



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Rapport om: Modelforsøg med bølgeuro i Tejn Havn

februar 1978

Larsen, Torben

Publication date:
1978

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Larsen, T. (1978). *Rapport om: Modelforsøg med bølgeuro i Tejn Havn: februar 1978*. Aalborg Universitetscenter, Inst. for Vand, Jord og Miljøteknik, Laboratoriet for Hydraulik og Havnebygning.

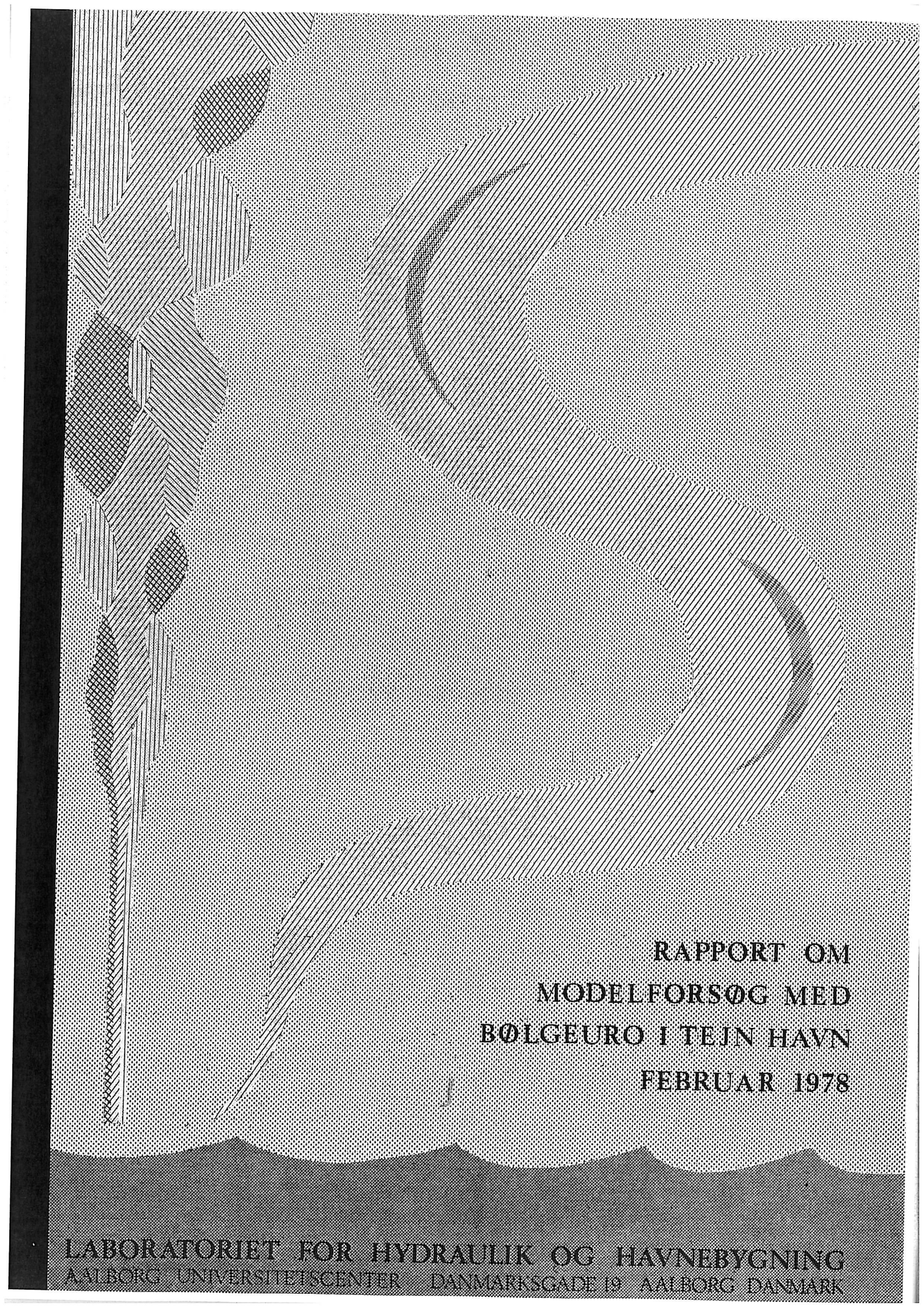
General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



**RAPPORT OM
MODELFORSØG MED
BØLGEURO I TEJN HAVN
FEBRUAR 1978**

**LABORATORIET FOR HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER DANMARKSGADE 19 AALBORG DANMARK**

AALBORG UNIVERSITETSCENTER

INSTITUTTET FOR VAND, JORD OG MILJØTEKNIK

Danmarksgade 19 9000 Aalborg Danmark

telefon (08) 160533

LABORATORIET FOR HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING

Ingeniørdocent H. F. Burcharth

RAPPORT OM

MODELFORSØG MED BØLGEURO

TEJN HAVN

FEBRUAR 1978

INDHOLDSFORTEGNELSE:

1. Indledning	side	1
2. Konklusion	side	2
3. Bølgeforhold ved Tejn havn	side	3
4. Beskrivelse af model og modelforsøg	side	5
5. Kommentarer til måleresultater	side	6

BILAGSFORTEGNELSE:

Bølger fra NNW	Planløsning nr. 1	Bilag nr.	1
Bølger fra NNW	Planløsning nr. 2	Bilag nr.	2
Bølger fra NNW	Planløsning nr. 3	Bilag nr.	3
Bølger fra NNW	Planløsning nr. 4	Bilag nr.	4
Bølger fra NNW	Planløsning nr. 5	Bilag nr.	5
Bølger fra NNW	Planløsning nr. 6	Bilag nr.	6
Bølger fra NNW	Planløsning nr. 7	Bilag nr.	7
Bølger fra NNW	Planløsning nr. 8	Bilag nr.	8
Bølger fra N	Planløsning nr. 1	Bilag nr.	9
Bølger fra N	Planløsning nr. 9	Bilag nr.	10
Bølger fra N	Planløsning nr. 4	Bilag nr.	11
Bølger fra N	Planløsning nr. 5	Bilag nr.	12
Bølger fra N	Planløsning nr. 7	Bilag nr.	13
Bølger fra N	Planløsning nr. 10	Bilag nr.	14
Bølger fra N	Planløsning nr. 8	Bilag nr.	15
Bølger fra NE	Planløsning nr. 4	Bilag nr.	16
Bølger fra NE	Planløsning nr. 5	Bilag nr.	17
Bølgespektrum for uregelmæssige bølger		Bilag nr.	18

1. Indledning

Herværende rapport omhandler en beskrivelse af en række modelforsøg med bølgeuro i Tejn havn. Undersøgelsen er iværksat med henblik på at vurdere bølgeforholdene i den planlagte havneudvidelse. Som rådgiver for Tejn havn har Dansk Geoteknik A/S medvirket ved planlægningen af undersøgelsen. Endvidere har der den 11. januar 1978 været afholdt en besigtigelse af de indledende modelforsøg med deltagelse af repræsentanter for Tejn havn og Dansk Geoteknik.

Ledelse af modelforsøg og udarbejdelse af rapport er udført af civilingeniør Torben Larsen.

2. Konklusion

Resultaterne af modelforsøgene er afbildet på bilagene nr. 1-16. Her ses den gennemsnitlige bølgehøjdekoefficient for forsøg med bølgeperioderne 5,6 sec, 8 sec og 9,6 sec. Sammenfattende om disse resultater kan følgende konkluderes:

1. Det må antages, at vinde fra NNW til N vil generere de bølger, som, hvad angår bølgeuro i det ny havnebassin, vil give de største problemer.
2. For at gener ved bølgeuro i det ny bassin skal undgås vil det være nødvendigt, at kajerne i det ny bassin udformes således, at bølgeenergien absorberes (dvs. brokajer må etableres).
3. Såfremt gener kan accepteres nogle få dage sammenlagt pr. år ved kraftige vindstyrker fra NNW til N, kan man eventuelt udforme de enkelte kajstrækninger som almindelige lodrette kajer. Den deraf fremkomne forøgelse af bølgeuroen fremgår af herværende rapport's resultater.
4. Der opnås ingen reduktion af bølgeuroen ved at dæmpe bølgerne langs den inderste del af den østre ydermole.

3. Bølgeforhold ved Tejn havn

På grundlag af søkort kan de i tabellen angivne frie stræk bestemmes og ved anvendelse af fritstrækdiagrammer kan man bestemme forventede signifikante bølgehøjder og signifikante bølgeperioder

Bølgeretning	Frit stræk sømil	Vindhastighed					
		12 m/sec		20 m/sec		30 m/sec	
		H _S	T _S	H _S	T _S	H _S	T _S
NW	24	1,5	5,5	2,8	7,0	4,6	8,5
NNW	45	1,9	6,3	3,6	8,0	5,9	10,0
N	50	1,9	6,5	3,8	8,3	6,4	10,4
NNE	60	2,1	6,7	4,2	8,7	6,7	10,7
NE	150	2,9	8,3	5,2	11,0	9,6	13,0
ENE	240	3,4	9,5	7,0	12,0	11,0	15,0

Imidlertid vil vanddybden i indsejlingsområdet i fremtiden være ca. 5 m og sammenholdt med at kraftige vinde i sektoren fra NW til NE medfører et højvande på 0,5 m, kan nedenstående bølgeforhold i indsejlingsområdet skønnes:

Bølgeretning	Vindhastighed					
	12 m/sec		20 m/sec		30 m/sec	
	H _S	T _S	H _S	T _S	H _S	T _S
NW	1,5	5,5	2,8	7,0	4,5	8,5
NNW	1,9	6,3	3,6	8,0	4,5	10,0
N	1,9	6,5	3,8	8,3	4,5	10,4
NNE	2,1	6,7	4,2	8,7	4,5	10,7
NE	2,9	8,3	4,5	11,0	4,5	13,0
ENE	3,4	9,5	4,5	12,0	4,5	15,0

Ved vurdering af hvilken bølgeuro der vil kunne accepteres i det planlagte, indgår spørgsmål som fortøjningsarrangementets udformning, vindens retning i forhold til kajen, skibsstørrelsen. I det aktuelle tilfælde må man skønne, at bølgehøjden i det ny bassin må tilstræbes at ligge under 20-30 cm. Dette sammenholdt med de før nævnte beregnede bølgehøjder medfører, at man skønner nedenstående bølgeparametre og krav til bølgedæmpning, som udgangspunkt for modelforsøgene:

Vindretning	Signifikant bølgehøjde	Signifikant bølgeperiode	Maksimal tilladelig bølgehøjdekoeficient
NNW	3,6	6-10	0,06-0,08
N	3,8	6-10	0,05-0,08
NE	4,5	8-12	0,04-0,07

Bølgehøjdekoeficienten er defineret som den aktuelle bølgehøjde i havnebassinet divideret med den indkomne bølgehøjde ved indsejlingen til havnen. Det ses, at kravet til bølgehøjdekoeficienten groft set er, at den skal tilstræbes at være lavere end 0,05-0,1.

