



Institutionen för vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

Strömförhållanden i musselodlingar
Laboratorieförsök

av

Birgitta Kolmberger

Examensarbete 1981:1

Göteborg 1981



Chalmers tekniska högskola
Institutionen för vattenbyggnad

Strömförhållanden i musselodlingar
Laboratorieförsök

av

Birgitta Kolmberger

Examensarbete 1981:1

Göteborg 1981

Program för examensarbete i vattenbyggnad

Strömförhållanden i musselodlingar. Laboratorieförsök

I norra Bohuslän pågår utbyggnad av musselodlingar och i samband med detta ett forskningsprogram för att utröna tillväxt, odlingspotential m.m. Odlingarna består av ett stort antal vertikala rep på vilka musslorna fäster och tillväxer. Tillväxten blir beroende av att mat i form av växtplankton förs med strömmar genom odlingen där den upptas av musslorna som filtrerar vattnet. Man har i en provodling konstaterat att tillväxten sker snabbast i utkanten av odlingen medan i de centrala delarna näringstillgången är sämre och således även tillväxten.

I detta examensarbete skall undersökas hur strömningen sker genom och runt en odling för att kunna tolka näringstillförsel, borttransport av exkrementer m.m. Genom att experimentera med olika utformning på odlingen kan också synpunkter ges på hur man skall få goda strömförhållanden.

Examensarbetet utförs i form av skalmodeller vilka provas i vattenbyggnadsinstitutionens rännor (gröna resp. röda rännan). Följande delundersökningar synes lämpliga:

1. Bestämning av friktionskoefficienter för grupper av odlingsrep i olika påväxtstadier.
2. Bestämning av totalflöde genom odling som täcker större eller mindre del av ett sund. Utveckling av beräkningsmodell med hänsyn till uppmätta friktionskoefficienter.
3. Detaljstudium av strömförhållanden inne i en odling med hjälp av injicerad färg. Provning av olika utformningar och placering relativt strömriktningen.

Examensarbetet utföres under våren och sommaren 1980. Handledare är ass. Torbjörn Svensson. Kontaktperson med forskningsgruppen för musselodling är Ann-Marie Larsson, oceanografiska inst., Göteborgs universitet.

Göteborg i jan. 1980

Torbjörn Svensson

FÖRORD

Föreliggande examensarbete, Strömförhållanden i musselodlingar, har utförts vid institutionen för Vattenbyggnad på Chalmers tekniska högskola 1981. Handledare har varit Torbjörn Svensson.

Jag vill tacka Torbjörn Svensson för den handledning och hjälp jag fått under arbetets gång. Dessutom vill jag rikta ett tack till de personer som bistått med hjälp under laboratorieförsöken samt Ann-Marie Holmdahl, som gjort utskriften av examensarbetet.

Göteborg i oktober 1981

Birgitta Kolmberger

INNEHÅLL

sid.

PROGRAM FÖR EXAMENSARBETE

FÖRORD

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	INLEDNING	1
1.1	Allmänt	1
1.2	Målsättning	2
1.3	Tillvägagångssätt	2
2.	SAMMANFATTNING	4
3.	BESTÄMNING AV FRIKTIONSKOEFFICIENT, C_D , FÖR ETT ODLINGSREP MED LEVANDE MUSSLOR	5
3.1	Allmänt	5
3.2	Teori	5
3.3	Metodbeskrivning	6
3.4	Utförande	7
3.5	Resultat	7
4.	STRÖMFÖRHÅLLANDEN I MUSSELODLING LABORATORIEFÖRSÖK	11
4.1	Allmänt	11
4.2	Teori	11
4.3	Metodbeskrivning	13
4.4	Utförande	16
4.5	Resultat av strömmätningar	17
4.6	Resultat av färginjicering	21
4.7	Jämförelse av resultaten från strömmätningarna med resultaten från färginjiceringen	27
5.	DISKUSSION	28
6.	REFERENSER. LITTERATUR	30
7.	BILAGOR	31

1. INLEDNING

1.1 Allmänt

I detta examensarbete har undersökts hur strömningen sker genom och runt en musselodling för att kunna tolka närings-tillförseln till musslorna.

I Sverige finns ett växande intresse för vattenbruk där musselodlingar visat sig kunna bli en lönsam industri. I norra Bohuslän pågår en utbyggnad av musselodlingar och i samband med detta ett forskningsprogram för att utröna tillväxt, odlingspotentialm.m. Ansvarig för detta är Rutger Rosenberg, Havsfiskelaboratoriet, Lysekil.

Musslor kan odlas med olika metoder såsom bottenodling, repodling, flottodling och long-line-odling. I svenska odlingar har long-line-metoden tillämpats. Long-line-metoden innebär att en lång lina eller wire förankras i båda ändar och hålls flytande med hjälp av flera bojar. Från denna lina hänger musselrepen ned med en meters mellanrum. Dessa musselrep består av 5 cm breda band av plastväv.

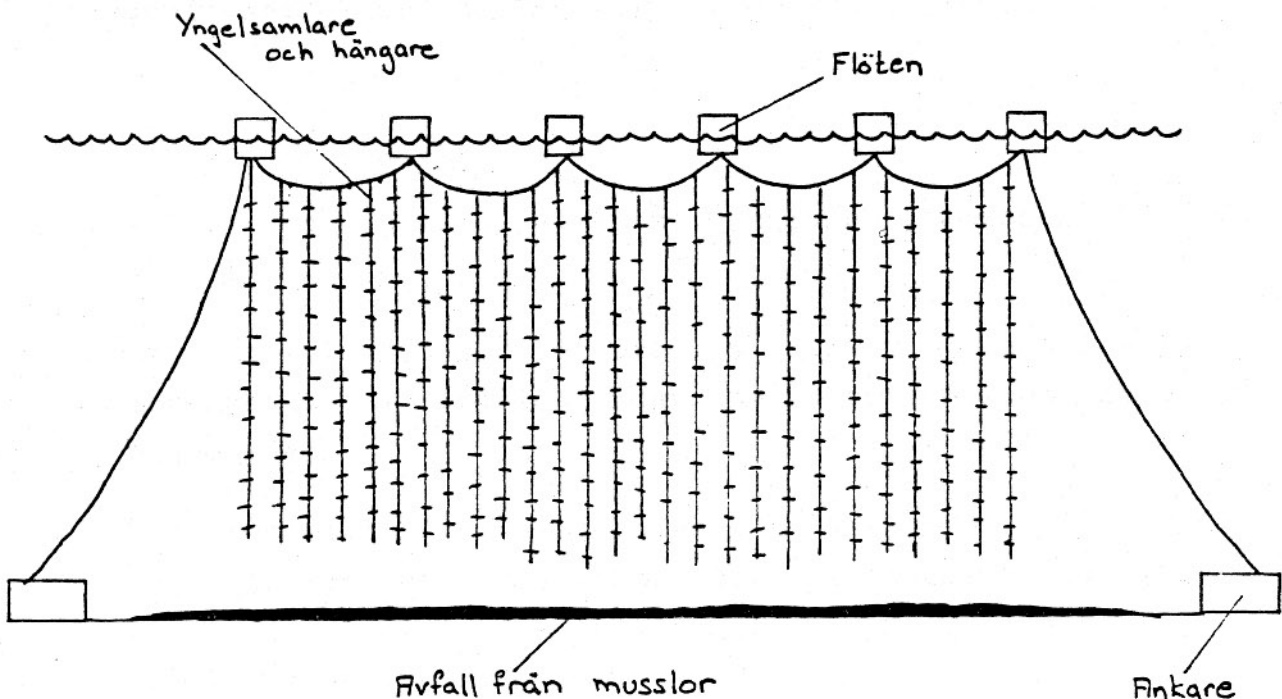


Fig. 1.1 Principskiss för long-line-odling

Musselodlingen består av en eller flera i figur 1.1 visade sektioner som placeras parallellt med varandra med ungefär 2 m mellanrum. Musslorna skördas vartannat år med specialgjorda skördefarkoster.

Under försommaren fäster mussellarverna på odlingsrepen, s.k. settling. Tillväxten är beroende av att näring i form av växtplankton förs med strömmar genom odlingen där den upptas av musslorna som filtrerar vattnet. Man har i provodling konstaterat att tillväxten sker snabbast i utkanten av odlingen medan i de centrala delarna är näringstillgången sämre och således även tillväxten.

1.2 Målsättning

Målsättning med föreliggande examensarbete har varit att i laboratorieskala undersöka strömförhållanden i musselodlingar för olika vattenflöden.

Speciellt har fördelningen av flödet genom respektive förbi en musselodling varit av intresse samt turbulensgenerering och "skuggningseffekter" mellan olika rep inom odlingen.

1.3 Tillvägagångssätt

För att nå den uppsatta målsättningen lades examensarbetet upp enligt följande:

Arbetet inleddes med litteraturstudier och insamling av information om musselodlingar samtidigt som modellförsöken planerades.

I en testmodell som placerades i en vattenränna i Vattenbyggnadsinstitutionens laboratorium testades tillgänglig utrustning och olika sätt att mäta strömförhållanden i och kring odlingsmodellen.

Efter förberedande mätningar på testmodellen utformades ett mätprogram som skulle utföras på utvalda modeller av musselodlingar. I odlingsmodellerna simulerades musselrepen av träreglar, 50 x 50 mm, och för att kunna överföra resultaten till verkligheten mättes rörelsemotståndet på ett odlingsrep med levande musslor.

Parallellt med och efter avslutade modellförsök har sammanställning och utvärdering gjorts av materialet.

2. SAMMANFATTNING

I detta examensarbete har undersökts hur strömning sker genom och runt en musselodling för att kunna tolka näringstillförseln till musslorna. Strömförhållanden har undersökts i laboratorieskala med olika modeller av musselodlingar för olika flöden, dels genom uppmätning av flödet i olika punkter i modellen med hjälp av flyglar dels genom färginjicering. Rörelsemotståndet för ett odlingsrep med levande musslor har också uppmätts.

Slutsatser av mätresultaten kan sammanfattas enligt följande:

1. Placera odlingsrepen tätt vinkelrätt strömriktningen då vattnet blandas och störs, troligen är det optimala avståndet $5 \cdot d$ mellan odlingsrepen, där d är diametern för ett odlingsrep.
2. Strömbilden i stort är relativt oberoende av Reynolds tal, inom hastighetsområde $2500 < Re < 13000$, vilket innebär att det finns en optimal utformning av odlingen.
3. Den interna strömningen blir vid ökande Re kraftigare turbulent. Välj platser med hög strömhastighet.

Dessa resultat ger en indikation på hur en odling bör utformas. Ytterligare försök i fält är nödvändiga för att komma fram till närmare dimensioneringskriterier.

3. BESTÄMNING AV FRIKTIONSKOEFFICIENTEN, C_D , FÖR ETT ODLINGSREP MED LEVANDE MUSSLOR

3.1 Allmänt

I en musselodling består odlingsrepen av 5 cm breda plastband där mussellarverna genom settling fastnar på repen och tillväxer. Efter ungefär 2 år är musslorna klara för skörd, odlingsrepet har då en diameter på ca 20 cm.

I de olika modellerna av musselodlingar används träreglar, 50 x 50 mm, för att simulera odlingsrepen. För att ge samma påverkan på strömningen skall träreglarna skalas så att de ger samma strömningmotstånd som musselrepen. Därför uppmättes rörelsemotståndet för ett odlingsrep med levande musslor. Från dessa mätningar kan ett värde på motståndskoefficienten, C_D , bestämmas för odlingsrepet och sedan jämföras med C_D för den i modellen använda träregeln. C_D för träregeln finns tillgänglig i diagram.

Resultatet av denna motståndskoefficientmätning kommer också att vara nödvändig för att kunna överföra resultaten av modellförsöken till verkligheten.

I detta kapitel kommer resultatet av försöken att mäta rörelsemotståndet och beräkningen av motståndskoefficienten C_D att redovisas.

3.2 Teori

För att beräkna rörelsemotståndet hos en kropp nedsänkt i ett stationärt flöde kan följande formel användas

$$P = C_D \cdot \rho \cdot L \cdot d \cdot \frac{U^2}{2}$$

där P är kraften som verkar på kroppen (N), ρ är vätskans densitet (kg/m^3), $L \cdot d = A$ (m^2) är den mot rörelseriktningen projicerade arean, U är vattenhastigheten relativt kroppen (m/s) och C_D är en motståndskoefficient som beror av kroppens form men även av Reynolds tal definierat som

$$Re = \frac{U \cdot d}{\nu} \quad \frac{m \cdot m}{s}$$

där U , d är enligt ovan och ν är vätskans kinematiska viskositet (m^2/s).

3.3 Metodbeskrivning

För att mäta rörelsemotståndet för ett odlingsrep användes följande metod. I en ränna med stillastående vatten monterades odlingsrepet hängande från en rörlig vagn, som kan köras med olika hastigheter.

Då vagnen körs ger odlingsrepet upphov till ett motstånd i vattnet, detta motstånd kan mätas med hjälp av en dynamometer. Utseendet av försöksutrustningen visas i figur 3.1.

