

Strömförhållanden i musselodlingar
Laboratorieförsök

av

Birgitta Kolmberger



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.

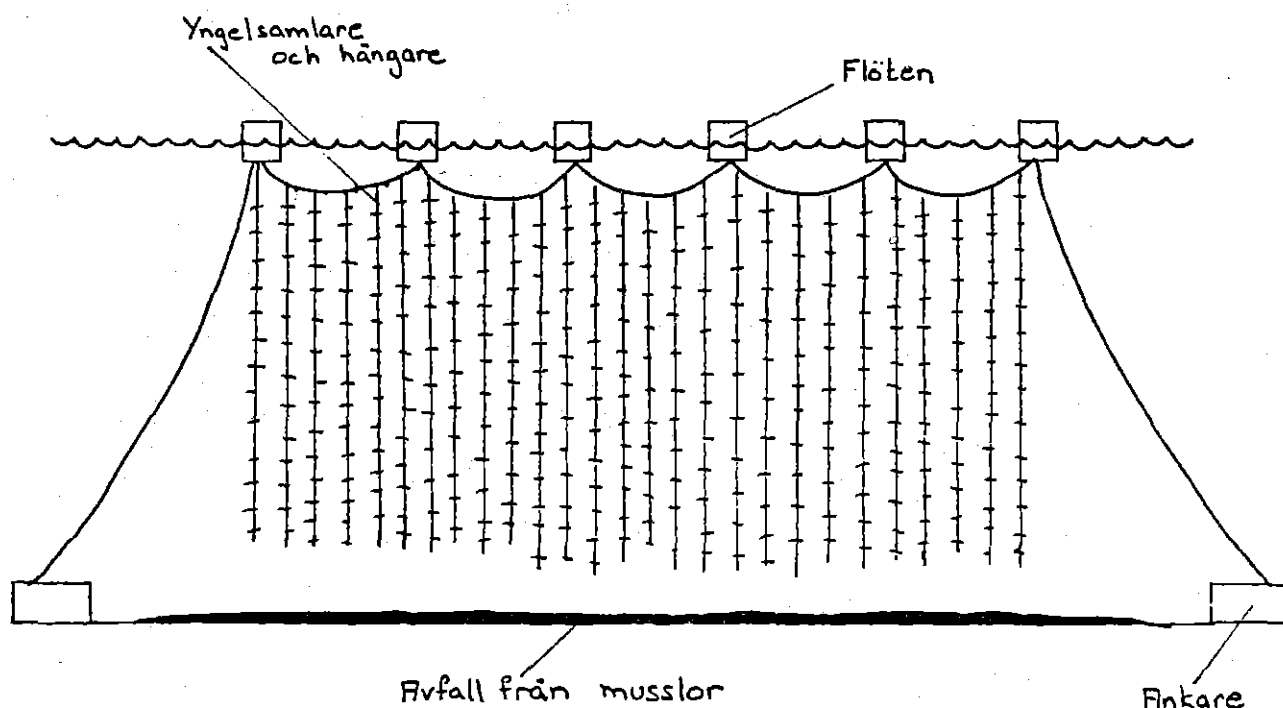


Fig. 1.1 Principskiss för long-line-odling

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 strömningsmotstånd 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

$$Re = \frac{U \cdot d}{\nu}$$

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.

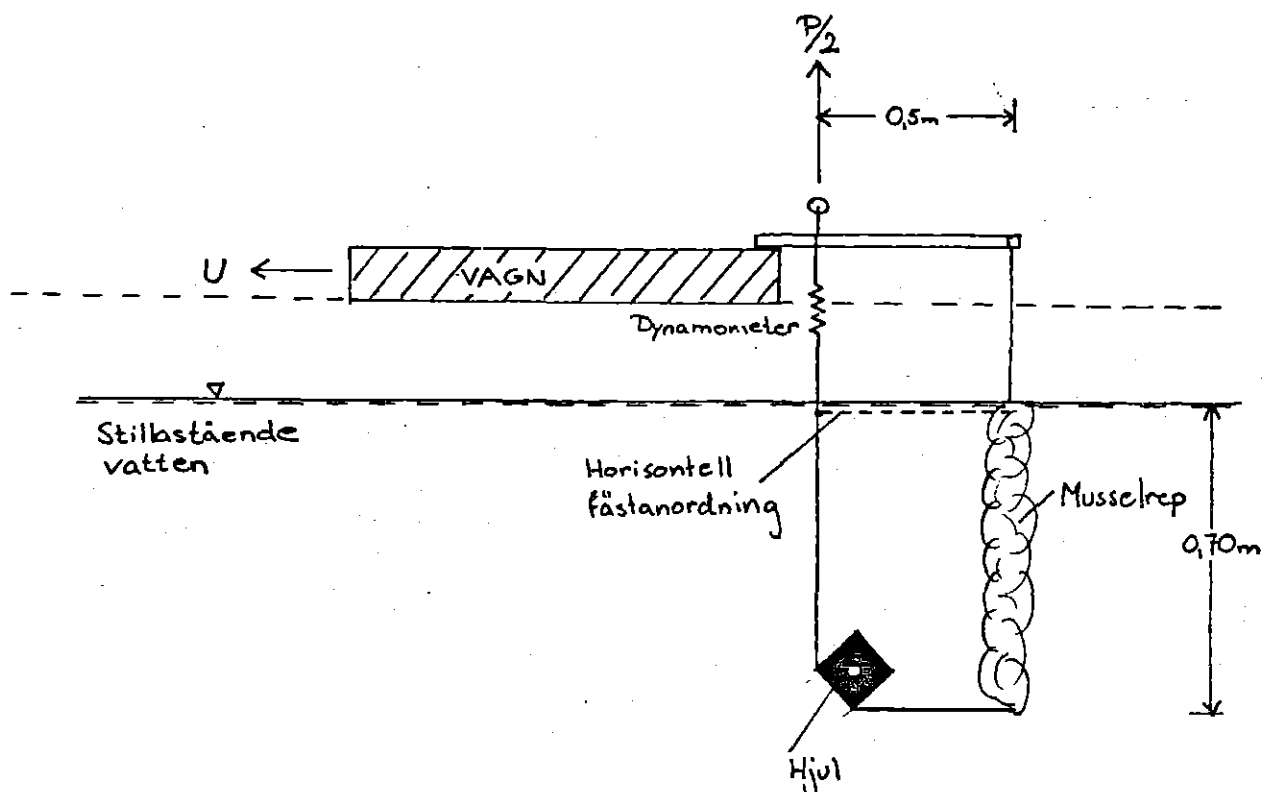


Fig. 3.1 Försöksutrustning för bestämning av rörelsemotståndet hos ett odlingsrep med levande musslor

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.

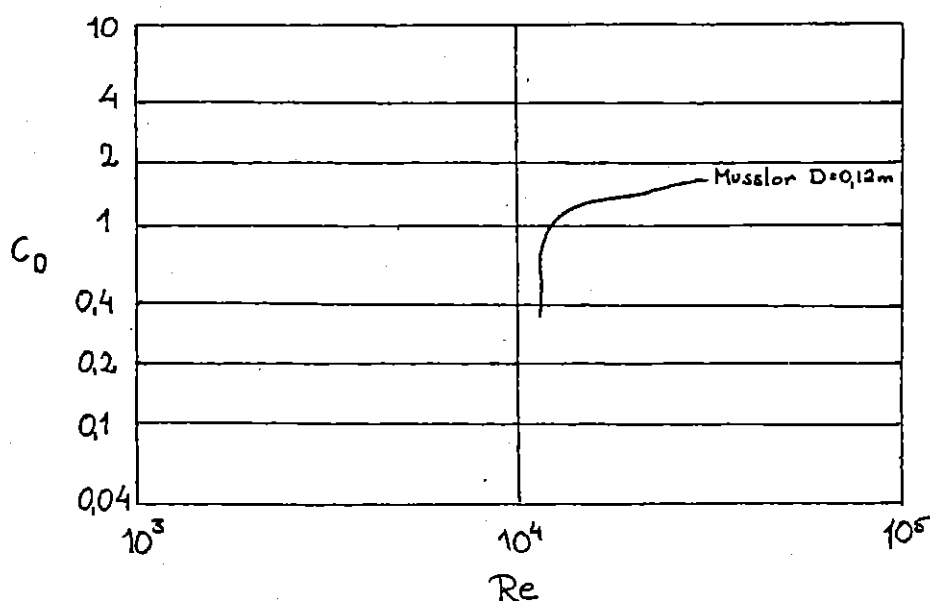


Diagram 3.2 Motståndskoefficienten C_D som funktion av Reynolds tal för ett odlingsrep med levande musslor

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 odlings-repet. 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]	$C_D = \frac{4P}{\rho \cdot L \cdot D \cdot U^2}$
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 Däily 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 laboratorium. 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. Strömningsmotstånd 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.

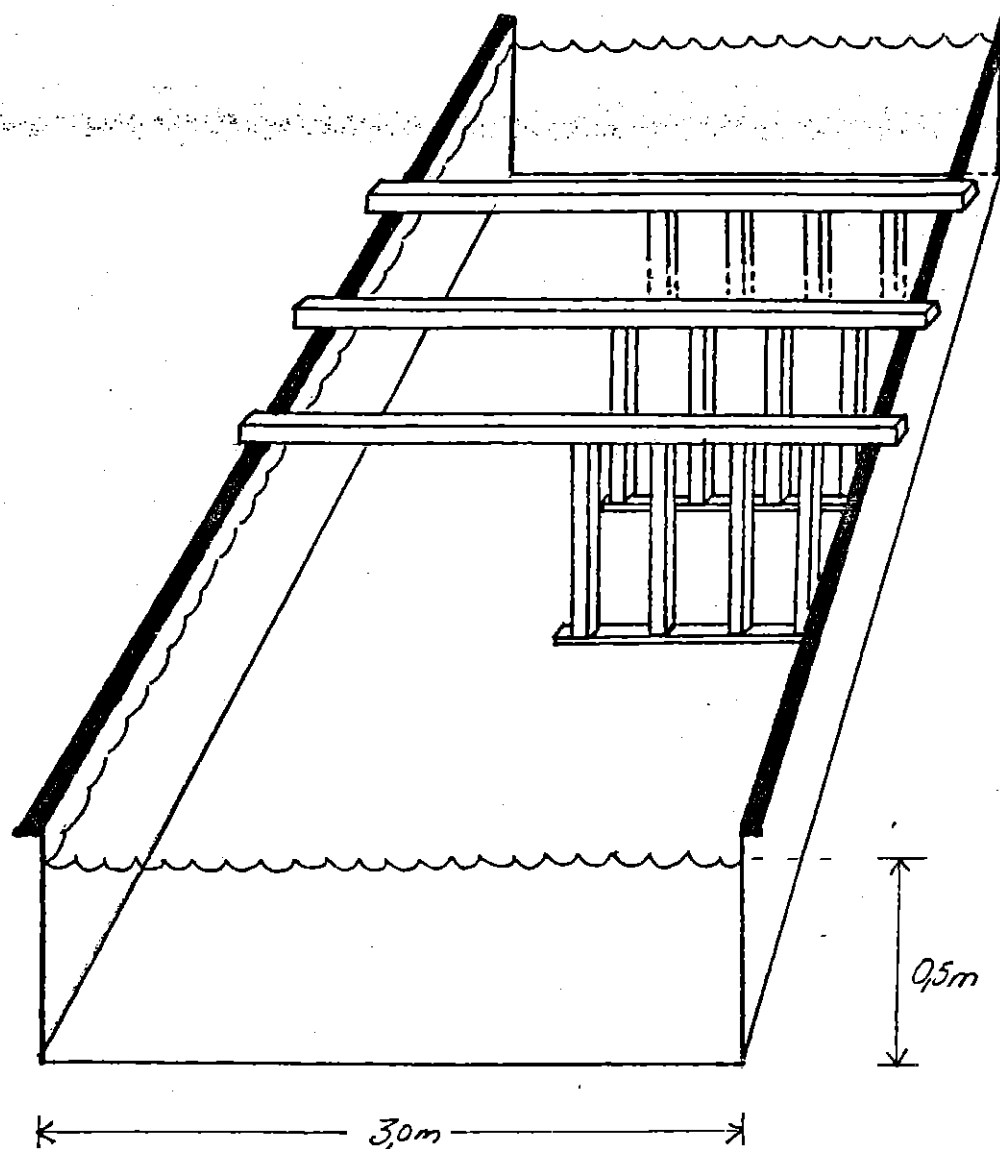


Fig. 4.1 Principskiss. Modell av musselodling

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.

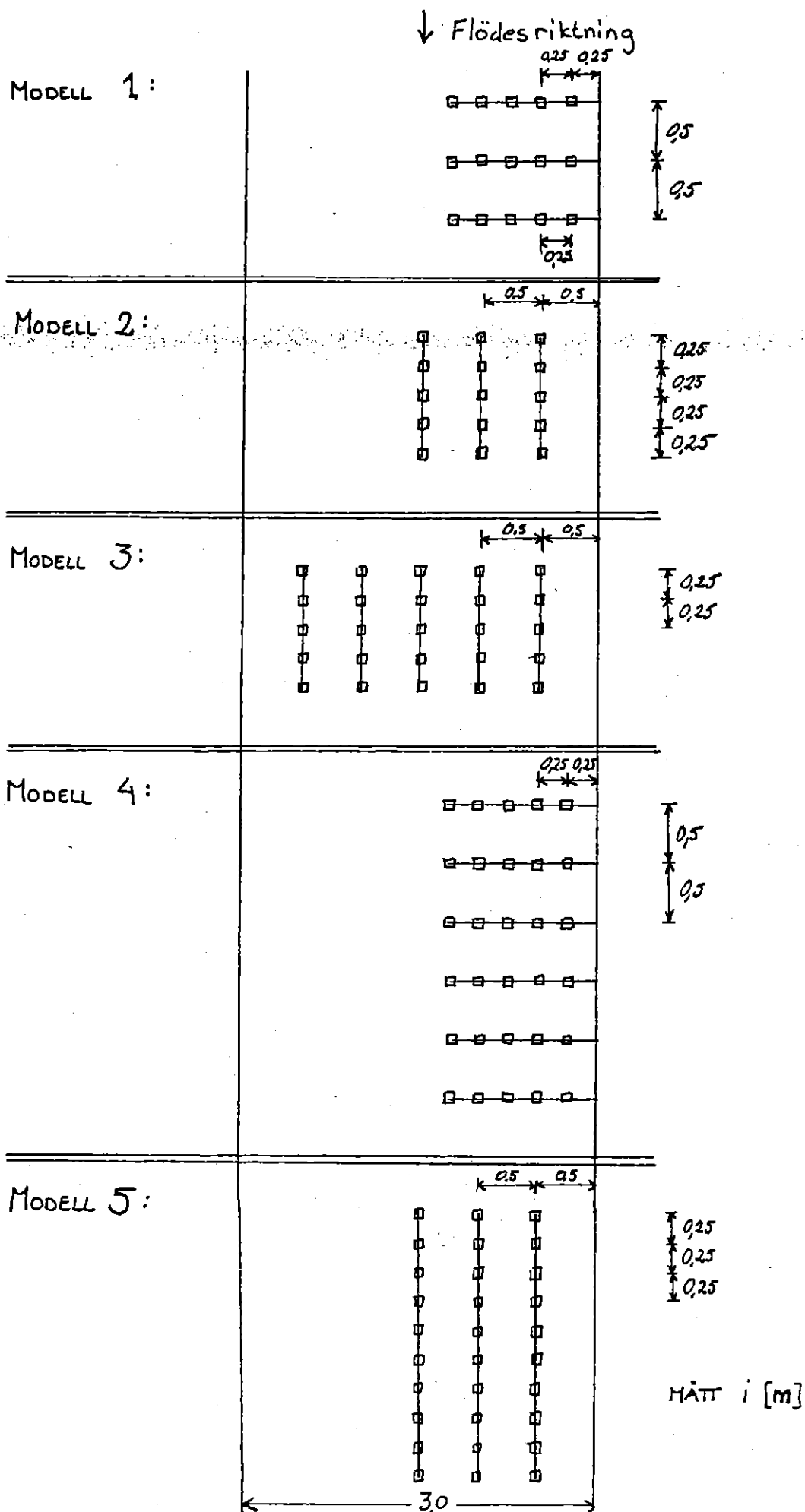


Fig. 4.2 Utformning av de modeller som används i mätprogrammet.
(sett uppifrån)

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.

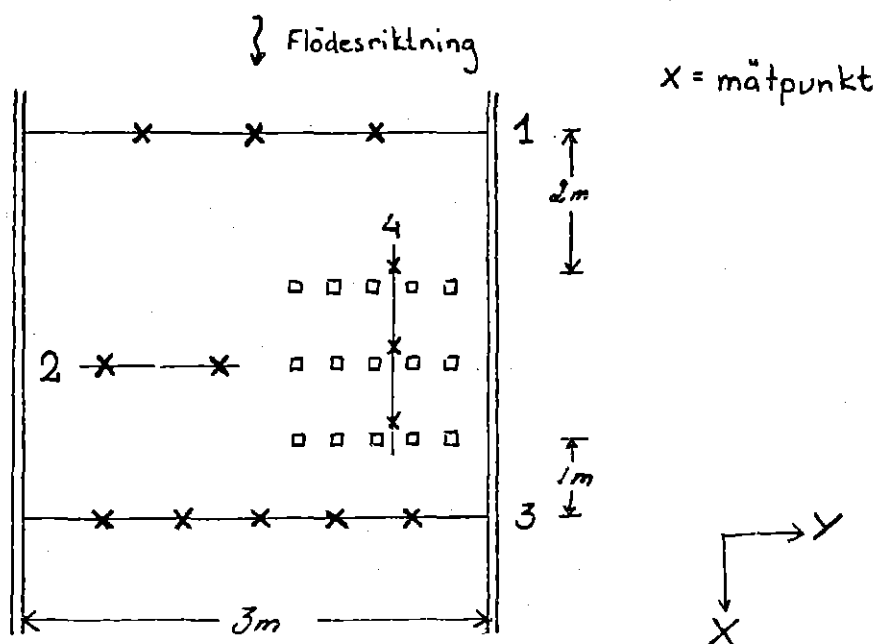


Fig. 4.3 Principskiss av de linjer längs vilka flödesmätning mha flyglar gjordes (x = mätpunkt)

För varje modell och flöde i rännan mättes mha flyglar strömhastigheten 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 angivna i cm/s vid olika flöden, dvs för olika Reynolds tal. Flödets riktning visas av flödespil.

I modell 1, se bilaga 1.1 är träreglarna tätt placerade vinkelrätt strömriktningen. Nedströms odlingen är strömhastigheten lägre än i sundet, vilket betyder att träreglarna bromsar vattnet. Den bromsade vattenmängden som skulle passera genom odlingen 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 odlingsraderna. Vid det lägre flödet kunde ingen strömhastighet uppmätas bakom odlingsraderna då den var mindre eller lika med starthastigheten för flyglarna. Starthastigheten är ungefär 4 cm/s. Vid beräkning av medelhastigheten nedströms används starthastigheten då mätvärde saknas, vilket visade sig riktigt jämfört med medelhastigheten uppströms. Denna uppställning bromsar ej vattnet mellan odlingsraderna utan endast lokalt 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

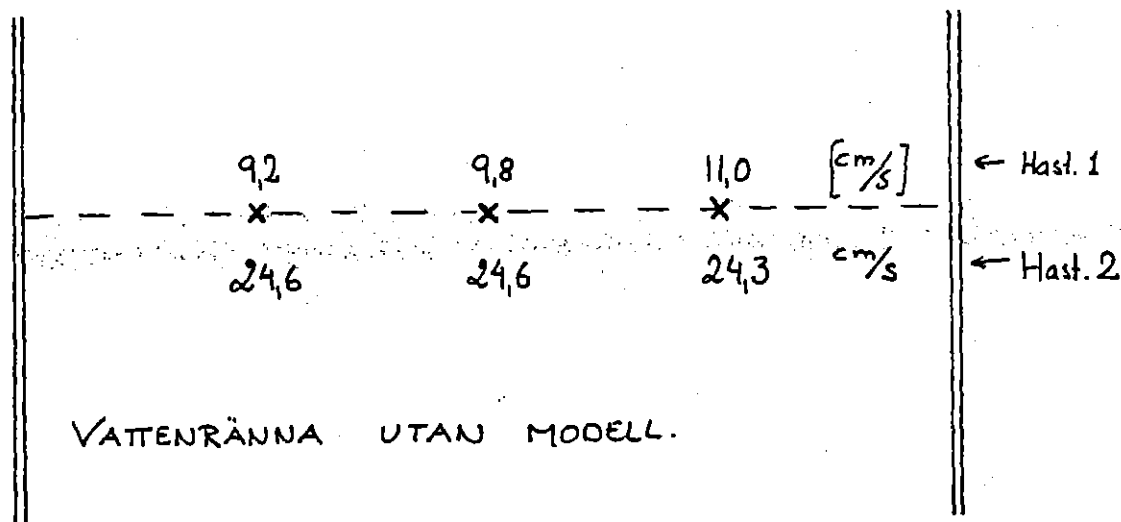


Fig. 4.4 Strömhastigheten i cm/s uppströms rännan utan modell, för två olika flöden.

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 %.

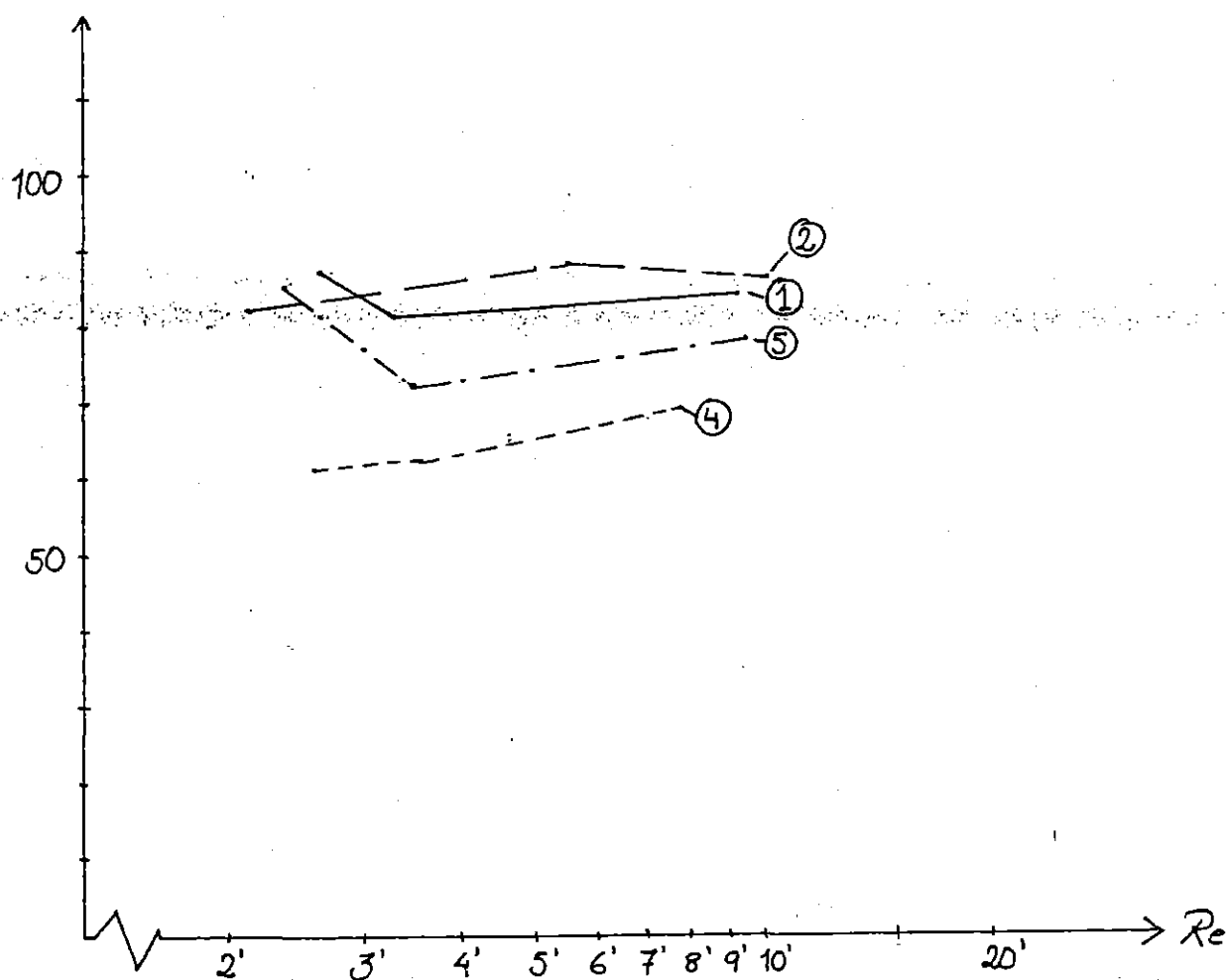


Fig. 4.5 Vattenmängden som passerar odlingen nedströms i % av den ursprungliga vattenmängden uppströms för olika Re och olika modeller

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.