4. Beskrivelse af model og modelforsøg

Modellen blev opbygget i målestokforhold 1:64. Herved blev hastigheds- og tidsmålestok på 1:8. Målestok blev valgt så stor som muligt med henblik på at minimere skalaeffekter.

Da vanddybden i og omkring havnen kun varierer svagt og da det samtidigt ved simple beregninger kan vises, at denne variation i vanddybden kun har meget begrænset indflydelse på bølgelængden, blev modellen opbygget med vandret bund. Konstruktionerne blev opbygget således, at refleksionsforholdene blev reproduceret bedst muligt.

Samtlige opstillinger blev undersøgt for bølgeperioderne 0,7, 1,0 og 1,2 sec i modellen, svarende til 5,6 sec, 8 sec og 9,6 sec i prototypen. Måleresultaterne viste ingen klar sammenhæng med bølgeperioden i det undersøgte interval og på bilagene nr. 1-16 er angivet den gennemsnitlige bølgehøjdekoefficient for de tre bølgeperioder. Man opnåede desuden herved en udglatning af resultaterne, idet anvendelsen af regelmæssige bølger i modellen i visse tilfælde giver anledning til resonansproblemer med stående bølger. Et forhold, som ikke skønnes at forekomme i prototypen på grund af, at bølgerne i naturen ikke har en helt konstant periode.

For nærmere at belyse dette problem udførte man et enkelt forsøg med uregelmæssige bølger med et bølgespektrum som vist på bilag nr. 17 for at kunne vurdere afvigelsen mellem resultaterne ved de regelmæssige bølger kontra resultater med uregelmæssige bølger. Man opnåede med uregelmæssige bølger en gennemsnitlig bølgehøjdekoefficient i det planlagte nye havnebassin, som lå 20% lavere end hvad de regelmæssige bølger gav anledning til.

Ved enkelte forsøg undersøgte man desuden virkningen af pillerne for brokajerne. Fra Dansk Geotekniks side vurderede man, at pillerne skulle have en bredde på ca. 0,5 m og en indbyrdes afstand på 7 til 10 m. Forsøgene viste, at disse piller ingen indflydelse havde på bølgeforholdene.

5. Kommentarer til måleresultater

Bilag nr. 1 viser bølgehøjdekoefficienterne i det oprindelige oplæg for bølger fra NNW, Man konstaterer, at bølgehøjdekoefficienter ligger på et niveau svarende til 2 til 3 gange det acceptable.

Bilag nr. 2 viser virkningen af en skråning ved bassinets SW-kaj. Man bemærker den væsentlige forbedring i forhold til bilag nr. 1, men der optræder stadig store bølgehøjder ved NW-kaj og SE-kaj.

Bilag nr. 3 angiver en planløsning, hvor man kompenserer for den reducerede kajlængde med en pier ud i bassinet. Denne løsning giver formentlig besejlingsmæssige problemer og kan næppe anbefales.

Bilag nr. 4 viser en løsning, hvor den østlige mole mellem yderhavn og inderhavn er drejet mod syd, og desuden er der placeret en skråning langs den SE-lige kaj. Man nærmer sig her acceptable forhold i den sydlige del af det nye bassin. Langs NW-kajen har man relativt store bølger, men vindretningen er bort fra kajen i dette tilfælde, hvilket formentlig medfører at noget større bølger kan accepteres, hvis kajen skal anvendes som liggekaj.

Bilag nr. 5 viser, hvorledes bølgeuroen yderligere reduceres, såfremt den SE-lige kaj gøres bølgeabsorberende. Man ser, at bølgehøjderne langs NE-kajen stadig er relativt høje.

Bilag nr. 6 og nr. 7 viser indflydelsen af at dæmpe yderhavnen. Man bemærker, at dette ikke fører til reduktion af bølgehøjderne i det planlagte bassin.

Bilag nr. 8 angiver konsekvenserne af en mere radikal ændring af indsejlingen mellem yderhavn og inderhavn. Man konstaterer, at denne ændring ikke giver væsentlige ændringer i bølgeforholdene i bassinet. Denne løsning skulle medføre en mindre uddybning i forhavnen.

Bilag nr. 9 viser det oprindelige forslag under forudsætning af bølger fra N. Ved sammenligning med bilag nr. 1 ses, at bølgeuroforholdene er stort set ens for de to bølgeretninger.

Bilag nr. 10 viser, i forhold til bilag nr. 9, virkningen af en skråning ved den SE-lige kaj. Det ses, at virkningen er begrænset til selve denne kaj.

Bilag nr. 11 angiver konsekvenserne af en drejning af den søndre indermole og man bemærker en svag forbedring i forhold til bilag nr. 10.

På bilag nr. 12 har man yderligere placeret en skråning langs den SE-lige kaj og man bemærker, at denne løsning nærmer sig det acceptable. Ved sammenligning med bilag nr. 5 ses, at der i dette tilfælde er en tydelig forskel mellem de to bølgeretninger.

På bilag nr. 13 og nr. 14 er igen vist betydningen af at dæmpe forhavnen og som ved NW-lige vinde er virkningen ikke gunstig.

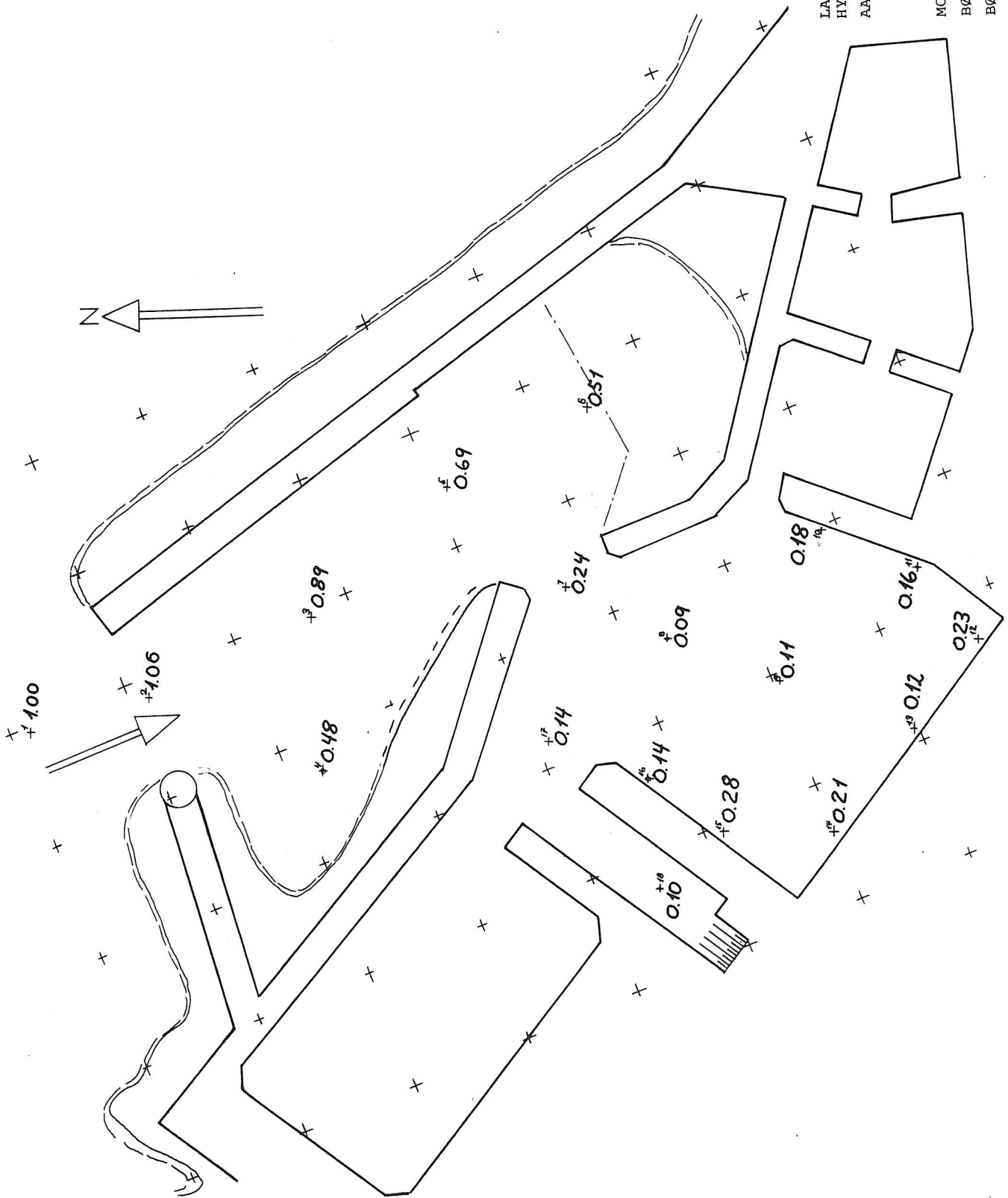
På bilag nr. 15 ses konsekvenserne ved den tidligere omtalte ændring af indsejlingen mellem for- og yderhavn og ved sammenligning med bilag nr. 11 viser bilag nr. 15's løsning sig øjensynligt lidt gunstigere end den på bilag nr. 11 angivne.

På bilag nr. 16 og nr. 17 ses virkningen af bølger fra NE og det ses heraf, at den retning ikke er den farligste bølgeretning, hvad angår bølgeuroen i havnen.

Sammenfattende kan resultaterne vurderes således, at hvad angår bølgeretningerne, så vil retningerne fra NNW til N være de retninger, som giver væsentlig bølgeuro i havnen. Endvidere ses det af bilagene, at det øjensynligt ikke vil være muligt, fuldstændigt at fjerne generende bølgeuro i det foreslåede havnebassin, med mindre samtlige kajer gøres absorberende.

