131	0.131	0.131
0.148	0.202	0.252	0.264	0.263	0.261	0.262	0.263	0.263	0.262	0.263
0.272	0.302	0.329	0.327	0.328	0.328	0.328	0.328	0.328	0.328	0.328
0.352	0.417	0.460	0.458	0.457	0.461	0.459	0.459	0.459	0.459	0.459
0.464	0.478	0.485	0.485	0.485	0.485	0.485	0.485	0.485	0.485	0.485
0.507	0.561	0.593	0.589	0.589	0.633	0.800	0.991	1.054	1.043	
1.173	1.489	1.593	1.556	1.571	1.567	1.567	1.567	1.567	1.568	1.567
1.450	1.236	1.174	1.132	0.907	0.807	0.926	0.872	0.864	0.906	
0.752	0.549	0.334	0.315	0.341	0.317	0.335	0.322	0.331	0.327	
0.304	0.254	0.201	0.198	0.195	0.198	0.197	0.196	0.198	0.196	
0.180	0.130	0.087	0.072	0.064	0.064	0.066	0.066	0.065	0.066	
0.062	0.045	0.024	0.012	0.007	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	

GREN	BR	LÆNGDE	FALD	RUHED	SPILDEV.	HØJDE	BREDE	SIDENÆLD.	DIAM	KAP.	HAST.	DIM.	VANDFØ.	OPSTUVNING	BASSIN
	M				M/S	M	M		MM	M ³ /S	M/S	M ³ /S	M ³ /S	M ³	M ³

1	6	100.	0.0300	-1.0	0.0000				0.	0.000	0.00	0.000	1.593	0.	0.
NDEL= 2 DIMENSIONERING =										70.	1.681	4.37	1.593	1.597	

UDGAENDE HYDROGRAF I M³/S

0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.014	0.035
0.057	0.087	0.120	0.131	0.131	0.131	0.132	0.131	0.131	0.131	0.131
0.138	0.163	0.189	0.197	0.196	0.197	0.197	0.197	0.197	0.197	0.197
0.177	0.119	0.071	0.042	0.027	0.026	0.027	0.026	0.026	0.026	0.026
0.025	0.021	0.013	0.007	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.003	0.014	0.035	0.054	0.062	0.067	0.066	0.065	0.065	0.065	0.066
0.063	0.057	0.045	0.036	0.034	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
0.034	0.041	0.052	0.061	0.065	0.067	0.066	0.065	0.066	0.066	0.066
0.069	0.090	0.119	0.131	0.131	0.131	0.131	0.131	0.131	0.131	0.132
0.145	0.197	0.249	0.264	0.262	0.262	0.262	0.263	0.261	0.262	0.262
0.271	0.299	0.328	0.328	0.327	0.328	0.327	0.328	0.327	0.327	0.328
0.349	0.412	0.459	0.459	0.456	0.461	0.459	0.458	0.459	0.459	0.459
0.464	0.477	0.485	0.485	0.485	0.485	0.485	0.485	0.485	0.485	0.485
0.505	0.558	0.598	0.590	0.589	0.629	0.787	0.984	1.055	1.044	1.044
1.161	1.469	1.597	1.557	1.568	1.570	1.565	1.569	1.566	1.568	1.568
1.462	1.246	1.171	1.139	0.921	0.803	0.918	0.884	0.855	0.911	0.911
0.763	0.560	0.349	0.305	0.346	0.316	0.334	0.325	0.328	0.330	0.330
0.304	0.260	0.204	0.196	0.197	0.196	0.198	0.195	0.198	0.196	0.196
0.182	0.135	0.090	0.073	0.065	0.063	0.066	0.066	0.065	0.065	0.065
0.063	0.048	0.027	0.015	0.008	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

REGN-AFSTRØMNINGSVOLUMEN = 22051. M**3

JOBET ER FÆRDIGT / DET DANSKE HEDESELSKAB

Notat vedr. undersøgelse
af enkelttab ved broer.