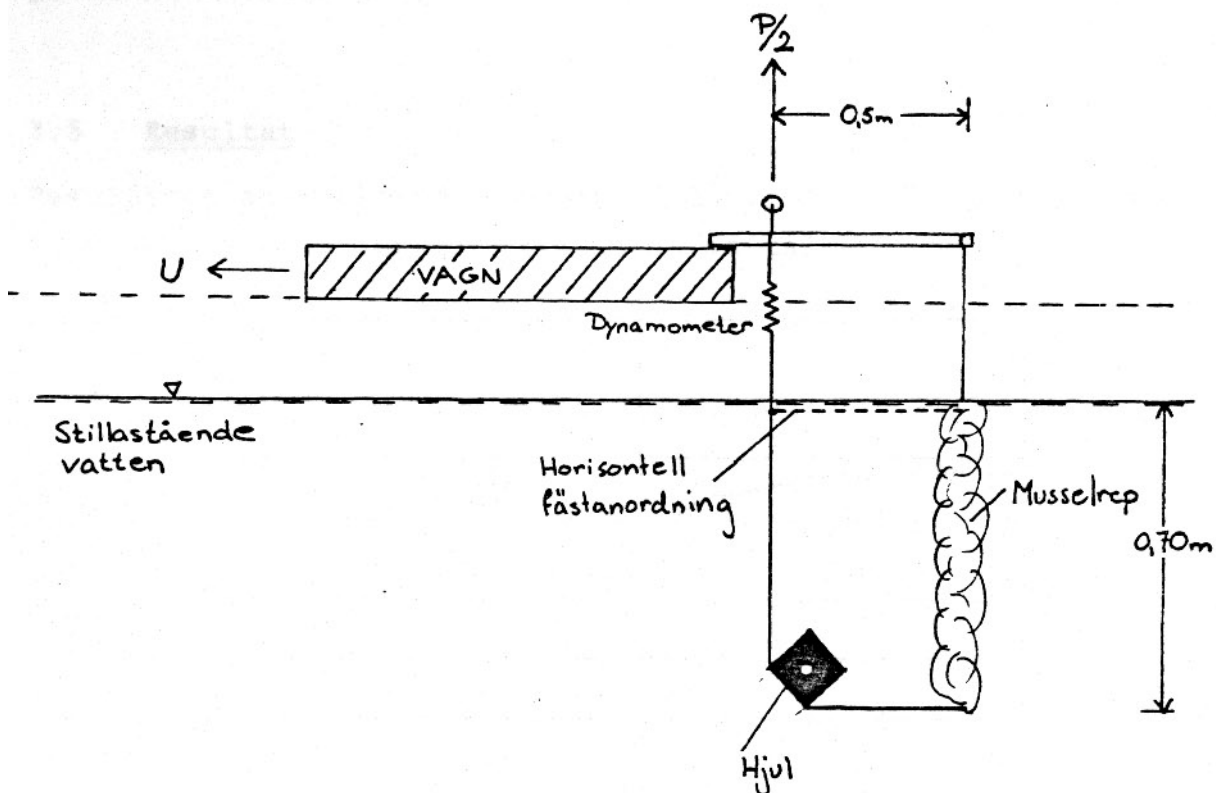


Fig. 3.1 Försöksutrustning för bestämning av rörelsemotståndet hos ett odlingsrep med levande musslor

3.4 Utförande

Vagnen kördes med olika hastigheter och kraften i odlingsrepet avlästes på en dynamometer.

För att testa utrustningen uppmättes motståndskoefficienten hos ett rör av aluminium med diametern 0,035 m.

Resultatet visade sig dessvärre bli felaktigt pga svårigheter att få röret att hänga vertikalt. Detta resultat kommer därför ej att redovisas. Motståndsmätningen på odlingsrepet verkade ge ett rimligare resultat. Utvärderingen av resultatet bör dock ske kritiskt då följande faktorer påverkar riktigheten i resultaten.

Musselrepet är ej styvt och böjde sig därför i en allt större båge vid ökad hastighet. Svårigheten att få odlingsrepet vertikalt och även friktion i mätsystemet är faktorer som inverkar på resultaten.

3.5 Resultat

Resultatet av motståndsmätningen redovisas i diagram 3.2 där C_D är avsatt som en funktion av Reynolds tal.

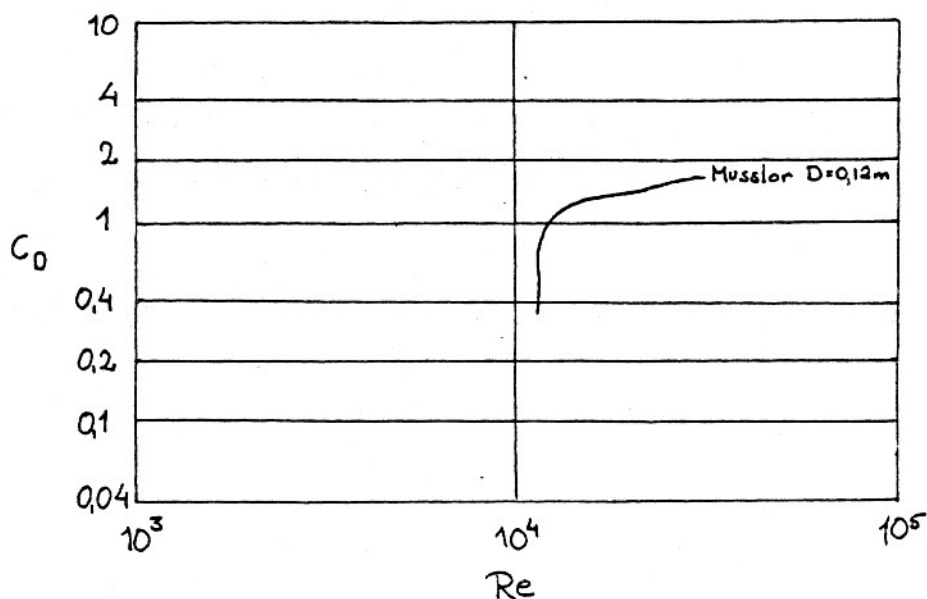


Diagram 3.2 Motståndskoefficienten C_D som funktion av Reynolds tal för ett odlingsrep med levande musslor

Vid beräkning av C_D , se tabell 3.3, ur formeln

$$P = C_D \cdot \rho \cdot L \cdot d \cdot \frac{U^2}{2}$$

sätts

$$\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$L = 0,70 \text{ m}$$

$$d = 0,12 \text{ m}$$

Diametern är en medeldiameter på det i försöket använda odlingsrepet. Denna bestämdes genom att medelomkretsen mättes och omräknades till en ekvivalent medeldiameter.

För att kunna överföra resultat från modell med träreglar att gälla för modell av musselrep måste en skalfaktor införas så att de ger samma rörelsemotstånd vid aktuella värden på Reynolds tal. Detta betyder att uttrycket för rörelsemotståndet i kap. 3.2 kan användas

$$P = (C_D \cdot \rho \cdot L \cdot d \cdot \frac{U^2}{2})_{\text{regel}} = (C_D \cdot \rho \cdot L \cdot d \cdot \frac{U^2}{2})_{\text{rep}}$$

Vid samma strömhastighet och längd erhålles följande villkor

$$(C_D \cdot d)_{\text{regel}} = (C_D \cdot d)_{\text{rep}}$$

Detta ger ett uttryck för diametern av träreglar i modellen

$$d_{\text{regel}} = \frac{C_{D,\text{rep}}}{C_{D,\text{regel}}} \cdot d_{\text{rep}}$$

Skalfaktorn blir alltså lika med förhållandet mellan motståndskoefficienterna.

U [m/s]	$Re = \frac{U \cdot D}{\nu}$	P [N]	$C_D = \frac{4P}{\rho \cdot L \cdot D \cdot U^3}$
0,160	16 696	0,2	0,36
0,190	19 826	0,7	0,92
0,225	23 478	1,1	1,04
0,260	27 130	1,7	1,20
0,275	28 696	2,0	1,24
0,295	30 783	2,0	1,08
0,310	32 348	2,0	1,00
0,325	33 913	3,1	1,40
0,345	36 000	3,5	1,40
0,360	37 565	4,1	1,52
0,380	39 652	4,5	1,48
0,395	41 217	5,2	1,60
0,410	42 782	5,6	1,60
0,430	44 870	6,2	1,60
0,445	46 435	6,9	1,64
0,460	48 000	7,5	1,68
0,475	49 565	8,4	1,76

$$\bar{D} = 0,12 \text{ m}$$

$$\nu (T=15^\circ\text{C}) = 1,15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$L = 0,70 \text{ m}$$

$$\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Tabell 3.3

Enligt Daily och Harleman (1966) experimentellt bestämda värden på motståndskoefficienten, C_D , för olika typer av två- och tredimensionella kroppar fås för en kvadratisk cylinder vinkelrätt flödet, dvs för träreglarna i modellen, följande värde;

$$C_D = 2,0 \quad \text{då} \quad Re = 35\ 000$$

$$C_D = 1,6 \quad \text{då} \quad 10\ 000 < Re < 100\ 000$$

Då man betraktar diagrammet för uppmätta värden på C_D för ett odlingsrep och medräknar osäkerheten i mätningarna kan man approximativt sätta faktorn

$$\frac{C_{D, \text{rep}}}{C_{D, \text{regel}}} \quad \text{lika med } 1$$

Detta betyder att diametern på odlingsrepet förhåller sig till diametern på modellen som 1:1.

4. STRÖMFÖRHÅLLANDEN I MUSSELODLING - LABORATORIEFÖRSÖK

4.1 Allmänt

I dett kapitel kommer strömförhållanden i en musselodling att studeras, detta för att kunna tolka näringstillförseln till musslorna. Försöken utfördes i en vattenränna med bredden 3 m i Vattenbyggnads labororium. I rännan monterades modeller av musselodlingar.

Musslan lever i huvudsak på små encelliga alger. Denna näring tillgodogör sig musslan genom att vifta med de fina flimmerhåren kring musslans öppning och åstadkommer på det sättet en ständig vattenström genom sin mantelhåla. Om musslan är så placerad att vattenströmmen genom mantelhålen kan få hjälp av en ström i det omkringliggande havet går det åt mindre energi för näringsupptagning och musslan växer snabbare.

Då musslorna i odlingen konkurrerar om näringen i vattenmassan som passerar odlingen har det visat sig att i de centrala delarna av odlingen tillväxer musslorna betydligt långsammare.

Detta innebär att det gäller att hitta ett optimalt utseende på en odling där musslorna utnyttjar näringen i vattenmassan maximalt.

4.2 Teori

Modellen av musselodlingen som används för att undersöka strömförhållanden är byggd i skala 1:4. Denna skala valdes med hänsyn till storleken på rännan som begränsar i hur stor skala modellen kunde göras. Skalan begränsas nedåt av möjligheten att erhålla tillräckligt höga Reynolds tal.

Reynolds tal är ett dimensionslöst tal som är ett kriterium för om strömningen är laminär eller turbulent. Strömningmotstånd och friktion i vattnet är beroende av turbulensgraden och således av Reynolds tal. Denna parameter bör således vara avgörande för strömförhållanden såväl runt enstaka odlingsrep som för hela grupper.

För att få ett likformigt flöde i modellen och i verkligheten måste gälla att

$$Re_{\text{modell}} = Re_{\text{verklighet}}$$

eller, om definitionen på Reynolds tal används

$$\left(\frac{U \cdot d}{\nu}\right)_m = \left(\frac{U \cdot d}{\nu}\right)_o$$

m = modell

o = odling

Med en given strömhastighet i en verklig odling blir motsvarande i modellen

$$U_m = Re_o \cdot \left(\frac{\nu}{d}\right)_m = \left(\frac{U \cdot d}{\nu}\right)_o \cdot \left(\frac{\nu}{d}\right)_m$$

där U_m = hastigheten på flödet i modell (m/s)

U_o = hastigheten på flödet i odling (m/s)

d_m = diameter för träregel i modellen (m)

d_o = diameter för ett odlingsrep (m)

ν_m = kinematisk viskositet för vattnet
i rännan (m²/s)

ν_o = kinematisk viskositet för vattnet
i havet (m²/s)

Ett representativt medelvärde på odlingsrepens diameter är $d_o = 0,20$ m. En lämplig modellskala är 1:4, då repen motsvaras av träreglar med $d_m = 0,05$ m.

Strömhastigheten i en verklig musselodling varierar normalt mellan 2,0 - 10,0 cm/s vilket ger följande värden på Reynolds tal.

$$U_o = 0,02 \text{ m/s} \quad Re_o = \left(\frac{U \cdot d}{\nu} \right)_o = \frac{0,02 \cdot 0,2}{1,31 \cdot 10^{-6}} = 3053$$

$$U_o = 0,10 \text{ m/s} \quad Re_o = \left(\frac{U \cdot d}{\nu} \right)_o = \frac{0,10 \cdot 0,2}{1,31 \cdot 10^{-6}} = 15267$$

$$\nu = 1,31 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{då } T = 10^\circ\text{C}$$

Den ovan använda temperaturen kan anses vara ett rimligt värde på medeltemperaturen i havet under sommarhalvåret då musslor-
nas huvudsakliga tillväxt sker.

Reynolds tal varierar ungefär mellan

$$3000 < Re < 15\ 000$$

Erforderliga strömhastigheter i modellen kan nu bestämmas, då Reynolds tal i en verklig odling och diametern på det i modellen använda "odlingsrepet" är kända.

$$Re_o = 3000; \quad U_m = 3000 \left(\frac{1,15 \cdot 10^{-6}}{0,05} \right) = 0,069 \text{ m/s}$$

$$Re = 15000; \quad U_m = 15000 \left(\frac{1,15 \cdot 10^{-6}}{0,05} \right) = 0,345 \text{ m/s}$$

$$\nu = 1,15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{då } T = 15^\circ\text{C}$$

Strömhastigheten i modellen bör variera mellan

$$7,0 \text{ cm/s} < U_m < 35,0 \text{ cm/s}$$

4.3 Metodbeskrivning

Strömförhållanden studerades dels genom mätning av strömhastig-
heten i olika punkter i modellen, dels genom färginjicering.

Modellen av musselodlingen tillverkades av fyrkantiga regler
50 x 50 mm som var hopspikade i rader med cc-avstånd 0,25 m

till sektioner, se fig. 4.1. Dessa sektioner placerades i en 3 m bred vattenränna i Vattenbyggnads laboratorium (röda rännan). Vattendjupet i rännan var ungefär 0,5 m.