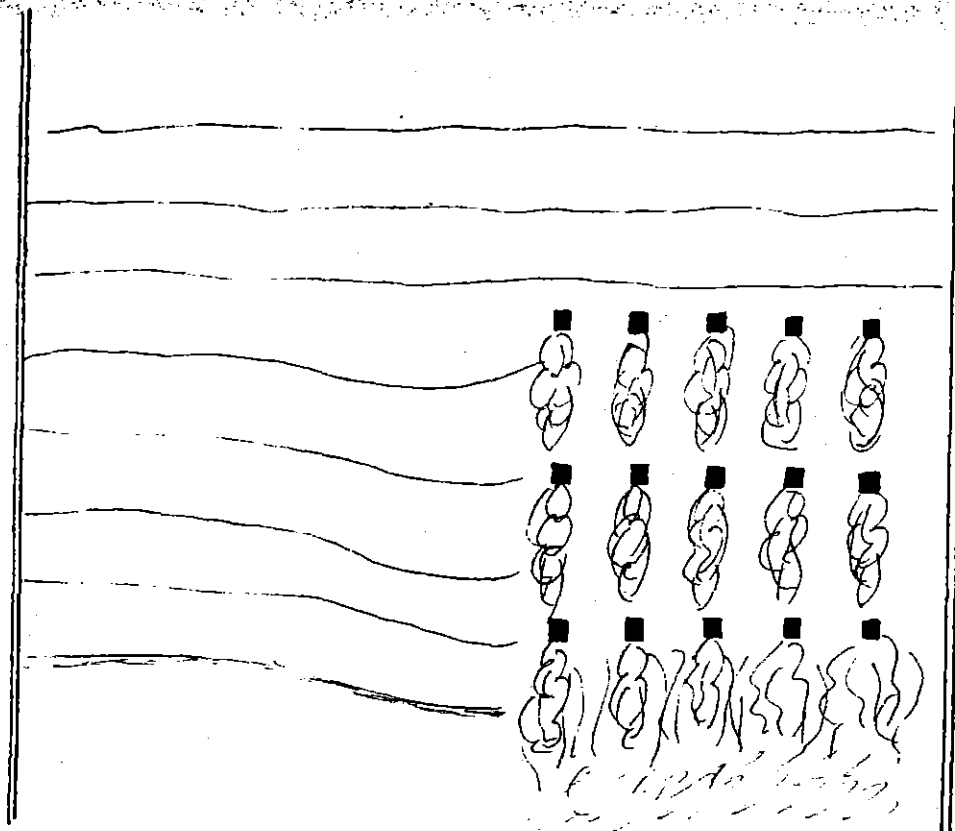


Fig. 4.6 Modell 1, färginjicering

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.

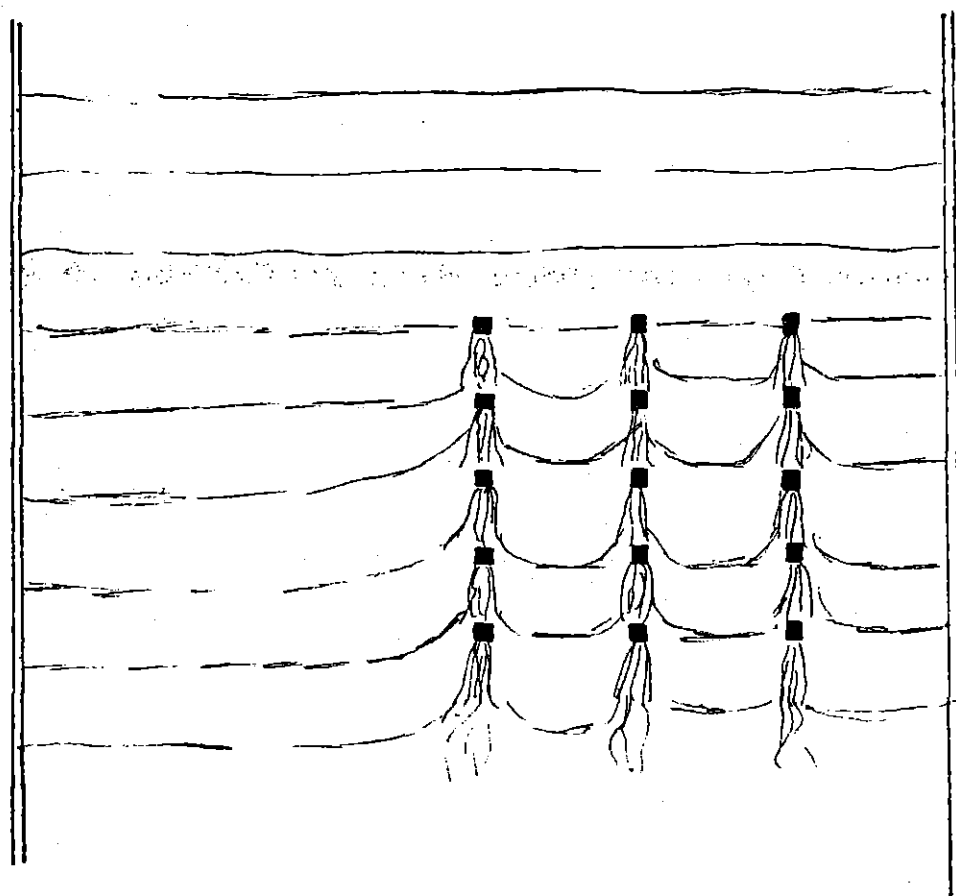


Fig. 4.7 Modell 2, färginjicering

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.

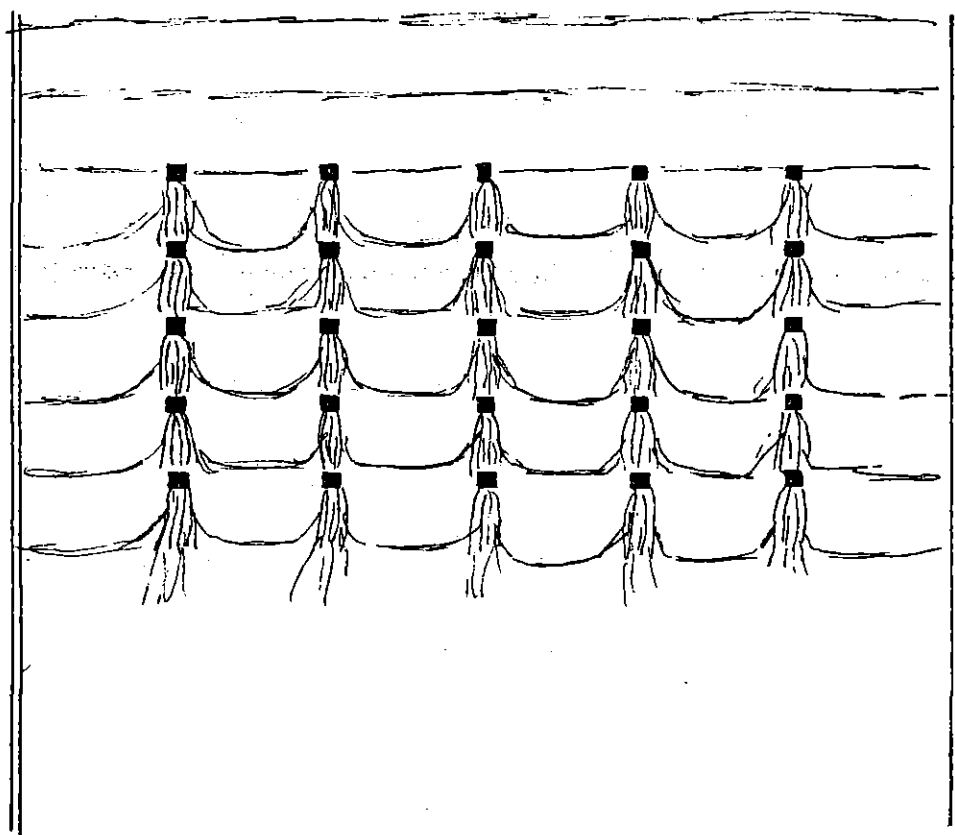


Fig. 4.8 Modell 3, färginjicering

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.

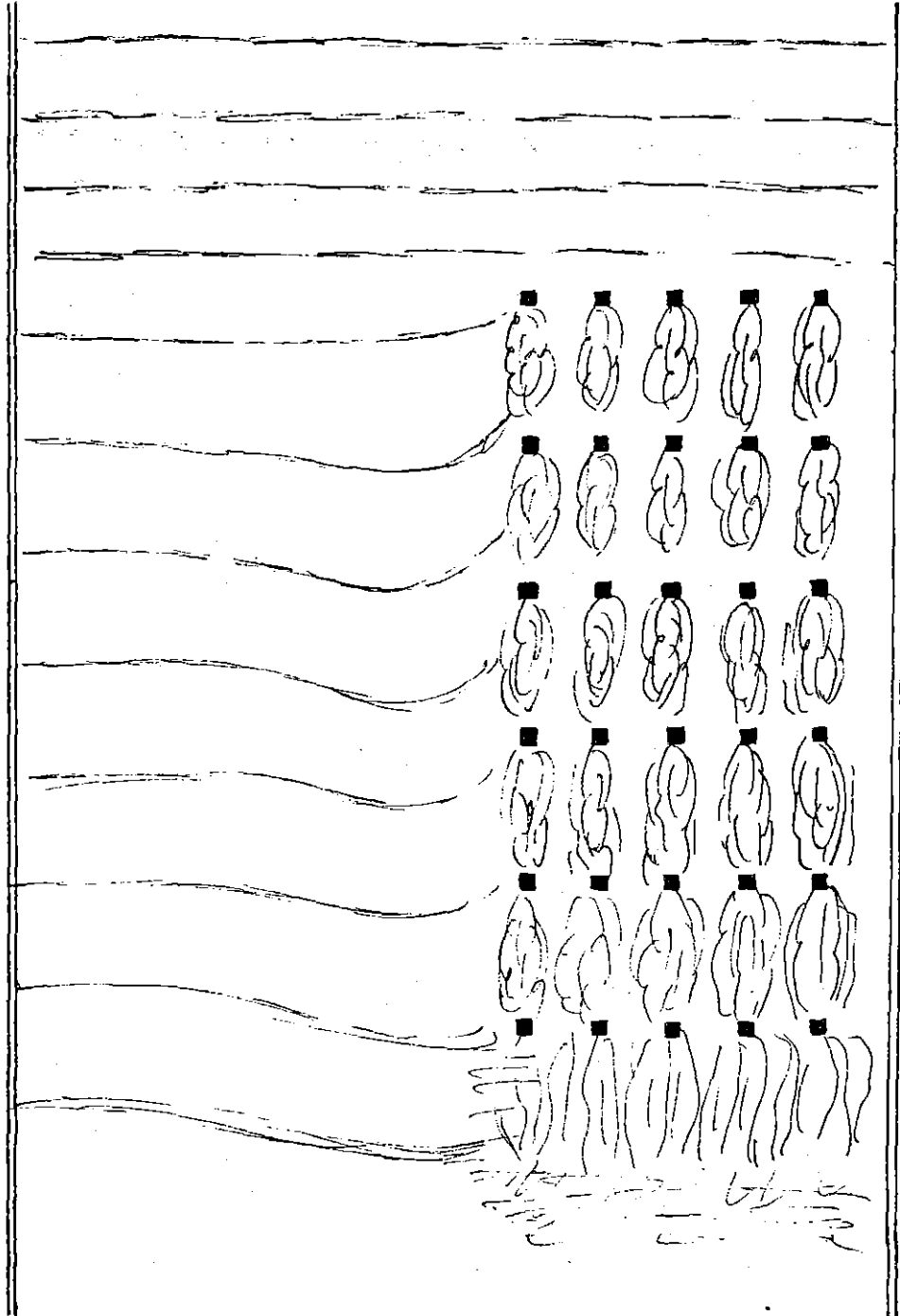


Fig. 4.9 Modell 4, färginjicering

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.

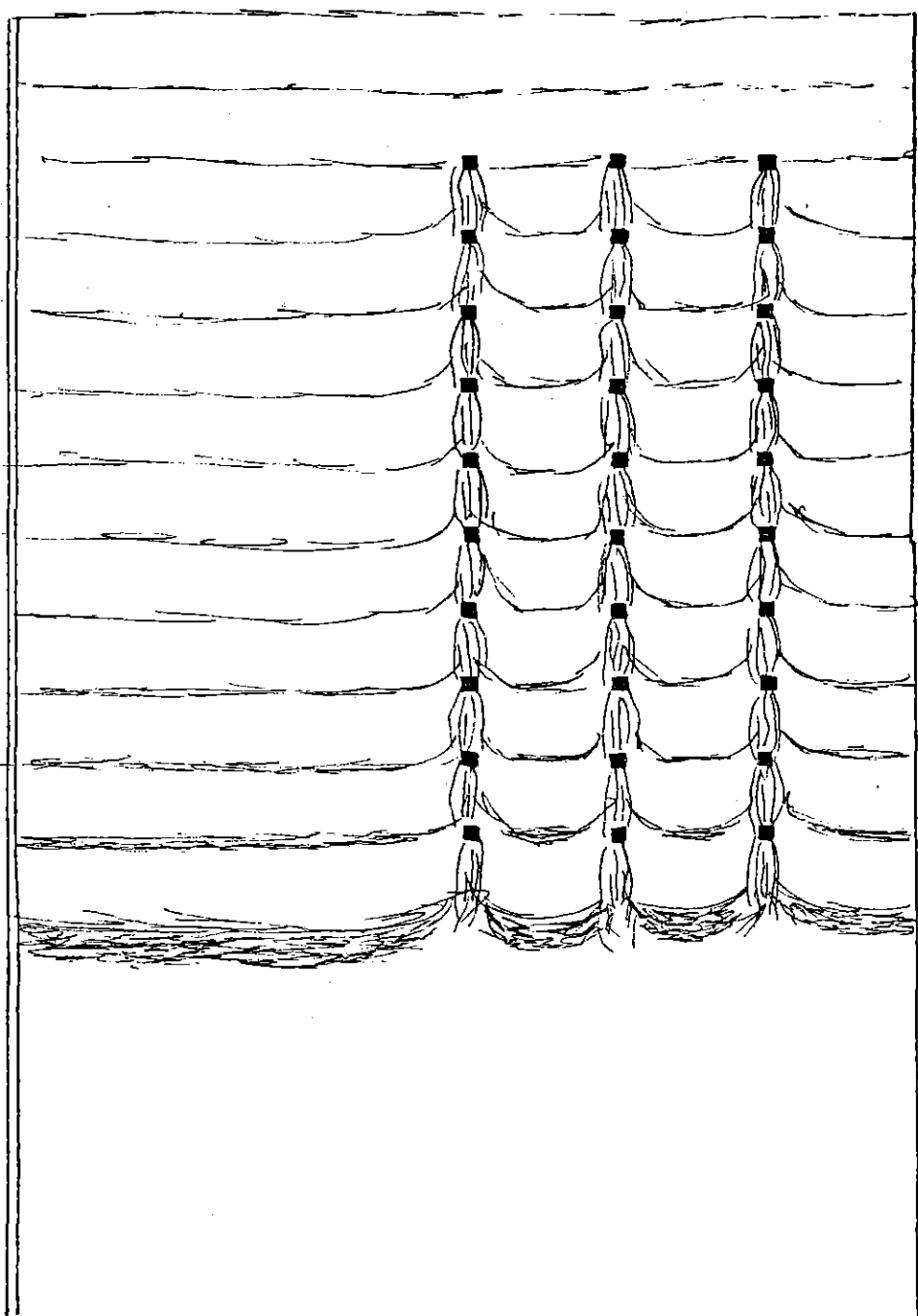


Fig. 4.10 Modell 5, färginjicering

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 musselodlingar. Bilaga till ansökan om projektanslag från Riksbankens 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: 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	5,6 x 5,9 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	14,5 x 14,9 x 8,5 x 9,3 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 = 10391
x 26,8	x 26,9	27,0 x 27,6 x 16,2 x 17,4 x 19,1 x	23,0 medel

MODELL: 3

} Flödespil

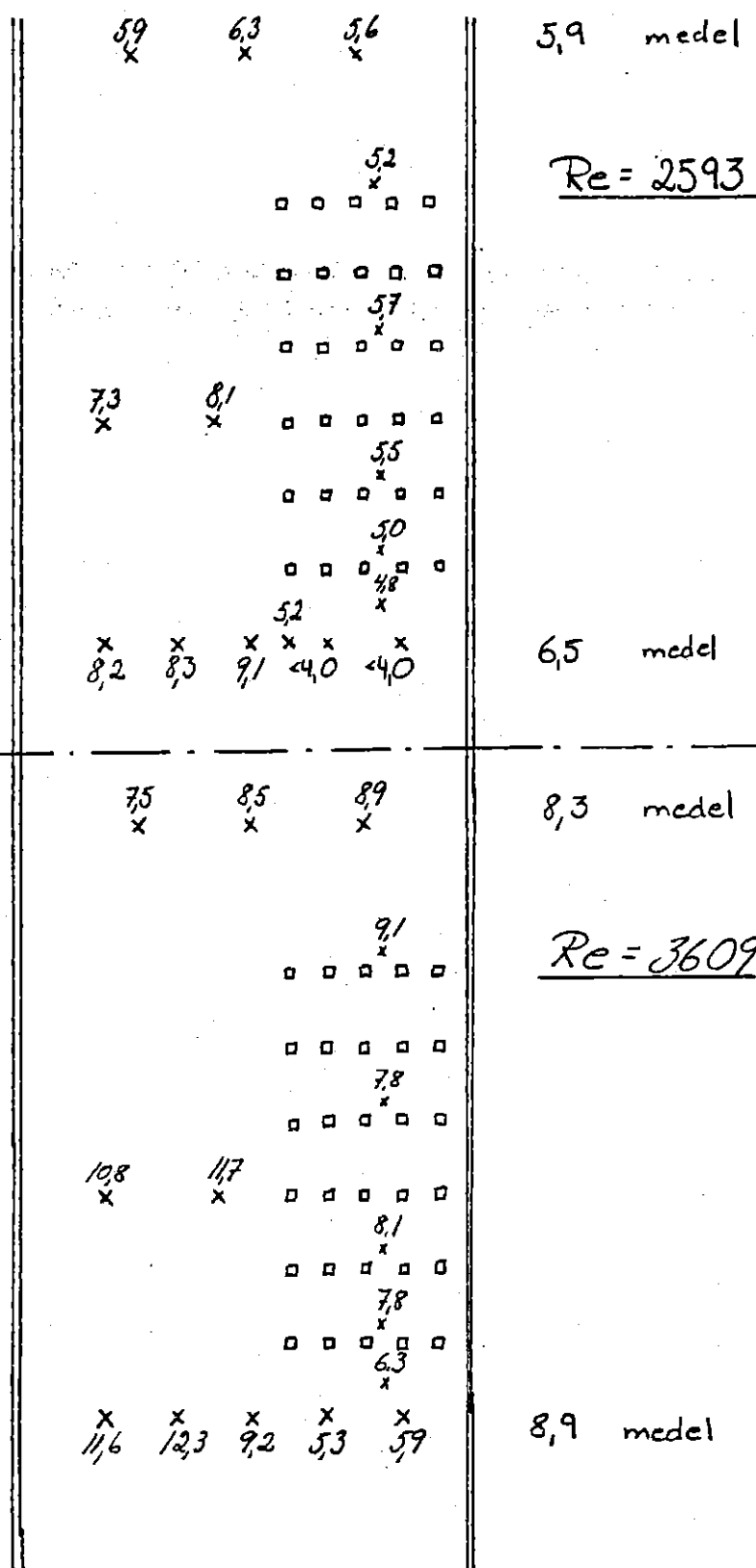
 $\left[\frac{\text{cm}}{\text{s}} \right]$

50 x	59 x	50 x	5,3 medel
□	□ 6,2 □	□ 6,2 □	<u>Re = 2312</u>
□	□ x □	□ x □	
□	□	□ 6,9 □	
□	□	□ x □	
□	□	□ 7,5 □	
□	□	□ x □	
□	□	□	
<4,0 x	<4,0 x	<4,0 x	5,0 medel
5,5	5,9	5,4	
5,9	5,4	5,9	
6,1	6,1	5,7	
11,1 x	10,4 x	12,5 x	11,3 medel
□	□ 12,2 □	□ 13,6 □	<u>Re = 4935</u>
□	□ x □	□ x □	
□	□	□ 14,5 □	
□	□	□ x □	
□	□	□ 14,4 □	
□	□	□ x □	
□	□	□	
9,3 x	8,7 x	8,2 x	11,4 medel
13,7	13,1	12,7	
13,9	13,9	13,6	
14,3	14,3	14,3	
22,2 x	22,6 x	23,2 x	22,7 medel
□	□ 25,5 □	□ 26,7 □	<u>Re = 9857</u>
□	□ x □	□ x □	
□	□	□ 28,0 □	
□	□	□ x □	
□	□	□ 29,7 □	
□	□	□ x □	
□	□	□	
17,6 x	19,2 x	17,6 x	23,1 medel
18,1 x	18,1 x	18,7 x	
27,8	26,7	27,7	
27,0	27,0	27,7	
29,0	29,0	29,0	

MODELL: 4

} Flödesriktning

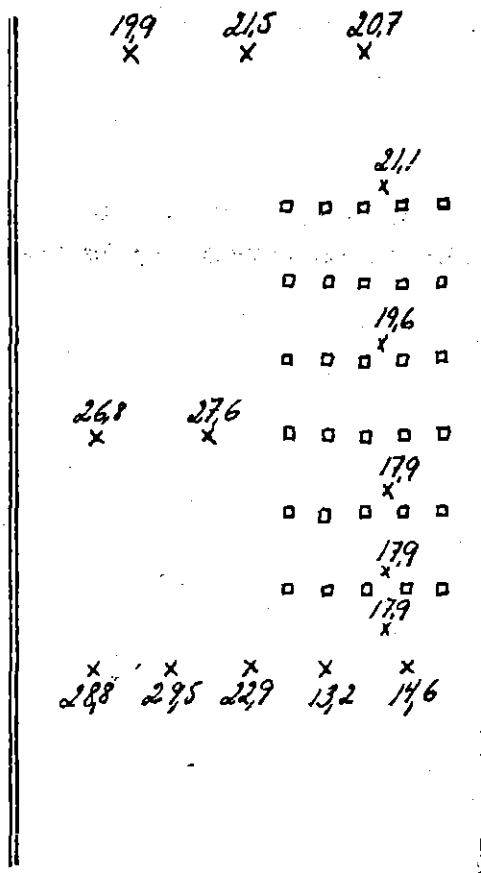
[cm/s]



MODELL: 4

↓ Flödesriktning

[cm/s]



20,7 medel

Re = 8990

21,8 medel

MODELL: 5

} Flödesriktning

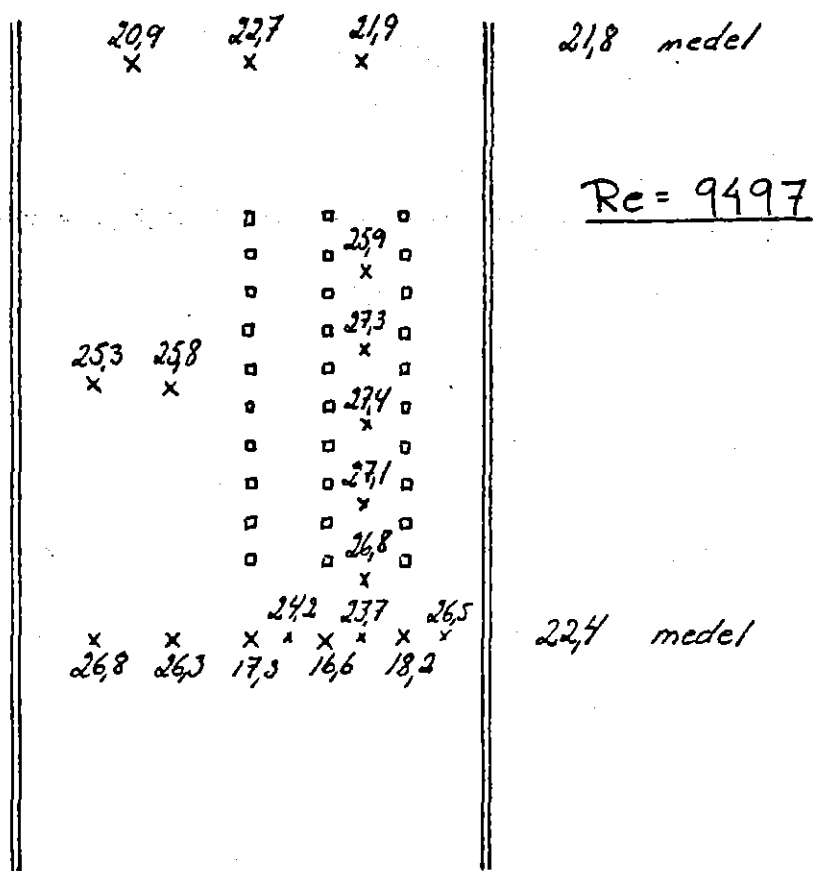
$$[cm/s]$$

5,9 x 5,9 x 5,0 x 5,7 x 6,3 x 5,9 x 6,7 x 6,2 x 6,2 x 6,2 x 4,6 x 5,6 x 5,7 x 6,8 x 6,9 x 4,4 x 3,7 x 3,9 x	5,6 medel Re=2440 5,2 medel
7,4 x 8,5 x 8,6 x 9,6 x 9,9 x 10,2 x 10,9 x 11,2 x 10,6 x 10,7 x 9,3 x 9,2 x 7,0 x 10,1 x 10,4 x 6,1 x 6,3 x 6,5 x	8,2 medel Re=3545 8,1 medel