N o t a t

vedr.

undersøgelse af enkelttab ved broer

Til vurdering af enkelttab (opstuvning) forårsaget af broer er benyttet vandføringen i vandløbssystemet svarende til den maksimale gennemsnitlige månedsafstrømning observeret ved målestation 24.01, Ryom å, Ryomgård bro. Denne vandføring er registreret i marts 1946 til $26,8 \text{ l/sek./km}^2$ (observationsperioden 1933-64). Til sammenligning blev afstrømningen den 21/8 1981 målt til $24,4 \text{ l/sek./km}^2$ og den maksimale døgnafstrømning i perioden 1933-64 til $57,0 \text{ l/sek./km}^2$ (25/3 1947).

Fra vor undersøgelse af Manningtal antages dette at være 25-30 i marts måned. Her vælges et Manningtal på 30, hvilket giver det største enkelttab. På basis af undersøgelsen af de udpumpede vandmængder fra Fannerup pumpestation og Enslev pumpestation antages de maksimale gennemsnitlige månedsværdier for udpumpningerne at være henholdsvis 210 l/sek./km^2 og 89 l/sek./km^2 . Dette er registreret i august 1981.

Med vor stationære strømningsmodel er vandspejlsforløbet i vandløbene ved Kolindsund beregnet. I det følgende er der foretaget en beregning af enkelttabet ved Slemminggårds bro (st. 15300 i Nordkanalen), idet det er oplyst, at den relativt største ændring af det vandførende tværsnitsareal forekommer ved denne bro. Beregningerne er iøvrigt baseret på opmålinger af 15/4 1983 foretaget af Amtsvandvæsenet.

Vandspejlskoten ved Slemminggårds bro vil kun stige med 1-2 cm, når vandstanden ved udløbet af Grenå i Kattegat ændres fra kote 0,0 m til 0,5 m. Ved beregningerne forudsættes, at vandstanden i Kattegat er liggende inden for dette interval.

Det forudsættes endvidere, at vandløbet ovenfor og nedenfor Slemminggårds bro svarer til de regulativmæssige forhold. Er de virkelige vandløbsprofiler mindre end de regulativmæssige fås tilsvarende mindre enkelttab og er de virkelige vandløbsprofiler større end de regulativmæssige forhold, fås tilsvarende et større enkelttab.

Med ovennævnte forudsætninger bliver vandstandskoten ved Slemminggårds bro 1,6 m og vandføringen $7,4 \text{ m}^3/\text{sek}$.

Ved besigtigelse 10/5 1983 har vi vurderet undersiden af broens drager til ca. 1,9 m, og at Nordkanalen på dette sted først går over sine bredder omkring kote ca. 1,9 m, hvilket i det gennemregneede eksempel betyder, at der er frit underløb, samt at åen ikke løber over sine bredder.

På fig. 1 er vist tværsnitsprofilerne ved indløbet og udløbet af Slemminggårds bro. De beskyllede arealer ved broen med vandspejl i kote 1,6 m er:

$$\begin{aligned} \text{Indløb: } A_I &= 18,3 \text{ m}^2 \\ \text{Udløb: } A_U &= 19,1 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

På fig. 2 er vist de regulativmæssige profiler, henholdsvis opstrøms og nedstrøms for broen. De beskyllede arealer med vandspejl i kote 1,6 m er:

$$\begin{aligned} \text{Før indløb: } A_F &= 24,8 \text{ m}^2 \\ \text{Efter udløb: } A_E &= 24,8 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Til beregning af energitabet ved tværsnitsændringer findes mange forskellige formler. Normalt beregnes indløbstabet og udløbstabet hver for sig. Vi har her valgt at benytte 2 forskellige formler til beregning af udløbstabet og 2 til beregning af indløbstabet. Det kan nævnes, at udløbstabet altid er størst, når hastigheden og den relative tværsnitsændring er ens ved ind- og udløb.

Indløbstab

$$a) h_i = K_i \times \left(\frac{V_I^2 - V_F^2}{2g} \right) \quad /1/$$

hvor $K_i = 0,05$ ved gode indløbsforhold med gradvis ændring af tværsnitsarealet.

$K_i = 0,5$ ved dårlige indløbsforhold med brat ændring af tværsnitsarealet.