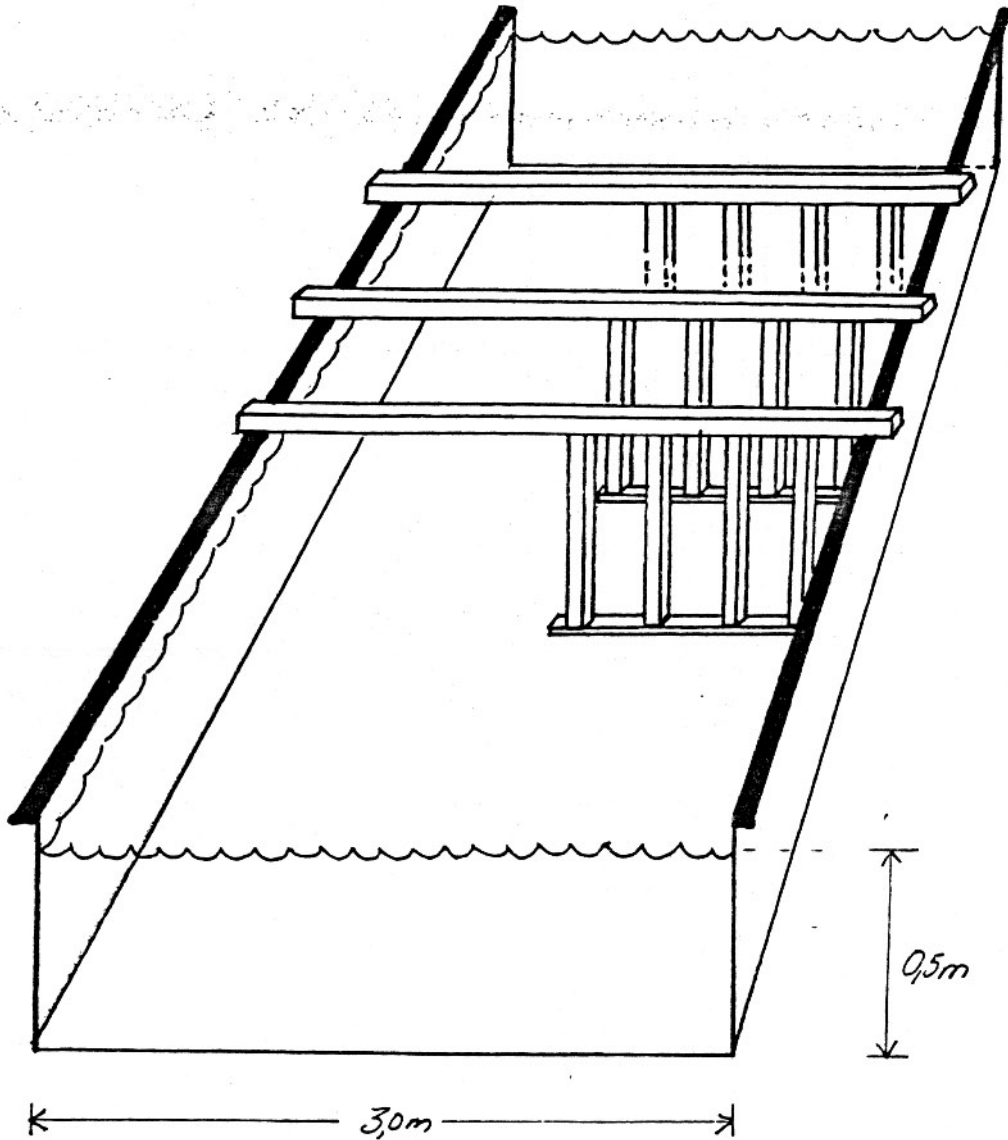


Fig. 4.1 Principskiss. Modell av musselodling

För att mäta strömhastigheten användes flyglar som placerades på 1/3 av djupet från ytan räknat. Med ett räkneverk och stoppur registrerades varvtalet för flygelns propeller och en kalibreringsformel som är unik för varje propeller användes för att få fram den aktuella strömhastigheten.

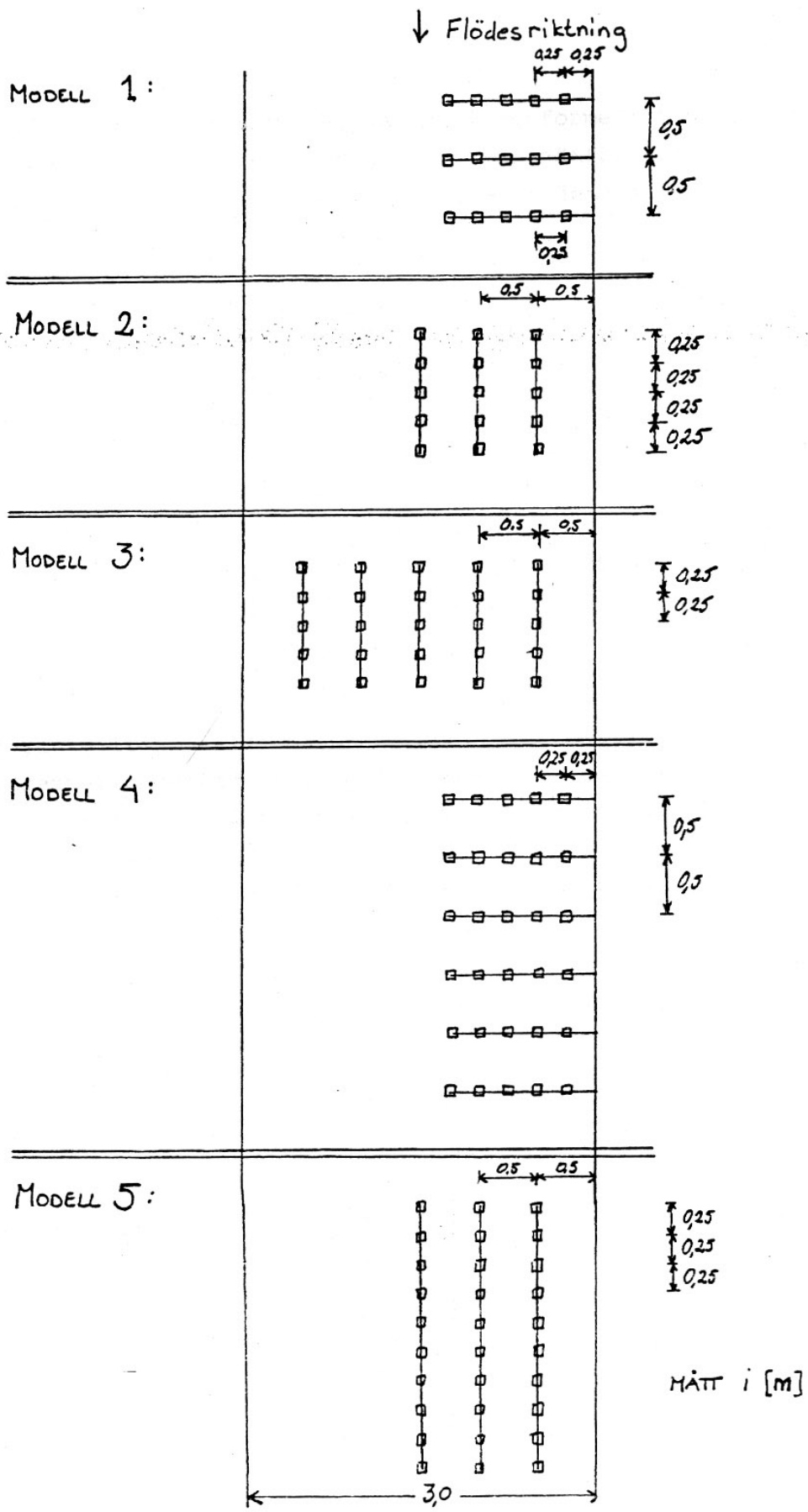


Fig. 4.2 Utformning av de modeller som används i mätprogrammet.
(sett uppifrån)

Vid låga hastigheter kan ej kalibreringsformeln ge tillräcklig noggrannhet i absoluta hastigheter, men jämförelser med hastigheter i andra punkter vid samma flöde är ändå möjliga.

För att beskriva strömförhållandena användes färg, som injicerades vid vattenytan. Färgens rörelse och utspädning observerades visuellt och beskrivningar av färgens väg genom odlingen har gjorts mha anteckningar och skisser. Denna metod blir därför subjektiv.

4.4 Utförande

För att få fram ett lämpligt mätprogram användes först en testmodell. På denna testmodell prövades mätutrustningen, olika modelluppställningar, mätpunkter och injiceringsätt för färgspårning.

Det slutgiltigt valda mätprogrammet blev enligt följande: Mätprogrammet omfattade fem odlingsmodeller, se fig. 4.2. Varje modell testades vid tre olika flöden inom området $3000 < Re < 15000$. Motsvarande strömhastigheter är enligt kap. 4.2 i en verklig odling 2,0 - 10,0 cm/s och i modellen 7,0 - 35,0 cm/s.

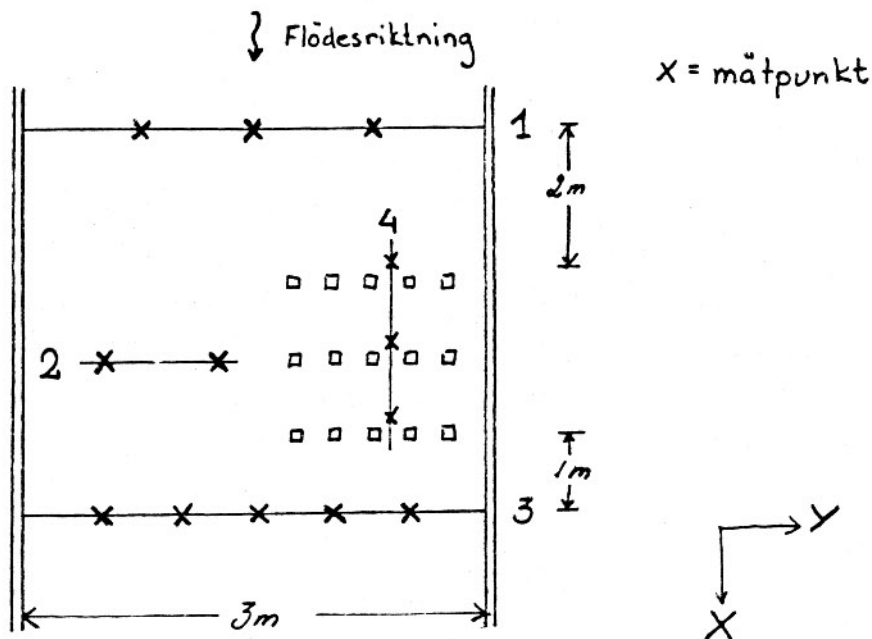


Fig. 4.3 Principskiss av de linjer längs vilka flödesmätning mha flyglar gjordes (x = mätpunkt)

För varje modell och flöde i rännan mättes mha flyglar ström-
hastigheten längs fyra linjer, se fig. 4.3, dels vinkelrätt
strömriktningen uppströms och nedströms odlingen och i sundet
bredvid odlingen dels parallellt med strömriktningen genom
odlingen.

Slutligen injicerades flera färgsträngar tvärs rännan, ritades
av och beskrevs.

4.5 Resultat av strömmätningar

Resultatet av strömmätningarna för varje modell och för tre
olika flöden vardera redovisas i bilaga 1. Figurerna i bilaga 1
visar rännan ritad uppifrån, med uppmätta strömhastigheter an-
givna i cm/s vid olika flöden, dvs för olika Reynolds tal. Flö-
dets riktning visas av flödespil.

I modell 1, se bilaga 1.1 är träreglarna tätt placerade vinkel-
rätt strömriktningen. Nedströms odlingen är strömhastigheten
lägre än i sundet, vilket betyder att träreglarna bromsar vatt-
net. Den bromsade vattenmängden som skulle passera genom od-
lingen passerar i stället i sundet, vilket bekräftas av den
högre strömhastigheten närmast odlingen. Nedströms odlingen
i sundet förskjuts den högre hastigheten åt vänster jämfört
med förhållandet i sundet.

Modell 2, se bilaga 1.2, består av träreglar placerade glest
vinkelrätt strömriktningen. Till skillnad från modell 1 är
strömhastigheten nedströms odlingen mycket varierande beroende
på om mätpunkten nedströms är placerad bakom eller mellan od-
lingsraderna. Vid det lägre flödet kunde ingen strömhastighet
uppmätas bakom odlingsraderna då den var mindre eller lika
med starthastigheten för flyglarna. Starthastigheten är unge-
fär 4 cm/s. Vid beräkning av medelhastigheten nedströms an-
vänds starthastigheten då mätvärde saknas, vilket visade sig
riktigt jämfört med medelhastigheten uppströms. Denna uppställ-
ning bromsar ej vattnet mellan odlingsraderna utan endast lo-
kalt bakom dessa.

I modell 3, se bilaga 1.3, är odlingsraderna placerade glest vinkelrätt strömriktningen, som i modell 2 och odlingsraderna täcker hela rännan. Likheter i resultatet jämfört med föregående modell är också stora.

Nedströms odlingen är strömhastigheten låg om mätpunkten är bakom en odlingsrad och hög om mätpunkten är mellan två odlingsrader.

I modell 4, se bilaga 1.4 och 1.5, är odlingsraderna placerade tätt vinkelrätt strömriktningen, som i modell 1. Skillnaden är att odlingsraderna är dubbelt så långa som i modell 1. Strömhastigheten nedströms visar tydligt hur odlingen bromsar vattnet. Nedströms sundet är strömhastigheten betydligt högre. Jämfört med modell 1 bromsas vattnet i större grad och mindre del av vattnet passerar genom odlingen.

I modell 5, se 1.6 och 1.7, har de glesa odlingsraderna förlängts till dubbla längden jämfört med modell 2. Resultatet av mätningen på denna modell bekräftar resultatet från modell 2.

Odlingen bromsar endast vattnet lokalt bakom odlingsraderna, mellan odlingsraderna är strömhastigheten högre. Strömhastigheten nedströms i sundet tyder på att odlingen ej bromsar vattnet i samma grad som när odlingsraderna är tätt placerade. Jämfört med modell 2 bromsas vattnet i större grad och mindre del av vattnet passerar genom odlingen.

Resultaten av strömmätningarna visar att flödet uppströms odlingen ej är jämnt fördelat över bredden på rännan. För att kontrollera om detta berodde på närvaro av modellen mättes även flödet uppströms utan modell i rännan, se fig. 4.4.

Vid det låga flödet är strömhastigheten utan modell snedfördelad med högre hastighet i högra delen av rännan, vilket överensstämmer med resultaten från strömmätningar med modell.