MODELL: 5

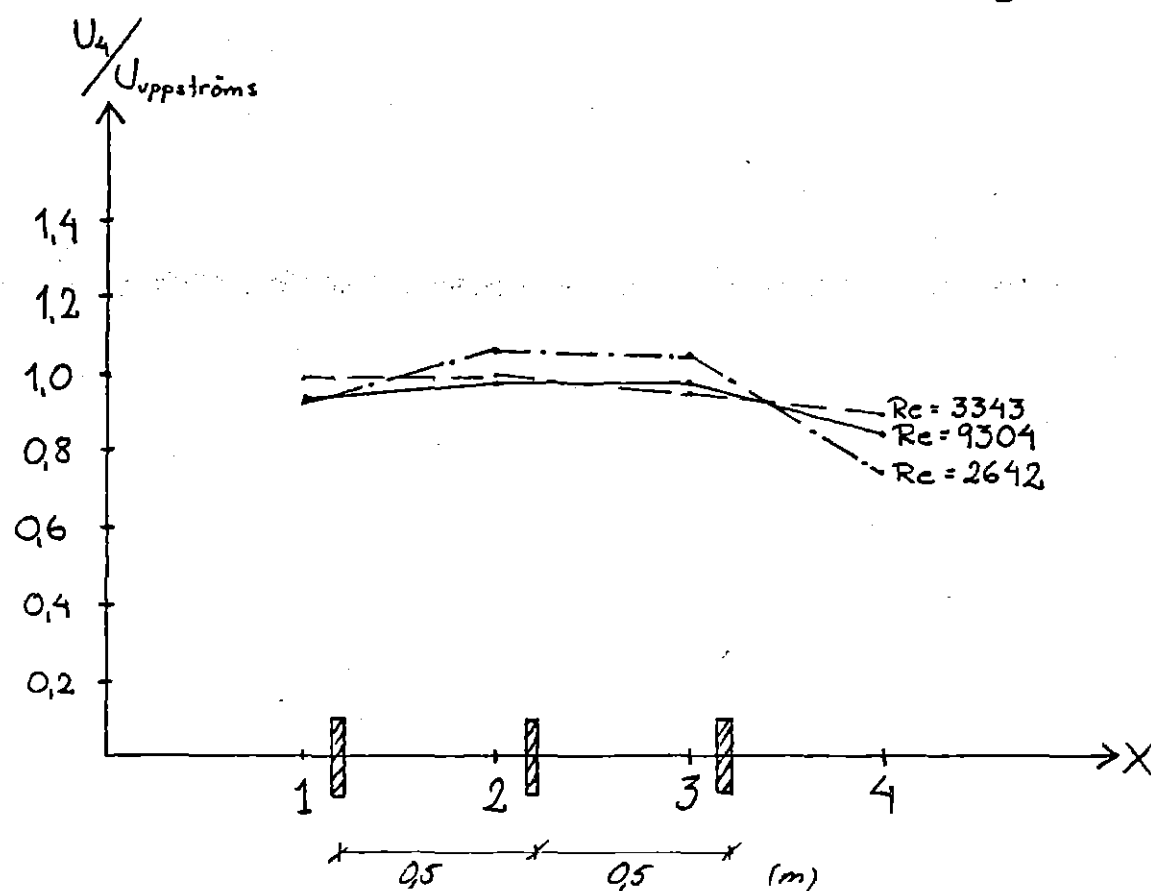
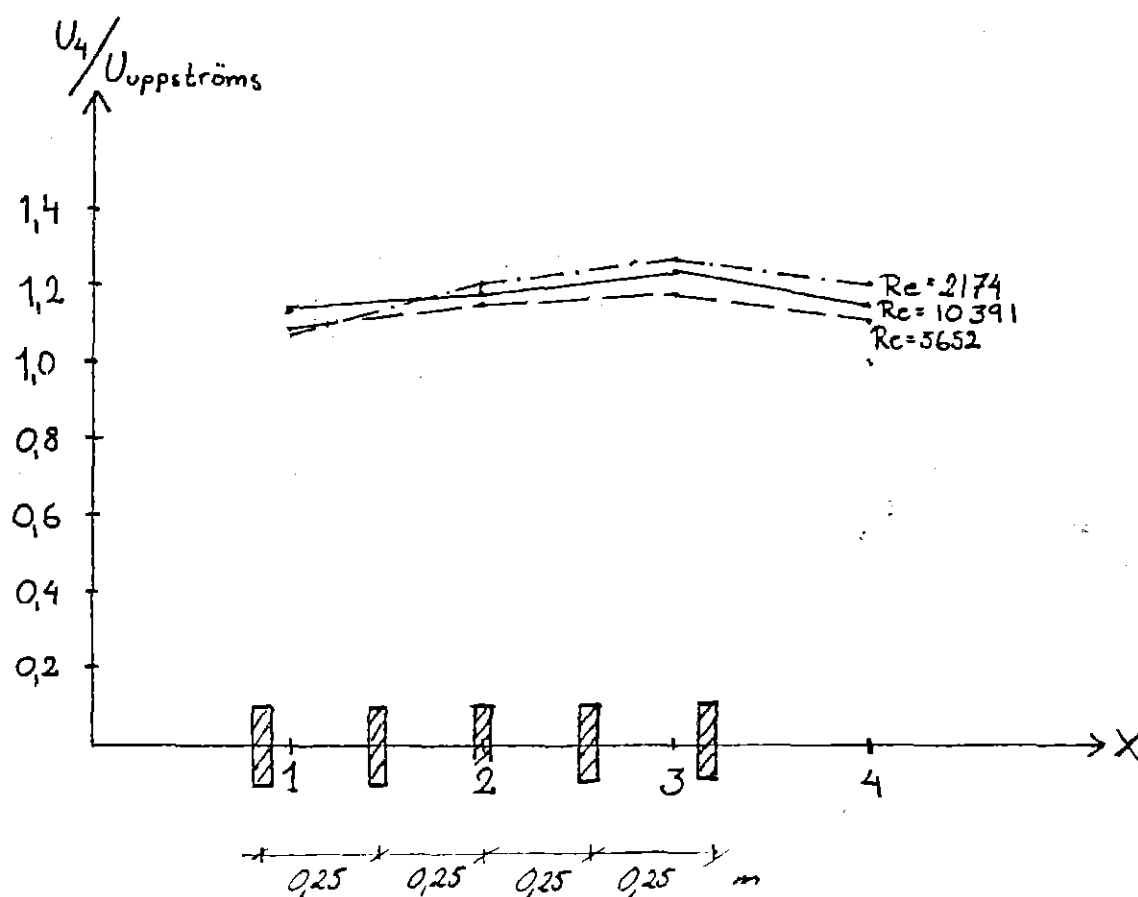
↓ Flödesriktning

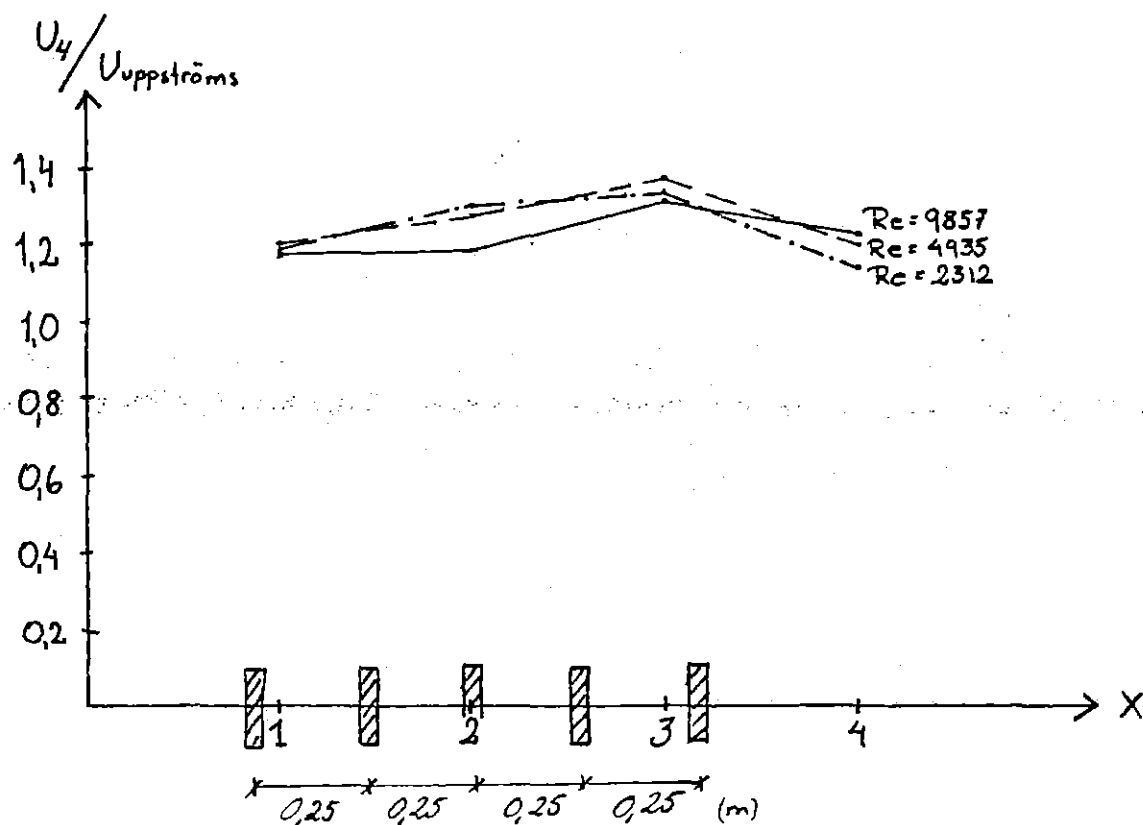
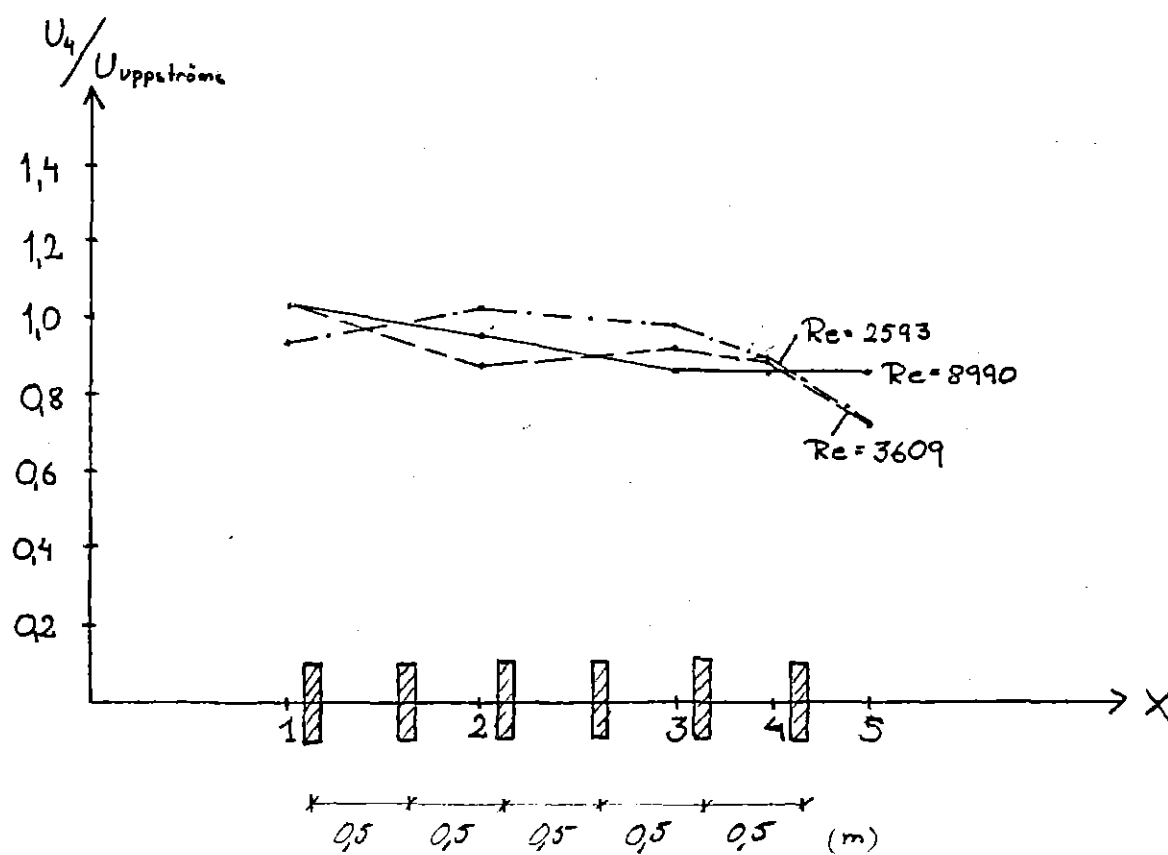
[cm/s]

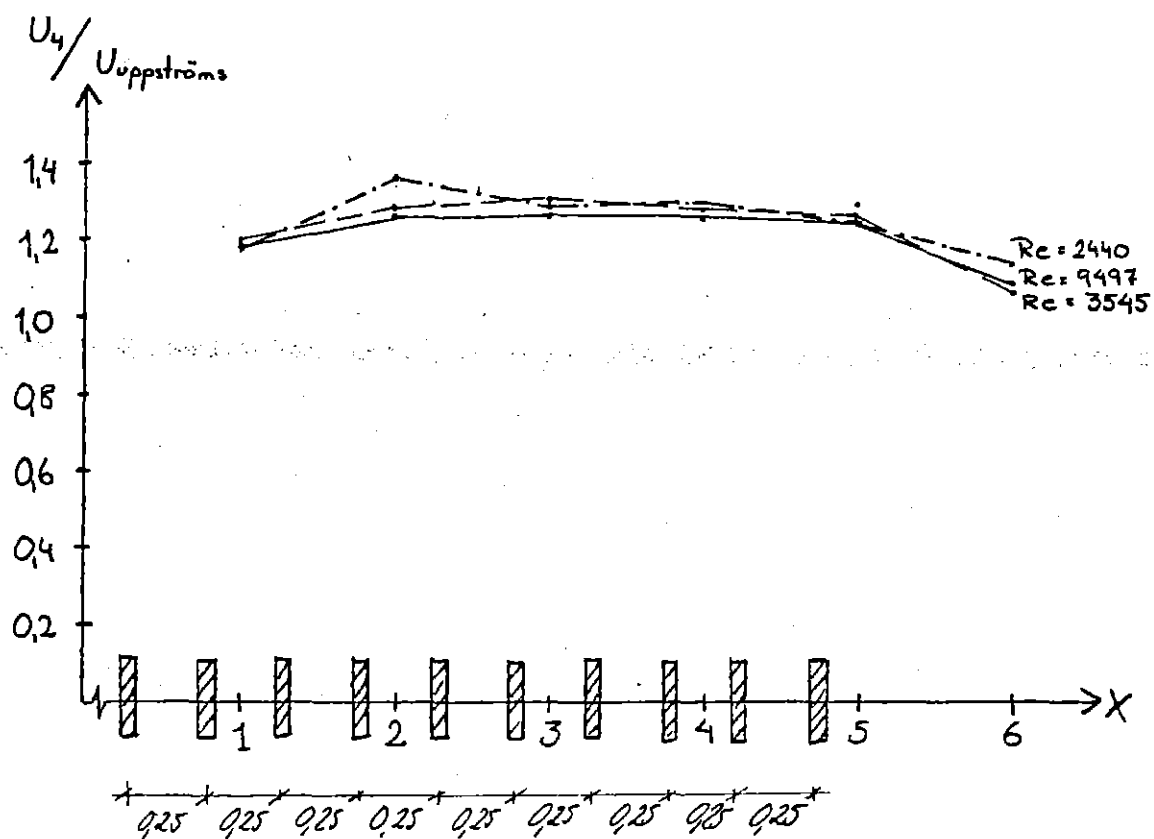


Bilaga 2.1 - 2.3

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

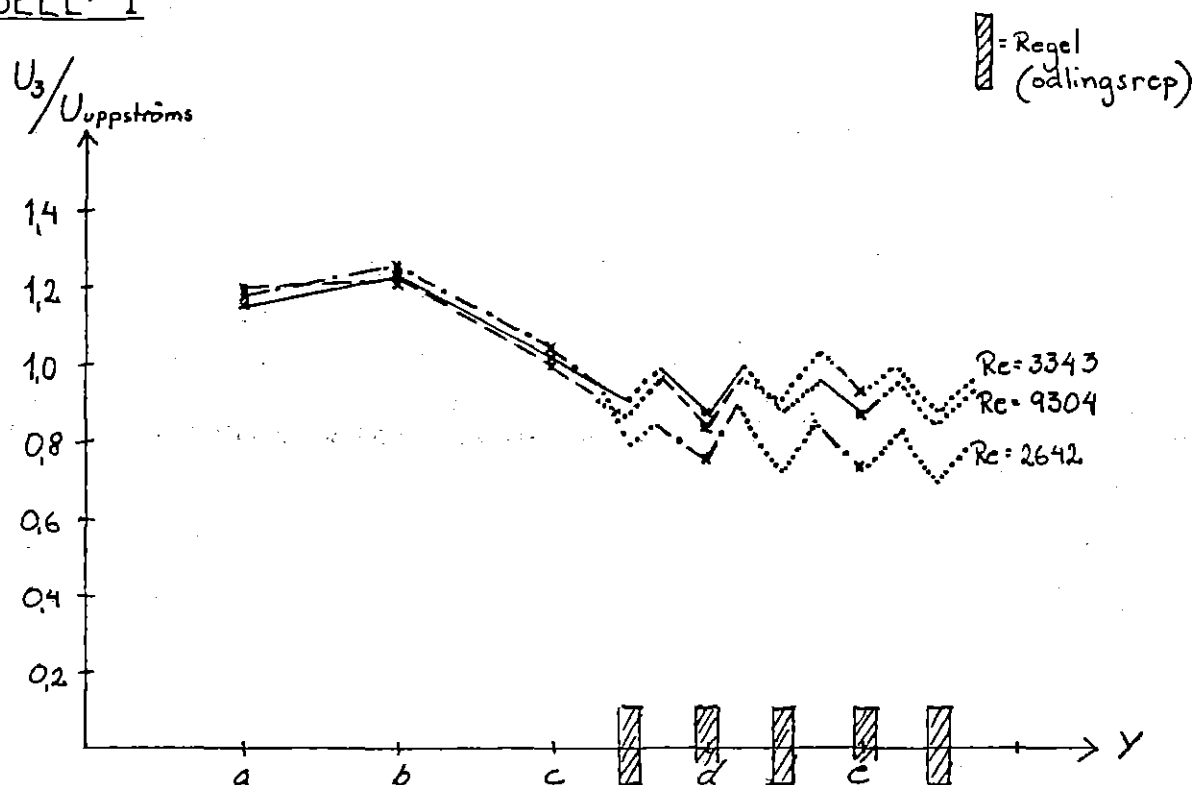
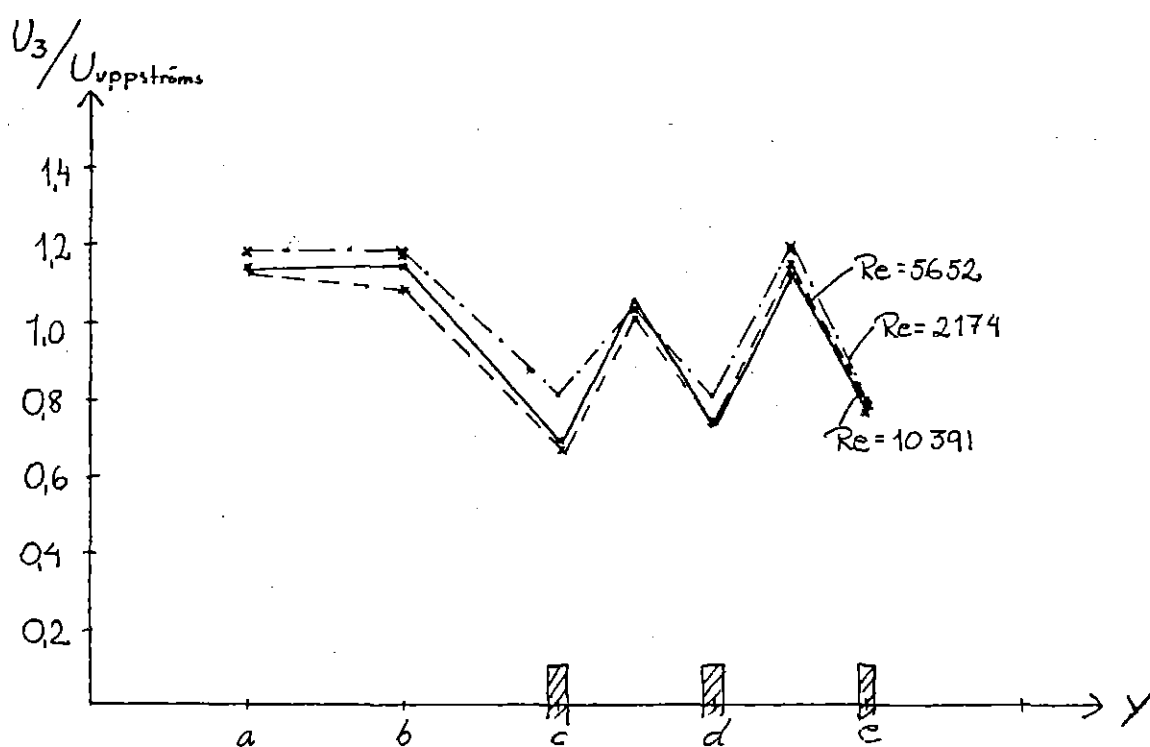
MODELL: 1
 Regel
MODELL: 2