Da overgangen mellem de to tværsnit er "blød" er valgt $K_i = 0,2$.

$$h_i = K_i \left(\frac{1}{A_I^2} - \frac{1}{A_F^2} \right) \times \frac{Q^2}{2g} = 0,2 \left(\frac{1}{18,3^2} - \frac{1}{24,8^2} \right) \times \frac{7,4^2}{2 \times 9,81}$$

$$h_i = 0,8 \times 10^{-3} \text{ m} = \underline{\underline{0,8 \text{ mm}}}$$

$$b) h_i = K \times \frac{V_I}{2g} \quad /2/$$

hvor $K = 0,1 - 0,04$ (jfr. K_i)

Her vælges $K = 0,08$.

$$h_i = K \times \frac{Q^2}{A_I^2 \times 2g} = 0,08 \times \frac{7,4^2}{18,3^2 \times 2 \times 9,81}$$

$$h_i = 0,7 \times 10^{-3} \text{ m} = \underline{\underline{0,7 \text{ mm}}}$$

Udløbstab

$$c) h_u = K_u \times \left(\frac{V_U^2 - V_E^2}{2g} \right) \quad /3/$$

hvor $K_u = 0,1 - 1,0$ (jfr. K_i)

Da overgangen også her er "blød" mellem de to tværsnit vælges $K_u = 0,4$.

$$h_u = K_u \times \left(\frac{1}{A_U^2} - \frac{1}{A_E^2} \right) \times \frac{Q^2}{2g} = 0,4 \times \left(\frac{1}{19,1^2} - \frac{1}{24,8^2} \right) \times \frac{7,4^2}{2 \times 9,81}$$

$$h_u = 1,6 \times 10^{-3} \text{ m} = \underline{\underline{1,6 \text{ mm}}}$$

$$d) h_u = \epsilon \times \frac{(V_U - V_E)^2}{2g} \quad /2/$$

hvor $\epsilon = 0,27 - 0,87$ (jfr. K_i)

Her benyttes 0,6.

$$h_u = \epsilon \left(\frac{1}{A_U} - \frac{1}{A_E} \right)^2 \frac{Q^2}{2g} = 0,6 \left(\frac{1}{19,1} - \frac{1}{24,8} \right)^2 \times \frac{7,4^2}{2 \times 9,81}$$

$$h_u = 0,2 \times 10^{-3} \text{ m} = \underline{\underline{0,2 \text{ mm}}}$$

Det størst beregnede enkelttab bliver da $= 0,8 + 1,6 = \underline{\underline{2,4 \text{ mm}}}$

Hvis man tænkte sig, at der under broen efterhånden var blevet aflejret så meget materiale, at bund var i kote 0,0 m, vil enkelttabet blive:

Ind- og udløbsareal

$$A_I = A_U = 15,5 \text{ m}^2$$

Indløbstab a)

$$h_i = 0,2 \left(\frac{1}{15,5^2} - \frac{1}{24,8^2} \right) \times \frac{7,4^2}{2 \times 9,81} = 1,4 \times 10^{-3} \text{ m} = 1,4 \text{ mm}$$

Indløbstab b)

$$h_i = 0,08 \frac{7,4^2}{15,5^2 \times 2 \times 9,81} = 0,9 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,9 \text{ mm}$$

Udløbstab c)

$$h_u = 0,5 \left(\frac{1}{15,5^2} - \frac{1}{24,8^2} \right) \times \frac{7,4^2}{2 \times 9,81} = 3,5 \times 10^{-3} \text{ m} = 3,5 \text{ mm}$$

Udløbstab d)

$$h_u = 0,6 \left(\frac{1}{15,5} - \frac{1}{24,8} \right)^2 \times \frac{7,4^2}{2 \times 9,81} = 1,0 \times 10^{-3} \text{ m} = 1,0 \text{ mm}$$

Enkelttab: $1,4 + 3,5 = \underline{\underline{4,9 \text{ mm}}}$

Det ses at selv med meget store aflejringer vil det kun ændre brotabet få mm.

Foretages tilsvarende beregninger ved en normalafstrømning (middelværdi for afstrømningen ved Ryomgård bro er $7,8 \text{ l/sek./km}^2$) og ved et Manningtal på 35 fås det størst beregnede brotab, jfr. nedenstående tabel.