Vid det högre flödet är strömhastigheten utan modell jämnt fördelat och med modell snedfördelat med högre hastighet i högra delen av rännan. Vid mycket låga flöden är strömhastigheten

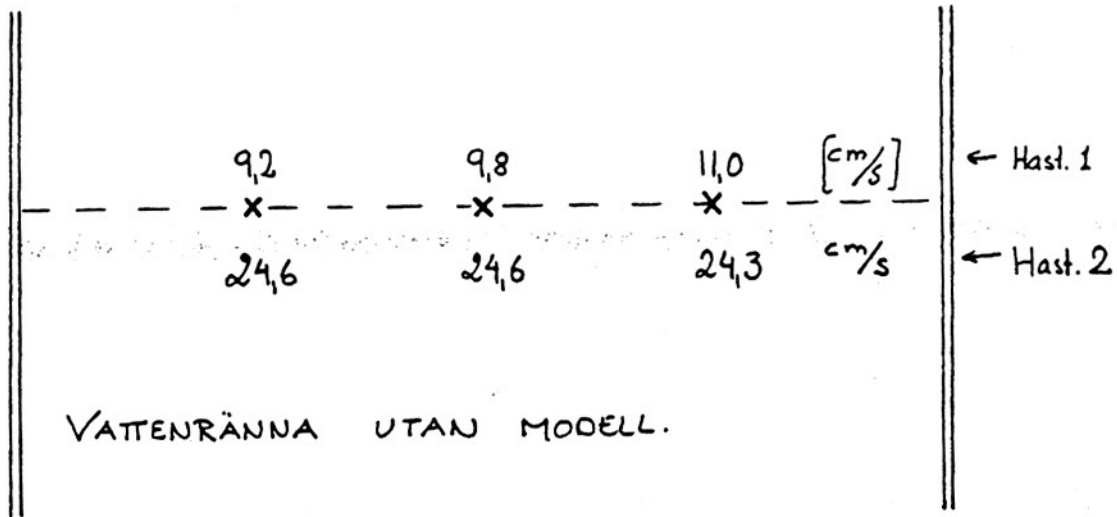


Fig. 4.4 Strömhastigheten i cm/s uppströms rännan utan modell, för två olika flöden

ströms med modell varierande.

Skillnaden i uppströms hastighetsfördelning är ej entydiga, varför ingen bestämd slutsats om vilken inverkan detta får på strömningen i musselodlingsmodellerna.

För att åskådliggöra resultaten av strömmätningarna har diagram som redovisas i bilaga 2 och 3 samt figur 4.5 uppritats. Nedan följer en beskrivning av diagrammen.

Strömhastigheten mellan odlingsraderna längs strömriktningen (linje 4, se fig. 4.3) i förhållande till strömhastigheten uppströms åskådliggörs i bilaga 2. Varje modell redovisas i ett diagram för tre flöden.

Reglarnas läge längs med strömriktningen har inritats längs x-axeln. För modell 2,3 och 5 med glest placerade rader av regler vinkelrätt strömriktningen ökar hastigheten längs odlingen medan det motsatta gäller för modell 1 och 4 med tätt placerade rader vinkelrätt strömriktningen. Ingen markant skillnad för olika Reynolds tal kan påvisas.

DEL AV FLÖDET UPPSTRÖMS
SOM PASSERAR ODLINGEN i %.

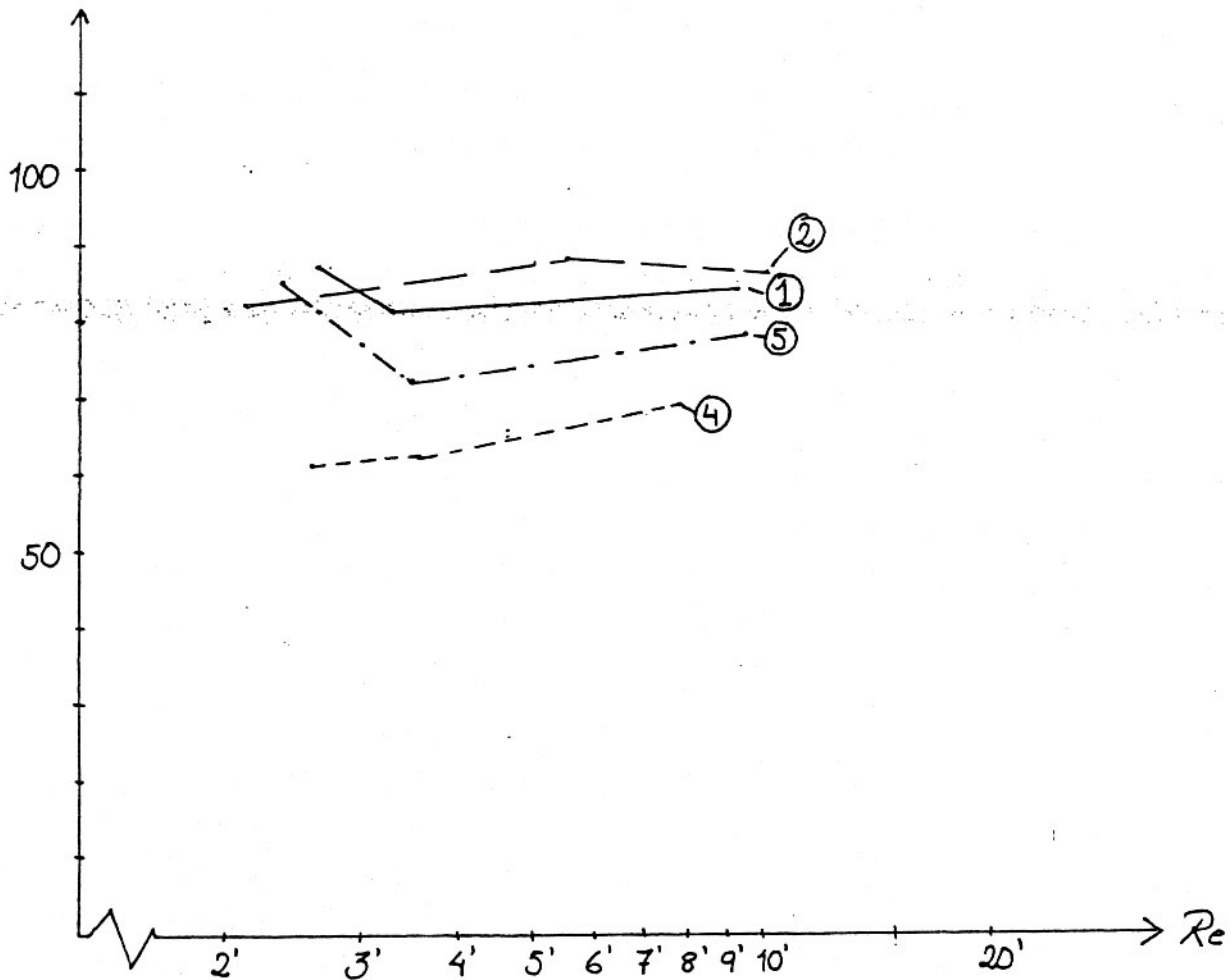


Fig. 4.5 Vattenmängden som passerar odlingen nedströms i % av den ursprungliga vattenmängden uppströms för olika Re och olika modeller

På motsvarande sätt har strömhastigheten nedströms vinkelrätt rännan (linje 3, se fig. 4.3) i förhållande till medelhastigheten uppströms åskådliggjorts i bilaga 3. Varje diagram redovisar resultaten för en modell och tre flöden. Reglarnas läge vinkelrätt strömriktningen har inritats längs y-axeln.

Då reglarna är tätt placerade, modell 1 och 4, är strömhastigheten högre nedströms sundet än nedströms odlingen. Effekten är betydligt mera markerad i den längre odlingen, modell 4, där strömhastigheten är 20% större än i den kortare, modell 1.

I modell 2,3 och 5 kan man tydligt se hur strömhastigheten minskar bakom odlingsraderna. Nedströms sundet och mellan odlingsraderna är strömhastigheten av samma storleksordning. Medelhastigheten nedströms odlingen minskar dock med 10-20% och

motsvarande ökning sker nedströms sundet. Även här kan ingen markant skillnad för olika Reynolds tal påvisas.

Hur stor del av flödet uppströms som passerar odlingen kan studeras i diagram 4.5. Då hänsyn måste tas till storleken på odlingen kan modell 1 jämföras med modell 2 och modell 4 jämföras med modell 5. Man ser då att i modell 1 där reglarna är täta i strömriktningen passerar 5-10% mindre del av flödet odlingen än i modell 2 där reglarna är glesa. I de längre modellerna passerar 10-15% mindre del av flödet genom modell 4 med tätt placerade regler än i modell 5 med glest placerade regler.

4.6 Resultat av färginjicering

Resultatet av färginjiceringen presenteras med hjälp av skisser och tillhörande kommentarer. Färginjiceringen bör kompletteras med fältförsök för att kontrollera hur musslorna kan påverka strömningen genom sin förmåga att åstadkomma en ström genom mantelhålan.

Modell: 1

Färgens väg genom rännan för denna modell visar att flödet passerar sundet relativt ostört. Närmast odlingen ökar strömhastigheten något jämfört med mitt i sundet.

Den färg som passerar genom odlingen störs av "odlingsrepen", vilka alstrar turbulens så att färgen upplöses till ett diffust fält. Bakom "odlingsrepen" bildas virvlar som blir kraftigare med ökat flöde.

Om ett koncentrerat färgpaket släpps i odlingsraden närmast sundet kan man se att färgen strävar efter att rinna ut i sundet.

Skillnaden mellan de olika flödena är ej påtaglig förutom att färgpaketet passerar rännan fortare vid stora flöden och att då även virvelbildningarna bakom odlingsrepen blir kraftigare.

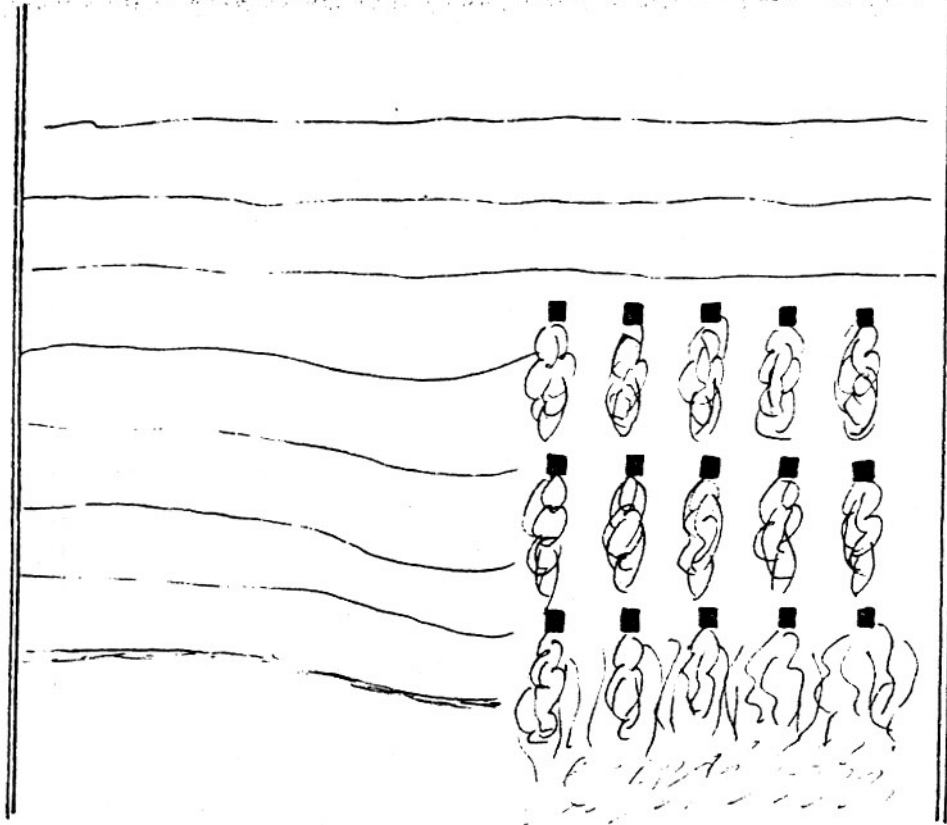


Fig. 4.6 Modell 1, färginjicering

Modell: 2

I denna modell där odlingsrepen är glest placerade i strömriktningen passerar färgpaketet relativt ostört emellan mussektionerna.

Bakom odlingsrepen bildas även i denna modell virvlar, vilka blir kraftigare vid ökat flöde. Dessa virvlar påverkar dock inte färgpaketet som passerar mellan odlingsraderna i samma grad som i modell 1.

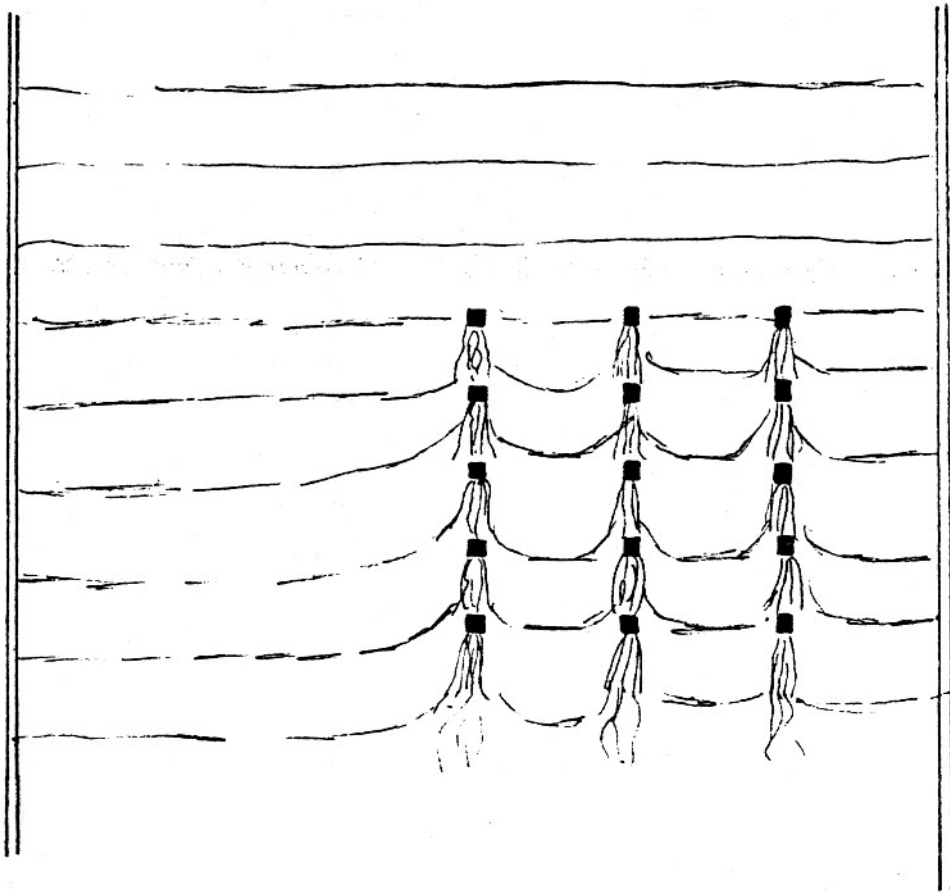


Fig. 4.7 Modell 2, färginjicering

Modell: 3

I denna modell där hela rännan används till "odling" av samma utseende som modell 2 är likheterna med denna stora. Färgpaketet passerar på liknande sätt här, men är symmetrisk m a p mitten. Mellan odlingsrepen är strömningen relativt ostörd, även vid stora flöden.