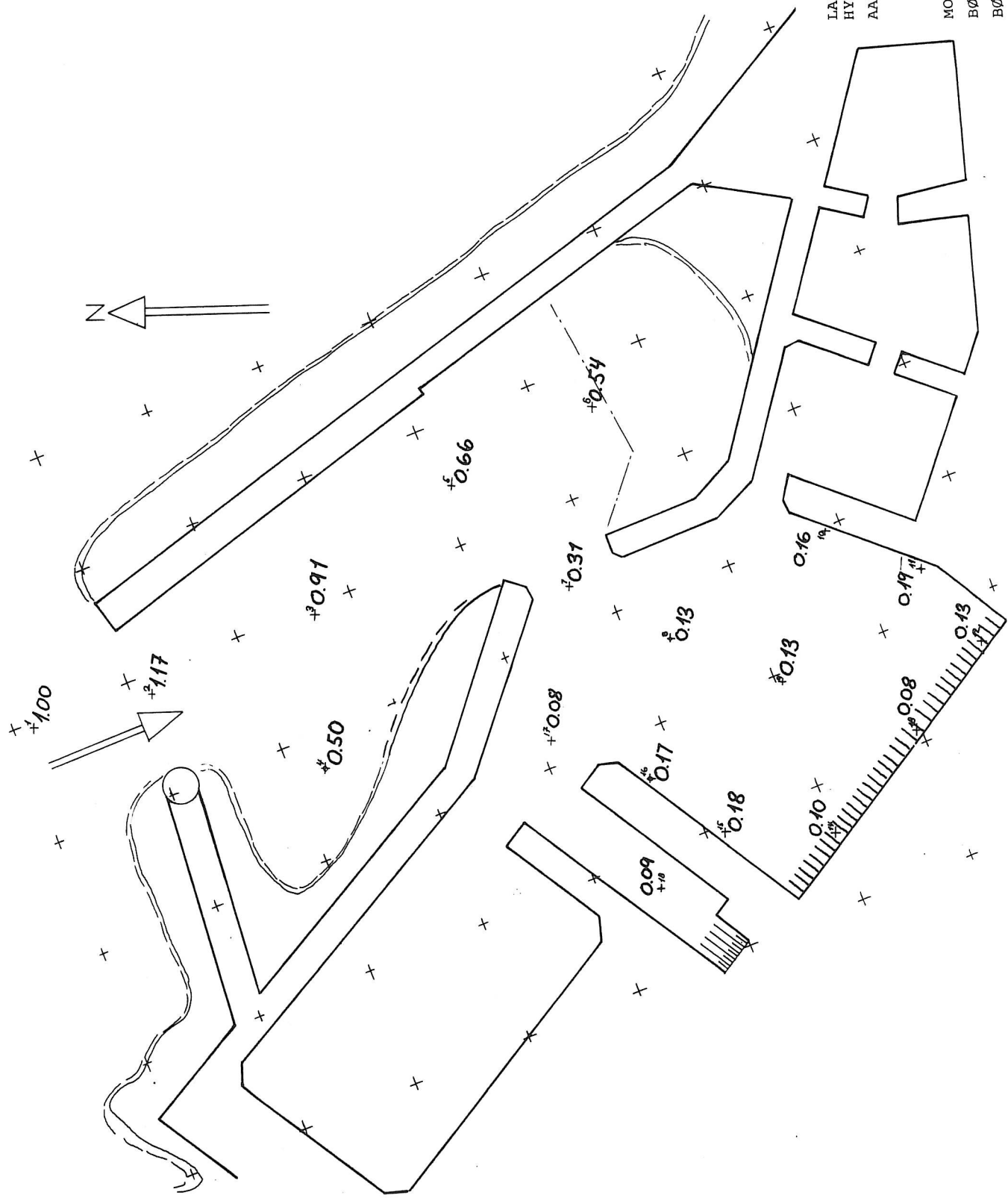
Hvis man eksempelvis vælger den på bilag nr. 11 viste planløsning, vil man have gener allerede når den indkomne bølgehøjde er omkring 2 m, svarende til en vindstyrke på omkring 12-15 m/sec. Den gennemsnitlige hyppighed af overskridelse af denne vindstyrke kan ud fra vindstatistikken skønnes til ca. 0,5-1,5%, svarende til 2-5 døgn pr. år. Usikkerheden på dette skøn er dog ret væsentlig på grund af den begrænsede opløsning af vindretninger i vindstatistikken. Tejn havn må derfor afveje om disse gener kan accepteres og herunder om det vil være muligt at forhale kuttere fra de udsatte punkter i den nordlige del af bassinet til den sydlige del. Under hensyntagen til, at en sådan forhaling kan ske delvis med vindens hjælp skulle det kunne gennemføres uden væsentlig risiko.

Fra laboratoriets side skal man naturligvis anbefale den løsning, som giver de mindste gener, hvilket indebærer at samtlige kajer i det planlagte bassin gøres absorberende. Imidlertid vil en økonomisk afvejning formentlig pege i retning af at nøjes med at gøre den sydøstlige kaj absorberende og derved affinde sig med, at dele af bassinet ikke kan anvendes nogle enkelte dage pr. år. Hvis der på et senere tidspunkt, når behovet for kajplads er øget, skulle opstå ønske om en yderligere dæmpning af havnen, vil det formentlig være mest rimeligt at overveje at etablere en dæmpning af bølgerne ved indsejlingen til havnen. f.eks. ved en forlængelse af een af de to ydermoler.



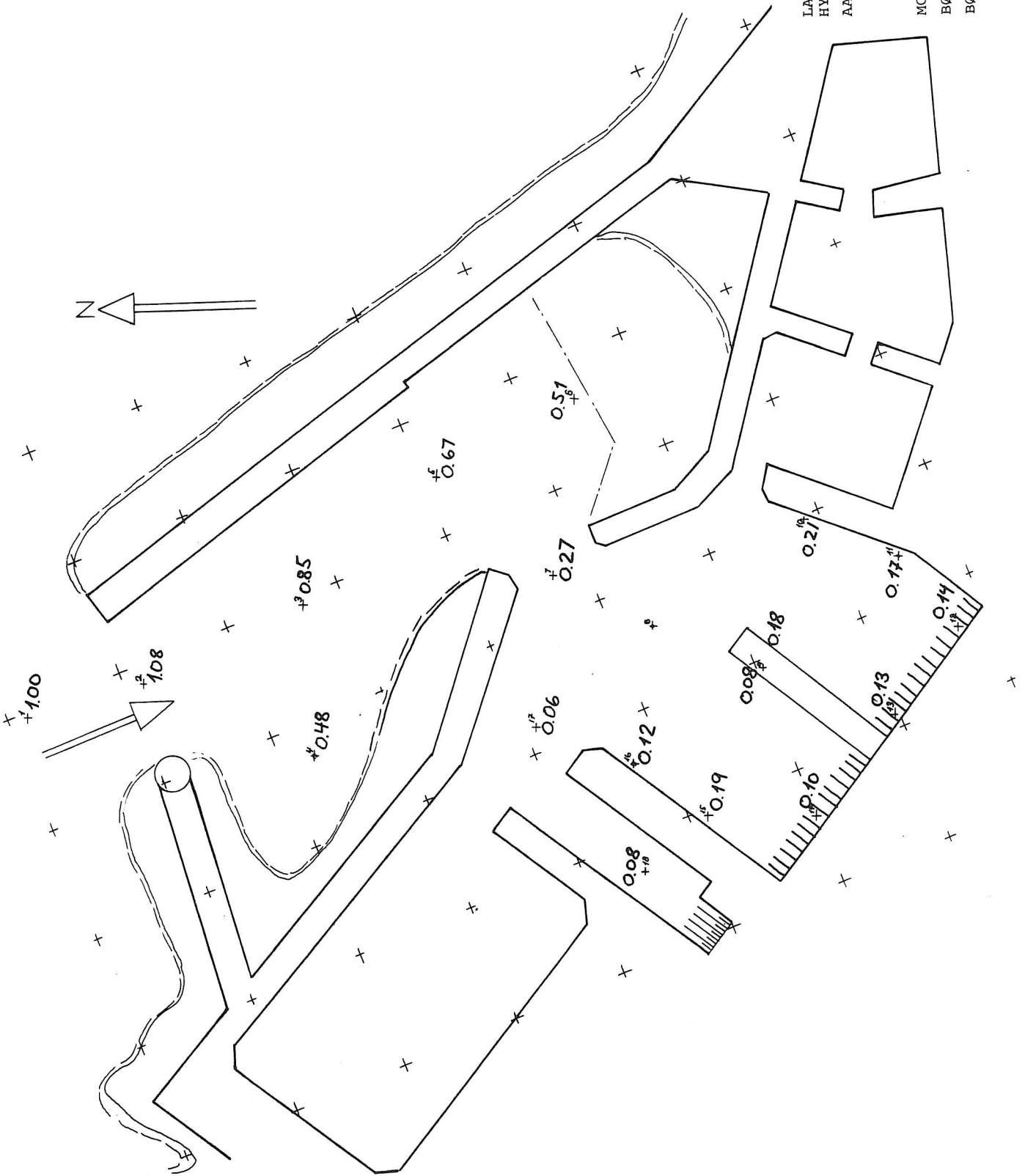
LABORATORIET FOR
HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER

MODELFORSØG MED TEJN HAVN
BØLGEHØJDEKOEFFICIENTER
BØLGER FRA NNW BILAG NR. 1



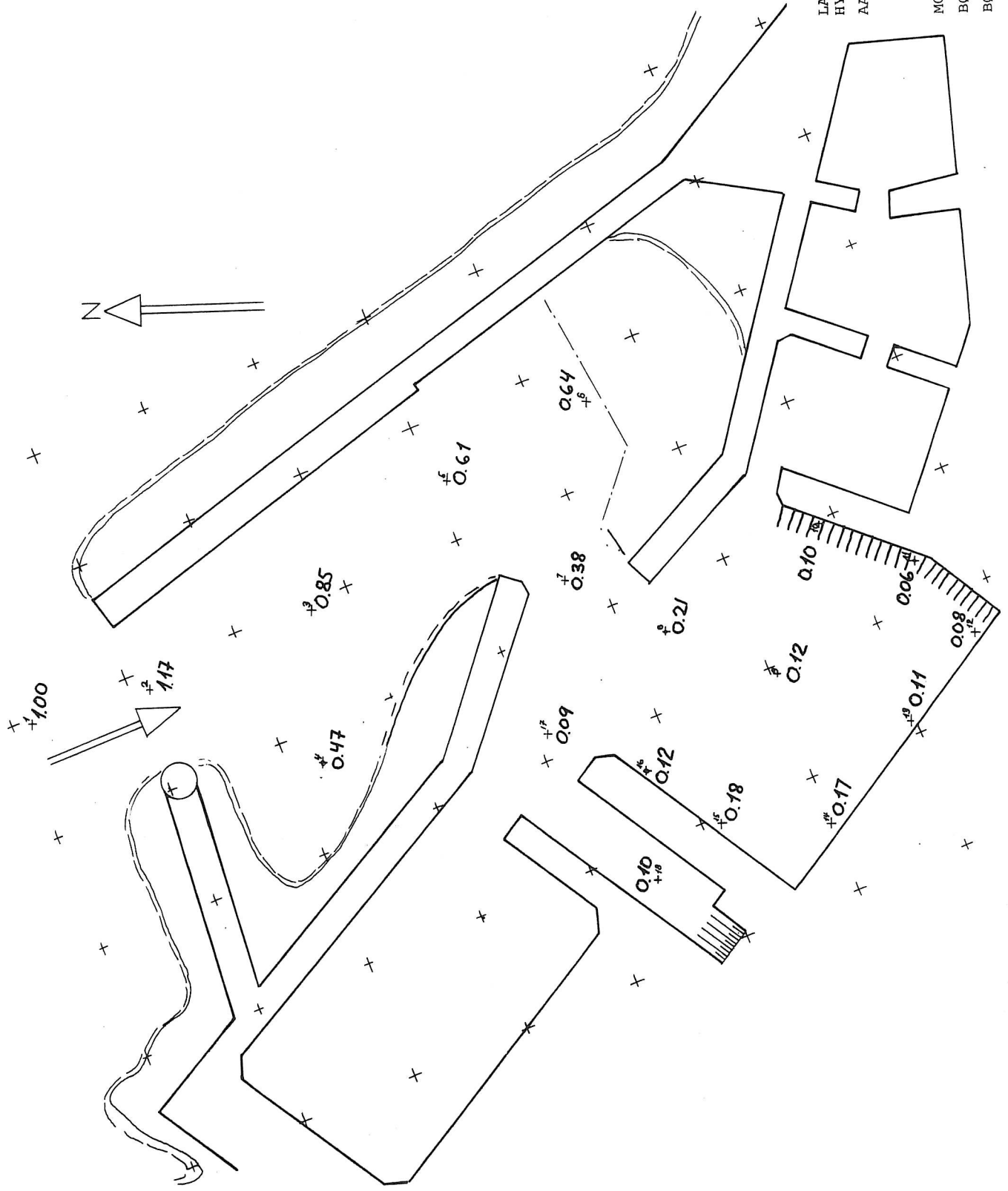
LABORATORIET FOR
HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER

MODELFORSØG MED TEJN HAVN
BØLGEHØJDEKOEFFICIENTER
BØLGER FRA NNW BILAG NR. 2



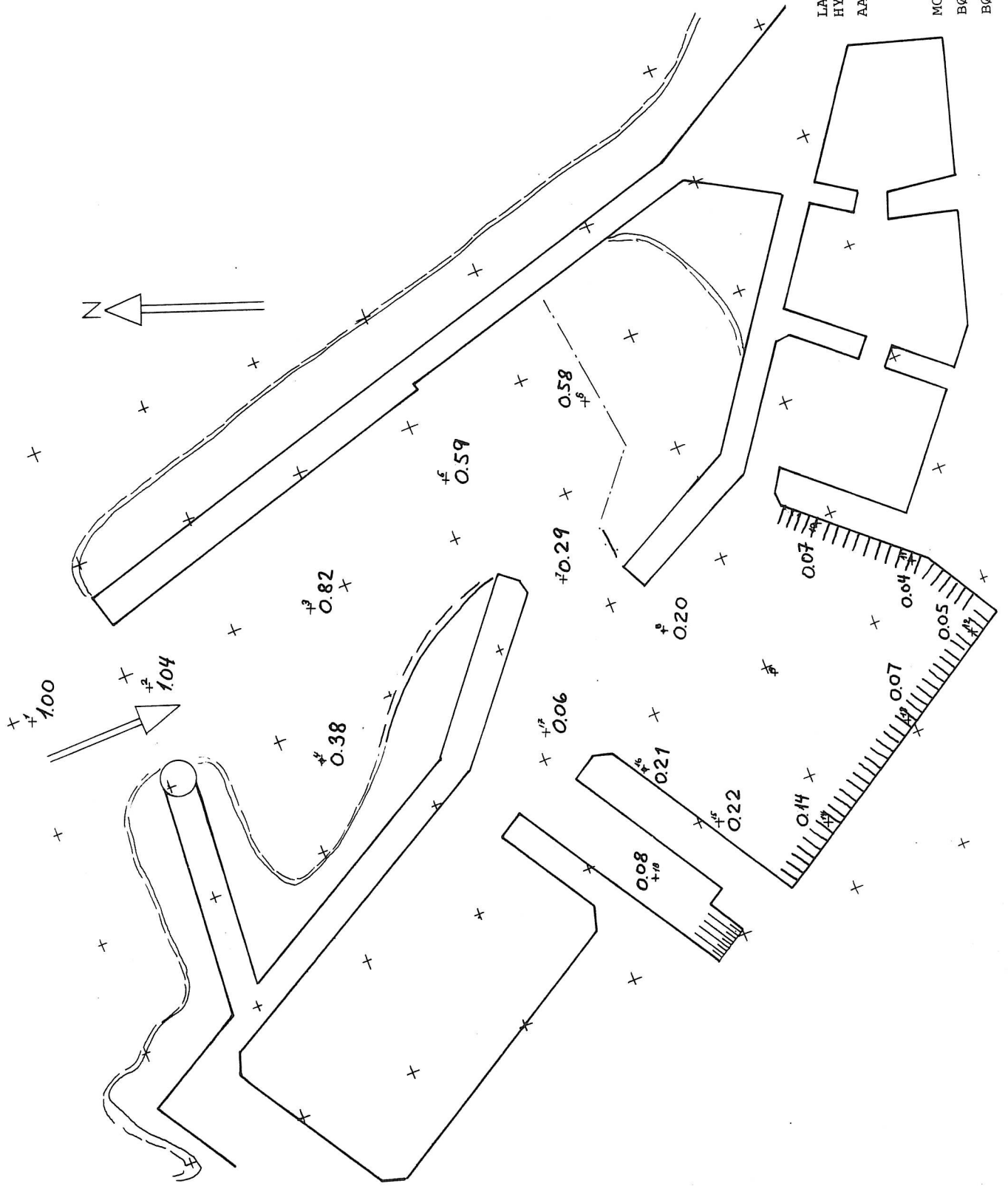
LABORATORIET FOR
HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER

MODELFORSØG MED TEJN HAVN
BØLGEHØJDEKOEFFICIENTER
BØLGER FRA NNW BILAG NR. 3



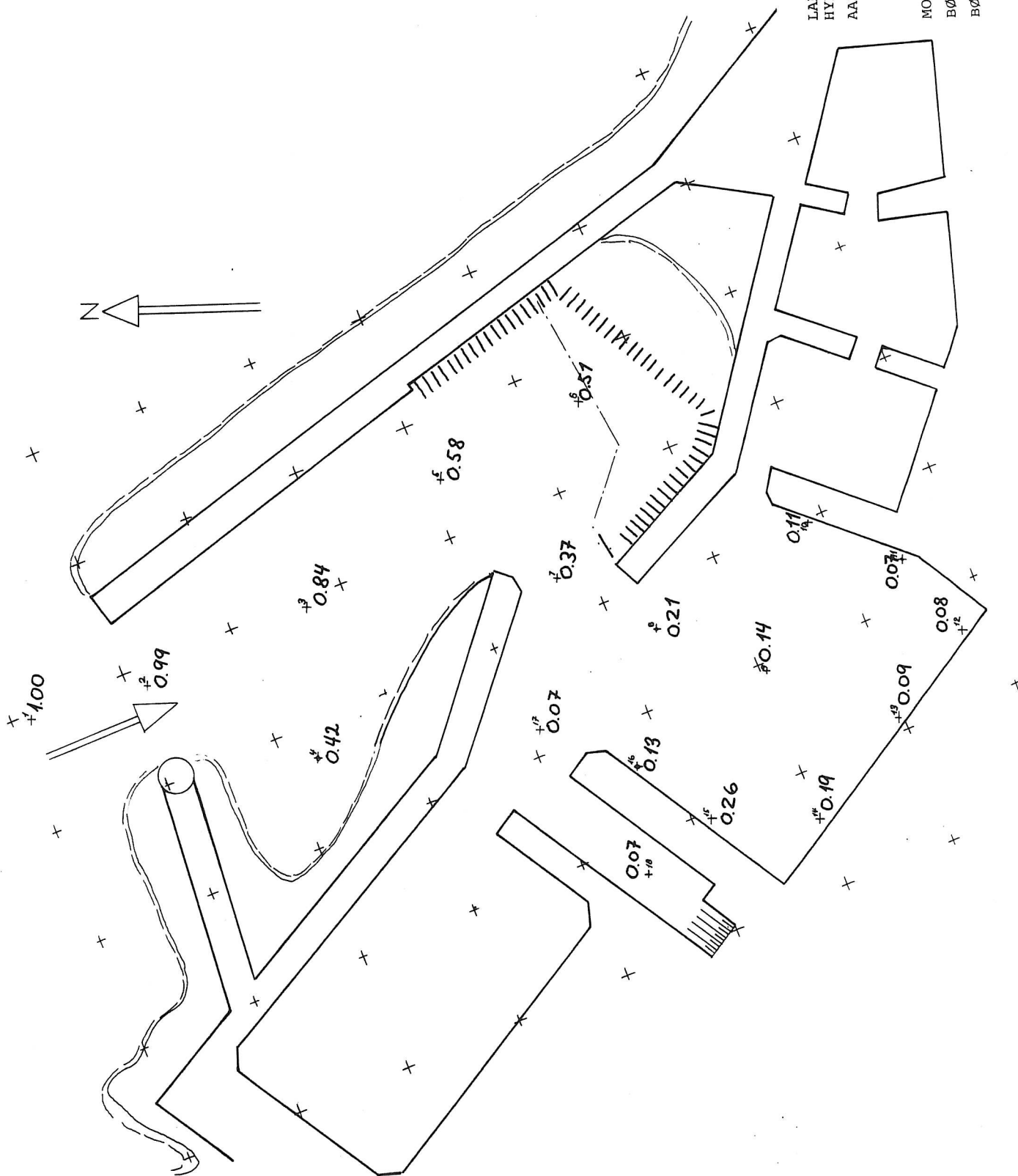
LABORATORIET FOR
HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER

MODELFORSGØG MED TEJN HAVN
BØLGEHØJDEKOEFFICIENTER
BØLGER FRA NNW



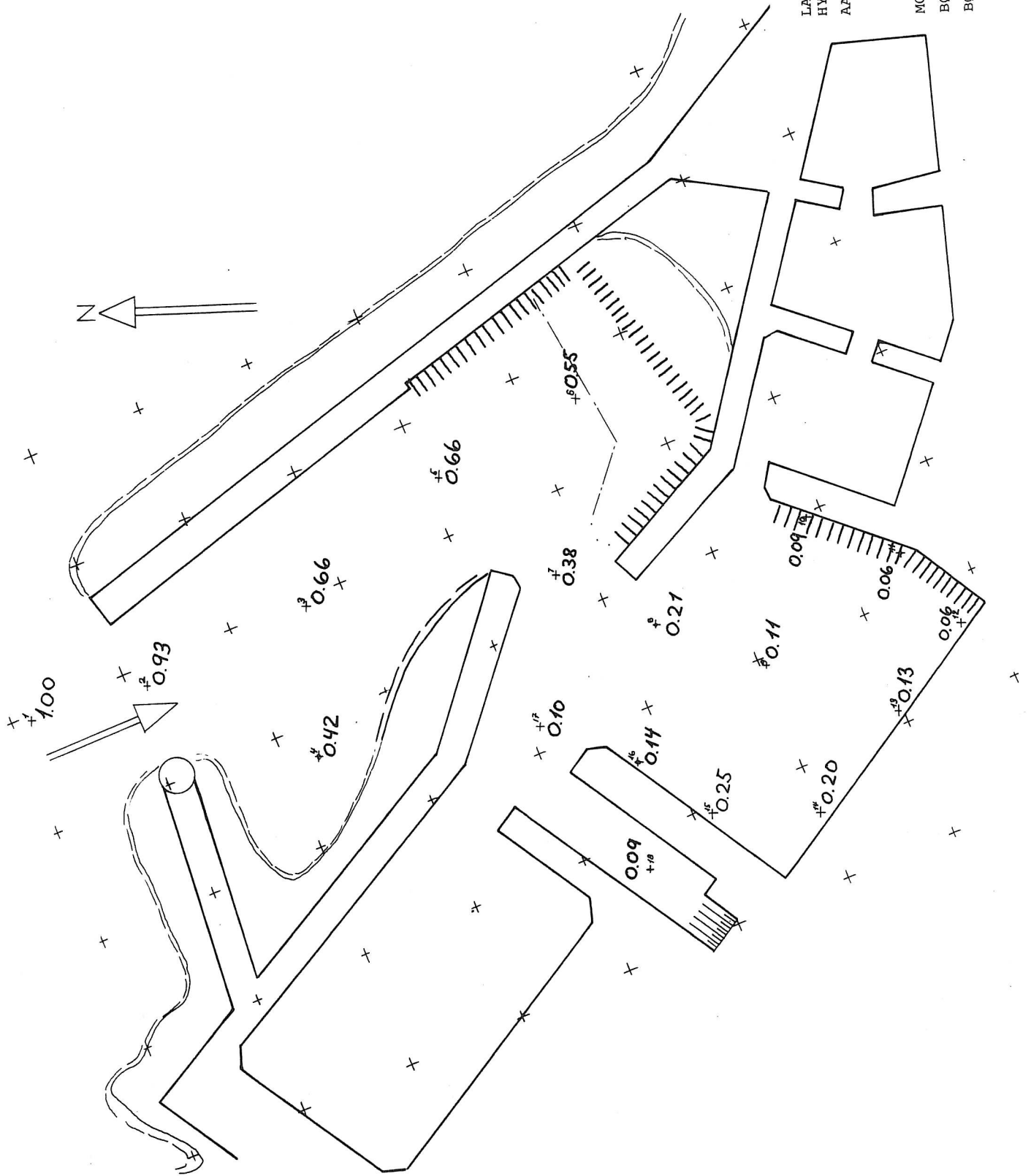
LABORATORIET FOR
HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER

MODELFORSØG MED TEJN HAVN
BØLGEHØJDEKOEFFICIENTER
BØLGER FRA NNW BILAG NR. 5



LABORATORIET FOR
HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER

MODELFORSGØG MED TEJN HAVN
BØLGEHØJDEKOEFFICIENTER
BØLGER FRA NNW BILAG NR. 6

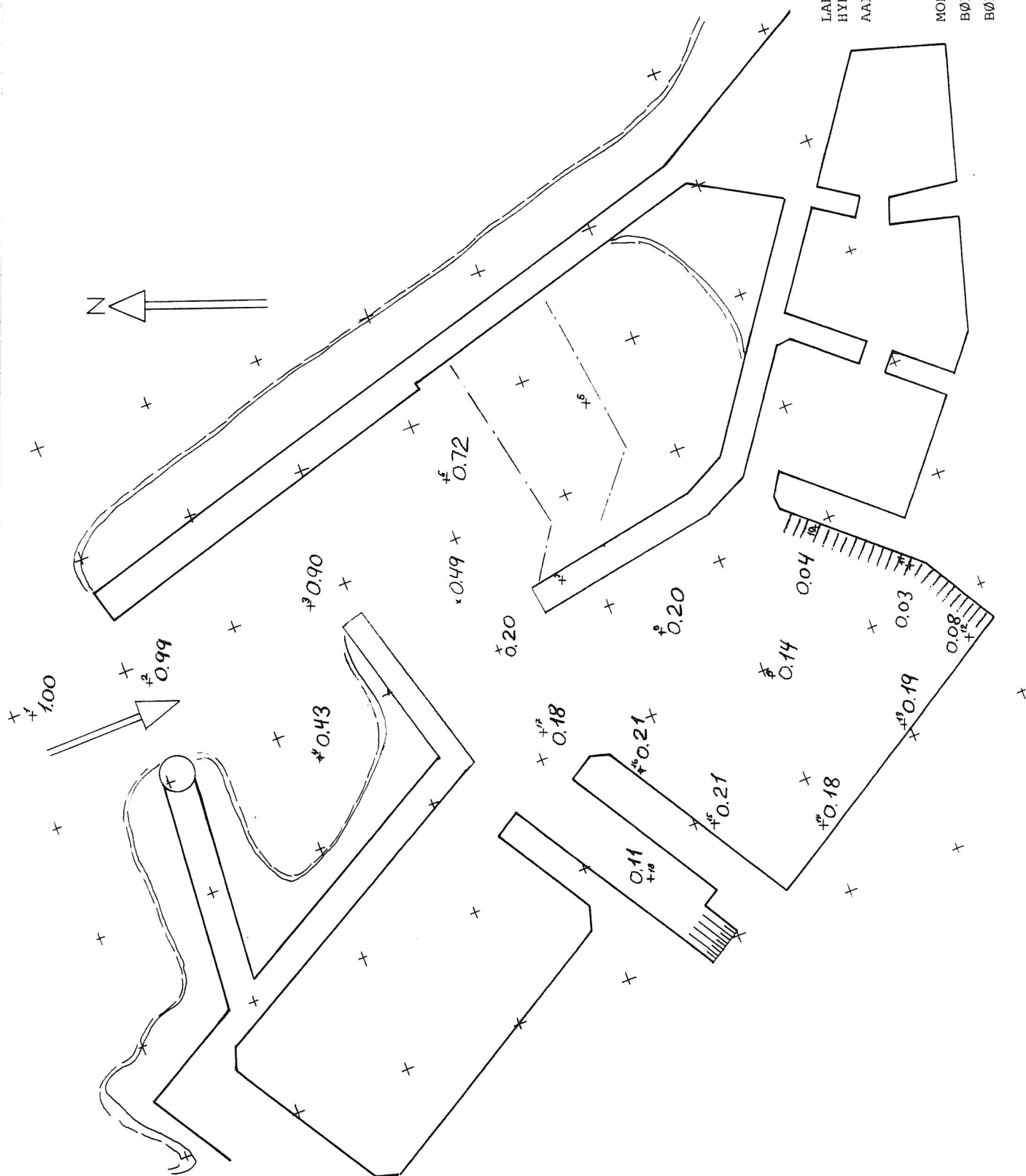


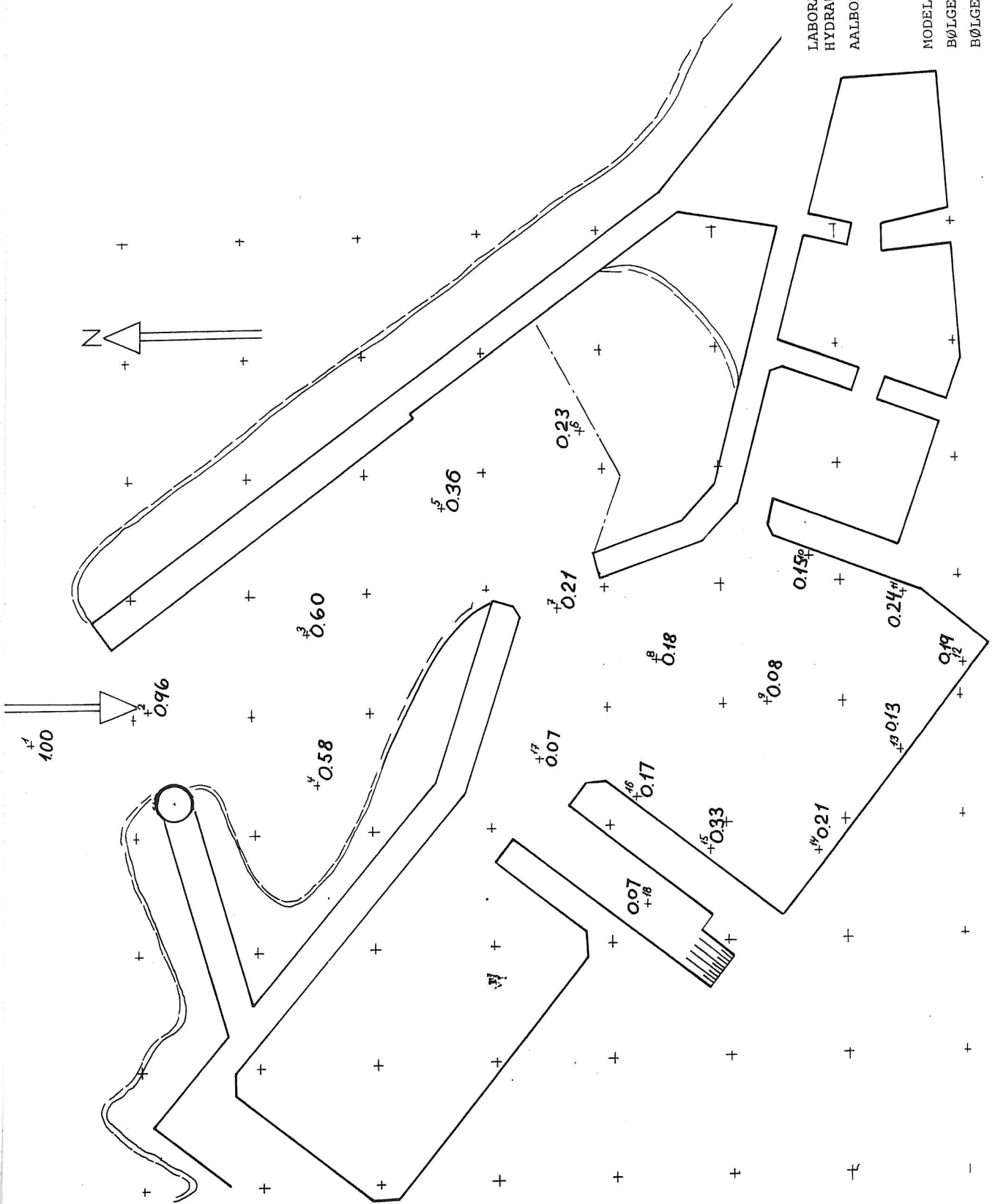
LABORATORIET FOR
HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER

MODELFORSG OG MED TEJN HAVN
BØLGEHØJDEKOEFFICIENTER
BØLGER FRA NNW BILAG NR. 7

LABORATORIET FOR
HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER

MODELFORSØG MED TEJN HAVN
BØLGEHØJDEKOEFFICIENTER
BØLGER FRA NNW BILAG NR. 8



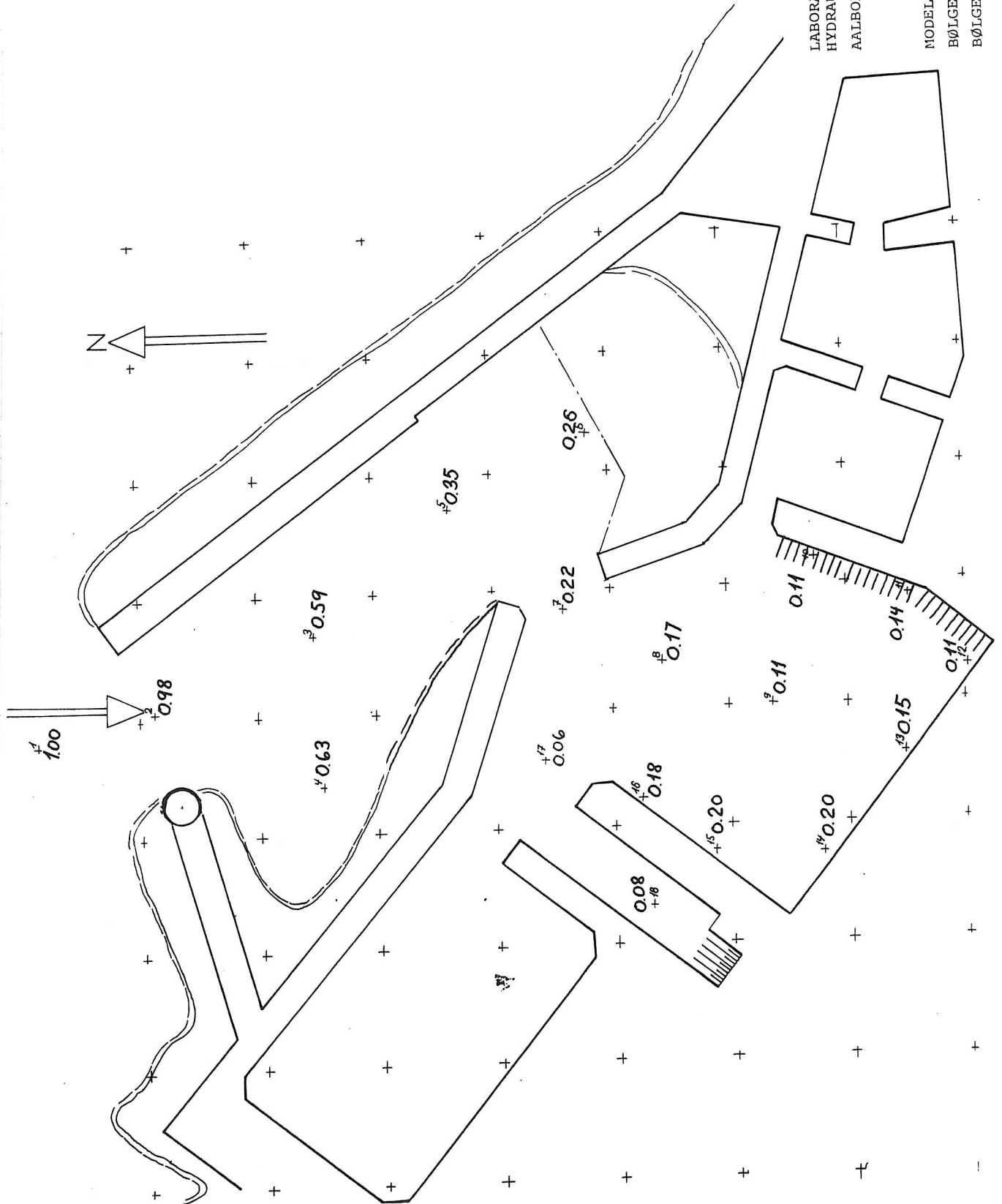


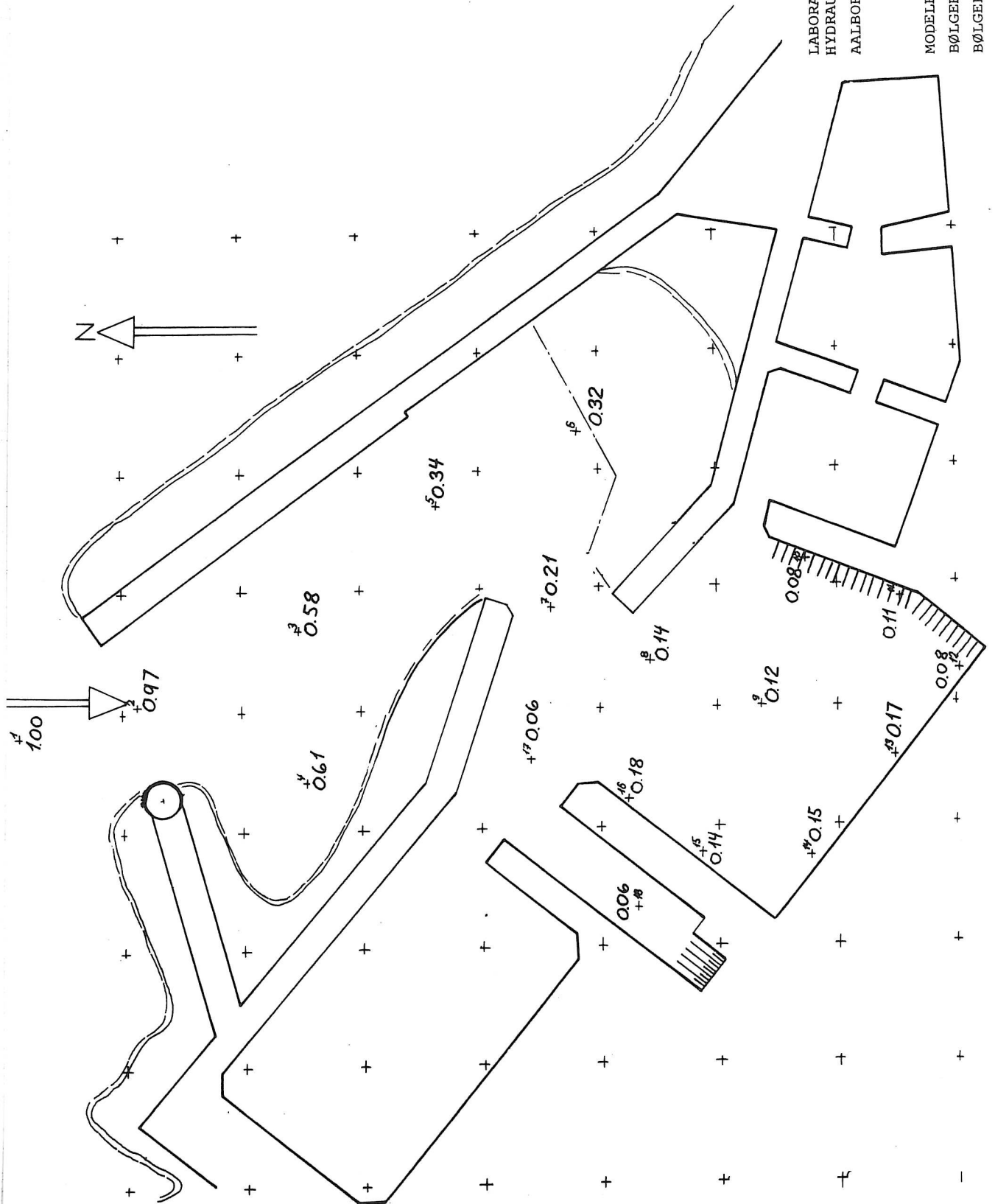
LABORATORIET FOR
HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING
AALBORG UNIVERSITETS-CENTER