Afstrømning fra			Manningstal	vandføring	Slemninggårds bro		
Fan-nerup p.st.	Enslev p.st.	Øvrige opland			VSP-kote	Enkelttab v/bund =	
l/sek./km^2	l/sek./km^2	l/sek./km^2		$\text{m}^3/\text{sek.}$	m	nuv. forhold	kote o, o m
						mm	mm
89	210	26,8	30	7,4	1,6	2	5
47	108	7,8	35	3,1	0,7	1	5

Ved opstuvning på ca. 5 mm bliver stuvningslængden med de aktuelle faldforhold mindre end ca. 100 m. De beregnede enkelttab skal således ikke summeres, idet der i gennemsnit er én bro pr. 1000 m.

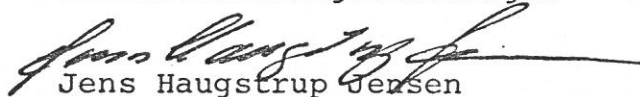
Reference

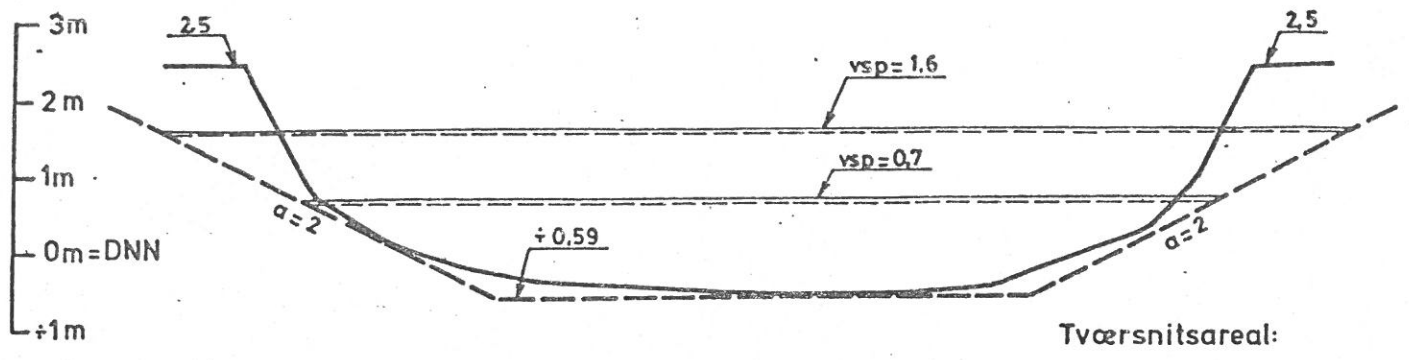
- /1/ King, H. W., Brater, EF, "Handbook of Hydraulics for the Solution of Hydrostatic and Fluid-flow Problems", Mc Graw-Hill, 5. edition, 196
- /2/ Formica, G, "Esperienze preliminari sulle predite di carico nei canali dovute a cambiamenti di sezione" (Foreløbige forsøg med energitab i kanaler forårsaget af tværsnitsændringer), L'Energia elettrica, Milan, vol. 32, no. 7 (Juli 1955), p. 554.
- /3/ Hinds, Julian, "The Hydraulic Design of Flume and Siphon Transitions", Trans. ASCE, vol. 92.1928.