Bakom odlingsrepen bildas stråk av virvlar vilka blir kraftigare med ökat flöde.

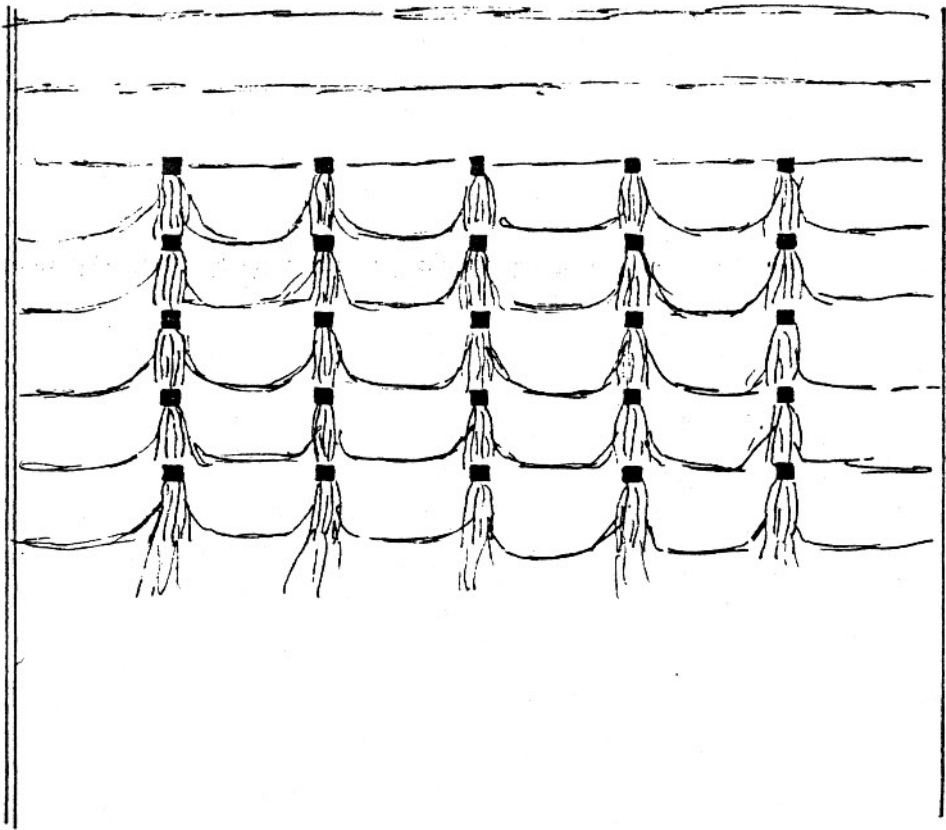


Fig. 4.8 Modell 3, färginjicering

Modell: 4

Denna modell är byggd med samma princip som modell 1, men här har antalet musselsektioner fördubblats. Den färg som passerar genom odlingen upplöses till ett diffust färgområde. Man kan iakttaga att den färg som släpps ut i "odlingsraden" närmast sundet strävar efter att rinna ut i sundet.

Bakom "odlingsrepen" utbildas även i denna modell virvlar som blir kraftigare vid ökat flöde. Från mitten av odlingen är flödet kraftigt turbulent över hela odlingens bredd. Den färg som passerar närmast odlingen i sundet rör sig snabbare än i övriga sundet. Händelseförloppet vid jämförelse med olika flöden är till synes lika förutom hastigheten.

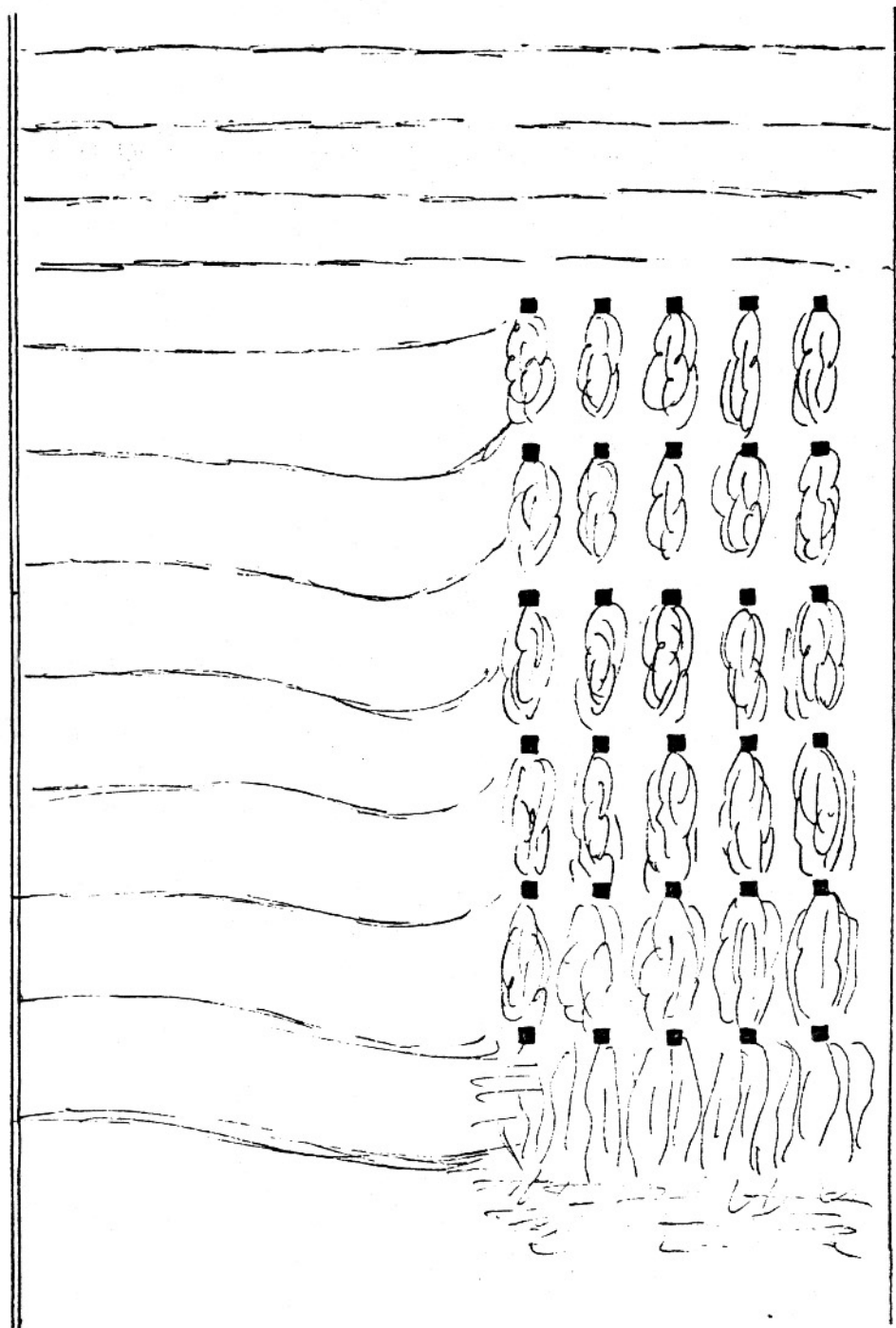


Fig. 4.9 Modell 4, färginjicering

Modell: 5

Denna modell är i princip uppbyggd som modell 2, men här har musselsektionerna förlängts till dubbla längden. Likheten i resultat jämfört med modell 2 är stor.

Färgpaketen passerar även här relativt ostört mellan odlingsraderna oberoende av flödet. Virvelbildningarna bakom odlingsrepen ökar med flödet och bildar ett sammanhängande stråk. Mot slutet av odlingen har färgen blandats till ett diffust fält.

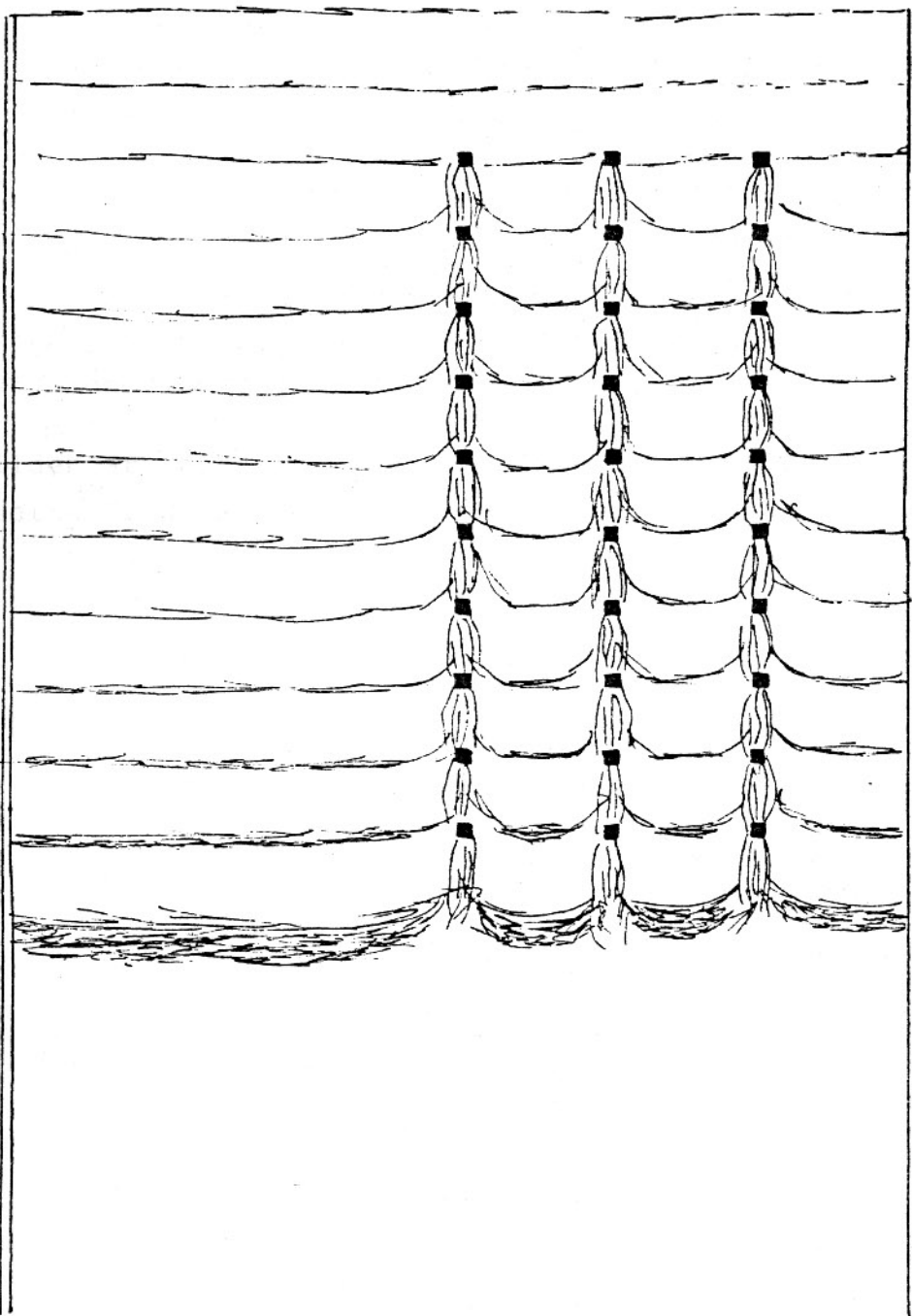


Fig. 4.10 Modell 5, färginjicering

4.7 Jämförelse av resultaten från strömmätningar med resultat från färginjicering

Resultaten från strömmätningar och färginjicering överensstämmer väl och ger en entydig bild av strömförhållandena genom de olika musselodlingsmodellerna.

Glest placerade regler ger ett jämnt flöde mellan odlingsraderna. Odlingsrepen påverkar i detta fall endast flödet lokalt bakom repen där stråk av virvlar bildas. Denna uppställning utgör inget större hinder för vattnet att passera genom odlingen. Huvuddelen av flödet synes dock passera mellan odlingsraderna utan att komma i kontakt med dessa.

Då reglarna placeras tätt tvärs strömriktningen, utgör de ett större hinder och bromsar vattnet som vill passera. Inom hela odlingen blir flödet kraftigt turbulent. En del av det vatten som skulle passerat genom odlingen passerar nu i sundet där högre strömhastighet erhålls.

Strömbilden är relativt sett oberoende av Reynolds tal, både då reglarna är glest och tätt placerade.

5. DISKUSSION

I detta kapitel kommer resultaten att sammanställas och synpunkter ges på hur en odling bör utformas.

Då odlingsrepen placeras tätt vinkelrätt strömriktningen blandas och störs vattnet som passerar genom odlingen och musslorna kommer i kontakt med större del av den genom odlingen passerande vattenmassan. Det optimala avståndet x mellan odlingsrepen vinkelrätt strömriktningen för att erhålla ett turbulent flöde i hela odlingen ligger inom intervallet $5d < x < 10d$, troligen närmare den nedre gränsen. d är diametern på ett odlingsrep.

Ett bättre sätt att få ett turbulent flöde i odlingen kan vara att placera odlingsrepen i zick-zack, men detta har inte närmare undersökts.