MODELL: 3MODELL: 4

MODELL: 5

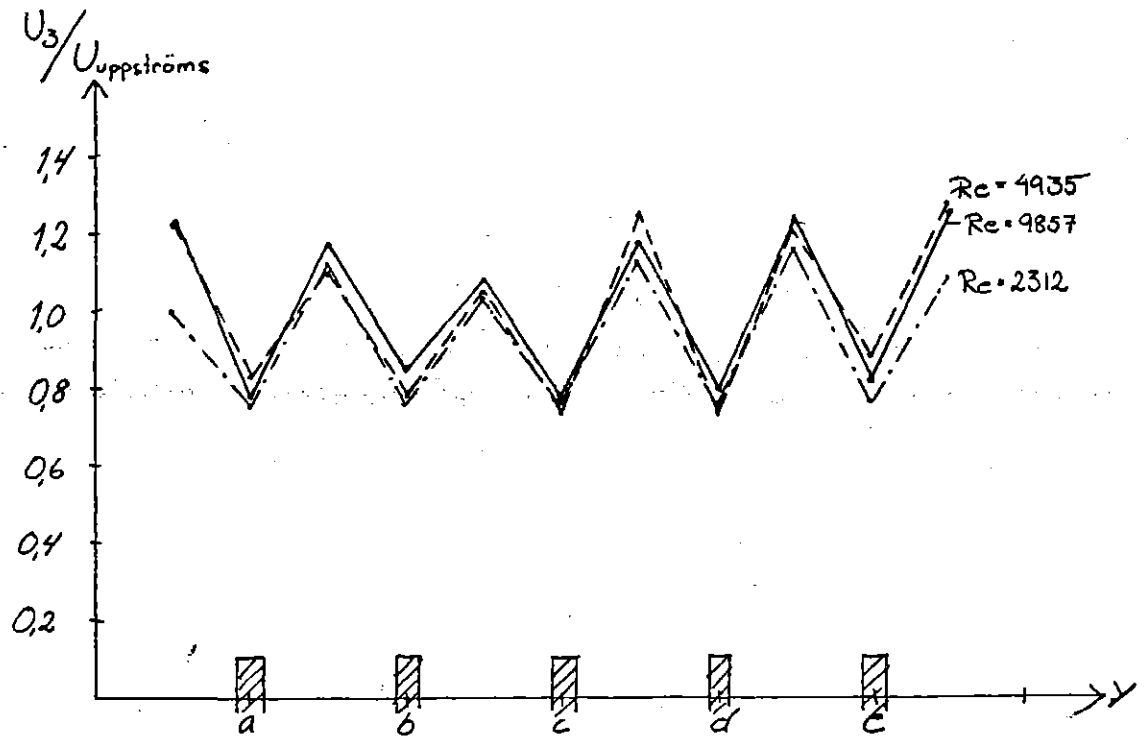
Bilaga 3.1 - 3.3

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

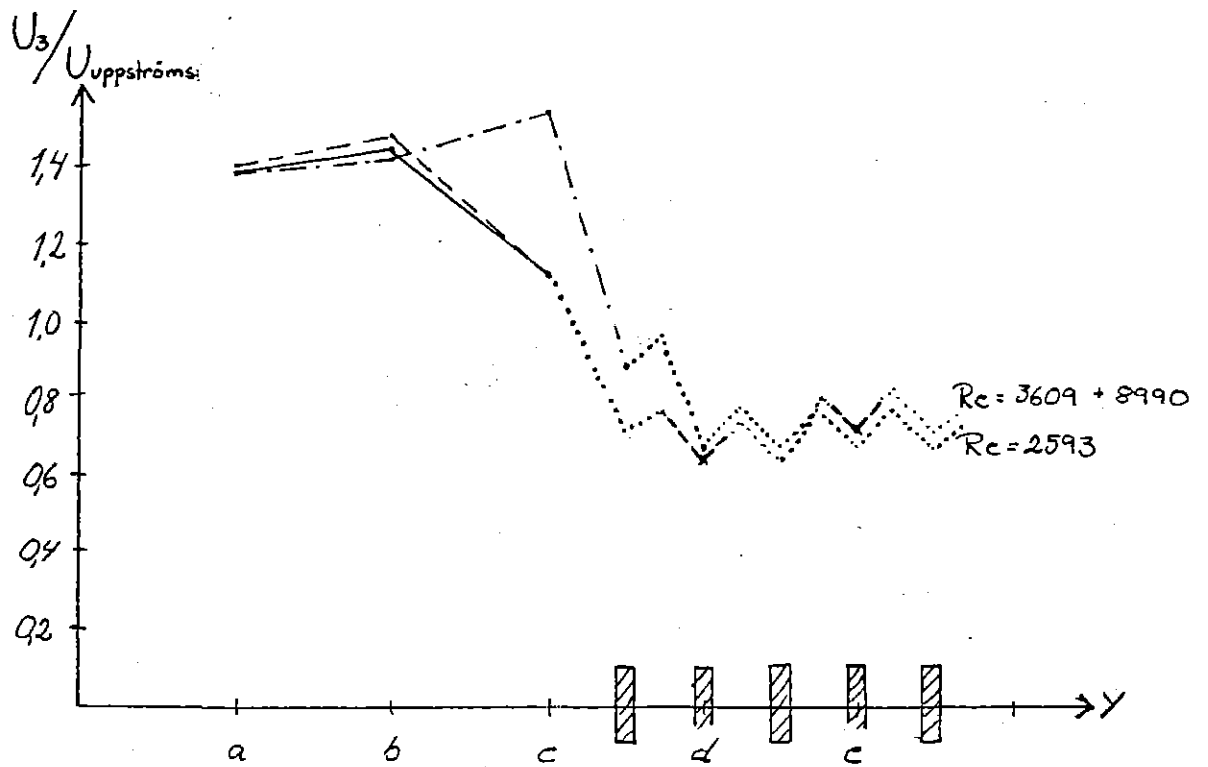
MODELL: 1MODELL: 2

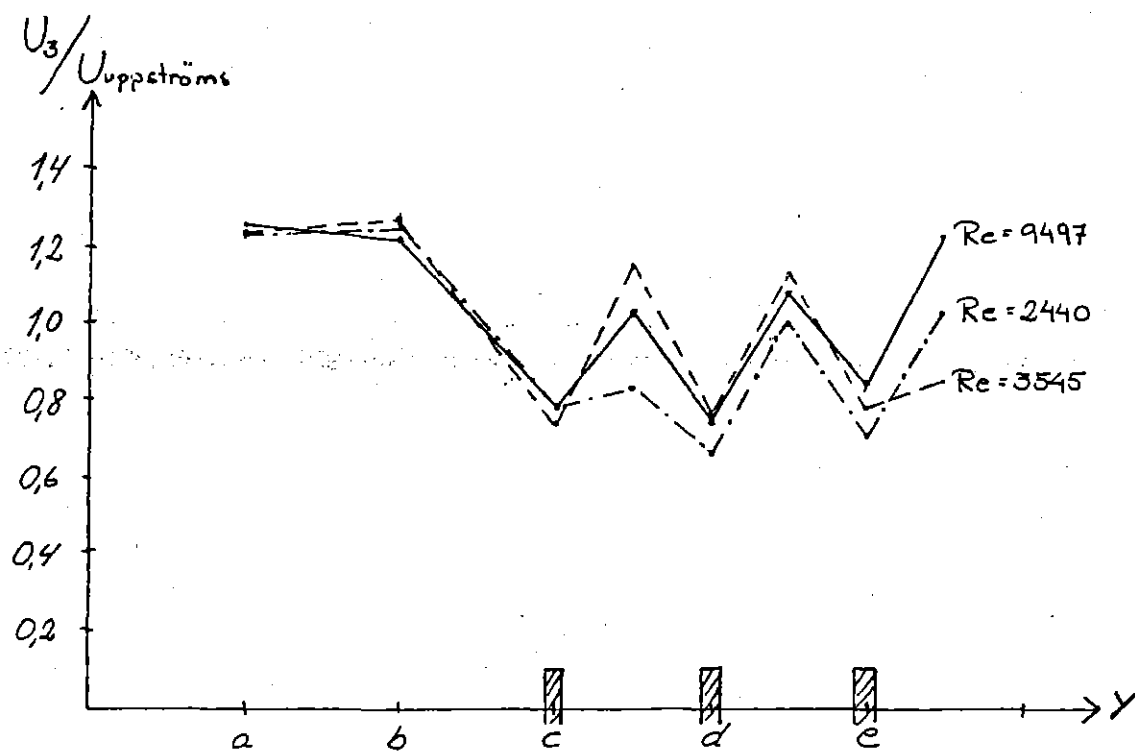
MODELL: 3

Bilaga 3.2



MODELL: 4



MODELL: 5

**Värmeutvinning ur havsvik med värmepump
för villauppvärmning**

av

Carl Jacobsson

Sven Jönsson



VÄRMEUTVINNING UR HAVSVIK MED VÄRMEPUMP
FÖR VILLAUPPVÄRMNING

Examensarbete i Vattenbyggnad Nr 1981:2

Jacobsson, Carl
Jönsson, Sven

Vi vill särskilt tacka Torbjörn Svensson, Bengt Carlsson
och alla övriga som bistått oss natt och dag.
Ett stort TACK även till Karin Jönsson som lyckats tyda
och skriva ut våra, i det närmaste hieroglyfiska, anteckningar.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	sid nr 1
BETECKNINGAR	2
PROBLEM DEFINITION	3 - 4
INLEDNING	5
EXAMENSARBETETS UPPLÄGGNING	5
HUSET	6
BESKRIVNING AV HUSET	7
VÄRMEPUMPENS PRINCIP	8
Olika typer av värmeväxlare	9
Olika systemlösningar för sedimentvärme	10 - 11
INSTALLATION INOMHUS	12 - 13
HAVET	14
ALLMÄNT	14 - 15
DJUPKARTERING AV VIKEN	16
TEMPERATUREN I VATTNET	17 - 19
SALTHALT	19 - 20
ISFÖRHÅLLANDEN I TÖSEVIKEN	20
SLUTSATSER FRÅN - TEMPERATUR - SALTHALT - IS	20
VÄXTLIGHETEN I TÖSEVIKEN	21 - 23
VÄGKRAFTER PÅ EN BOTTENFÖRLAGD SLANG	24
BOTTENMATERIALETS EGENSKAPER	25
SLANGEN	26
PRINCIPUTFORMNING	26
SLANGEN OVAN VATTNET	26
Utformningsförslag av ledningsgrav	27
Kopplingsboxen	27 - 28
Olika kulverttyper	29
SLANGEN UNDER VATTNET	30
Dimensionering av värmeupptagningsförmågan	30 - 32
Olika förankringsmetoder för bottenförlagd slang	32 - 33
ÖVRIGA ASPEKTER	34
ALLMÄNNA JURIDISKA ASPEKTER	34
Ianspråktagande av mark	34
Andra rättsliga frågor	34
VIKENS YTTERLIGARE UTNYTTJNING	35
UTFORMNINGSFÖRSLAG	36
BILAGOR	

SAMMANFATTNING

Detta examensarbete visar att det är tekniskt möjligt att utforma en värmepumpänläggning med havet som värmekälla för uppvärmning av en villa vid Töseviken utanför Kungsbacka.

Huset har ett toppeffektbehov av 18 kW men värmepumpänläggningen har dimensionerats för en effekt av 14 kW eftersom detta är mer ekonomiskt. Resten av värmebehovet täcks av den befintliga oljepannan.

Värmeupptagningen sker med PEL-slangar i dimensionen 40/32,6 och består av 3 slingor om vardera 150 m.

Värmeupptagningen har beräknats för 3 fall:

- 1 Radiell värmeledning genom slangvägg
 - fritt i vattnet
 - på botten
- 2 Radiell värmeledning i oändligt medium
 - i sedimentet
- 3 Värmeupptagning med frysning kring slang.

Då inget av dessa 3 fall var för sig existerar i verkligheten måste dimensioneringen göras som en kombination av alla 3.

Värmeuttaget har satts till $Q = 6,0 \cdot \Delta t$ (W/m). Temperatur-differensen mellan brinen (vätskan i slangarna) och omgivande vattnet har antagits till 30 °C. Om en högre differens uppstår kommer effekten att öka. Som brine används en blandning av 25% etylenglykol och 75% vatten.

Vid beväxtning av slangen bildas ett isolerande skikt av stillastående vatten. Hänsyn till detta har tagits vid dimensionering av värmeupptagningen.

Slangen förankras med sänkvikter av betong. I en grund vik som Töseviken blir lyftkrafter av is dimensionerande och inte vågkrafter.

För närvarande föreligger inga juridiska hinder för utförande av anläggningar av denna typ.

BETECKNINGAR

a	TEMPERATURLEDNINGSTAL	$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$	m^2/s
$^{\circ}C$	GRADER CELSIUS		
c'	VÄRMEKAPACITIVITET MAP VOLYM		$J/m^3 \text{ } ^{\circ}C$
c_w	VATTNETS VÄRMEKAPACITIVITET		$J/kg \text{ } ^{\circ}C$
i	VATTNETS ISBILDNINGSVÄRME		J/kg
m_s	JORDDELENS MASSA		kg
m_w	VATTENDELENS MASSA		kg
m	POROSITET	$n = V_p / V$ $n = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}$	
P	EFFEKT		
S_r	VATTENMÄTTNADSGRAD	$S_r = \frac{V_w}{V_p}$	
V	VOLYM		m^3
V_p	PORVOLYM		m^3
V_s	PARTIKELVOLYM		m^3
V_w	VATTENVOLYM		m^3
W	VATTENKVOT	$W = \frac{m_w}{m_s}$	%
W_h	VATTENHALT	$W_h = \frac{m_w}{m}$	%
λ	VÄRMEKONDUKTIVITET		$W/m^{\circ}C$
ρ	SKRYMDENSITET	$\rho = m/v$	kg/m^3
ρ_d	TORRDENSITET	$\rho_d = m_s/v$	kg/m^3
ρ_s	KOMPAKTDENSITET	$\rho_s = m_s/V_s$	kg/m^3
ρ_w	VATTENDENSITET		kg/m^3

PROBLEMDEFINITION

Detta examensarbete har till uppgift att för en 1½-plans villa utröna möjligheterna att ordna uppvärmningen med hjälp av en värmepump som komplement till det konventionella systemet.

Havsvattnet och/eller sedimenten skall utnyttjas som värmekälla. Värmeuttaget sker genom ett indirekt system med bottenförlagda PEL-slangar som värmeupptagare. Det kan bli aktuellt att förlägga slangarna i sedimenten för att förhindra påverkan av vågkrafter.

Examensarbetet skall behandla möjligheterna att utvinna värme från viken. Eftersom problemet är komplext med en rad olika påverkande faktorer som alla måste beaktas har vissa delproblem studerats grundligt medan andra blivit mer ytligt behandlade.

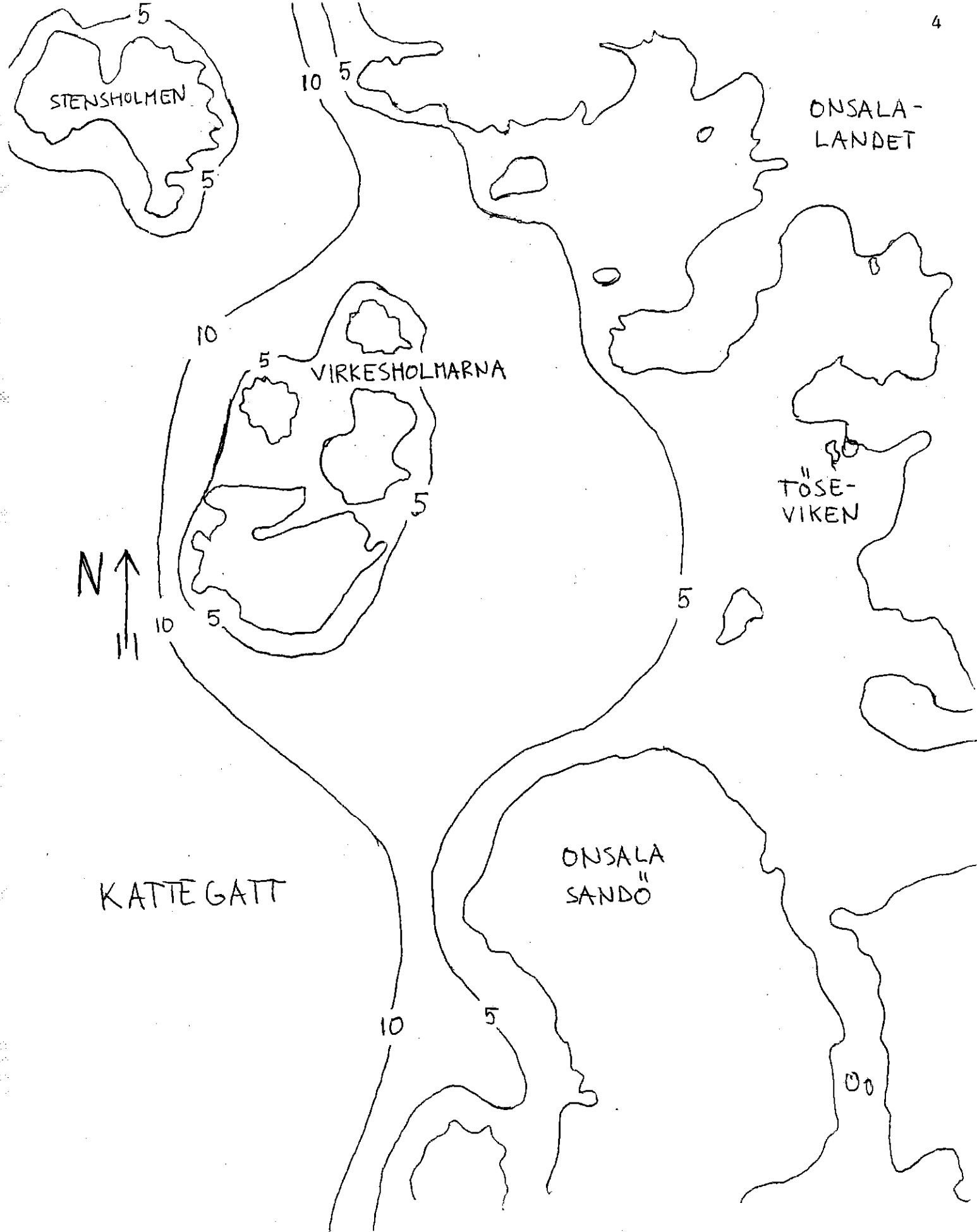
Följande frågeställningar har utretts:

- 1 Temperatur i vattnet under vintern. Temperaturuppgifter, salthalt och isförhållanden från mätningar i närliggande områden insamlas. Temperatur i sedimenten bestäms genom mätningar.
- 2 Bottenförhållandena inom området för värmeväxlaren. Översiktlig djupkartering. Bestämning av bottenmaterialets sammansättning, vattenhalt och tekniska egenskaper, samt en översiktlig beskrivning av bottenvegetationen.
- 3 Skydd av värmeupptagaren. Bedömning av påverkan från vågor och strömmar samt påväxt på slangar. Beskrivning av eventuella konflikter med annat utnyttjande av viken.
- 4 Förslag till utformning av värmeväxlaren med hänsyn till resultatet av övriga studier. Översiktlig dimensionering.

Fastigheten är belägen i direkt anslutning till en mindre vik på västra sidan av Onsalalandet, Kungsbacka. Området är tämligen flackt med kala berghällar och ingen nämnvärd vegetation. Området är mycket utsatt för vindpåverkan och då särskilt för vind och vågor som kommer i en sektor från sydväst till nordväst då det för dessa vindar inte finns något naturligt skydd. Se figur 1.

Stranden består av klipphällar med stenblock ner i vattnet till ett djup av ca 2 meter där sandavlagringar börjar.

Botten sluttar därefter sakta utåt till ett vattendjup av 6 meter och består av sand med fläckvis vegetation. Viken är öppen mot sydväst med ett smalt gatt där man vid denna vindriktning får räkna med kraftiga vågor. I västlig riktning skyddas viken delvis från direkt vågpåverkan av några små öar.



Figur 1 Karta över området utanför Onsalalandet
Skala 1:10 000

INLEDNING

På senare år har energipriserna stigit kraftigt. Detta har medfört att kostnaderna för uppvärmning har tagit en allt större del av årskostnaden. En del villaägare har försökt minska uppvärmningskostnaderna genom energibesparande åtgärder, exempelvis att sänka inomhustemperaturen, tilläggsisolera etc. Regeringen har genom olika energisparlån och bidrag stimulerat denna typ av åtgärder.

Användning av värmepump kan vara ett alternativ att sänka uppvärmningskostnaderna ytterligare. Med denna metod kan huvuddelen av värmebehovet hämtas "gratis" från naturen. Kostnaderna för primärenergi (olja, el) minskas då kraftigt, dock till priset av ökade kapital- och eventuella underhållskostnader.

EXAMENSARBETETS UPPLÄGGNING

Redovisningen är uppdelad i 4 huvudkapitel. Det första kapitlet - Huset - handlar om förutsättningar, tekniska installationer och värmepumpens teori. I det andra kapitlet - Havet - behandlas västkusten i allmänhet och förhållandena i den aktuella viken. Det tredje kapitlet - Slangen - beskriver dels slangen ovanför vattnet, dels under vattnet. I detta kapitel utförs en dimensionering. I det fjärde kapitlet - Övriga aspekter - ges synpunkter om påverkande juridiska faktorer och vikens ytterligare utnyttjning.

HUSET

För att kunna dimensionera uppvärmningsanläggningen måste husets effektbehov vara känt. I kapitlet beskrivs huset, dess effektbehov och nuvarande tekniska system. Vidare behandlas värmepumpen, olika systemlösningar för sedimentvärme och installationer inomhus.

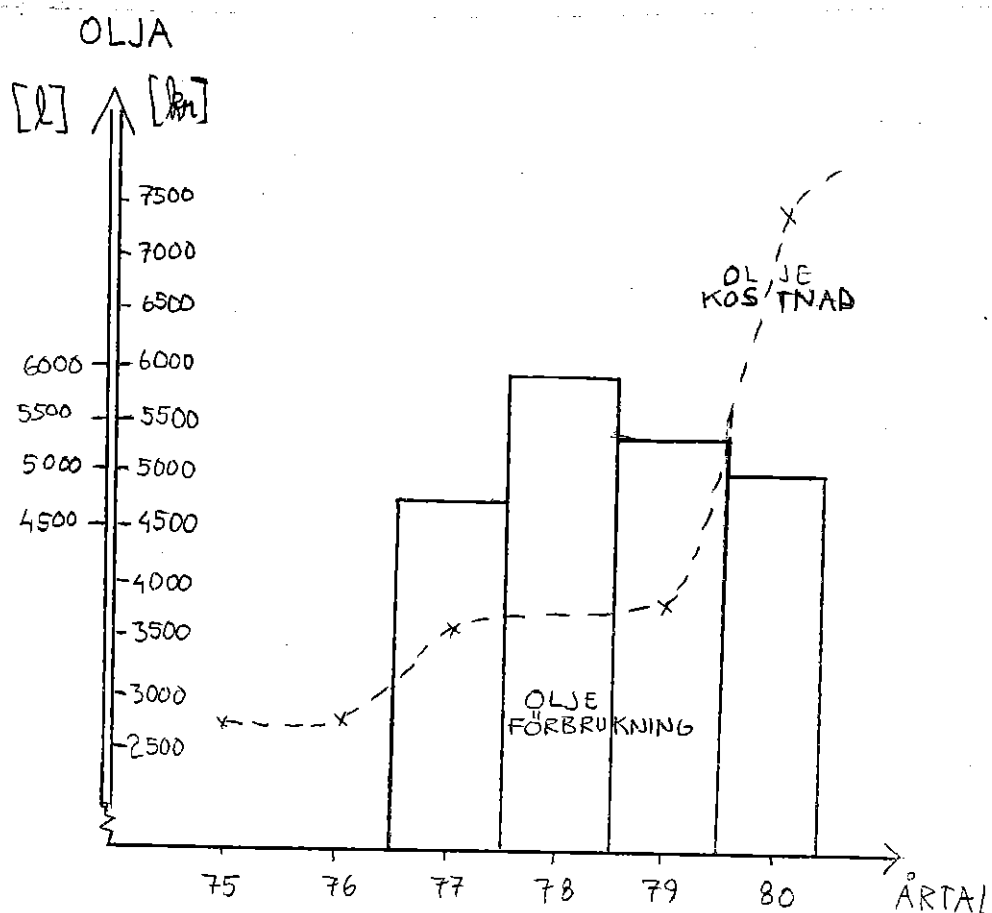
BESKRIVNING AV HUSET

Uppvärmningsobjektet är en ordinär enfamiljsvilla av 1½-plans-typ med isolerad och uppvärmd källare. Ritning se bilaga 1. Huset är byggt 1973 enligt då gällande bestämmelser beträffande isolering mm.

Hela den värmda ytan är 255 m² och fönsterarean är 43 m². Det nuvarande värmesystemet utgöres av en konventionell oljepanna (AGA-CTC 265 B) och ett vattenburet radiatorsystem. På radiatorerna är termostater monterade. År 1978 monterades ett automatiskt värmeregleringssystem in som med hjälp av givare anpassar inomhustemperaturen efter utetemperaturen och sänker inomhustemperaturen till 18° C på natten.

Husets maximala effektbehov har beräknats till ca 18 kW vid LUT 1 = -16° C (LUT 1 = lägsta dimensionerande utetemperatur för lätta byggnader enligt SBN). Se bilaga 2. Detta värde kommer i realiteten att bli något lägre ty i beräkningarna har ej någon hänsyn tagits till den internvärme som alstras (människor, maskiner, belysning). Solinstrålningens tillskott har ej heller medtagits.

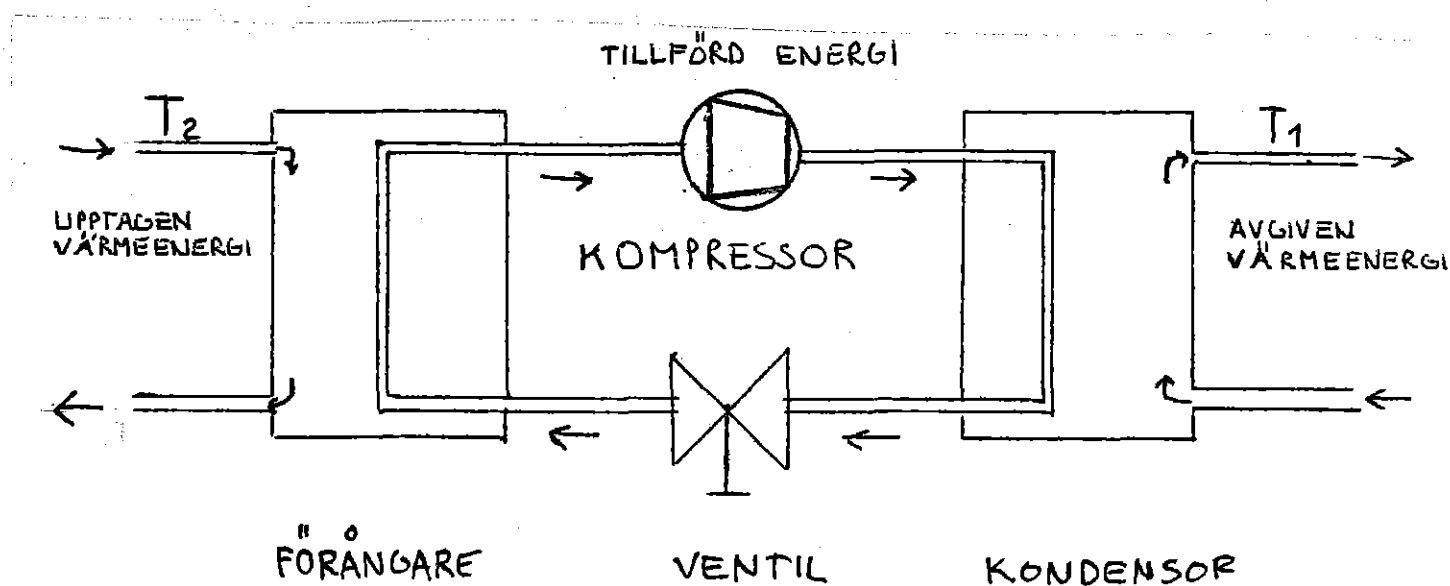
Energiförbrukningen och oljekostnadshöjningen för de senaste åren visas i figur 2.



Figur 2 Oljeförbrukning i liter 1977 - 1980
Kostnad för förbrukad oljemängd 1975 - 1980

VÄRMEPUMPENS PRINCIP

I en värmepump upptas energi vid låg temperatur och avges vid en högre temperatur. Principen för en kompressordriven värmepump framgår av figur 3.



Figur 3 Principfigur för kompressordriven värmepump

Effektiviteten hos en värmepumpanläggning uttrycks av dess värmefaktor.

$$\phi = \frac{\text{avgiven värmeenergi}}{\text{tillförd energi}}$$

Värmepumpen fungerar på följande sätt:

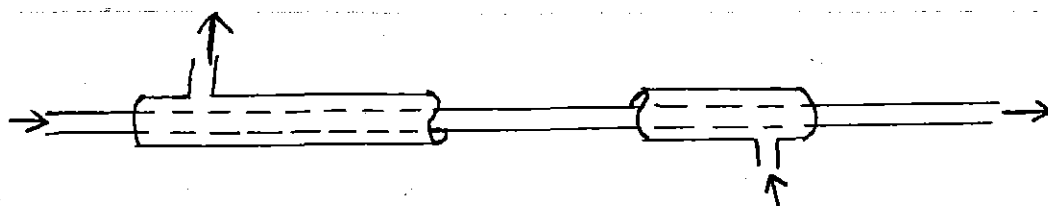
en köldbärare, exempelvis vatten + glykol, cirkulerar i en slang och upptar energi från värmekällan (i detta fall havet). Köldbäraren leds in i förångaren där det finns en vätska (ammoniak, R 22) som kokar vid lågt tryck och låg temperatur. Gasen som bildas komprimeras adiabatiskt (dvs utan värmeutbyte med omgivningen) i kompressorn varvid gasens temperatur stiger. Denna heta komprimerade gas kyls sedan till kondenseringstemperatur beroende på det högre trycket. Gasen kondenseras och avger därvid huvuddelen av den upptagna värmeenergin. Slutligen sänks trycket hos vätskan genom en expansionsventil.

Olika typer av värmeväxlare (Lindahl, A 1980)

En värmeväxlare skall kunna överföra värme från ett medium till ett annat. Några olika typer av värmeväxlare användbara för värmeöverföring mellan två vätskor beskrivs kortfattat.

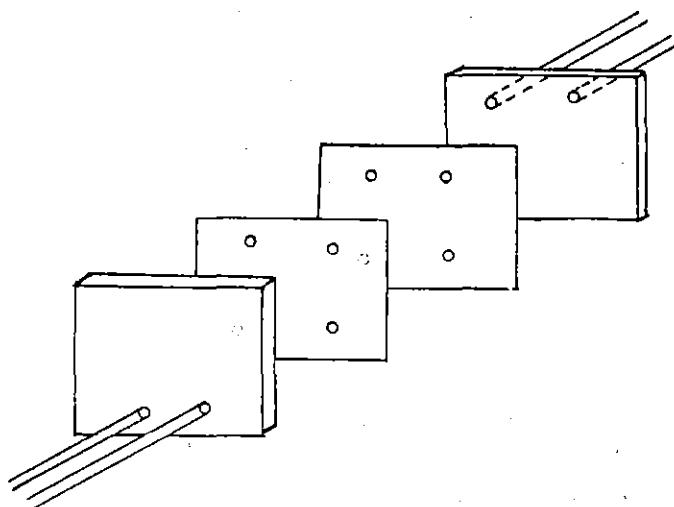
Rekuperativa värmeväxlare

Tubvärmeväxlaren består av rör eller tuber där det ena mediet strömmar på utsidan av röret och det andra mediet på insidan.