Viborg, den 14. juni 1983

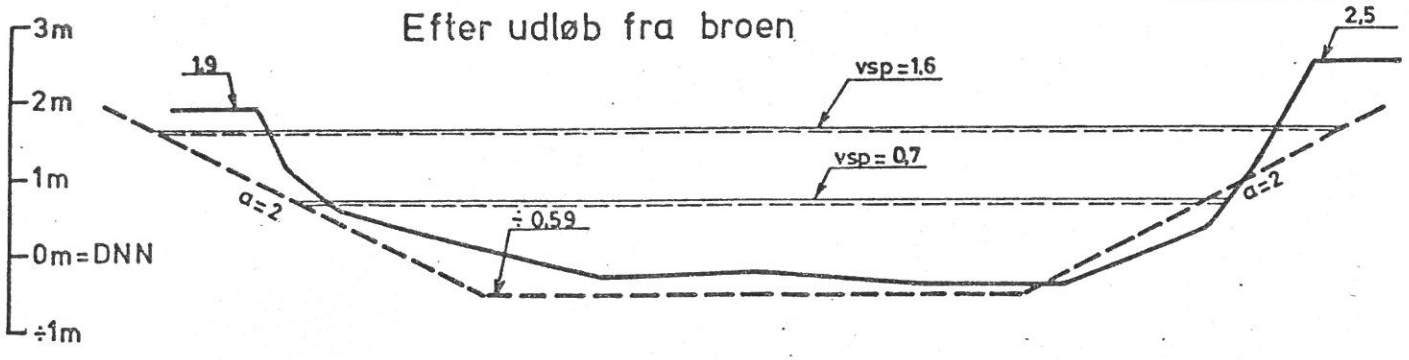
Det danske Hedeselskab

Grundforbedringsafdelingen

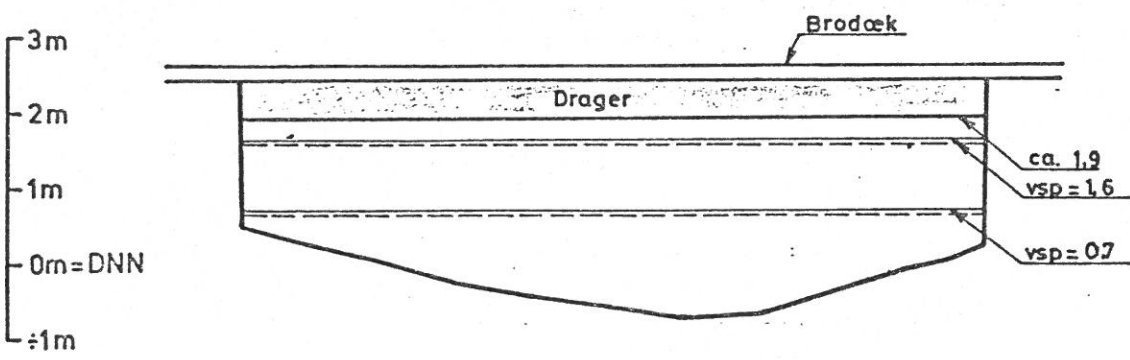

Jens Haugstrup Jensen



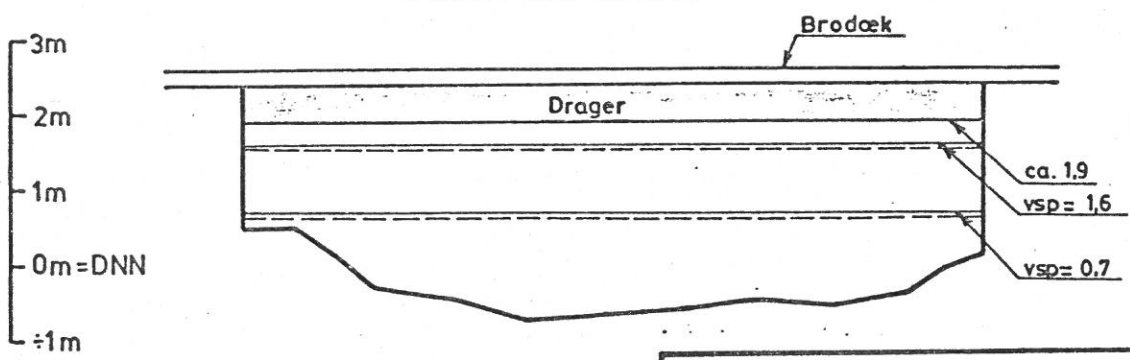
Efter udløb fra broen



Indløb til broen



Udløb fra broen



<p>DET DANSKE HEDESELSKAB Grundforbedringsafdelingen Klostermarken DK-8800 Viborg Tlf. (06) 62 61 11</p>	
<p>82012 Kolindsund</p>	<p>mål 1:100</p>
<p>Tværprofiler ved Slemminggårds bro</p>	<p>rev.</p>
<p>Dato 14. Juni 1983</p>	<p>tegn. nr.</p>