Då odlingsrepen placeras glest vinkelrätt strömriktningen synes huvuddelen av flödet passera mellan odlingsraderna utan att i någon större utsträckning komma i kontakt med dessa. Detta betyder att trots att en större del av totala vattenflödet passerar odlingen då reglarna är glest placerade än i fallet tätt placerade regler, borde glest placerade regler vara en nackdel, näringsmässigt sett.

Man bör sträva efter att få ett turbulent flöde genom odlingen, då vattenflödet störs och blandas. Musslorna ges då en större möjlighet att utnyttja näringen i större del av vattenmassan.

Strömbilden i stort visade sig vara relativt oberoende av Reynolds tal inom hastighetsområdet $2500 < Re < 13000$ och därför finns det alltid en utformning av musselodling som är optimal oberoende av Reynolds tal.

Den interna strömningen inne i odlingen påverkas i viss mån av Reynolds tal så att turbulensen som uppstår pga odlingsrepen blir kraftigare vid ökande Re . Därigenom och genom den ökade tillförseln fås något större förutsättningar för närings- tillförseln till musslorna vid högre strömhastigheter.

Ytterligare fältundersökningar bör företas för att kontrollera skillnaden i musslornas tillväxt i olika utformningar av odlingen, detta pga musslornas egen förmåga att åstadkomma en ström genom sin mantelhåla.

6. LITTERATUR

- Cederwall, Klas, Larsen, Peter; Hydraulik för Väg- och Vattenbyggare, Liber Läromedel, Lund, 1976.
- CTH, Kompendium i Undervattensteknologi del 1, 1980.
- CTH, Institutionen för vattenbyggnad. Undervisnings-
skrift nr 1978:10, Tabell- och formelsamling i hydraulik
vattenbyggnad för V2.
- CTH, Institutionen för vattenbyggnad. Undervisnings-
skrift nr 1978:13, Laborationshandledning i hydraulik
och vattenbyggnad för V2 utarbetad av Torbjörn Svensson.
- Eklund, Uno, Haamer, Joel, Håkansson, Mats; Musselodling
i Europa samt förslag till ny teknik för kommande svensk
odling. CTH, GU, Geologiska institutionen, Publ. B44 1975.
- Kravspecifikation för ekologisk optimering av musselod-
lingar. Bilaga till ansökan om projektanslag från Riks-
bankens Jubileumsfond. 1980.
- Rouse, Engineering Hydraulics, Iowa, Institute of
Hydraulics Research. 1950.

Bilaga 1.1 - 1.7

Resultatet av strömmätningarna för varje modell och för tre olika flöden vardera.

Rännan är ritad uppifrån och vid varje mätpunkt (x) är hastigheten i cm/s skriven. Flödespilen markerar riktningen på flödet.

MODELL: 1

Flödesriktning

[cm/s]

$\begin{matrix} 6,4 \\ \times \end{matrix}$	$\begin{matrix} 6,2 \\ \times \end{matrix}$	$\begin{matrix} 5,7 \\ \times \end{matrix}$			6,1 medel
			$\begin{matrix} 5,6 \\ \times \\ \square \square \square \square \square \end{matrix}$		<u>Re = 2642</u>
$\begin{matrix} 6,7 \\ \times \end{matrix}$	$\begin{matrix} 7,1 \\ \times \end{matrix}$		$\begin{matrix} 6,3 \\ \times \\ \square \square \square \square \square \end{matrix}$		
			$\begin{matrix} 6,2 \\ \times \\ \square \square \square \square \square \end{matrix}$		
$\begin{matrix} \times \\ 7,2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times \\ 7,7 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times \\ 6,3 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times \\ 7,5 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times \\ 4,7 \end{matrix}$	6,0 medel
$\begin{matrix} 7,2 \\ \times \end{matrix}$	$\begin{matrix} 7,8 \\ \times \end{matrix}$	$\begin{matrix} 8,0 \\ \times \end{matrix}$			7,7 medel
			$\begin{matrix} 7,8 \\ \times \\ \square \square \square \square \square \end{matrix}$		<u>Re = 3343</u>
$\begin{matrix} 7,9 \\ \times \end{matrix}$	$\begin{matrix} 8,9 \\ \times \end{matrix}$		$\begin{matrix} 7,9 \\ \times \\ \square \square \square \square \square \end{matrix}$		
			$\begin{matrix} 7,5 \\ \times \\ \square \square \square \square \square \end{matrix}$		
$\begin{matrix} \times \\ 9,2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times \\ 9,5 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times \\ 8,1 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times \\ 6,4 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times \\ 7,1 \end{matrix}$	8,1 medel
$\begin{matrix} 20,2 \\ \times \end{matrix}$	$\begin{matrix} 21,5 \\ \times \end{matrix}$	$\begin{matrix} 22,5 \\ \times \end{matrix}$			21,4 medel
			$\begin{matrix} 20,7 \\ \times \\ \square \square \square \square \square \end{matrix}$		<u>Re = 9304</u>
$\begin{matrix} 23,4 \\ \times \end{matrix}$	$\begin{matrix} 24,4 \\ \times \end{matrix}$		$\begin{matrix} 21,9 \\ \times \\ \square \square \square \square \square \end{matrix}$		
			$\begin{matrix} 21,5 \\ \times \\ \square \square \square \square \square \end{matrix}$		
$\begin{matrix} \times \\ 25,0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times \\ 25,9 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times \\ 21,6 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times \\ 18,4 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times \\ 18,4 \end{matrix}$	21,9 medel

MODELL: 2

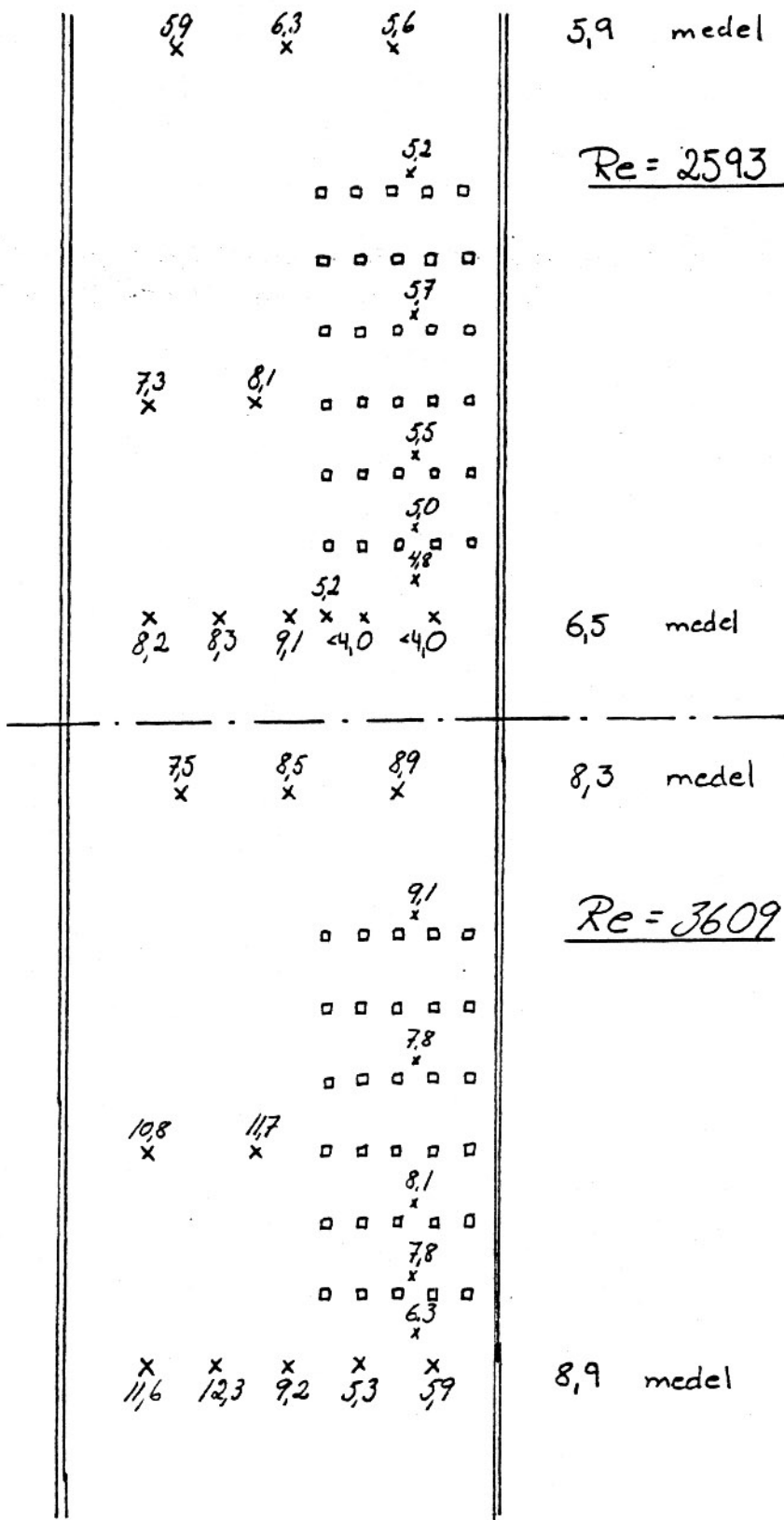
↓ Flödesriktning

[cm/s]

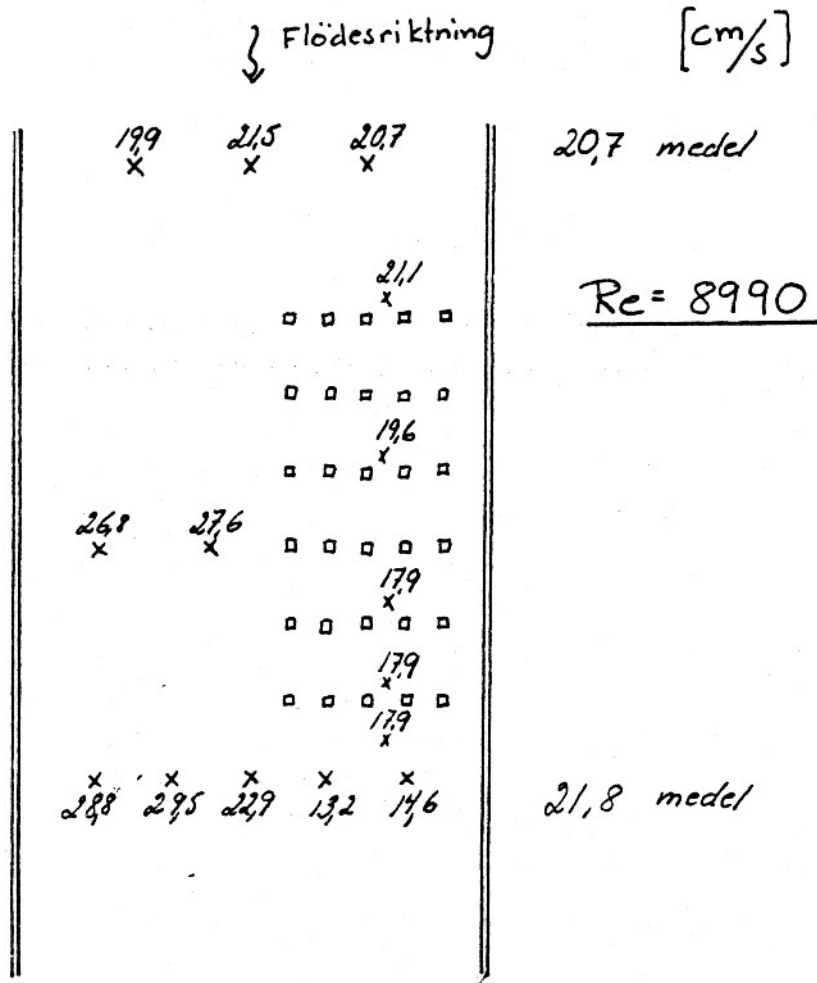
4,9 x	5,1 x	4,9 x	5,0 medel
5,7 x	5,1 x	□ □ 5,2 □ □ □ x □ □ □ 5,9 □ □ □ x □ □ □ 6,2 □ □ □ x □	<u>Re = 2174</u>
x 5,9	x 5,9	x 5,6 x x 4,0 x x 4,0 x x 5,9 x x 4,0 x	5,0 medel
12,8 x	12,6 x	13,5 x	13,0 medel
12,9 x	14,1 x	□ □ 14,6 □ □ □ x □ □ □ 15,5 □ □ □ x □ □ □ 16,0 □ □ □ x □	Re = 5652
x 14,4	x 14,1	x 14,5 x x 8,5 x x 9,3 x x 14,9 x x 10,2 x	12,3 medel
23,4 x	23,8 x	24,5 x	23,9 medel
25,7 x	26,7 x	□ □ 27,5 □ □ □ x □ □ □ 29,0 □ □ □ x □ □ □ 29,8 □ □ □ x □	Re = 10 391
x 26,8	x 26,9	x 27,0 x x 16,2 x x 17,4 x x 27,6 x x 19,1 x	23,0 medel

MODELL: 4

Flödesriktning $[cm/s]$



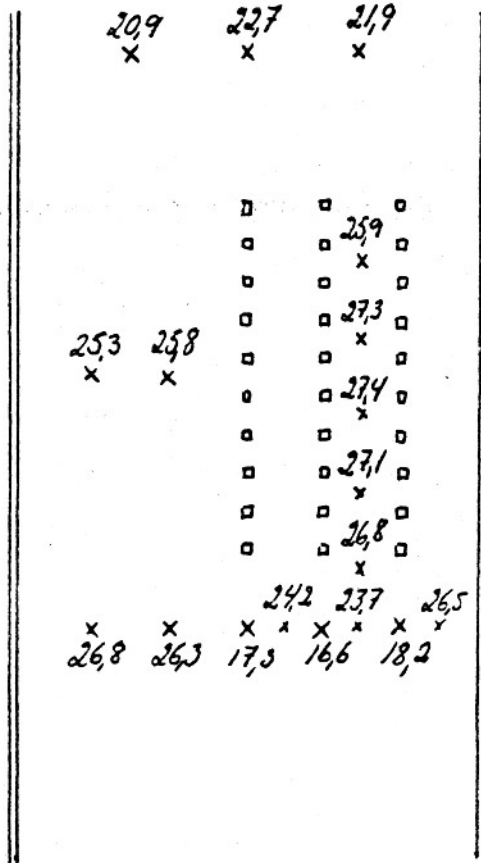
MODELL: 4



MODELL: 5

↓ Flödesriktning

[cm/s]