Figur 4 Tubvärmeväxlare

Plattvärmeväxlare är en utveckling av tubvärmeväxlare



Figur 5 Plattvärmeväxlare

Direktkontaktvärmeväxlare

Skiljevägg saknas och värmeövergång sker antingen genom direktkontakt mellan två inbördes ej blandbara vätskor varvid den ena befinner sig i droppform eller genom att värme upptages genom avdunstning från ena mediet och avlämnas genom kondensation i det andra mediet. Dock finns för närvarande inga konstruktioner som lämpar sig för värmepumpprocesser.

Olika systemlösningar för sedimentvärme (Svensson, T 1980)

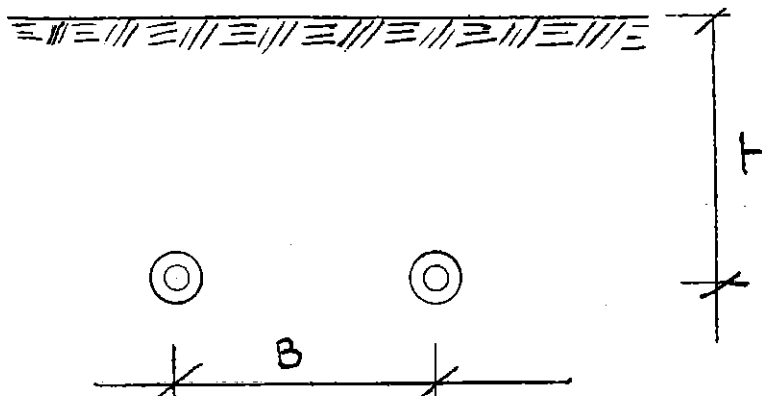
Här redovisas några tänkbara lösningar för sedimentvärmeutnyttjande. Med sedimentvärmesystem menas den typ av system där värmeupptagningen sker i eller under sedimentytan.

1 Slang direkt på botten



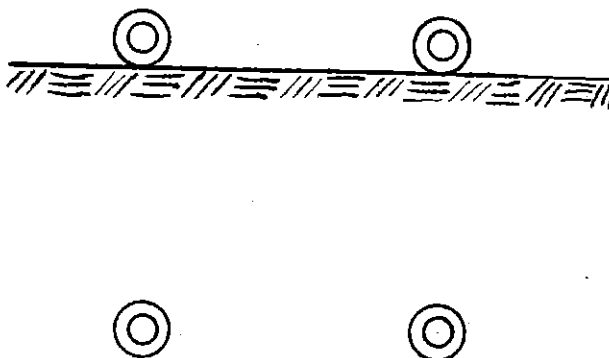
Värmetransport till slangan genom ledning, konvektion, naturliga strömmar och isbildning. Isbildningen måste begränsas p g a isens lyftkraft. Slangarna måste förankras.

2 Nedgrävt, horisontellt slangsystem



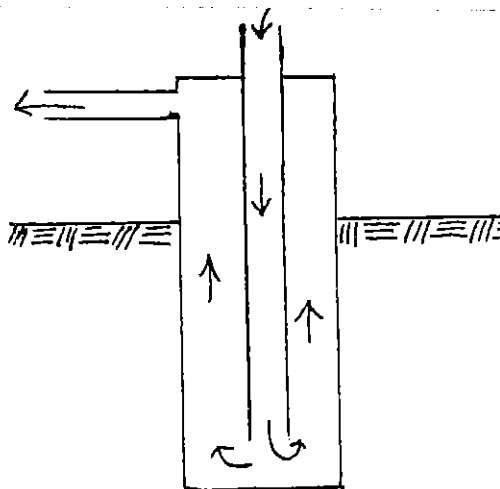
Värmeupptagning genom ledning och isbildning. Randvillkoret vid sedimentytan påverkas av konvektion och strömmar. Konvektionsströmmar kan också uppstå i sedimenten om dessa är genomsläppliga, vilket kan påverka värmetransporten. Eventuell is smälter naturligt under sommaren eller genom att pumpa varmt - 15-20°C - ytvatten genom systemet. Viss värmelagring kan ske genom att värma upp sedimenten ytterligare via slangsystemet. Läggningsdjupet bör vara minst i storleksordningen 3-4 meter för att värmelagring över året ska vara möjlig. Lämplig teknik för nedläggning av slangar i sedimenten med en rimlig kostnadsnivå finns för närvarande inte utvecklad. Dock kan ytligt lagda slangar troligen plöjas eller spolas ned.

3 Kombination av 1 och 2



Kan vara aktuell i samband med värmelagring och värmeuttag vid temperatur nära $\pm 0^{\circ}\text{C}$, värmeuttaget per ytenhet kan då ökas.

4 Vertikalt neddrivna rör

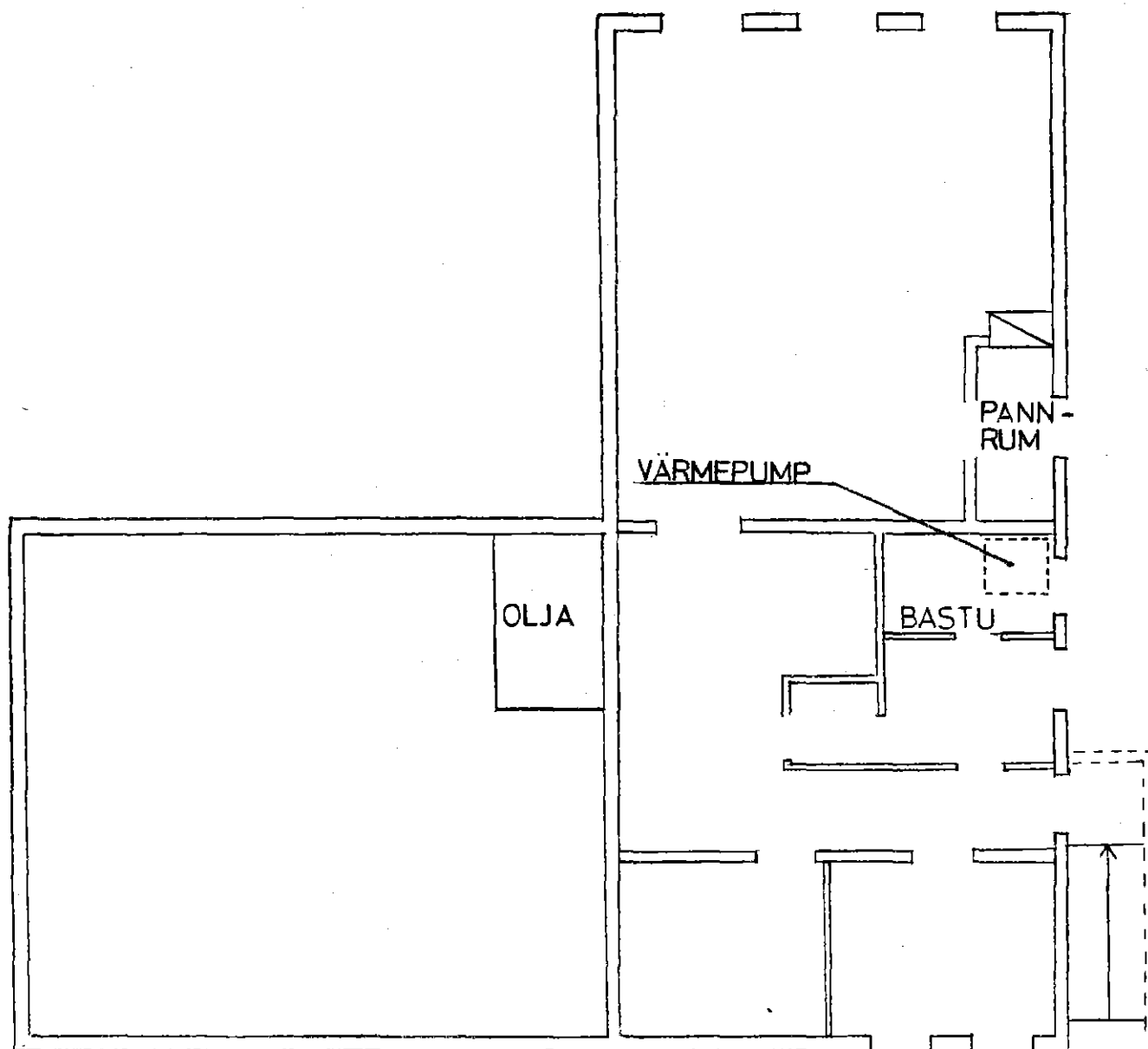


Värmeupptagning genom ledning och isbildning. Rör-
längden kan anpassas till sedimentskiktets tjocklek
varför stora värmeuttag är möjliga. Isen kan smältas
genom cirkulation av uppvärmt vatten.

INSTALLATION INOMHUS

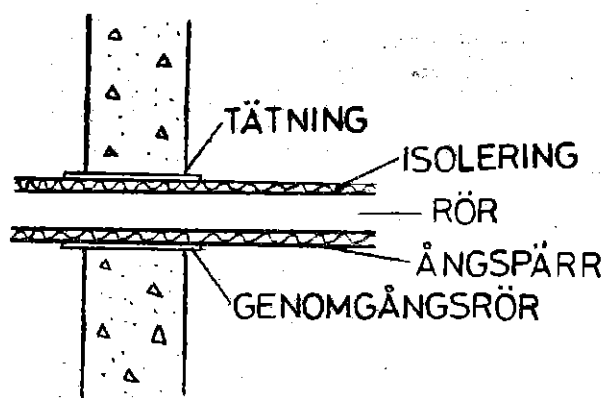
Värmepumpsaggregatet skall placeras i rummet markerat "bastu" enligt figur 6. Detta innebär att det blir korta ledningar till pannrum och elskåp.

Med hänsyn till att radiatorsystemet är dimensionerat för en högre temperatur än vad värmepumpen avger måste eventuellt radiatorytan ökas.



Figur 6 Planritning över källaren visande värmepumpens placering. Skala 1:100

Vid installation måste värmepumpen placeras på ett sådant sätt att vibrationer ej överförs till stommen. I detta sammanhang är genomföringen i väggen mycket viktig. Förslag till lösning visas i figur 7. För att undvika kondens och isbildning skall ångspärr och isolering på slangarna utföras inomhus.



Figur 7 Genomföring av slang i yttervägg

HAVET

Detta kapitel behandlar förutsättningarna för värmeupptagande slangsystem i en havsvik. För att få bakgrunden till förhållandena i viken beskrivs förhållandena i Kattegatt. Funktionen hos anläggningen och slangens livslängd blir främst beroende av följande faktorer: temperatur i vattnet, salthalt, is, växtlighet och vågkrafter. Även bottenmaterialets sammansättning har betydelse för värmeupptagningen hos slangen.

ALLMÄNT

Förändringar i havets temperatur styrs av det varierande värmeenergiutbyte som sker genom in och utstrålning, avdunstning och konvektiv värmeledning mellan havet och atmosfären.

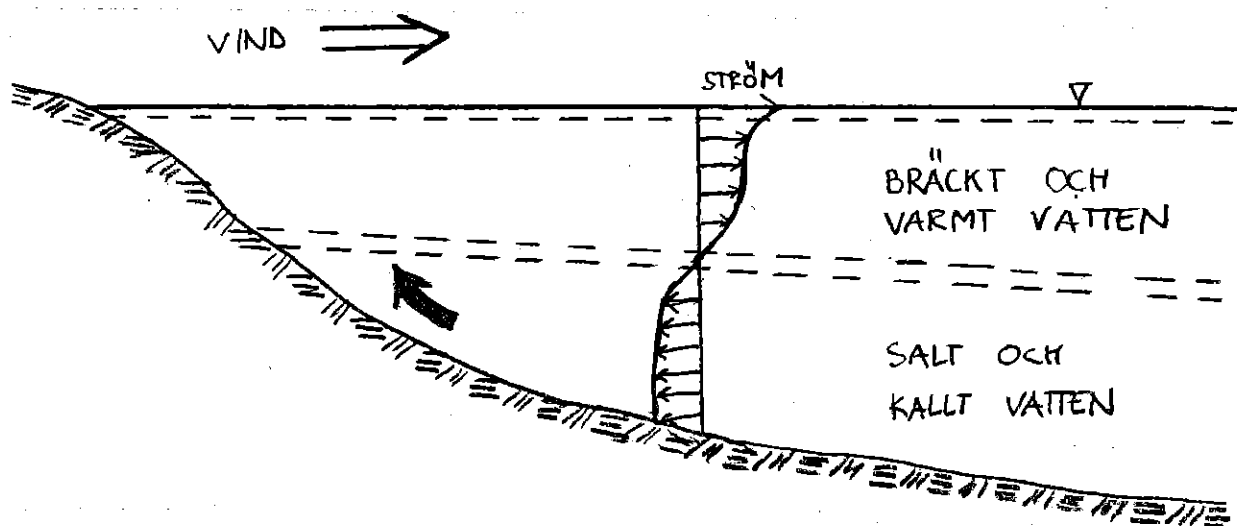
Förhållandena i Kattegatt är av komplicerad natur eftersom det är ett bräckvattenområde som starkt påverkas av dels högsalint vatten från Nordsjön och av utsötat bräckvatten från Östersjön via Baltiska strömmen. Detta medför att man får en stark salthaltsskiktning med i genomsnitt ca 20% salthalt i ett 10 - 20 m tjockt ytskikt och 32 - 33 ‰ därunder. Tätheten hos havsvattnet beror till en större del av salthalten än av temperaturen.

Tidigt på våren har ytskiktet en homogen temperatur. På grund av den starka solinstrålningen uppvärms sedan det översta lagret förhållandevis snabbt varigenom tätheten minskar och en stabil täthetsskiktning utbildas. Täthetsskiktningen förstärks ytterligare då det uppvärmda ytlagret når salthaltssprångskiktet och den vertikala värmetransporten begränsas därefter kraftigt. När ytvattnet sedan på hösten avkyls sjunker ytvattnet eftersom dess täthet ökar och ger en konvektiv omblandning i det salthaltshomogena ytskiktet. Då ytskiktets temperatur sjunker under temperaturen för maximal täthet ($-0,3^{\circ}\text{C}$ vid 20 ‰ salthalt) minskar tätheten vid ytterligare avkylning och förutsättningen för en omvänd temperaturskiktning har bildats. Densitetsskillnaden är dock så liten att omblandning genom vind och strömmar medför risk att temperaturen på botten når ner till fryspunkten (Fryspunkten för västkustvatten med 20 ‰ salthalt är -1°C).

Dessa speciella förhållanden kan, när de uppstår vålla problem för värmeupptagaren genom att värmeflödet från vattnet till slangen blir litet. Is bildas då runt slangen och orsakar stora lyftkrafter.

Strömmarna i vattnet har stor betydelse för värmeupptagning hos kylslangar. I huvudsak drivs strömmarna vid kusten av vinden, men även andra faktorer såsom tidvattnet, sötvattenutflöden och jordrotationen har betydelse.

Strömmar kan vara kopplade till rörelser i språngskiktet vilket innebär att temperaturen på ett visst djup snabbt kan förändras. Vid frånlandsvind och nordliga vindar stiger språngskiktet och kan i extrema fall nå ända upp till ytan, s k uppvällning. Vinden driver i detta fall ytskiktet ut från land varvid vattenståndet sjunker. Vattenståndssänkningen kompenseras av en betydligt större höjning av språngskiktet varvid kallt bottenvatten strömmar in, se figur 8. Då vinden upphör återtar språngskiktet sin ursprungliga nivå.

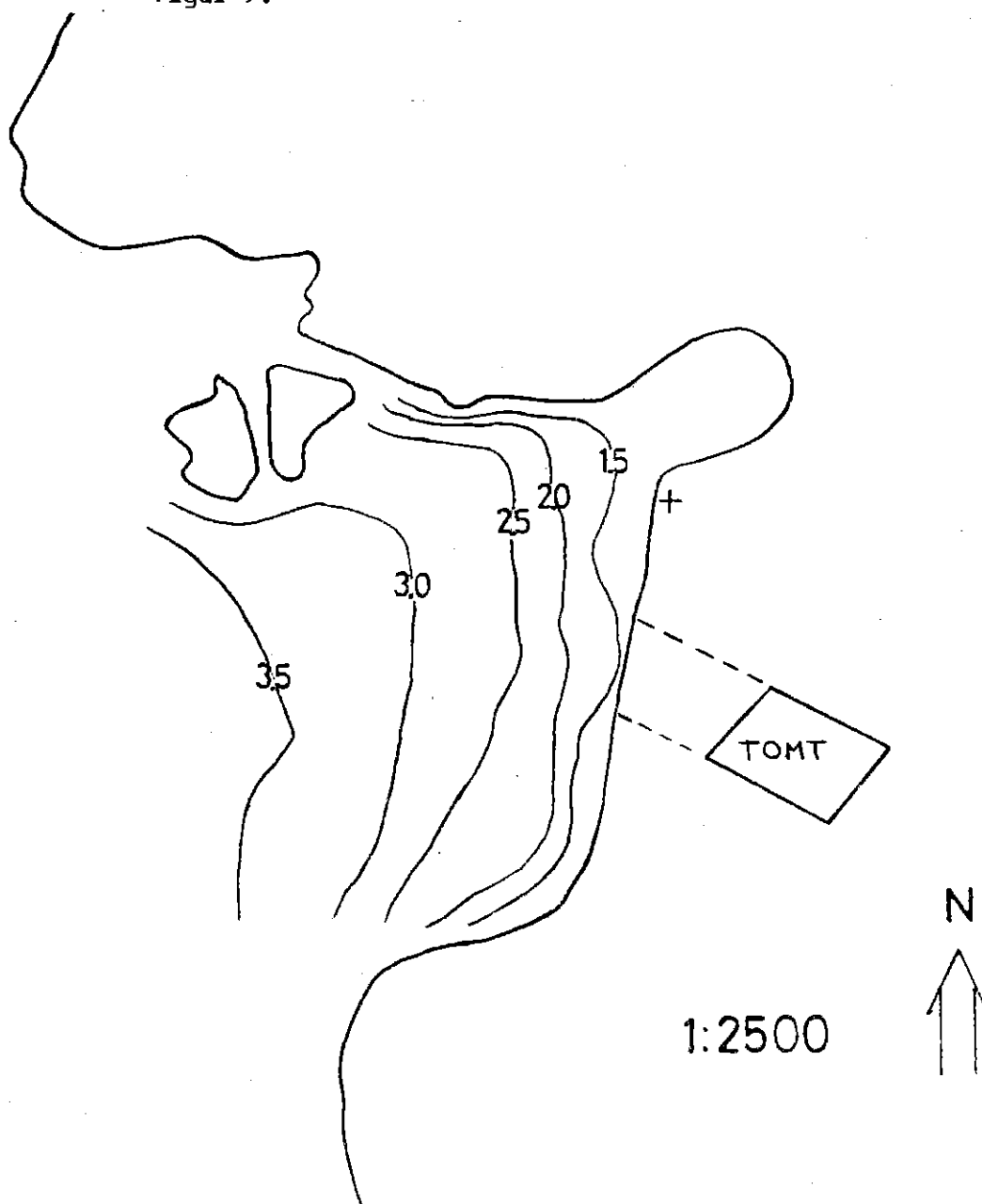


Figur 8. Vattenstånds- och språngskiktsförändringar vid frånlandsvind. Kallt bottenvatten förs in mot kusten på grundare djup.

Variationer i språngskiktsnivå förekommer också i form av regelbundna svängningar av olika perioder. Bland annat är svängningar av tidvattensperiod vanliga. Dessa fenomen kommer i detta fall ej att orsaka några problem eftersom Töseviken är relativt grund.

DJUPKARTERING AV VIKEN

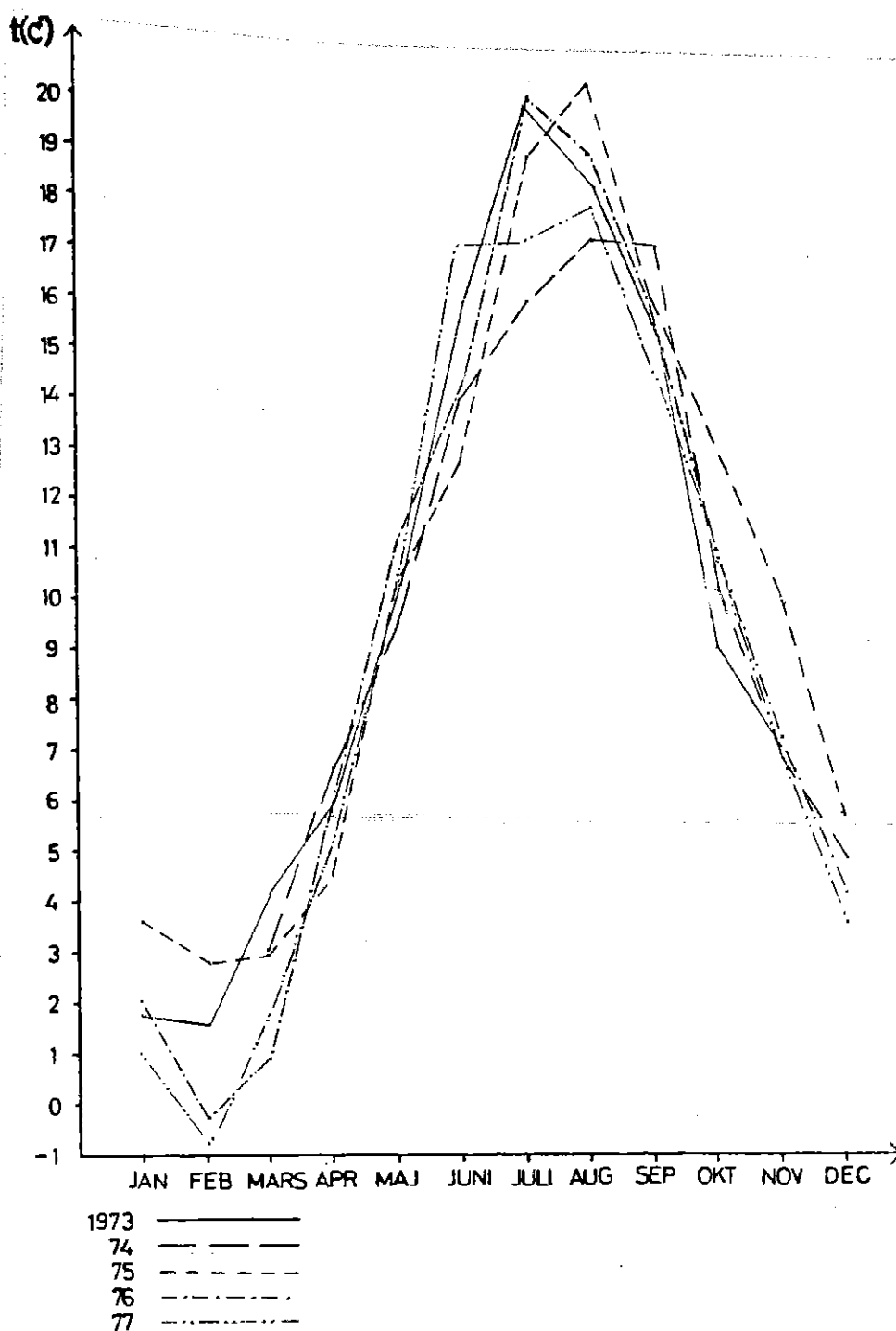
Målet med karteringen var att bestämma de ungefärliga djupförhållandena för viken för att kunna bedöma inverkan av eventuella strömmar, vind och ispåverkan på anläggningen. Viken indelades i ett rutnät med stakkäppar placerade i ett ortogonalt system så att rutnätets punkter lätt och med god säkerhet kunde identifieras. Därefter upplodades vattendjupet. Vattenståndet i havet var vid mätningen + 12 cm över medelvattenståndet. Mätvärdena har korrigerats med hänsyn till detta. Det upplodade vattendjupet framgår av figur 9.