MODEL-FORSØG MED TEJN HAVN
BØLGEHØJDEKOEFFICIENTER
BØLGER FRA N BILAG NR. 9

LABORATORIET FOR
HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER

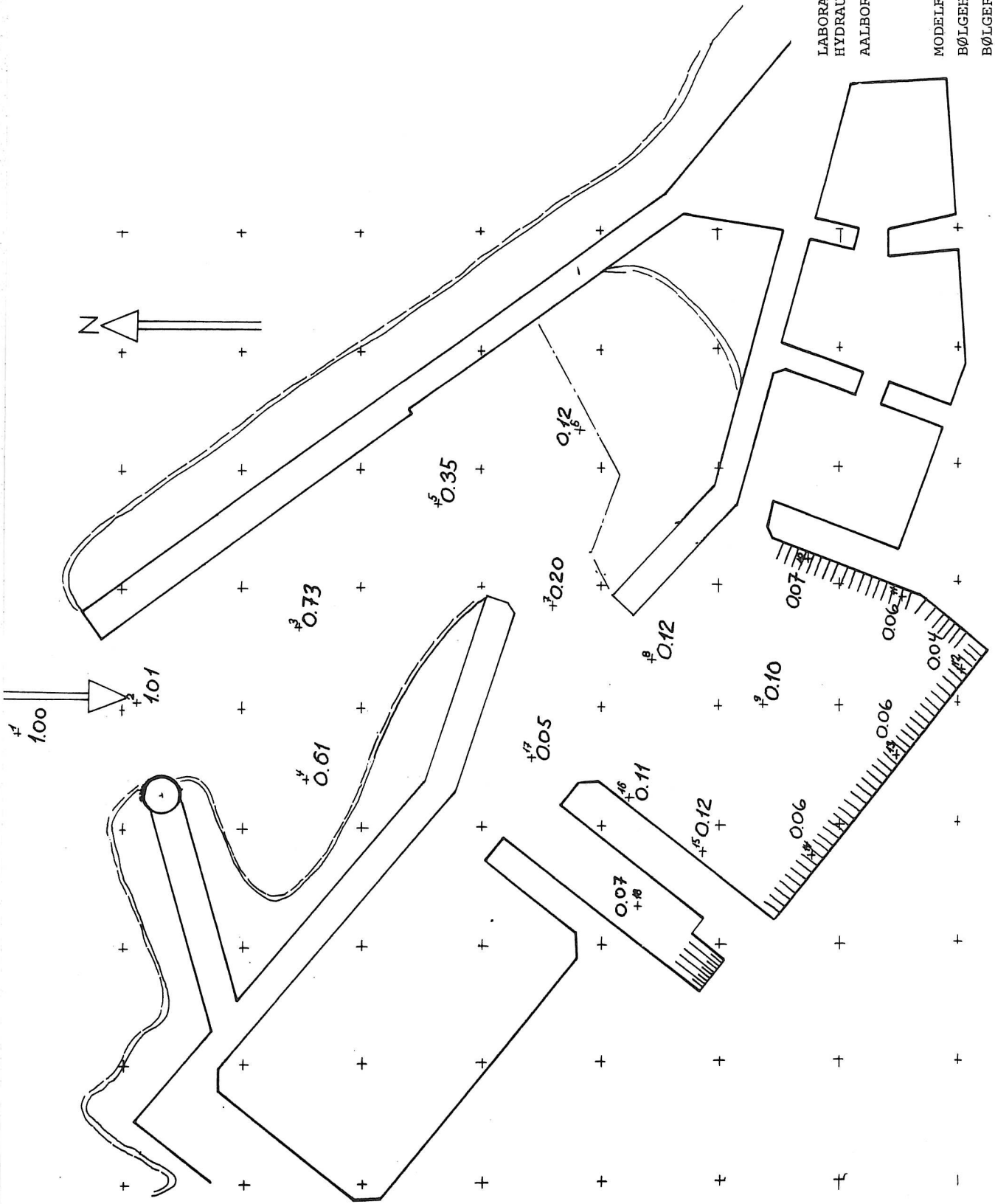
MODELFORSGØG MED TEJN HAVN
BØLGEHØJDEKOEFFICIENTER
BØLGER FRA N BILAG NR. 10





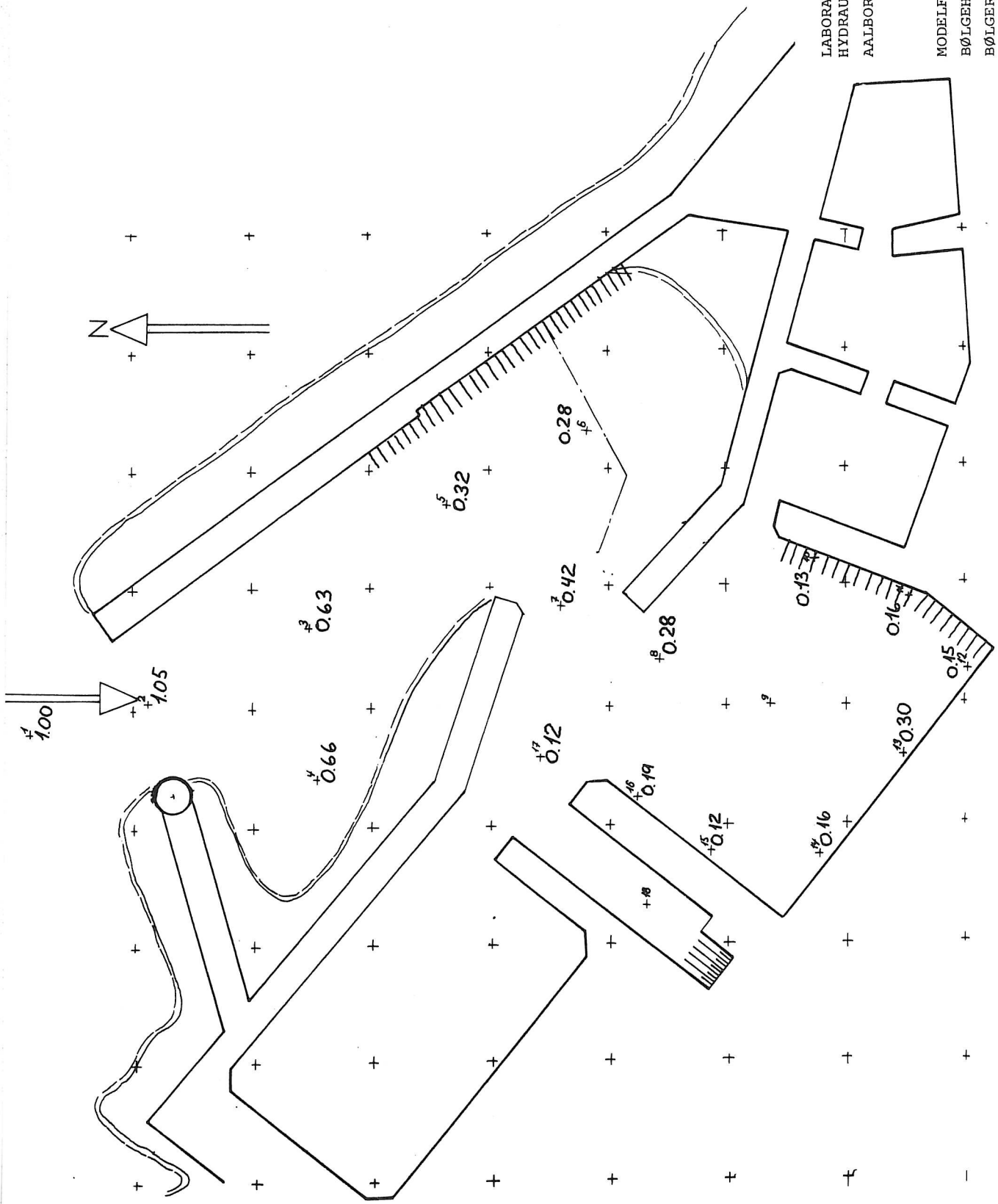
LABORATORIET FOR
HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER

MODELFORSØG MED TEJN HAVN
BØLGEHØJDEKOEFFICIENTER
BØLGER FRA N BILAG NR. 11



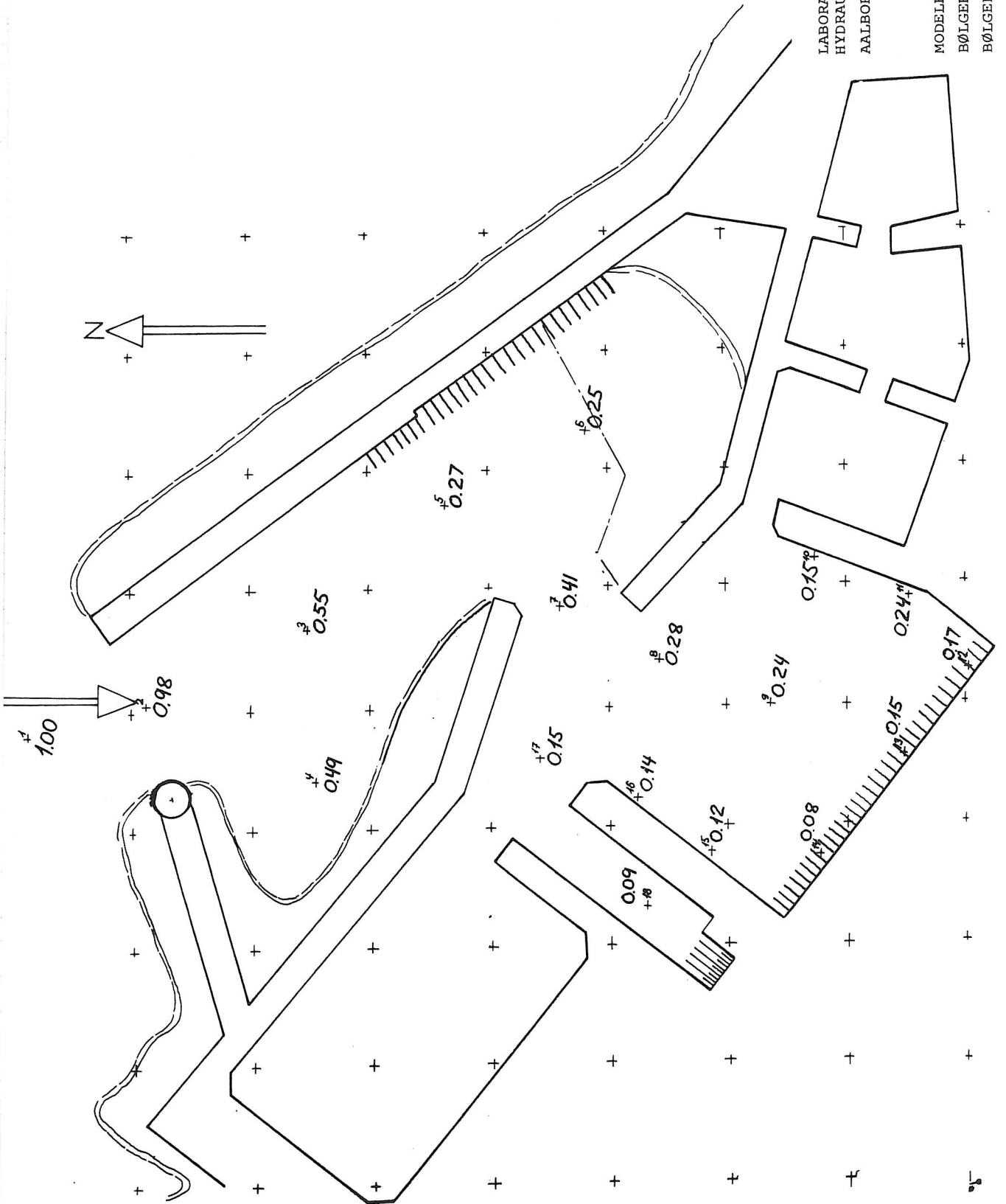
LABORATORIET FOR
HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER

MODELFORSØG MED TEJN HAVN
BØLGEHØJDEKOEFFICIENTER
BØLGER FRA N BILAG NR. 12



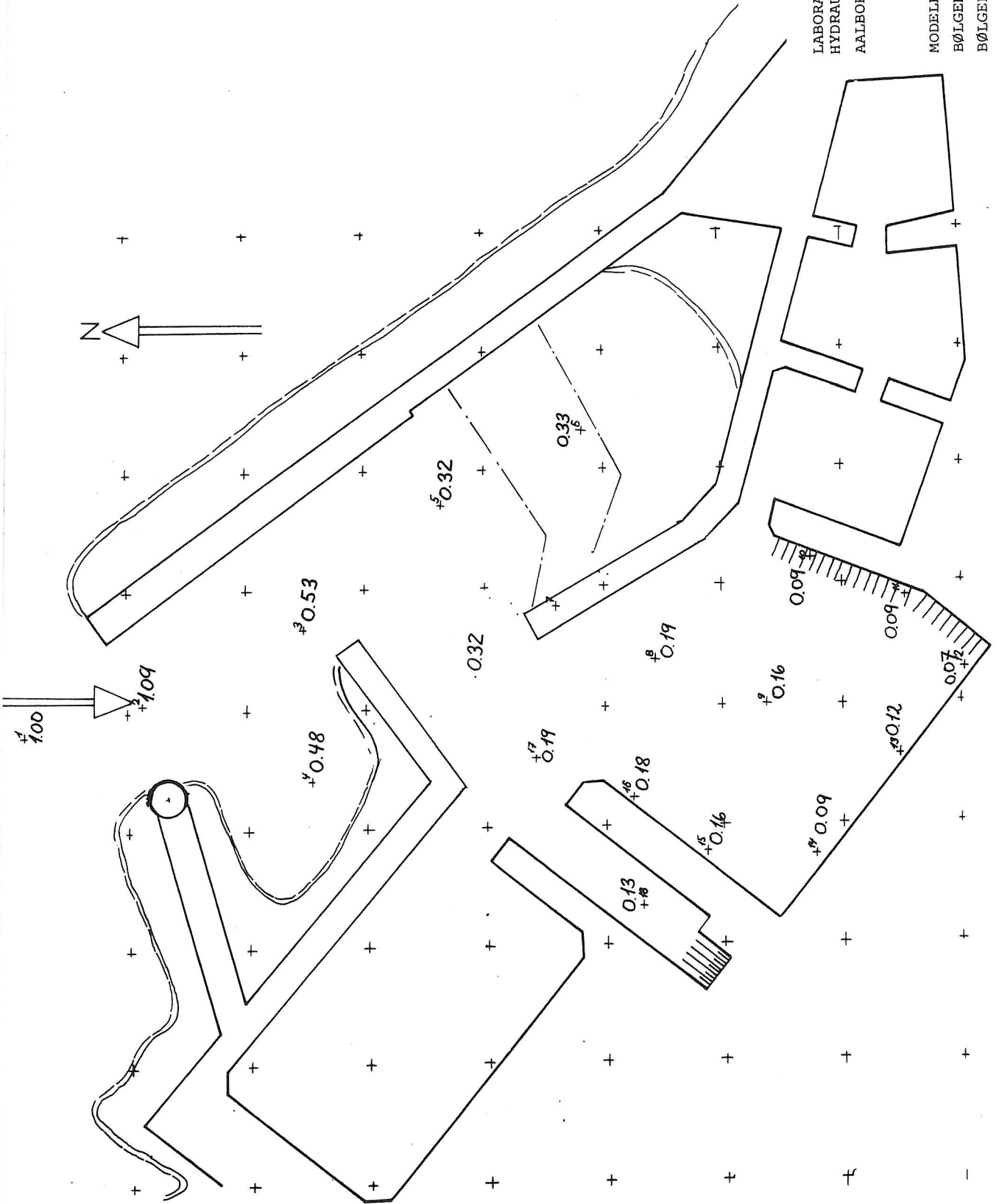
LABORATORIET FOR
HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER

MODELFORSØG MED TEJN HAVN
BØLGEHØJDEKOEFFICIENTER
BØLGER FRA N BILAG NR. 13



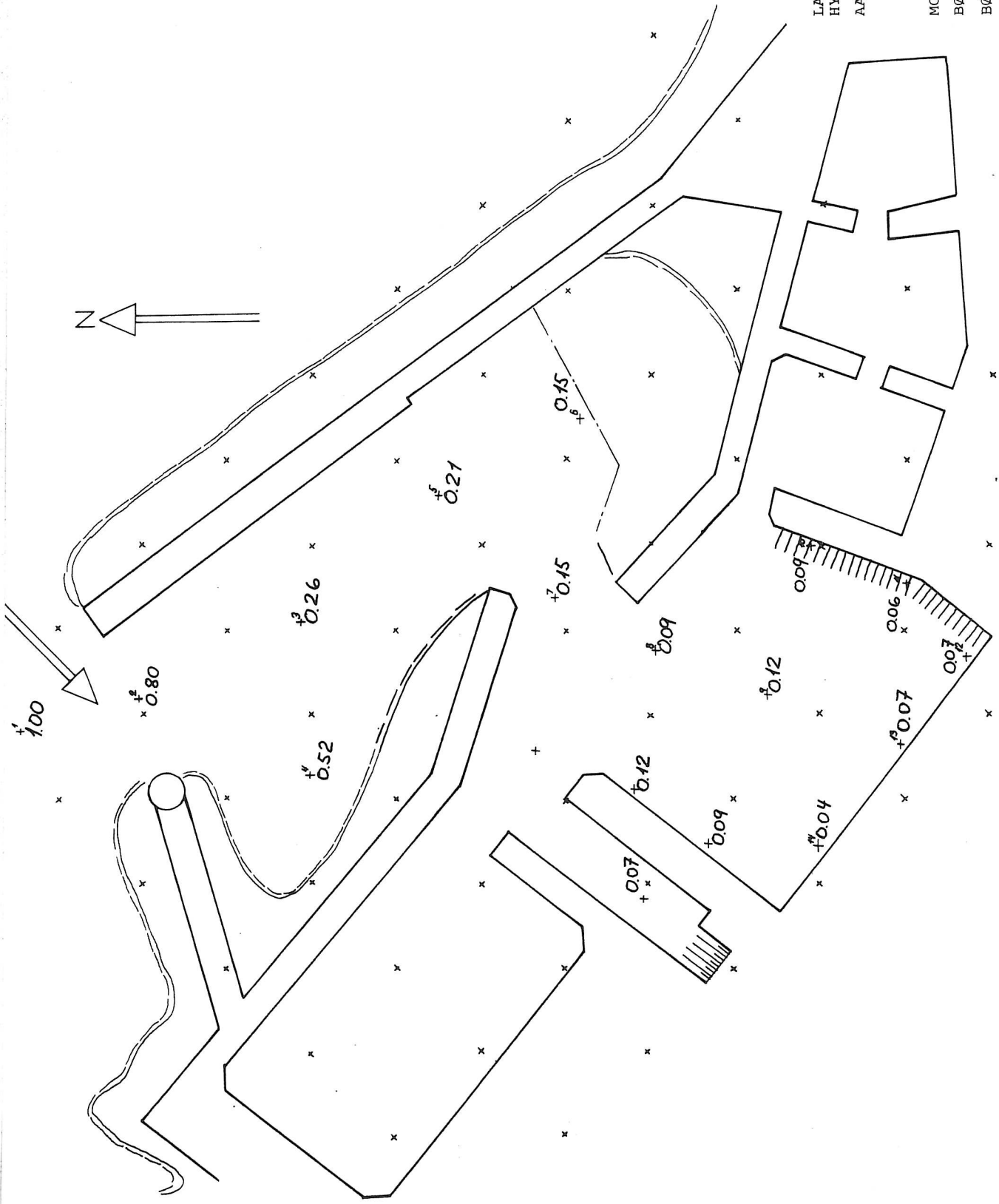
LABORATORIET FOR
HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER

MODELFORSØG MED TEJN HAVN
BØLGEHØJDEKOEFFICIENTER
BØLGER FRA N BILAG NR. 14



LABORATORIET FOR
 HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING
 AALBORG UNIVERSITETSCENTER

MODELFORØG MED TEJN HAVN
 BØLGEHØJDEKOEFFICIENTER
 BØLGER FRA N



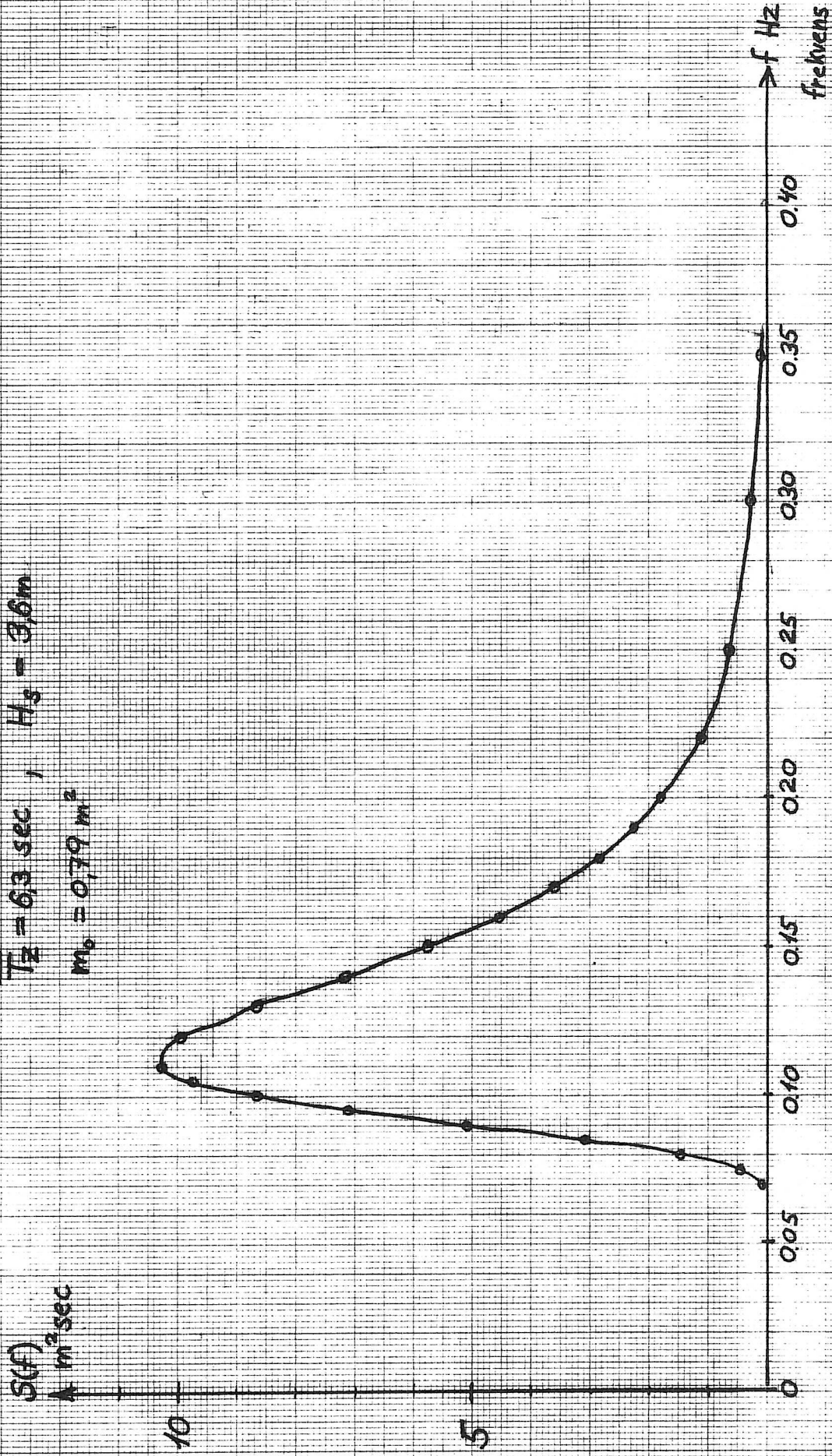
LABORATORIET FOR
HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING
AALBORG UNIVERSITETSCENTER

MODELFORSØG MED TEJN HAVN
BØLGEHØJDEKOEFFICIENTER
BØLGER FRA NE BILAG NR. 16

P-M - spektrum

$T_z = 6.3 \text{ sec}$, $H_s = 3.6 \text{ m}$

$m_0 = 0.79 \text{ m}^2$



LABORATORIET FOR HYDRAULIK OG HAVNEBYGNING

AALBORG UNIVERSITETSCENTER
DANMARKSGADE 17 POSTBOKS 159 9100 AALBORG