21,8 medel

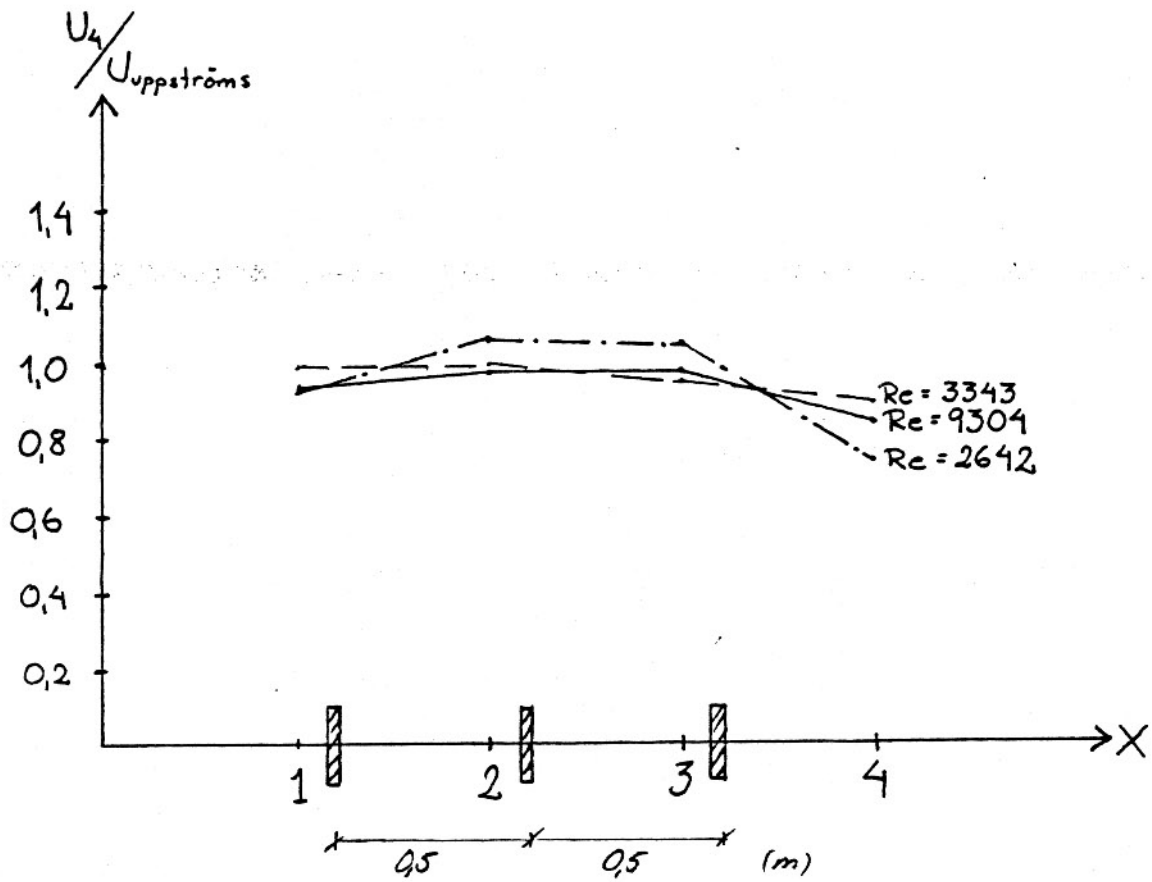
Re = 9497

22,4 medel

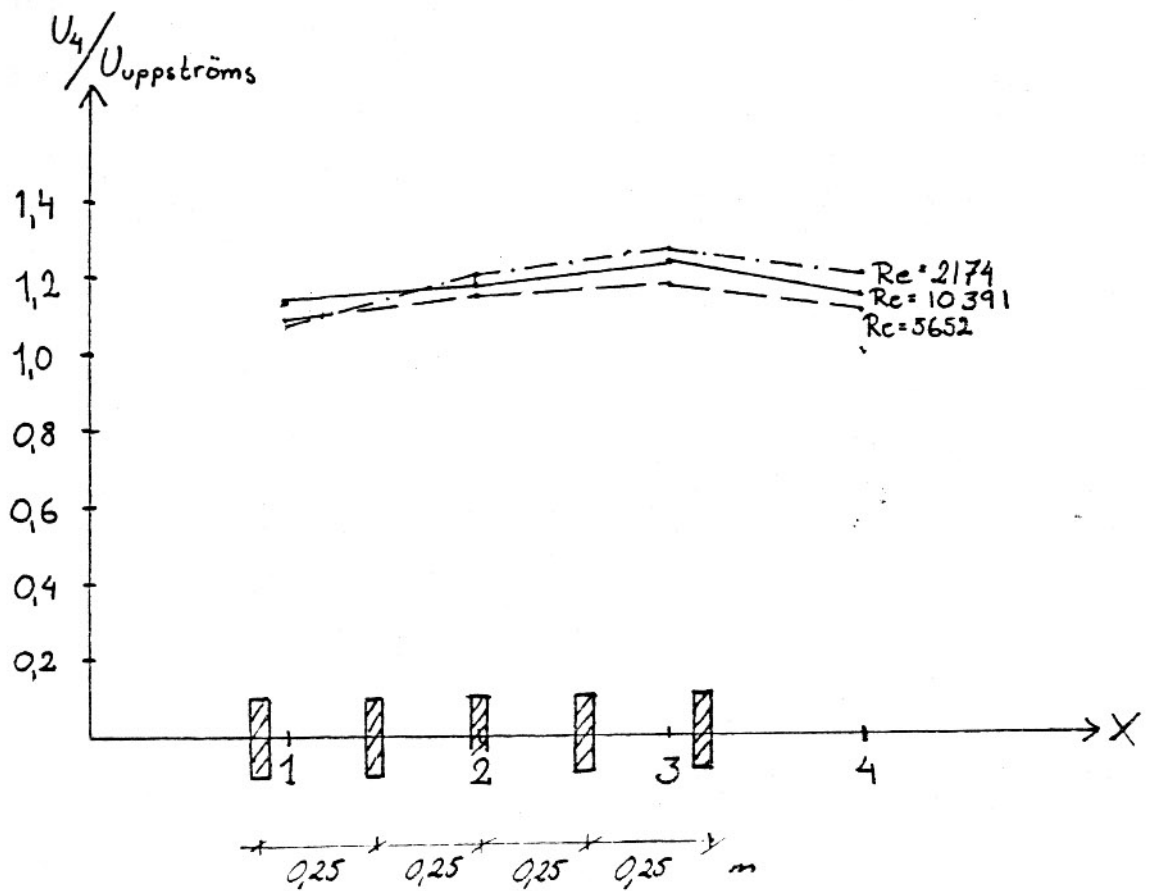
Bilaga 2.1 - 2.3

Diagrammen visar strömhastigheten genom odlingen parallellt med flödet relativt hastigheten uppströms som funktion av sträckan x genom odlingen för olika Re -tal.