Figur 9 Vattendjupet i Töseviken

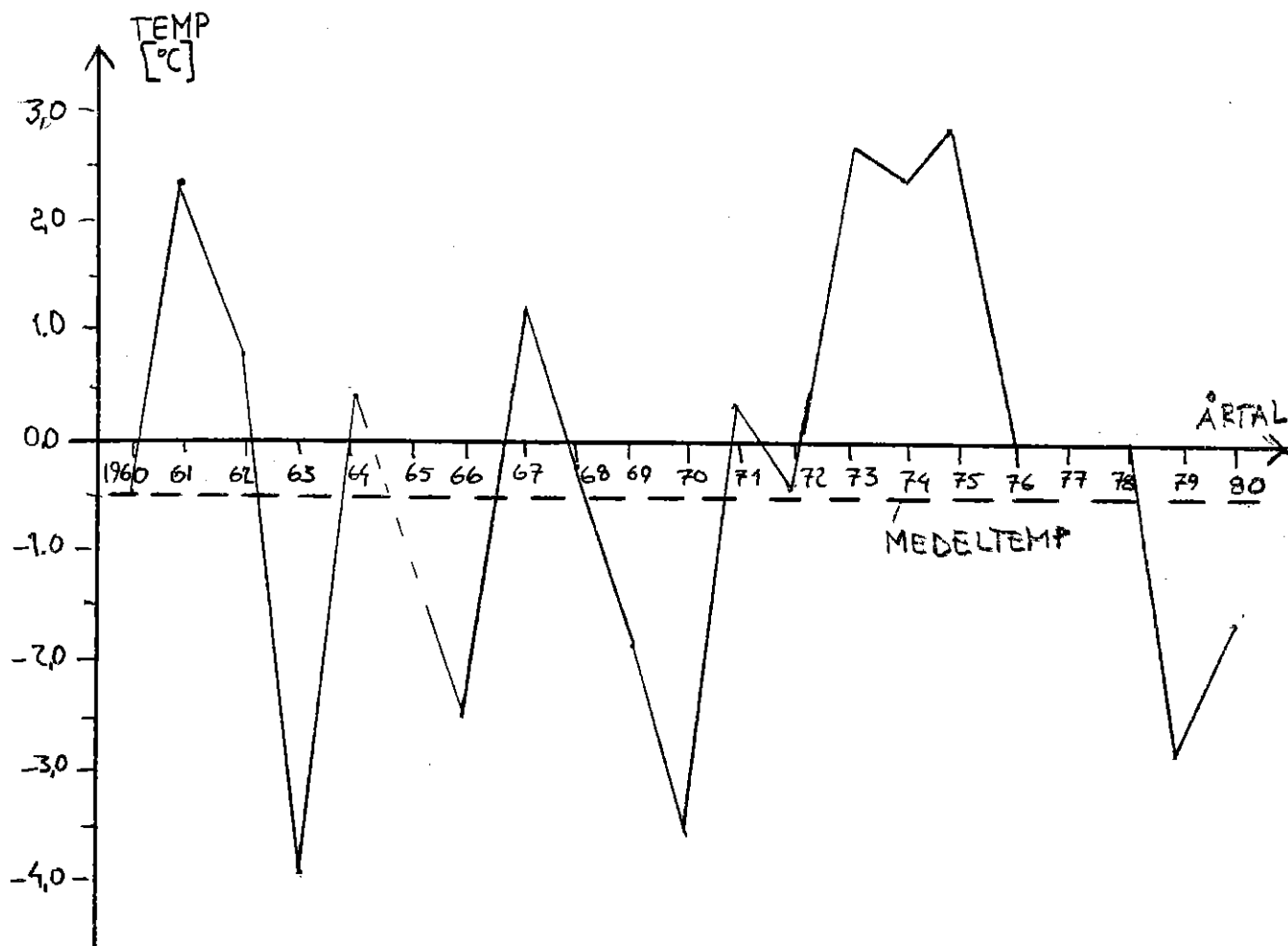
TEMPERATUREN I VATTNET

Den viktigaste faktorn för värmeupptagningen är temperaturen. Med hjälp av statistik från SMHI:s observationsstation vid Hållsundsudde har temperaturvariationerna under året fastställts. Temperaturförhållandena i Töseviken har antagits överensstämma med statistiken från Hållsundsudde. Som komplement har stickprov utförts i Töseviken vid två tillfällen. Statistiken baserar sig på 2-6 mätningar/månad utförda vid Hållsundsudde, 1 mil SSO Töseviken, under åren 1973-1977 (Havsfiskelaboratoriet, Lysekil 1973-1977). Dessa värden finns sammanställda i bilaga 3 och illustrerade i figur 10.



Figur 10 Temperatur vid ytan, Hållsundsudde 1973 - 1977

Ur statistiken kan utläsas att månadsmedelvärdet i februari är under ± 0 C två vintrar av fyra. I det ena fallet var temperaturen $0,2^{\circ}$ C över fryspunkten och i det andra fallet $0,5^{\circ}$ C över fryspunkten vid rådande salthalt. För att konstatera om det var milda eller stränga vintrar åren 1973 - 1977 har statistik över lufttemperaturen under vintrarna 1960 - 1980 framtagits, se bilaga 4 och figur 11. I denna statistik ser man att vintrarna 1973 - 1975 är ovanligt milda och att vintrarna 1976 - 1978 var normala. Vattentemperaturerna i Töseviken kan under stränga vintrar förväntas bli lägre än de i figur 10 visade värdena.



Figur 11 Lufttemperatur - januari - mars medelvärden under åren 1960 - 1980 vid Vinga (SMHI)

Två stickprov av temperaturen i Töseviken visas i tabell 1.

	801004	810302
T (YTA)	12 °C (20,6‰)	1,0 °C (15,0‰)
T (BOTTEN)	12 °C	0,6 °C
T (SEDIMENT) (40 cm NER)	—	1,5 °C

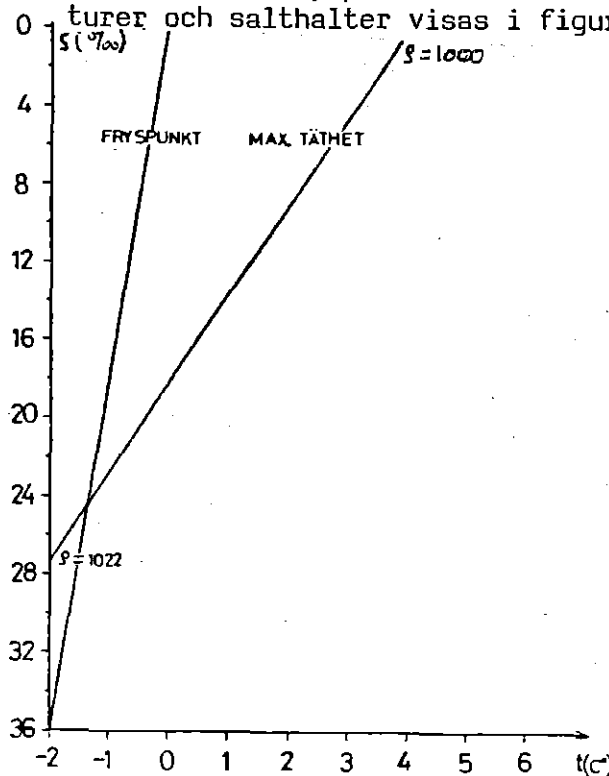
Tabell 1 Temperatur och salthalt vid mätningar i Töseviken

Den uppmätta temperaturen i mars 1981 motsvarar ungefär vad som uppmäts vid samma tidpunkt vid Hållsundsudde under de båda kallare åren 1976 - 1977

SALTHALT

Som framgick i början av kapitlet har salthalten stor betydelse för vattnets fryspunkt. Enligt mätningar gjorda vid Hållsundsudde varierar salthalten vanligtvis mellan 20-24 ‰, men man kan notera extremvärden ner till 12 ‰ och upp till 34 ‰. I samband med temperaturmätningarna i Töseviken utfördes även salthaltsbestämningar se tabell 1.

Saltvattnets fryspunkt och maximala täthet vid olika temperaturer och salthalter visas i figur 12.



Figur 12 Saltvattnets fryspunkt och maximala täthet vid olika temperaturer och salthalter

Det som är av intresse i detta fall är:

salthalt på 12 ‰, vattnet fryser vid - 0,7° C
 salthalt på 22 ‰, vattnet fryser vid - 1,2° C
 salthalt på 34 ‰, vattnet fryser vid - 1,9° C

Från bilaga 3 utläses att februari är den kallaste månaden med temperaturer kring fryspunkten. I januari och mars ligger temperaturerna mellan 1-3° C över fryspunkten. Man kan förvänta sig lägre värden vid kalla vintrar.

ISFÖRHÅLLANDEN I TÖSEVIKEN

Isens utbredning och varaktighet har betydelse för värmeupptagningen av två skäl. Vid isläggning över hela viken minskar strömmarna vid botten p g a att vinden inte kan driva strömmar och därigenom minskar också värmeupptagningen. Kraftig isläggning indikerar också att vattentemperaturen är mycket låg. Vidare bidrar isen till mekanisk åverkan i strandzonen. Statistik har hämtats från SMHI, Havsisens utbredning, SMHI, månadsöversikt, Thorslund B; och från intervjuer med boende vid viken. Se bilaga 5.

De slutsatser som dragits är

- inre delen av viken isläggs en kortare period varje vinter
- isläggning ut mot Virkesholmarna och utanför sker 1 gång var 3:e - 5:e vinter. Statistik från Kattegatt visar att minst en längre period med stadigvarande is inträffar ungefär var 4:e år
- packis bildas i strandzonen och stora isflak ställer sig på högkant.

SLUTSATSER FRÅN - TEMPERATUR - SALTHALT - IS

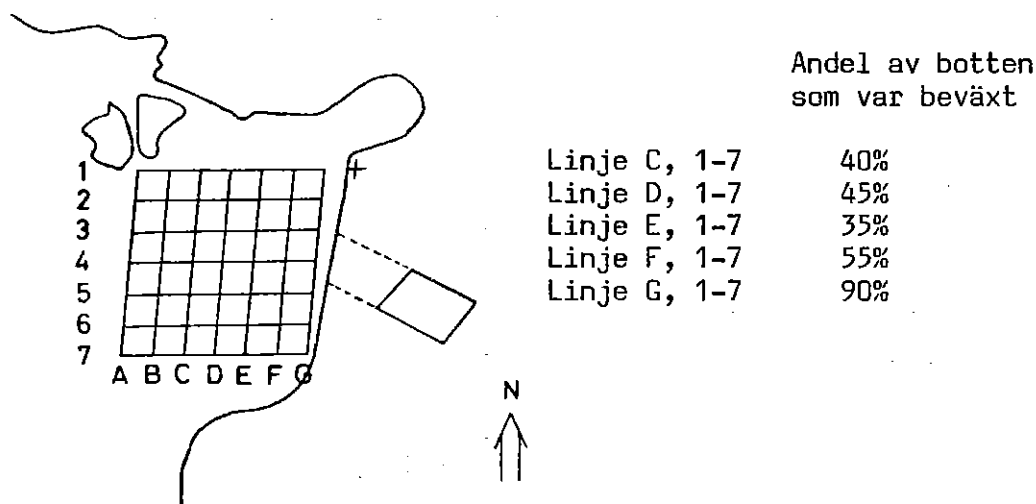
- o Vid milda vintrar är vattentemperaturen i februari 2-4° C över fryspunkten under kortare perioder och stränga vintrar under längre perioder.
- o Ungefär var 4:e år blir vattentemperaturen så låg att isen ligger ut mot Virkesholmarna och utanför.
- o Förutsättningar för låga temperaturer under lång tid (2 - 3 månader) är liten.
- o Vid is i inre delen av viken måste slangarna skyddas i strandzonen ner till ett vattendjup av 2 m.
- o Vid is ut till Virkesholmarna försämras värmeupptagningen p g a den låga vattentemperaturen och stillastående vatten. Det kan då bli nödvändigt att stänga av anläggningen.

VÄXTLIGHETEN I TÖSEVIKEN

Påväxten av alger och tång är ett problem vid bottenförlagda slangar. Denna växtlighet minskar vattenflödet kring slangen och därmed också energiupptagningen - isolerande effekt. Växterna kommer även att orsaka mekanisk nötning som i ett längre tidsperspektiv ger en försvagad slang. En annan effekt är att växtligheten på botten medför att slangen kan lyftas en bit från botten och således lättare påverkas av strömmar.

Från stranden sluttar botten sakta utåt och är på sina ställen täckt med bälten av ömsom ålgräs ömsom blåstång och alger. Botten är mycket jämn utan några upphöjningar, utgrundningar eller stenar som kan skava på slangen.

En uppskattning av växtmängden har gjorts vid en undervattensundersökning av botten, se figur 13.



Figur 13 Uppskattning av växtmängden i Töseviken

De organismer som kan vara av betydelse för slangen är främst:

- ålgräs - *Zostera Mavina*
- blåstång - *Fucus Vesiculosus*
- alger - *Ceramium Rubrum*, *Delesseria Sanguinea*
- havstulpaner
- bakterier

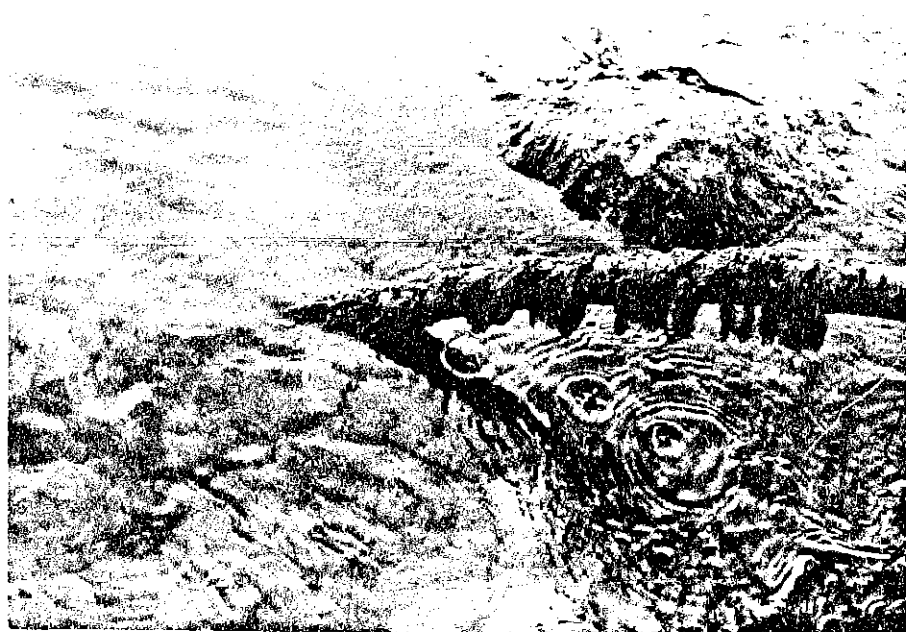
Vad kan man nu göra för att förhindra påväxt på slangen? För att undersöka om det går att frysa bort beväxningen utfördes ett experiment.

En bit slang - PEL Ø 40, NT 10 - med kraftig beväxtning, se figur 14, nedfrysades och upptinades ett antal gånger under 2 veckor. Inga större mängder av påväxten lossnade, varför experimentet avbröts. Det är inte troligt att man med denna metod kan lyckas få bort påväxten. Däremot har ej undersökts hur mycket mindre påväxt som fås på en nedkyld slang.

Två andra alternativ som kan förhindra påväxt är

- nedgrävning av slangen
- behandling med giftfärger (upprepad behandling)

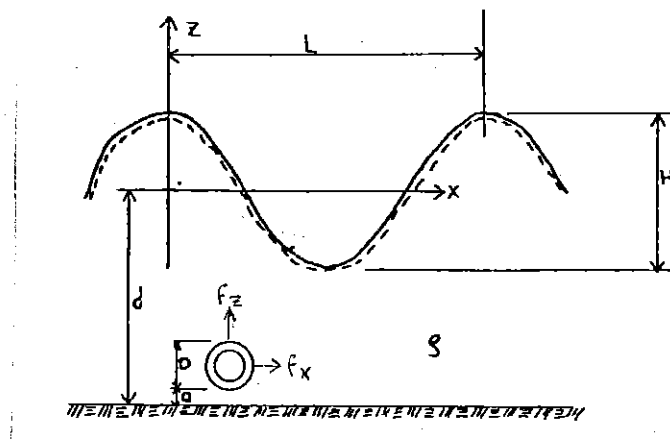
Vid beväxtning av slangen bildas ett isolerande skikt av stillastående vatten. Hänsyn till detta måste tas vid dimensionering av värmeupptagningsförmågan.



Figur 14 Beväxtning på slangar som legat i viken
tre sommarmånader

VÄGKRAFTER PÅ BOTTENFÖRLAGD SLANG

Detta avsnitt behandlas enbart översiktligt och med grova antaganden, för fördjupning se Bergdahl 1979, US army shore protection manual 1977.



Figur 15 Definitionsfigur för beräkning av vägkrafter

- L = våglängd
- H = våghöjd
- d = vattendjup
- D = slangens ytterdiameter
- a = avstånd från botten till underkant av slangen
- ρ = densitet
- F_x = sidokraft på slang
- F_z = lyftkraft på slang
- $C_{Dx}, C_{Mx}, C_L, C_{Mz}$ = koefficienter
- U, W = hastighet i X resp Z-led

Krafterna blir

$$F_x = C_{Dx} \cdot \rho \cdot D \cdot \frac{1}{2} U / U / + C_{Mx} \cdot 3\pi \frac{D^2}{4} \frac{du}{dt}$$

$$F_z = C_{Mz} \cdot \rho \cdot \frac{D^2}{4} \cdot \frac{dw}{dt} + C_L \cdot \rho \cdot D \cdot \frac{1}{2} u^2$$

Beräkningen är utförd i bilaga 5. Här ska observeras att ingångsparametrarna är kraftigt överdimensionerade. Fallet med helt luftfylld slang blir dock dimensionerade för lyftkrafter.

$$F_x = 9,7 \text{ kg/m}$$

$$F_z = 2,6 \text{ kg/m}$$

BOTTENMATERIALETS EGENSKAPER

Bottenmaterialets termiska egenskaper bestäms av mineralkornens egenskaper, av vilka kvarts avviker kraftigt från de övriga samt av vattenhalten. Med kännedom om dessa har värmeledningsförmåga och värmekapacitivet beräknats med en metod angiven av Öyvind Johanssen, 1975. Se bilaga 7.

Bottenprover togs i tre punkter i viken med syfte att få så ostörda prover som möjligt. Dessa prov fördes till CTH där de vikt- och volymbestämmas. Härav beräknades skrymdensitet, torrdensitet, vattenkvot och vattenhalt. Kvartshalten uppskattades till 0,5. Medelvärdet av bestämningarna användes för att beräkna bottenmaterialets termiska egenskaper. Dessa blev

$$\begin{aligned}\lambda &= 2,0 \text{ W/m}^{\circ} \text{ C} && (\text{Värmeledningstalet}) \\ c' &= 2,9 \cdot 10^6 \text{ /m}^3 \text{ }^{\circ} \text{ C} && (\text{Värmekapacitivet map volym})\end{aligned}$$

Dessa siffror skall ej ses som exakta utan innehåller vissa osäkerhetsfaktorer. För att undersöka känsligheten för de olika ingående parametrarna användes ett minidatorprogram som beräknar värmeledningstalet som funktion av vattenhalt kombinerat med någon av de andra parametrarna. Resultatet framgår av bilaga 8. Porositeten visar sig vara den parameter som ger störst relativa ändring på värmeledningstalet. Detta innebär att porositeten är den variabel som måste bestämmas noggrannast.

SLANGEN

Här behandlas slangerna ovan och under vattnet. I avsnittet "slangen ovan vattnet" redovisas olika ledningsnedläggningar och kulvert i strandzonen. "Slangen under vattnet" behandlar olika typer av förankring och dimensioneringen av slangerna.

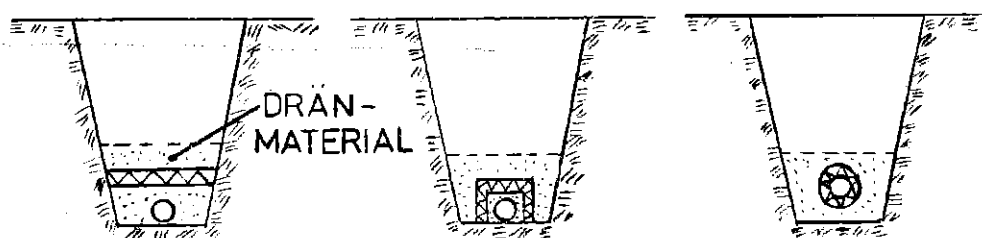
PRINCIPUTFORMNING

Slangarna läggs i marken från huset ner till en kopplingsbox där slangarna delas upp i tre slingor. I en kulvert skyddas slangarna i strandzonen, se figur 18 och 21. Slangarna förankras med vikter.

SLANGEN OVAN VATTNET

För markledningar bestäms erforderliga läggningsdjup normalt antingen av anslutningsmöjligheter, trafiklast eller tjäl-förhållanden.

Maximalt tjäldjup under snötäckt mark är för sand 1,4 meter i Göteborg. För VA-ledningar gäller kravet att vattnet i ledningen inte får frysa och att ledningen inte får skadas av tjällyftningen i frostaktiva jordarter. I detta fall kommer dessa krav ej att bli aktuella utan man får istället ta hänsyn till att värmeförlusten inte får bli för stor. Tjäldjupsnedträngningen kan reduceras genom isolering av ledningsgraven. Återfyllning kring isolering ska ske med dränerande material som packas upp till en nivå ca 0,1 meter över isoleringen.



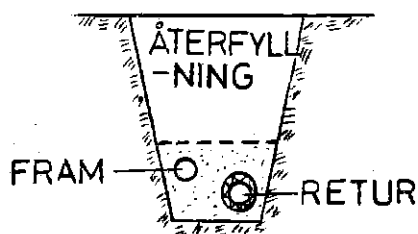
Figur 16 Olika typer av ledningsisolering

Lägningsarbetet bör föregås av noggrann planläggning. Innan arbetena påbörjas lokaliseras eventuella hinder såsom el- och teleledningar, befintliga VA-ledningar och kulvertar.

Utformningsförslag av ledningsgrav

Vid ledningsdragningen måste man ta hänsyn till att en kall och en varm ledning ligger i samma ledningsgrav. För att förhindra för stora värmeförluster isoleras returledningen med 8-10 cm:s rörskålar se bilaga 9 och figur 17.

Ledningen läggs ned till 0,6 meters djup på området märkt "jord+återfyllning" och "jord+sten" se figur 18 på sträckan märkt "sten+block" föreslås vi att man tar undan de största blocken och lägger ledningen direkt på marken. Man återfyller med makadam, grövre stenar och små block för att skydda ledningen mot åverkan. På några ställen bör man se till att ledningen läggs krokigt i ledningsgraven så att expansionsutrymme erhålls.



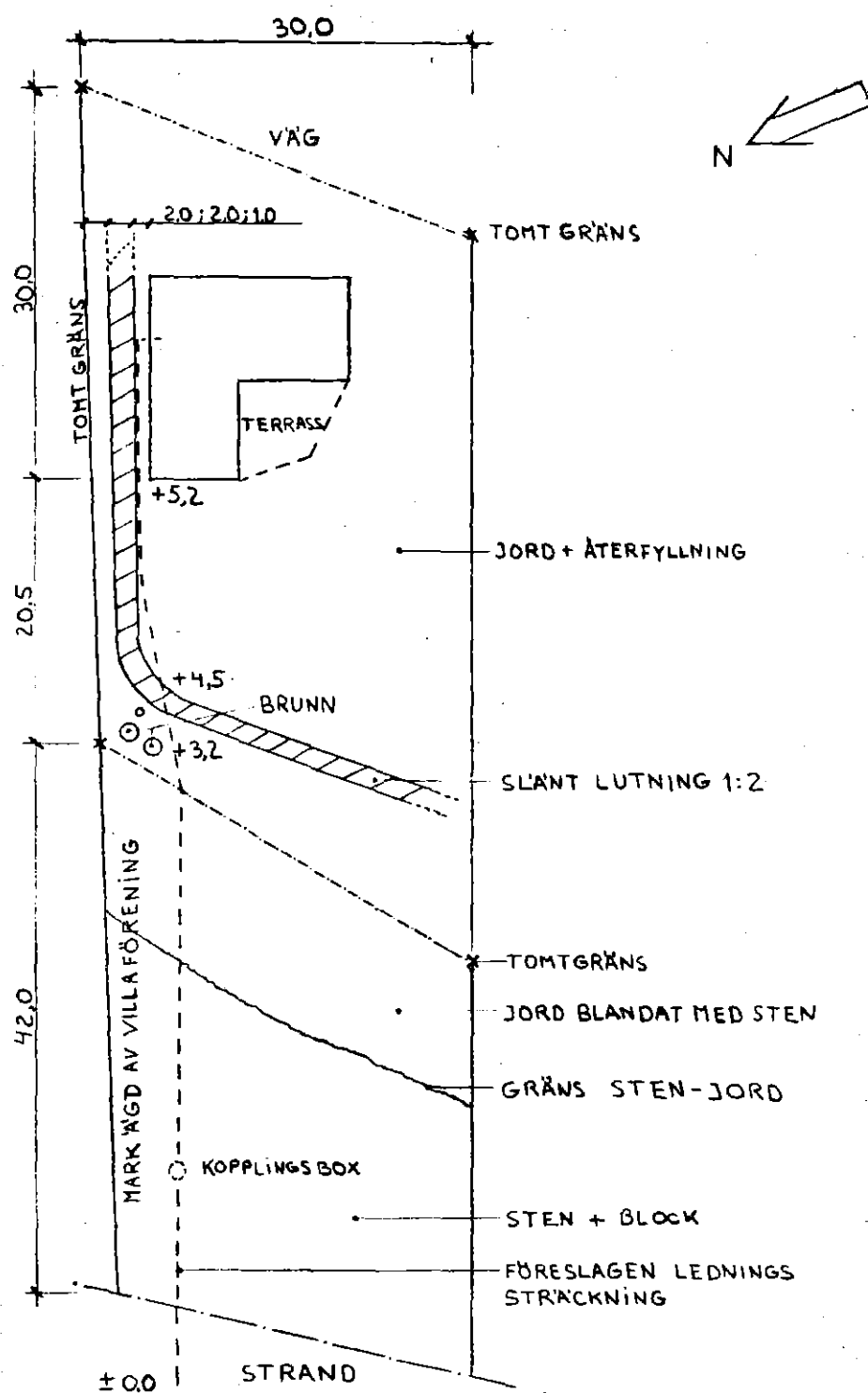
Figur 17 Förslag till utförande av ledningsnedläggning

Kopplingsboxen

Framledningen från huset delas upp i tre slingor i kopplingsboxen, se figur 21. Kopplingsboxens funktion är att skydda kopplingarna mot yttre åverkan och därmed minska risken för läckage. Kopplingsboxen bör göras tät så att eventuellt läckage av brine ej sprids. På varje brineslinga kopplas en skjutventil så att anläggningen kan injusteras vid igångkörningen.

Olika utförande av kopplingsbox och samlingsrör finns på marknaden.

Ett bra och billigt alternativ är att placera ett standardiserat samlingsrör inuti en betongring med lock (typ avloppsbrunn).



Figur 18 Planritning över ledningsdragning

Olika kulverttyper

Från kopplingsboxen och ner mot vattnet måste slangarna skyddas med en kulvert. Denna skall börja ca 10 meter från strandkanten och kulverten måste utföras så att den ej påverkas av vågor eller is.

Alternativa utformningar:

Betongkulvert Betongrör i sektioner som delvis nedgrävs i stranzonen.

Ett dyrt alternativ som ger ett gott skydd.

Svetsade stålrör Stålrören svetsas på platsen, placeras ut och förankras i slutet med en stenkista. För att PEL-slangarna ej ska skäras av bör stålröret förses med en gummimuff. Rören läggs ovanpå en bädd av makadam och övertäcks av makadam och grövre material.

Korrosion av rören måste beaktas. Svetsning och utläggning blir både komplicerad och dyrbar.

Besprutning med betong Slangarna läggs i en urschaktad rörgrav som sedan besprutas med betong ovanpå slangarna. Rörgraven återfylls sedan med sten.

Ett billigt alternativ men om sättningar uppstår så finns det risk att betongen bryts. Om slangarna måste bytas ut blir det dyrbart.

Grova PEL-rör Slangarna läggs i två grova PEL-rör (PEL 125 NT 10 $d_i = 89,2$ mm). Denna har en vägg tjocklek av 17,9 mm, vilket bör ge ett tillräckligt skydd mot isnötning. Denna slang kan även röra sig om det skulle bli sättningar etc. Slangen förankras punktvis och kan eventuellt övergjutas i strandzonen.

Ett billigt och smidigt alternativ, lätt att lägga, följer bottenkonturen väl. Det enda som är svårt att fastställa är livslängden på konstruktionen.

Grova PEL-rör med skyddsskikt Slangarna läggs i grövre PEL-rör. Botten jämnas ut där rören ska nedläggas. Sedan täcks rören med ett lager av grus och efter det lägger man på grövre sten och block för att förhindra att gruset transporteras bort med vågorna.

Dyrare alternativ är föregående men det mer motståndskraftigt.

PEL-slangar med skyddsskikt Samma som ovan men skillnaden är att man lägger PEL-slangarna direkt utan det grova PEL-röret.

Sämre skydd av de mindre PEL-slangarna. Kostnad något mindre än föregående alternativ.

SLANGEN UNDER VATTNET

I detta avsnitt behandlas värmeupptagningen från vatten och sediment och olika förankringsmetoder för slangen.

Dimensionering av värmeupptagningsförmågan

Alla beräkningar är utförda i bilaga 10. En noggrann beräkning som tar hänsyn till aktuella randvillkor (konvektionsströmmar, variabla värmeledningsegenskaper etc) kräver avancerade lösningsmetoder som ligger utanför ramen för detta examensarbete. De resultat som redovisas avser främst, att användas för att jämföra de olika systemlösningarna samt att ange inom vilka gränser värmeuttaget kommer att variera.

Beräkningarna har genomförts för 3 fall (T Svensson 80):

- 1 Radiell värmeledning genom slangvägg
 - fritt i vattnet
 - på botten
- 2 Radiell värmeledning i oändligt medium
 - i sedimenten
- 3 Värmeupptagning med frysning kring slang.

Generella förutsättningar:

- PEL 40, NT 6
- Brine bestående av 25% etylenglykol + vatten
- Turbulent strömning i slangarna
- Påtvingad laminär strömning utanför slangarna
- Värmeledningstalet för slangen $\lambda = 0,35 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

1 Förutsättning för radiell värmeledning genom slangvägg

Vattnet i och utanför slangväggen är:

- väl blandat
- har konstant temperatur ända fram till slangväggen.

Vid givna temperaturförhållanden svarar detta mot maximal tänkbar värmeupptagning. Detta fall kan uppnås med slangarna hängande fritt i vattnet. Värmeuttaget beror till stor del på det omgivande vattnets hastighet, denna har därför varierats.

Resultat:

$u(\text{m/s})$	$K' (\text{W/m}^\circ\text{C})$	$Q(\text{W/m})$
0,01	7,55	$7,6 \cdot \Delta T$
0,1	8,83	$8,8 \cdot \Delta T$
0,5	9,33	$9,3 \cdot \Delta T$

För slang förlagd på botten gäller dessutom

- låg vattenhastighet
- halva slangen ligger i sedimenten
- andra halvan är beväxt med alger
(räknas som ett 3 cm stillastående isolerande vattenskikt)

Resultat:

$u(\text{m/s})$	$K' (\text{W/mC}^0)$	$Q(\text{W/m})$
0,01	2-3	$2-3 \cdot \Delta T$

2 Förutsättningar för radiell värmeledning i oändligt medium (i sedimenten)

- Sedimenten har oändlig utsträckning
- Värme tas från omgivningen genom att dess temperatur sänks
- Brine temperatur, värmeledningsförmåga och värmekapacitet hos sedimenten är konstant.

Resultat:

$u(\text{m/s})$	$K' (\text{W/mC}^0)$	$Q(\text{W/m})$
0	3,62	$3,6 \Delta T$

3 Förutsättningar för värmeupptagning med frysning kring slang

För det tredje fallet har beräkningarna utförts för det sämsta som kan inträffa ur värmeupptagningsynpunkt:

- isen ligger under längre tid i hela viken
- maximalt 5 cm:s radiell istillväxt tillåtes på slang
- värmeupptagning sker endast genom isbildningsvärme
($\alpha_{is} = 339 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3$)
- ingen eller ringa strömmning i viken
- vattenmassan har en låg konstant temperatur
- bortse från värmeströmmning från sediment.

Resultat:

Istillväxt under	Q
1 vecka	3,3 W/m
3 veckor	1,1 W/m

I verkligheten kommer en kombination av dessa fall att inträffa. Ett rimligt värde för dimensioneringen är $Q = 6,0 \Delta T (\text{W/m})$. Den effekt som ska tas ur havet är 6 - 8 kW (se "utformningsförslag"). Temperaturskillnaden ΔT sätts till 30 C. Då blir slanglängden:

$$\frac{Q}{6 \Delta T} = \frac{8 \cdot 10^3}{6 \cdot 3} \frac{\text{W}}{\text{W/m}} = 450 \text{ m}$$

Med hänsyn till temperturhöjningen av vätskan i slangen är det lämpligt att dela upp den i 3 längder d v s $3 \times 150 \text{ m}$.

Dimensioneringen innebär att anläggningen måste stängas av en eller flera veckor under svåra isvintrar. Avstängning görs när temperaturen på inkommande brine blir lägre än ett visst värde svarande mot tillåten ispåfrysning.

Olika förankringsmetoder för bottenförlagd slang

Den bottenförlagda slangen påverkas av vågor, strömmar och is. Sjöledningar kan förankras på tre principiellt olika sätt, punktvis förankring, nedschaktning i botten och ökning av egenvikten (Gustavsberg, 1975).

Punktvis förankring

Punktvis förankring innebär att ledningen med vissa mellanrum hålls fast vid botten. Förankringen kan antingen utgöras av vikter vilkas egentyngd utgör själva förankringen eller med speciella anordningar som fäster ledningen till botten.

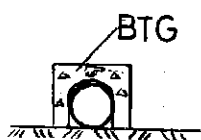
Avståndet mellan förankringspunkterna bestäms av två olika faktorer. För det första skall ledningens statiska jämvikt säkerställas. Horisontella och vertikala våg- och strömkrafter på ledningssträckan mellan två förankringsställen får inte överstiga förankringens fasthållningskraft. För det andra får ledningens utböjning i horisontell eller vertikal led inte vara så stor att tillåtna spänningar i materialet överskrides.

En vanlig typ av förankring utgörs av sadelvikter i betong, se figur 19. De kan utnyttjas antingen som permanenta eller tillfälliga belastningar exempelvis på en ledning som under läggningsskedet ej är helt vattenfylld.

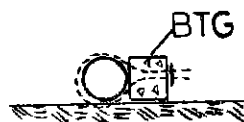
Även sänkvikter, se figur 19, som i vissa fall kan bli mycket stora, måste dimensioneras för våg- och strömkrafter. (Betongens effektiva tyngd i vatten är endast 1400 kg/m^3).

Förankring med pålar, se figur 19, förekommer huvudsakligen vid ledningens ändpunkter eller vid andra punkter där våg- och strömkrafter kan bli stora. Av ekonomiska skäl används pålning endast när andra metoder har visat sig helt otillräckliga. En använd metod är att förankra slangen med byglar av armeringsjärn. Korrosionsrisken gör att detta är mindre lämpligt i vatten. En billig och praktisk metod är att ta säckar av väv och fylla dessa med cement och sand som man förankrar vid ledningen. När man sedan sänker ner ledningen i vattnet kommer bruket att stelna.

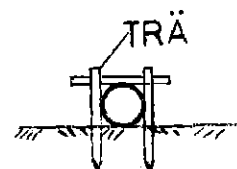
En annan metod är att frysa fast slangarna i botten. Denna metod är ej tillförlitlig med hänsyn till vågpåverkan.



Figur 19 Sadelvikt
av betong



Sänkvikt
av betong



Förankring med
hjälp av pålar

Nedschaktning i botten

Nedschaktning i botten är normalt en kostsam förankringsmetod och tillgripes endast när andra metoder inte är tillfyllest. Nedschaktning kommer därför i allmänhet endast ifråga inom zonen för brytande vågor, men kan även komma ifråga när det gäller platser som är utsatta för stora ström- och vågkrafter, massiv isbildning etc.

Nedschaktning kan utföras på två sätt. Antingen grävs en ränna i botten i vilken ledningen läggs eller så spolas en redan lagd ledning ner i bottenmaterialet. Den förstnämnda metoden används huvudsakligen vid läggningen av nya ledningar. Befintliga ledningar vilka visat sig instabila, nedschaktas där så är möjligt genom nedspolning.

Ökning av egenvikten

Ökning av egenvikten kan åstadkommas genom kringgjutning av ledningar i stål eller betong men kommer inte till användning för ledningar i andra material. Egenvikten kan naturligtvis ökas genom val av tjockare rörvägg som även kan motiveras av andra skäl. Blytråd som lindas runt slangen används ofta men är ej lämpligt ur miljösynpunkt.

ÖVRIGA ASPEKTER

ALLMÄNNA JURIDISKA ASPEKTER

De rättsfrågor som hör samman med sedimentvärmeutvinning kommer endast att beröras kortfattat.

Enligt juridiska enheten på Göteborgs länsstyrelse behöver man för närvarande inte söka några civilrättsliga tillstånd. Det enda som behövs är markägarens tillstånd för att få lägga en anläggning på eller i marken. Man kan dessutom med hjälp av ledningsdragningslagen få laglig rätt att dra ledning över annans mark även om denne ej samtycker.

Det bör här poängteras att det för närvarande (hösten 1981) ligger en motion hos lagutskottet - bilaga 11 - som behandlar "lagreglering av ytjordvärmeanläggningar m m".

Lanspråktagande av mark

Rördragning - Marken där rördragningen skall företagas ägs av en villaförening. Inga eller ringa problem förväntas för att få tillstånd att dra en ytligt förlagd rörledning.

Värmeupptagning - För utläggning av värmeupptagaren (slangarna) finns det för närvarande ingen särskild lagstiftning, därför innebär detta inte något problem.

Andra rättsliga frågor

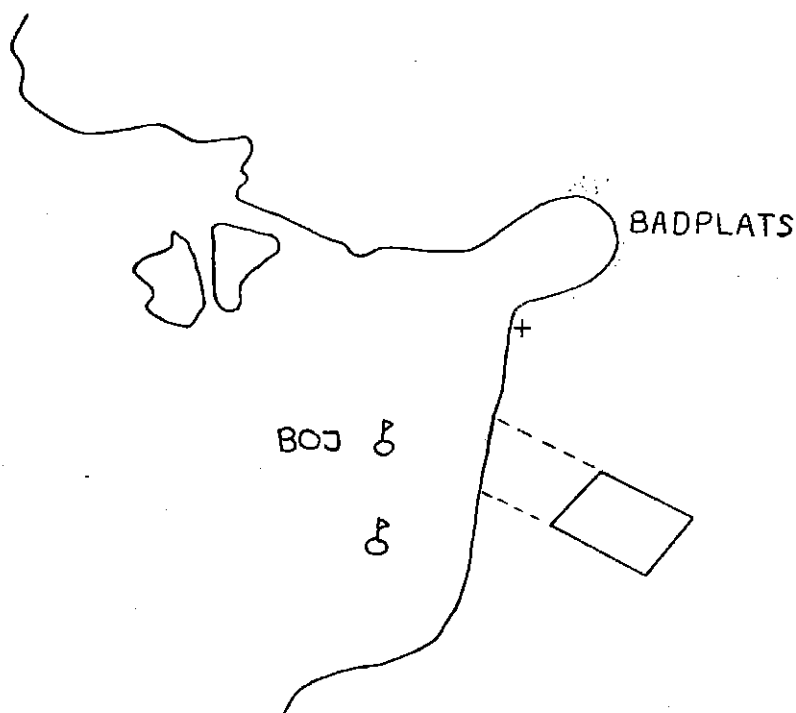
Det bör inte innebära några problem att få ett ankringsförbud i viken. Några större intressekonflikter med övriga nyttjare av viken har ej ansetts föreligga.

VIKENS YTTERLIGARE UTNYTTJNING

Längst in i viken finns en strand som på sommaren används för bad. Detta kommer dock inte att vålla några problem eftersom den dels ligger längst in i viken långt från den plats där kulverten går ned till vattnet dels innebär slangarna inget hinder för de badande.

Viken utnyttjas sporadiskt för utläggning av nät framförallt i de yttre delerna. Detta medför ingen större olägenhet. Det enda man bör tänka på är att förankringen av slangarna utförs på sådant sätt att nät ej lätt fastnar i dem.

I viken finns två fritidsbåtar förankrade vid bojar, se figur 20. Det kan eventuellt bli aktuellt att flytta den ena bojen vilket inte torde medföra något hinder. Någon regnbunden ankring av andra båtar förekommer ej men ett ankringsförbud bör sökas hos länsstyrelsen, eftersom det kan komma gästande fritidsbåtar.



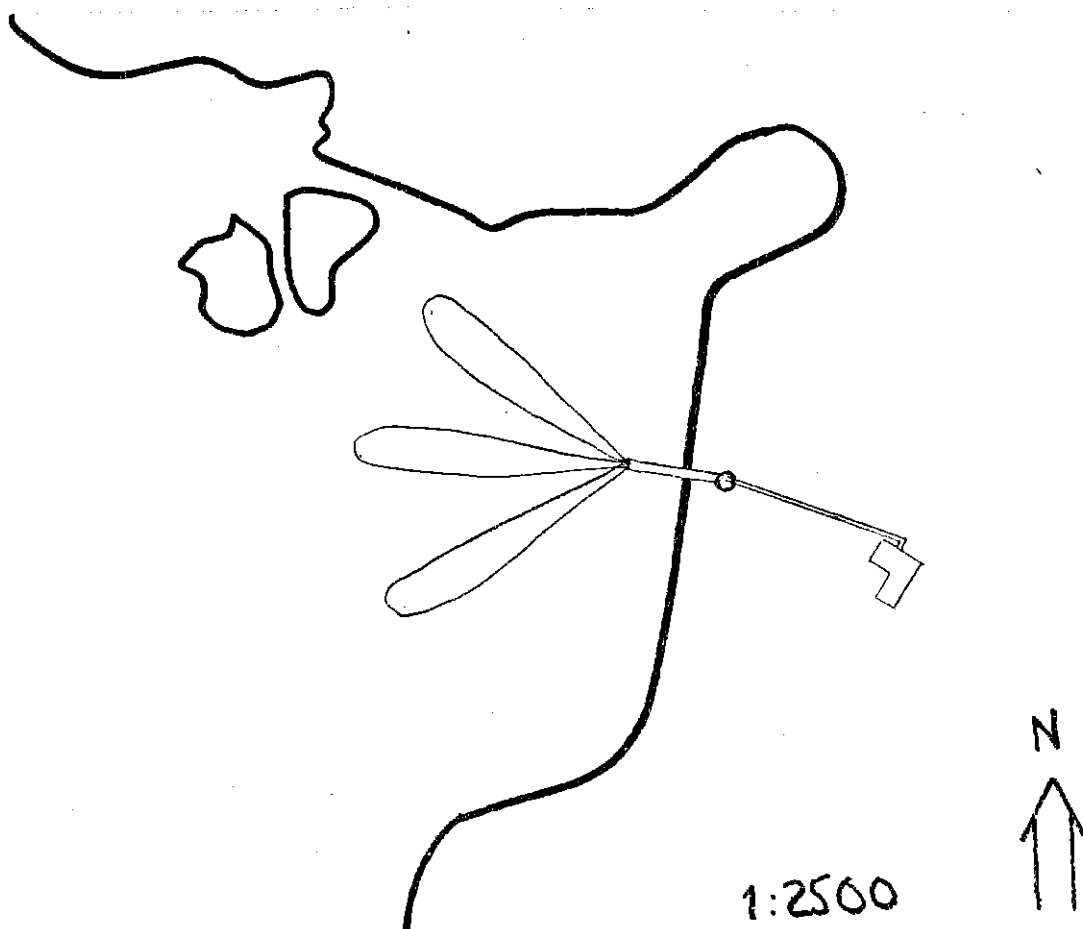
Figur 20 Bad och bojplatser i viken

UTFORMNINGSFÖRSLAG

Här nedan följer ett utformningsförslag av anläggningen.

Huset har ett toppeffektbehov av 18 kW. Om man studerar effektkurvan - se bilaga 2 - ser man att denna toppeffekt enbart utnyttjas under en kortare tid. Den övriga tiden på året kommer anläggningens kapacitet inte att utnyttjas till fullo. Därför är det mer ekonomiskt att täcka ett mindre effektbehov, t ex 11 kW, och täcka det resterande effektbehovet (under kalla vintermånader) med den befintliga oljepannan. En värmepump som avger 11 kW värmeeffekt har en kompressoreffekt på 3-4 kW beroende på värmefaktorn (ungefär 2,5 - 3). Följdaktligen blir den effekt som ska tas ur havet 7-8 kW. Från huset läggs en grov PEL-slang i en ledningsgrav och returledningen isoleras med 10 cm isolering. I kopplingsboxen (betongring) delas framledningen upp i 3 slingor med en längd av vardera 150 meter som via en kulvert leds ut i havet. Kulverten består av grova PEL-rör med ett skyddande lager av sten och små block som förhindrar avskavning av de 3 slingorna i strandzonen.

Med punktvis förankring (sänkvikter av betong) skyddas slangarna mot de lyft- och strömkrafter som uppstår.



Figur 21 Slangarnas placering i viken

REFERENSER

- Backman A, Hallenberg I, Norbäck K, Wahlberg H:
Energiutvinning ur ytvatten via värmepump. Bfr 109:1980
- Bergdahl L:
Beräkning av vågkrafter.
Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola
Undervisningsskrift nr 1979:07
- Bäckström B:
Värmepumpanläggning med insjö som värmekälla
Bfr rapport 29:1979
- Cederwall K, Larsen P:
Hydraulik för väg- och vattenbyggare. 1976
- Chemische Werke Hyls AG:
Tabellverk
- Crank, I:
The mathematics of diffusion Clarendon Press
Oxford, England, 1975
- Davin B, Nordling I, Sandart K:
Sjöar och hav som värmekälla för värmepumpanläggning
Förstudie. Scandiakonsult, 1978
- Eklöf O:
Fysikhandboken för gymnasiet och fackskolan.
Tabeller och formler, 1968
- F R P Fysisk riksplanering:
Marin ekologi, sedimentologi och marina miljöföroreningar
Underlagsmaterial nr 5:1978
- Gustavsberg:
Rörboken 1975
- Havsfiskelaboratoriet, Lysekil:
Hydrografiska avdelningen, Göteborg
Swedishcoast guard: Oceanographical data.
Meddelande nr 158, 164, 170, 189, 198, 224, 236. 1973-1977
- Installationsteknik, Chalmers tekniska högskola
Installationsteknik. Påbyggnadskurs VH 3 och VP 4.
Kompedium 1978:4
- Kraft H, Fehrm M, Hill A:
Värmepump för utvinning av havsvattenvärme.
Förstudie beträffande havsvatten värmeväxlare
Bfr rapport 123:1980
- Lindberg K:
Värmeupptagning ur Mölndalsån
Förstudie Bfr rapport 136:1980

Modin B:

Förstudier av byggnadsuppvärmning med jordvärmepump
Geologiska faktorer
Bfr rapport 55:1979

Norin F, Strååt H, Tarkowski W:

Sjöförlagd värmeväxlare
Förstudie: Utomhusbad i Karlstad
Bfr rapport 96:1980

Rikets allmänna kartverk, lantmäteriet:

Ekonomisk karta över Sverige, 6 B
Kungsbacka 4 d, Stenkelsås. Skala 1:10 000. 1965

SBN, Svensk byggnorm:

Statens planverk 1967

SBN, Svensk byggnorm:

Statens planverks författningssamling
PFS 1978:1. 1975

SMHI, Sveriges Meteorologiska och hydrologiska institut:

Havsisens utbredning i Bottniska viken, Östersjön,
Kattegatt och Skagerack under vintrarna 1951/52 - 1966/67.
Notiser och preliminära rapporter. Serie Meteorologi
nr 15. 1967

SMHI, Sveriges Meteorologiska och hydrologiska institut:

Meteorologiska iakttagelser i Sverige 1960 - 1980

SMHI, Sveriges Meteorologiska och hydrologiska institut:

Månadsöversikt över väderlek och vattentillgång
i Sverige 1966 - 1979

Strachal G:

Boken om havet. Forskning och framsteg. 1977

Svensson T, Degerman E, Jansson B, Westerlund S:

Energiutvinning ur sjö- och havssediment. En förstudie
Bfr rapport 76:1980

Thorslund B:

Isförhållanden i svenska farvatten under normalperioden
1931 - 1960. SMHI: Notiser och preliminära rapporter
Serie meteorologi nr 13. 1966

U S Army, Corps of engineers, Coastal engineering research
center:

Shore protection manual. 1977

Vasseur B:

Temperaturförhållanden i svenska kustfarvatten.
SMHI rapporter. Hydrologi och oceanografi nr RHO 3 1975.

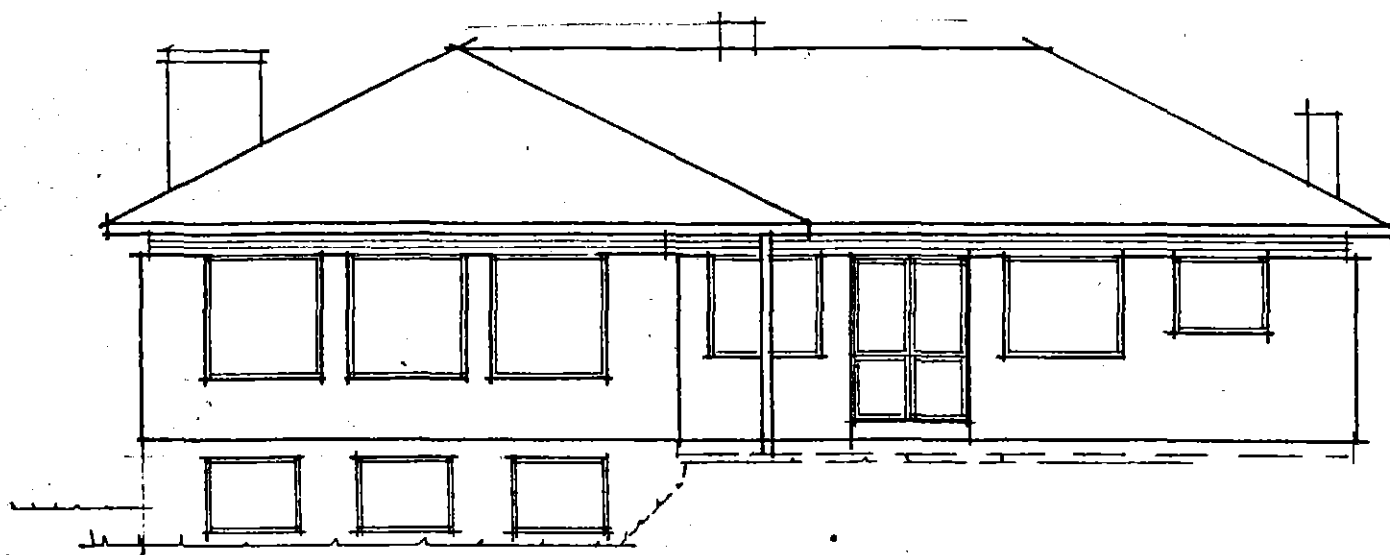
BILAGOR

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

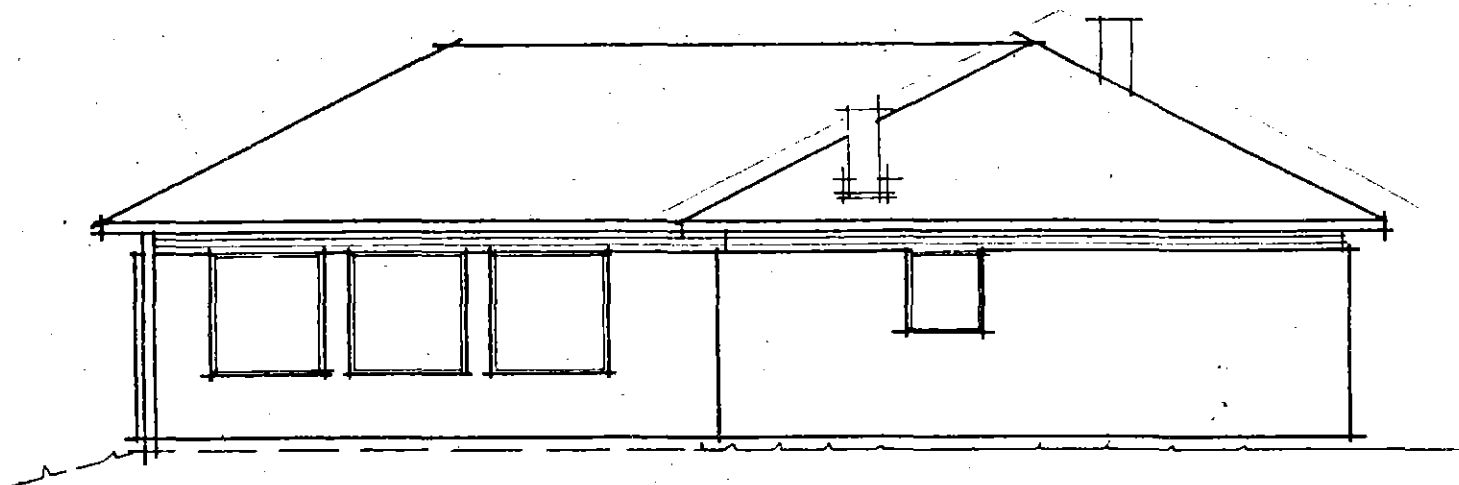
1.1 - 1.3	FASAD OCH PLANRITNINGAR ÖVER HUSET
2.1 - 2.4	BERÄKNING AV HUSETS EFFEKTBEHOV
3.1 - 3.2	TEMPERATURVARIATIONER VID HÄLLSUNDSUDDE 1973 - 1977
4.1	SAMMANSTÄLLNING AV MÅNADS- OCH ÅRSMEDELVÄRDEN FÖR LUFTTEMPERATUR 1960 - 1980
5.1 - 5.2	SAMMANSTÄLLNING AV ISSTATISTIK (SMHI, INTERVJUER)
6.1 - 6.3	BERÄKNING AV VÅGKRAFTER
7.1 - 7.2	BERÄKNING AV BOTTENMATERIALETS KARAKTERISTISKA STORHETER
8.1 - 8.3	FIGURVISANDE VARIABEL KVARTSHALT, TORRDENSITET OCH POROSITET
9.1 - 9.2	BERÄKNING AV ERFÖRDERLIG ISOLERING FÖR LEDNING I MARK
10.1 - 10.8	DIMENSIONERING AV VÄRMEUPPTAGNINGSFÖRMÅGAN
11.1 - 11.3	MOTION OM LAGREGLERINGEN AV YTJORDVÄRMEANLÄGGNINGAR