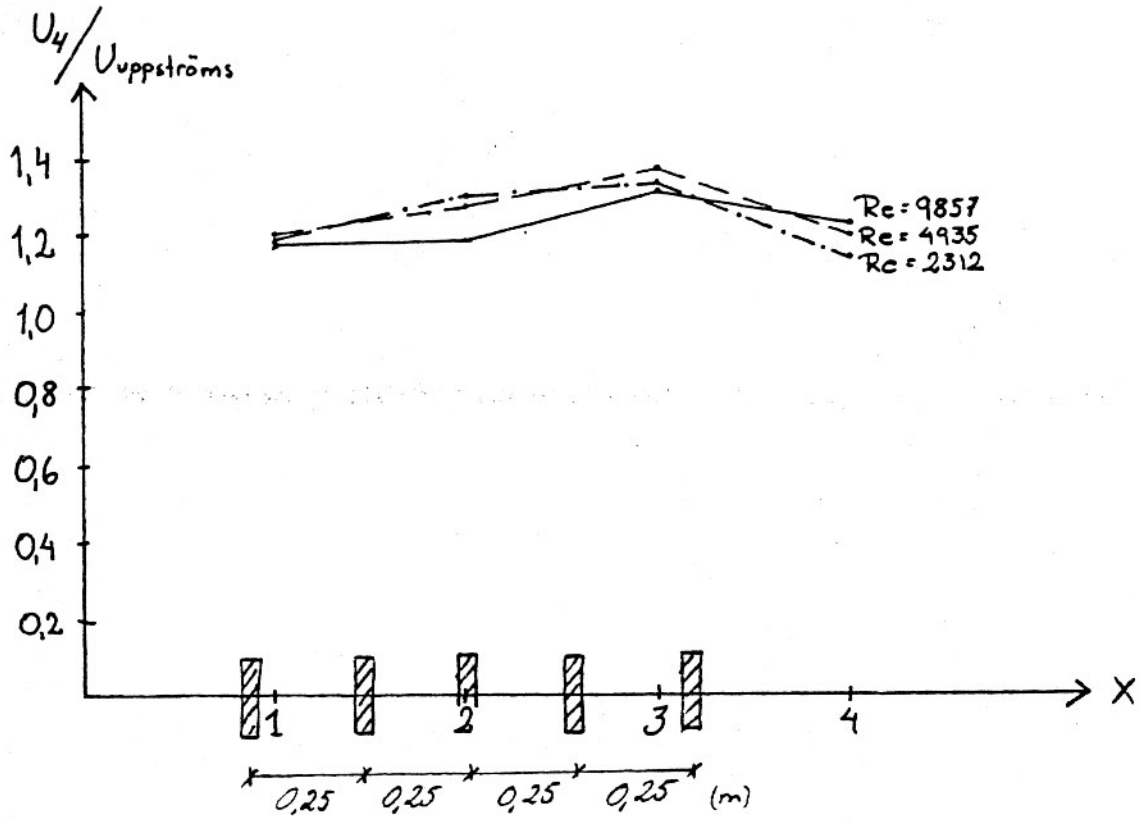
MODELL: 1



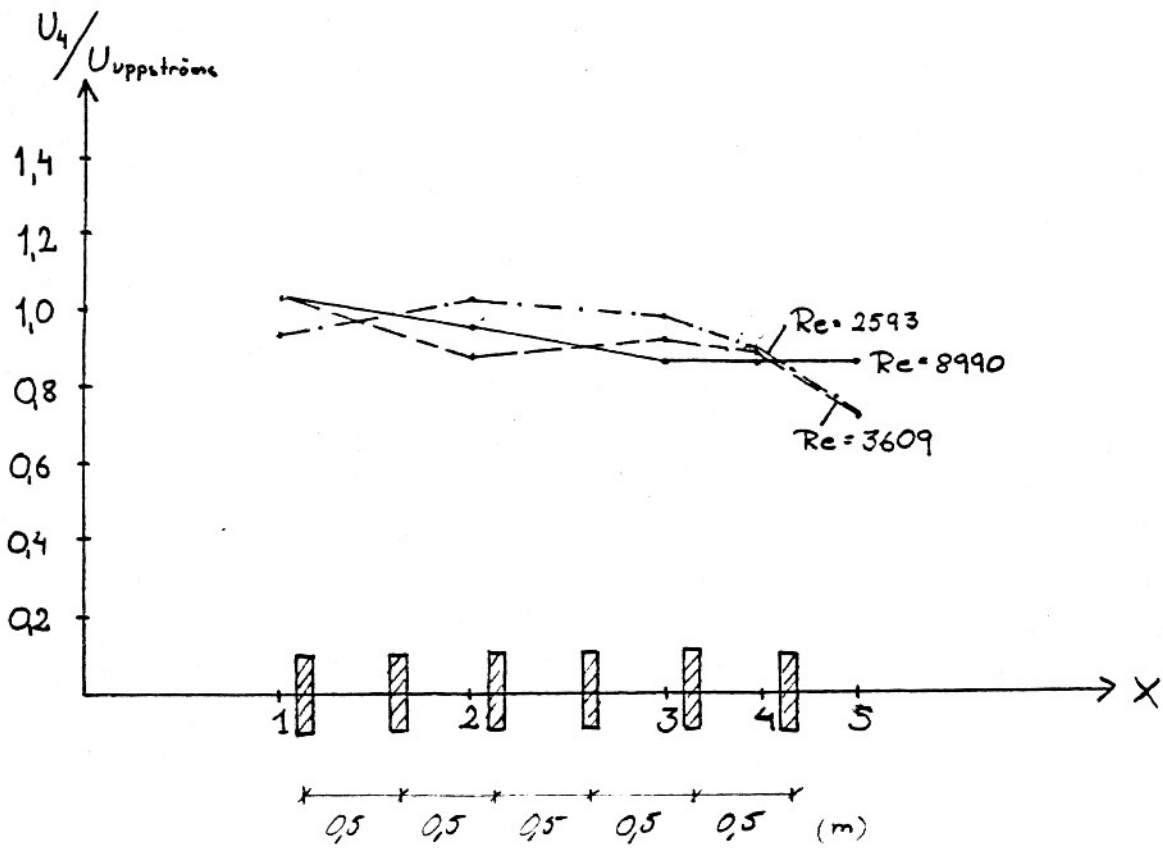
MODELL: 2

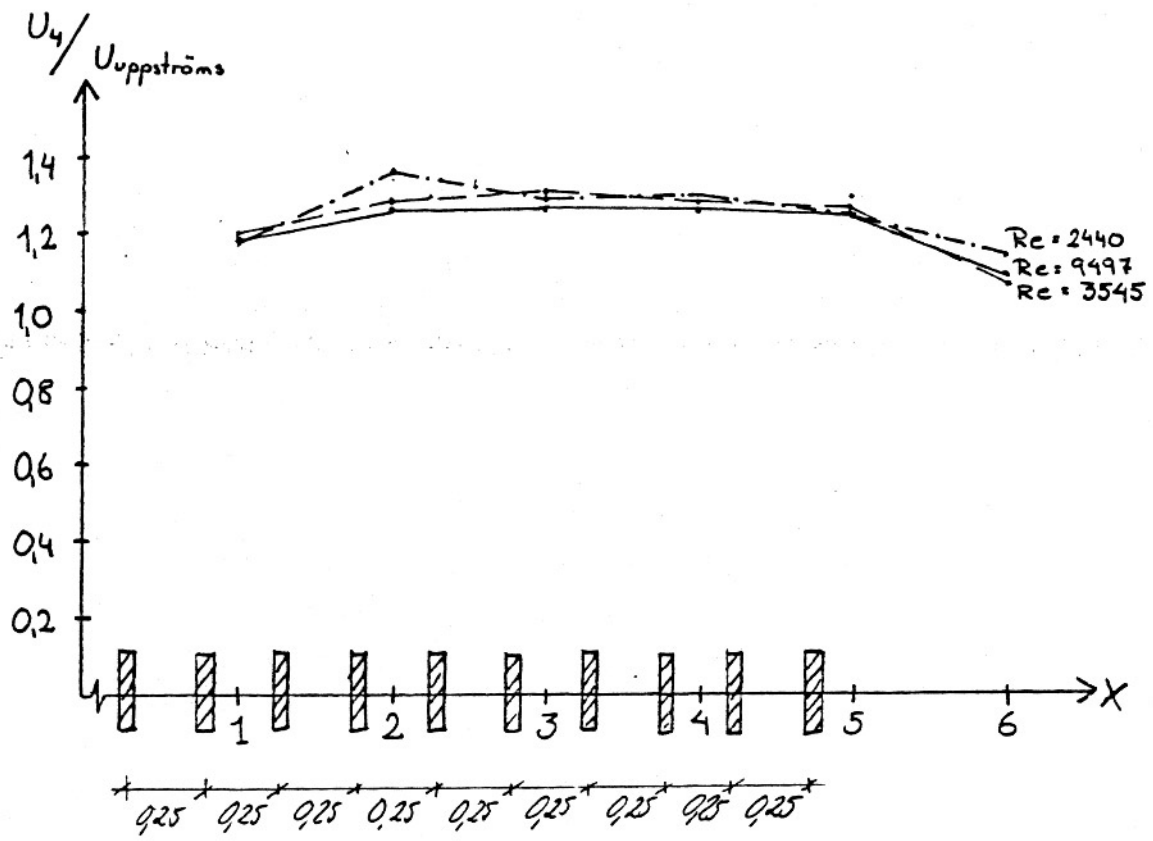


MODELL: 3



MODELL: 4

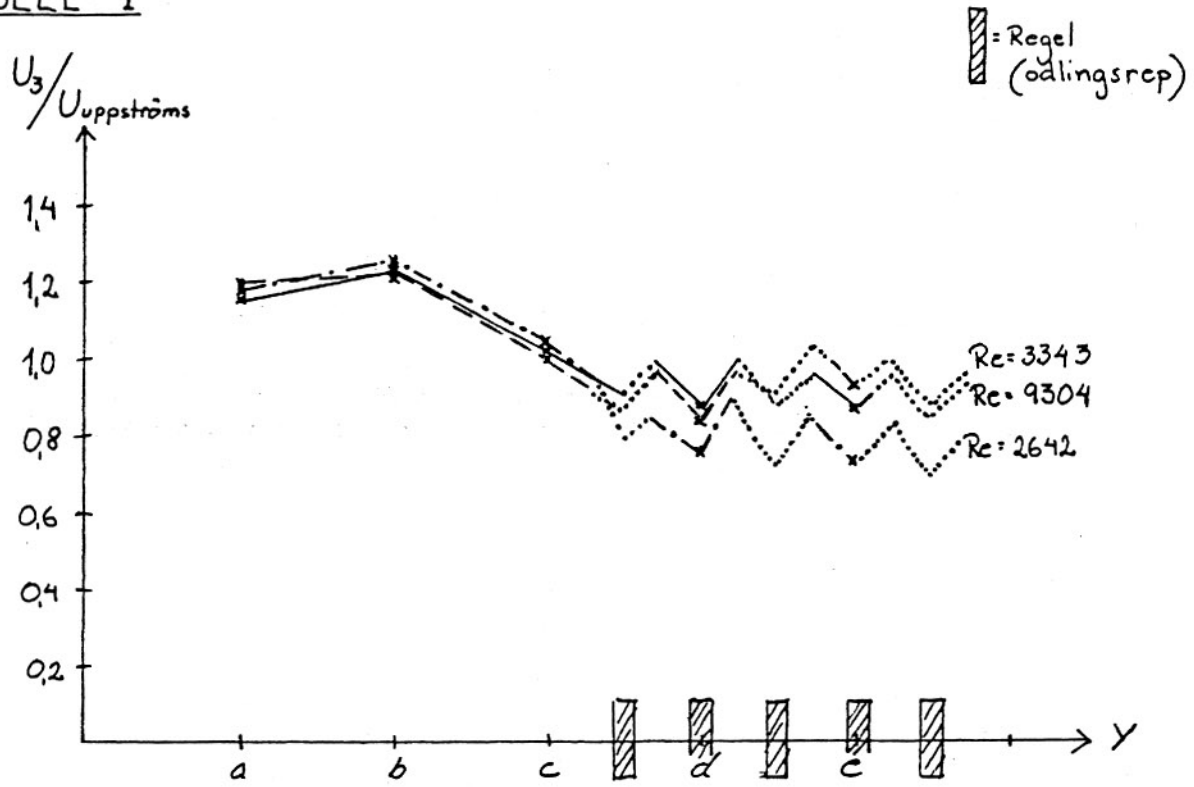


MODELL: 5

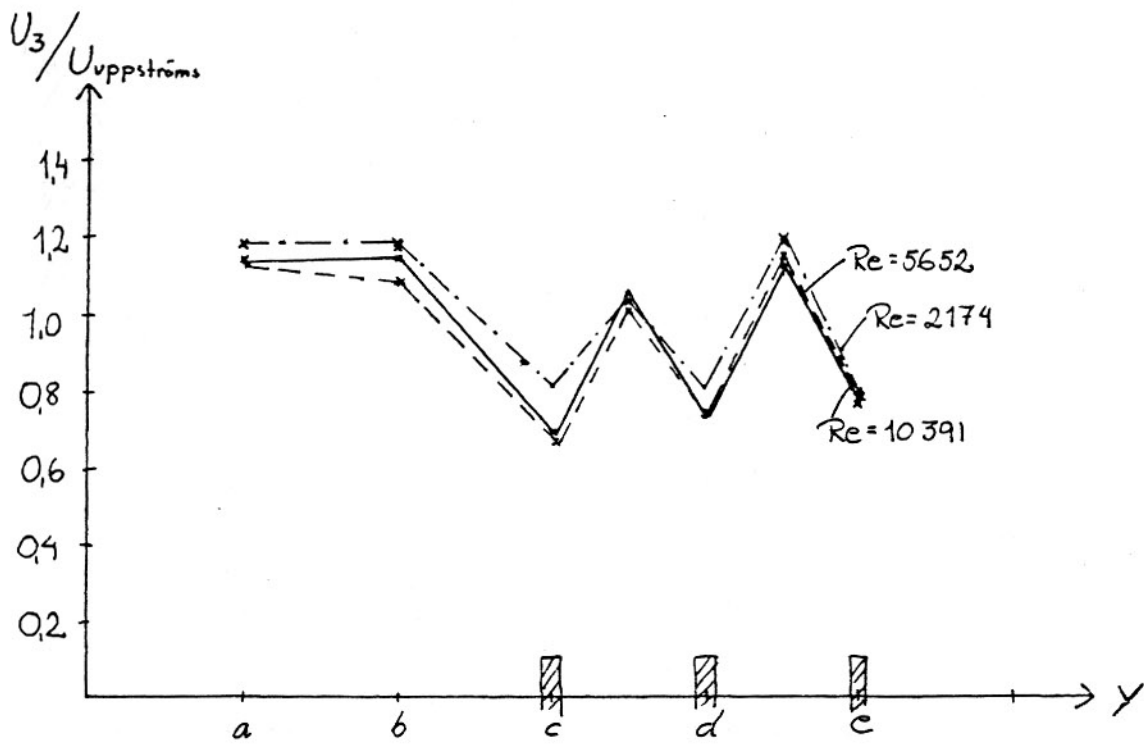
Bilaga 3.1 - 3.3

Diagrammen visar strömhastigheten nedströms relativt medelhastigheten uppströms som funktion av sträckan x vinkelrätt rännan för olika Re -tal.

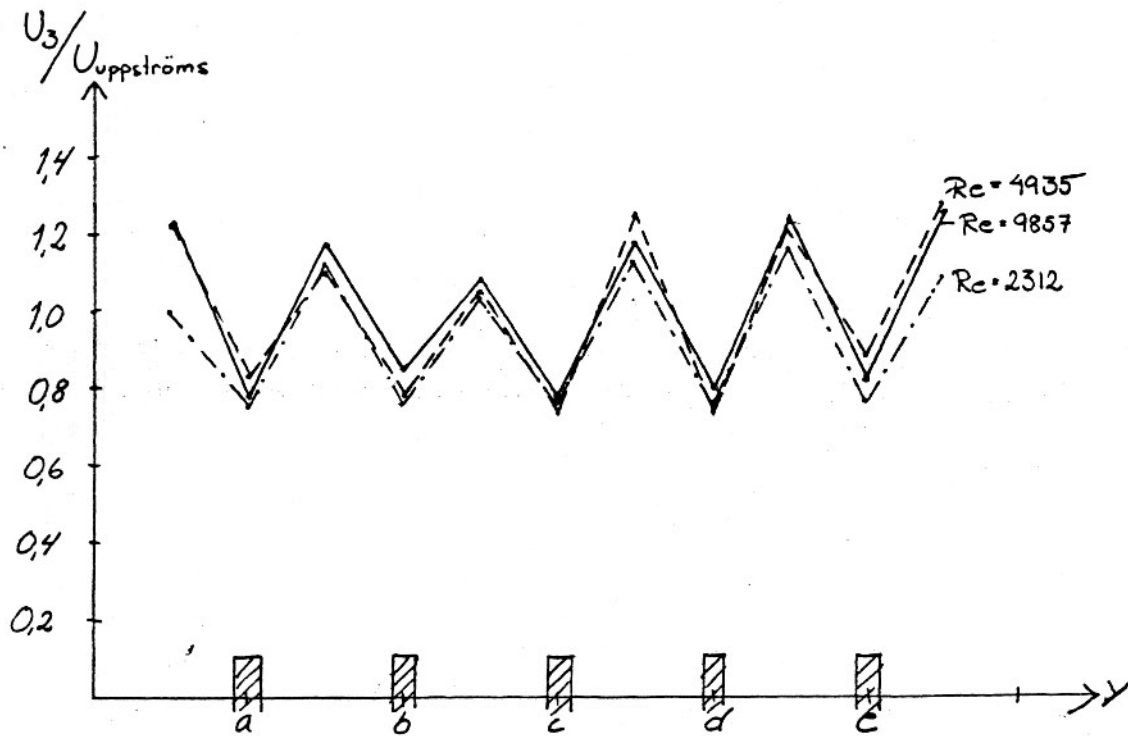
MODELL: 1



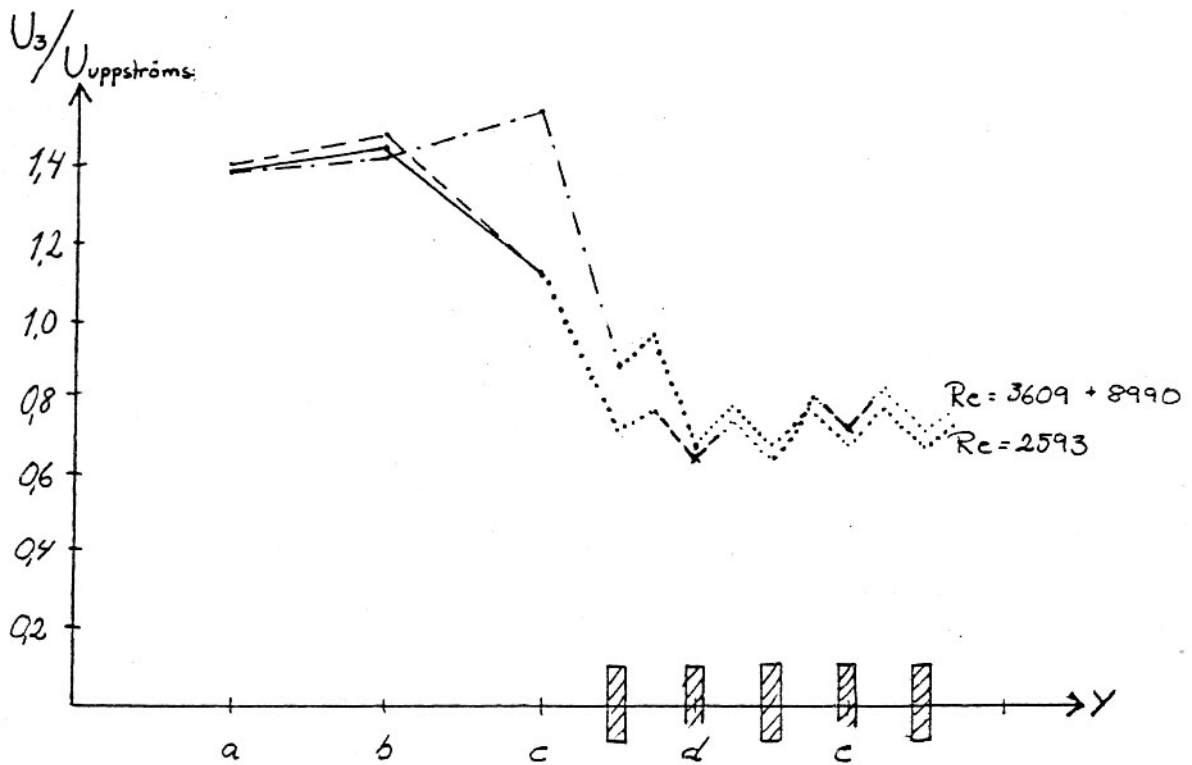
MODELL: 2



MODELL: 3



MODELL: 4



MODELL: 5