FASAD OCH PLANRITNINGAR ÖVER HUSET

Skala 1:100

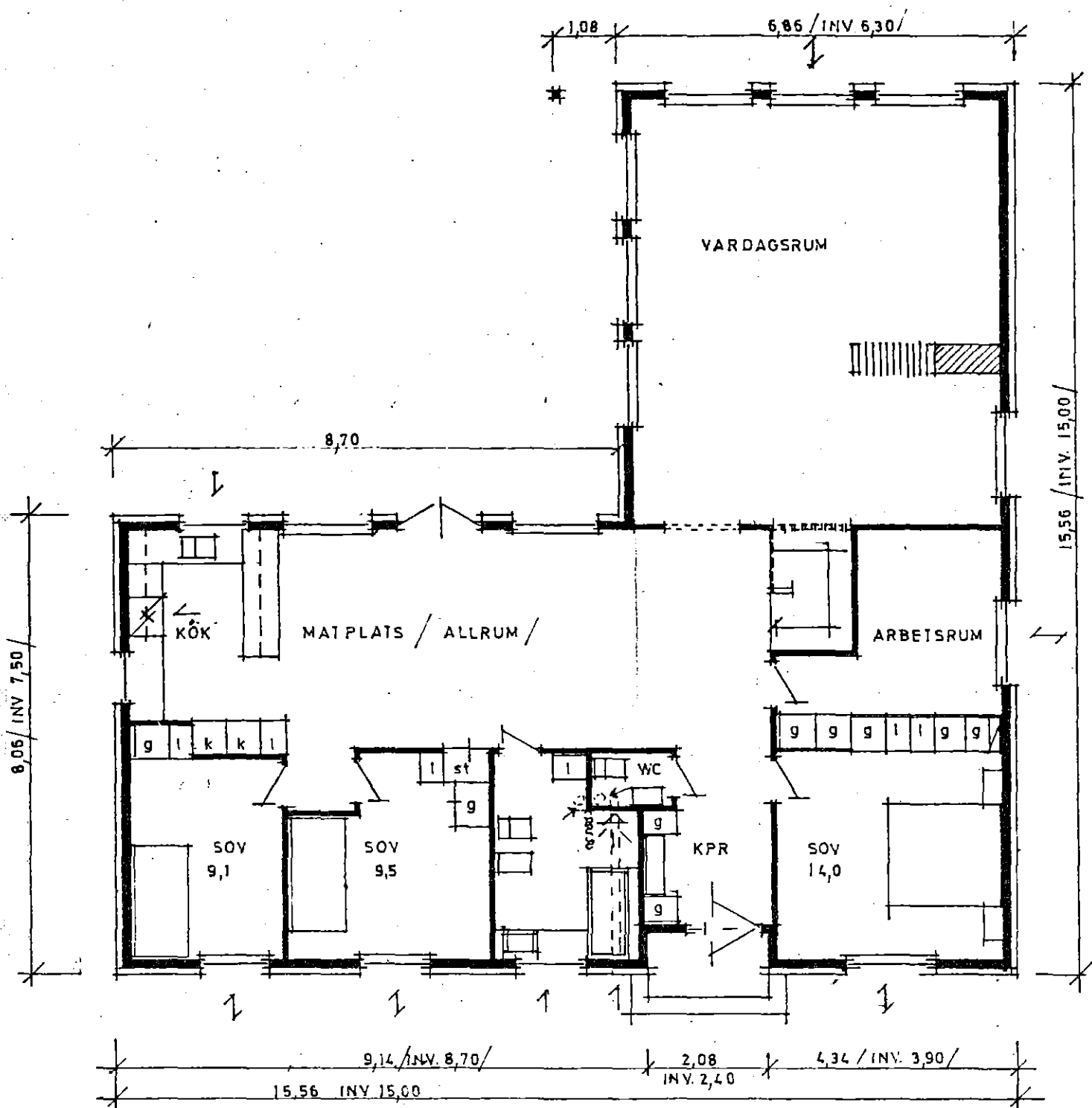
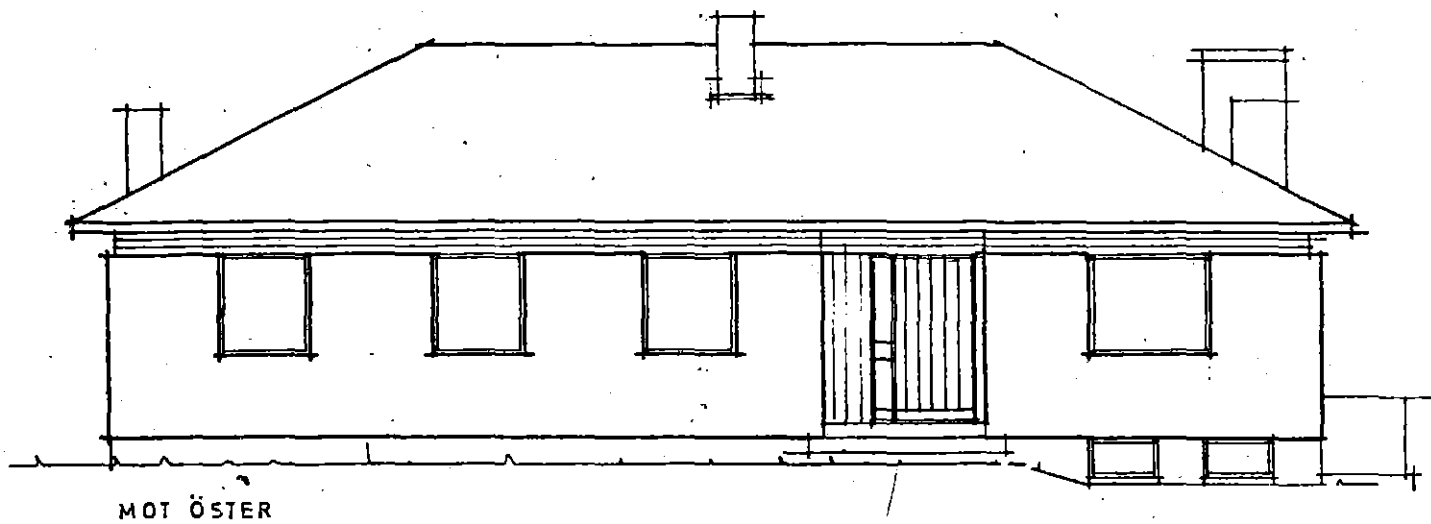


MOT VÄSTER

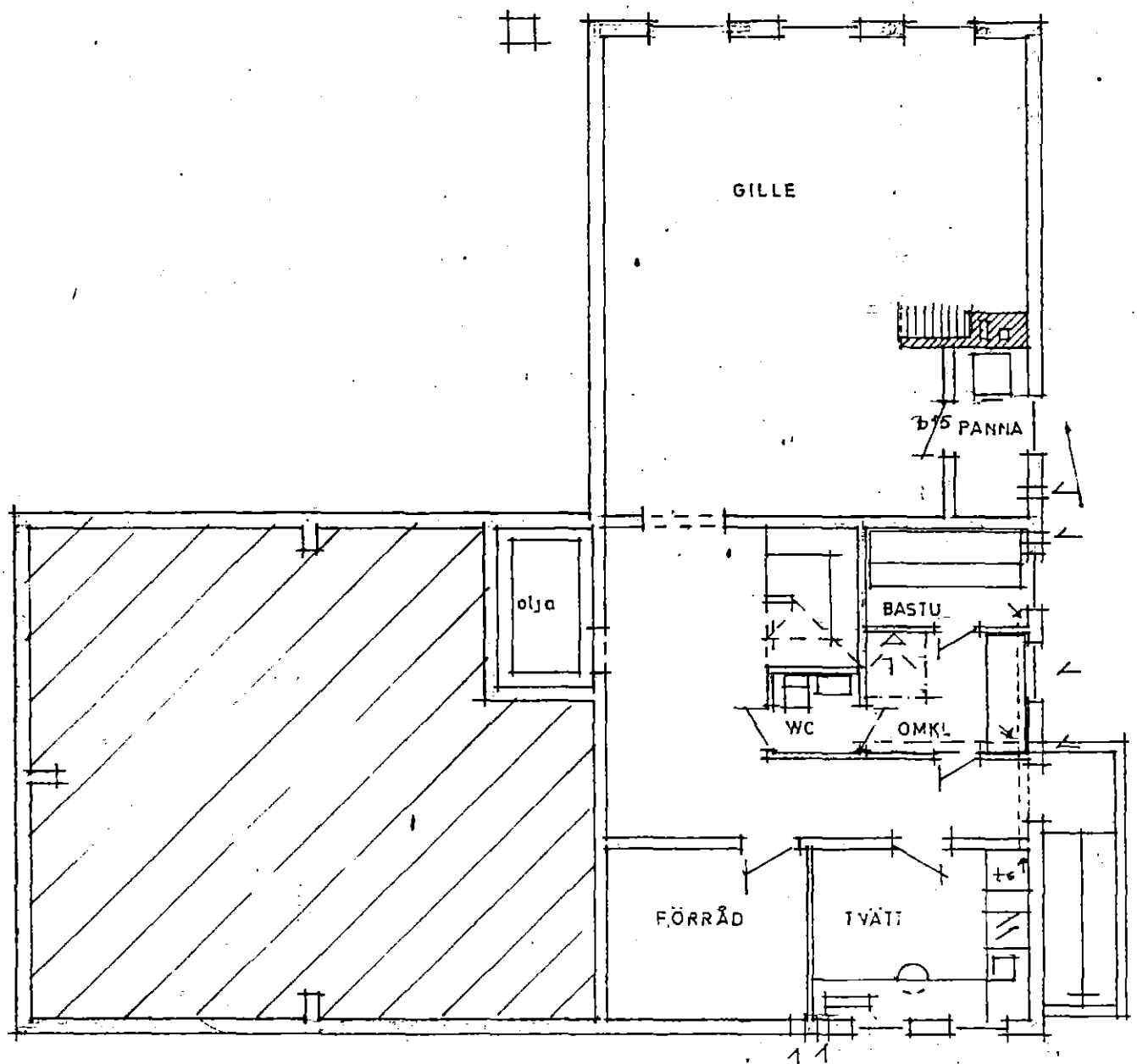
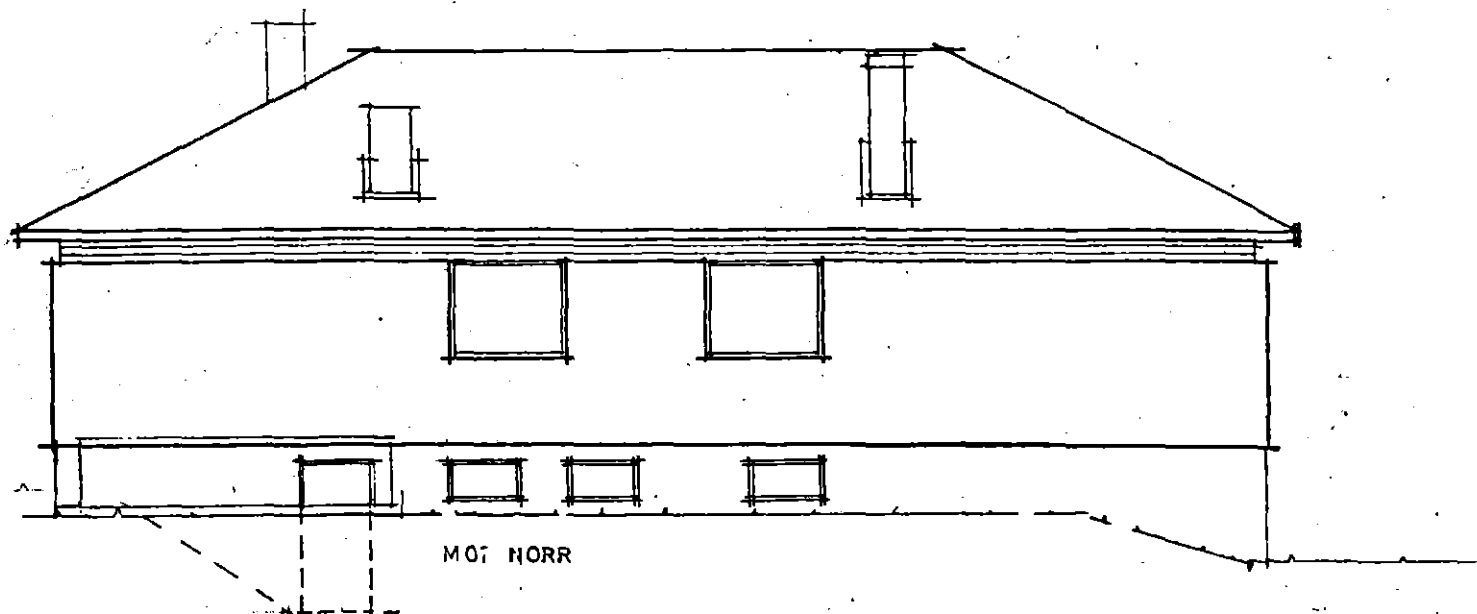


MOT SÖDER

REV.		ANT.	REVIDERINGEN AVSER		SIGN.	DATUM
HALLEN 2:22 ONSA LA KOMMUN				TILLVERKNING INSJÖNS SÄGVERKS AB 790 30 INSJÖN TEL 0247/410 10		FÖRSÄLNING AB FÄRDIGHUS ODENGATAN 15 114 24 STOCKHOLM TEL 08/24 73 55
				Rit. 1:155	Gransk.	
Byggherre HANS-OVE NICKLASSON		Avtal N 72 05 01		Skala 1:100	Dat. 24.5.72	Rit. nr 1



BOSTADSYTA: 158,31 m²



BERÄKNING AV HUSETS EFFEKTBEHOV

Huset som är av 1½-planstyp har en yta av 160 m² i våningsplanet och 95 m² i källarplanet. Fönsterarean är 43 m². Det finns ett garage i anslutning till huset. Detta är inte uppvärmt. Grundplattan består av en betongplatta med 7 cm:s isolering och en ovanpåliggande spånplatta. Källarmuren är uppbyggd av 25 cm:s betongstenar. Ytterväggarna i våningsplanet består av färdiga element. Utanpå dessa finns en fasadmur av tegel. Efter det att vindsbjälklaget lades har det tilläggsisolerats så att det nu har en isolertjocklek av 25 cm.

För att beräkna effektbehovet har följande formel använts

$$Q_{\text{tot}} = Q_T + Q_{0,v} + Q_{TV}$$

Q_{tot} = totalt effektbehov

Q_T = transmissionseffekt

$Q_{0,v}$ = ofrivillig ventilationseffekt

Q_{TV} = tappvarmvattenseffekt

Transmissionsförlusterna har beräknats enligt:

$$Q_T = \sum KA (t_r - t_u) \quad (\text{se tabell 3})$$

Eftersom huset är byggt 1973 har K-värdena hämtats från SBN -67, vissa av dem har korrigerats efter samråd med konstruktör på Jacobson & Widmark.

K-värdena blir då:

Yttervägg i källarmur	1,0 W/m ² °C
Vägg mot det fria	0,5 W/m ² °C
Golv på mark	0,4 W/m ² °C
Tak	0,2 W/m ² °C (uppfyller SBN-75 efter tilläggsisoleringen)
Fönster	2,4 W/m ² °C
Dörr	1,2 W/m ² °C

Taket skall ha ett tillägg av 15% enligt SBN - 75 kap 35:31. Enligt Bygg 651:72 skall även fasad och fönster mot norr ges ett tillägg av 10%.

För beräkning av den ofrivilliga ventilationen används följande formel:

$$Q_{0,v} = 0,33 nV (t_r - t_u)$$

n = antalet luftomsättningar (sätts = 0,5)

Detta värde har höjts med 25% därför att huset befinner sig på en plats som ofta är utsatt för kraftig blåst.

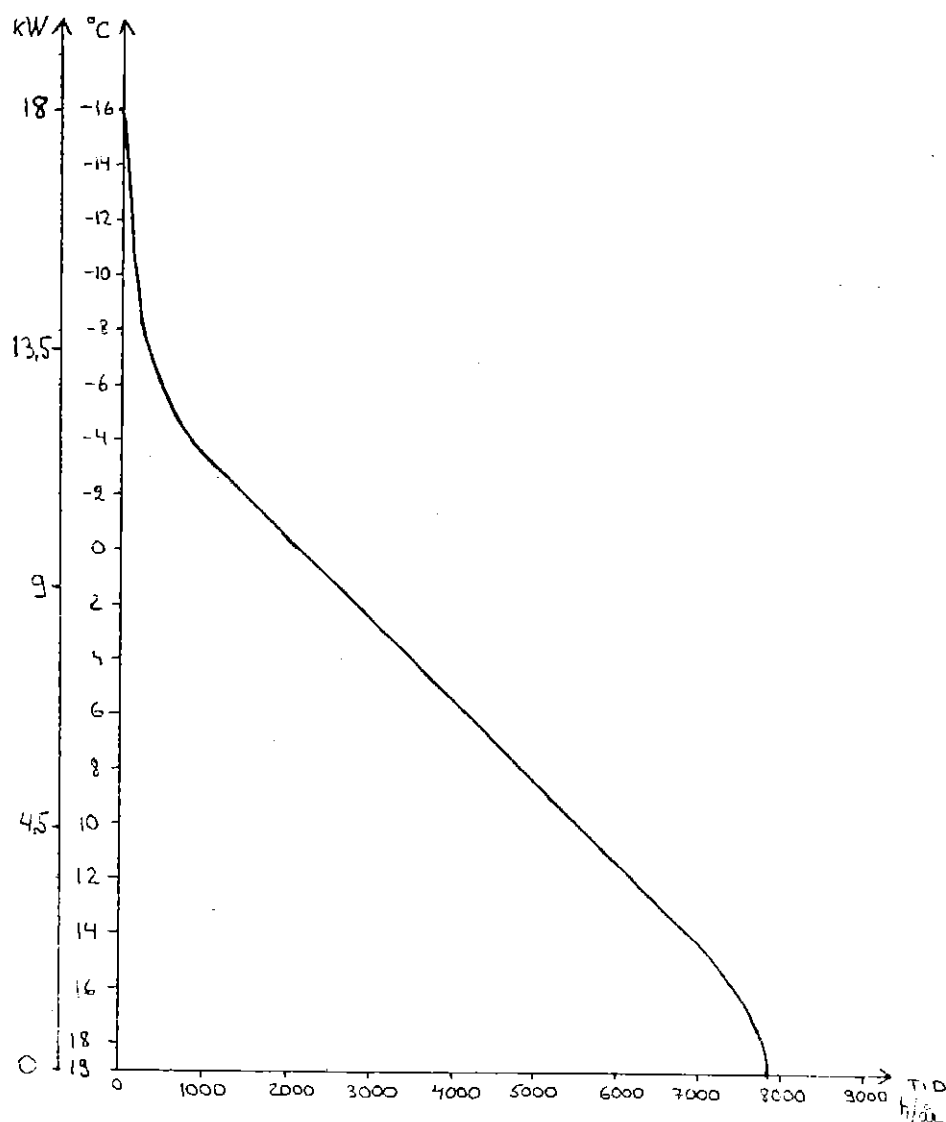
Tappvarmvattnet beräknas enligt:

$$Q_{TV} = 0,15 Q_T$$

Dimensionerande lägsta utetemperatur för hus av trä eller annan lätt byggnad, LUT 1 (SBN 75), är -16°C för detta område.

Sätts detta in i beräkningarna fås en toppeffekt på 17,6 kW, sammanställningen visas i tabell 2. Enligt uppgift från tillverkaren av den befintliga pannan har den en effekt på 17-23 kW.

För att få fram utetemperaturens varaktighet har statistik från Göteborg använts. Vid $+19^{\circ}\text{C}$ har man inget effektbehov (från internvärme bortses) och vid dimensionerande lägsta temperatur har man 100% effektbehov. Se figur 22



Figur 22 Varaktighetskurva för utetemperatur i Göteborg samt effektkurvan

SAMMANSTÄLLNING AV BERÄKNING:

Temperatur	- 16°C
Transmission	11 365,3 W (se tabell 3)
Ventilation	4 280,7 W
Tappvatten	1 704,8 W
Effekt Q	17 350,8 W

Tabell 2 Beräkning av husets toppeffektbehov

BYGGNADSDEL	VÄDER- STRECK	AVKYLNINGSYTA		YTA [m ²]	K [W/m ² °C]	VANINGS PLAN		t _u [°C]	t _r -t _u [°C]	Q [W]	TILLÄGG		ΣQ [W]
		ART	DIMENSION			K.A [W/°C]	t _r [°C]				[%]	[W]	
TAK		VINDS- BJÄLKLAG	(8,7×7,5)+(6,3×15,0)	160,0	0,2	32,0	19	-16	35	1120	15	1288	1288
FASAD	NORR	VÄGG FÖNSTER	15×2,4-3,6 1,5×1,2×2	32,4 3,6	0,5 2,4	16,2 8,6	19 19	-16 -16	35 35	567 301	10 10	623,7 331,1	1911,7 2242,8
FASAD	" ÖSTER	VÄGG FÖNSTER DÖRR	15×2,4-7,5-4,2 1,1×1,3×2+1,5×1,2 2×2,1	25,5 7,5 4,2	0,5 2,4 1,2	12,8 18,0 5,0	19 19 19	-16 -16 -16	35 35 35	448 630 175			269,8 3320,8 3495,8
FASAD	" SÖDER	VÄGG FÖNSTER	15×2,4-7,7 1,5×1,5×3+1,0×0,9	28,3 7,7	0,5 2,4	14,1 18,5	19 19	-16 -16	35 35	493,5 647,5			3989,3 4636,8
FASAD	" VÄSTER	VÄGG FÖNSTER DÖRR	15×2,4-11,2-3,0 1,5×1,5×3+1,1×1,2×2+1,2×0,9 1,5×2,0	23,0 11,2 3,0	0,5 2,4 1,2	11,5 26,9 3,6	19 19 19	-16 -16 -16	35 35 35	402,5 941,5 126			5039,3 5980,8 6106,8
GOLV		GRUND- PLATTA	8,7×7,5	64,5	0,4	25,8	19	-16	35	903			7009,8
KÄLLAR PLAN													
" VÄGG	" SÖDER	KÄLLAR- MUR	15×2,2	33,0	1,0	33,0	19	-16	35	1155			8164,8
FASAD/VÄGG	" VÄSTER	VÄGG/FASAD VÄGG/MARK FÖNSTER	6,3×2,2-3,2-4,4 6,3×0,7 1,2×0,9×3	6,3 4,4 3,2	0,5 1,0 2,4	3,2 4,4 7,7	19 19 19	-16 -16 -16	35 35 35	112 154 264,5			8276,8 8430,8 8700,3
FASAD/VÄGG	NORR	VÄGG/FASAD VÄGG/MARK FÖNSTER	15×2,2-10,5-1,4 15×0,7 0,9×0,5×3	21,1 10,5 1,4	0,5 1,0 2,4	10,6 10,5 3,4	19 19 19	-16 -16 -16	35 35 35	371 367,5 119	10 10	408,1 130,9	9108,4 9475,9 9606,8
FASAD/VÄGG	" ÖSTER	VÄGG/FASAD VÄGG/MARK FÖNSTER	6,3×2,2-4,4-0,9 6,3×0,7 0,9×0,5×2	8,6 4,4 0,9	0,5 1,0 2,4	4,3 4,4 2,2	19 19 19	-16 -16 -16	35 35 35	150,5 154 77			9757,3 9911,3 9988,3
GOLV		GRUND- PLATTA	15×6,3	95,5	0,4	38,2	19	-16	35	1377			11365,3

TEMPERATURVARIATIONER VID HÄLLSUNDSUDDE 1973 - 1977

Uppgifterna är hämtade från havsfiskelaboratoriets i Lysekil meddelanden. Mätvärdena i tabell 3 är medelvärden av 2 - 6 mätningar per månad. I tabellen är värdena för 0 och 10 meters djup sammanställda. Salthaltens minsta värde, siffror inom parentes, under månaderna januari till april har angivits för kontroll om risk för frysning föreligger (se vidare "salthalt")

Ur statistiken kan följande utläsas:

2 gånger har minusgrader uppmätts. I ena fallet var temperaturen $0,2^{\circ}\text{C}$ över fryspunkten och i det andra fallet $0,5^{\circ}\text{C}$ över fryspunkten vid rådande salthalt.

TEMPERATURVARIATIONER, ÅREN 1973 - 1977

	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	MEDEL	
1973	0	1,8(16)	1,6(12)	4,1(17)	5,9(18)	10,2	15,8	19,5	17,8	14,9	9,0	7	9,8	
	10	2,8(20)	3,2(21)	3,8(19)	5,8(19)	9,1	12,4	15,3	17,6	14,2	9,7	7,9	9,3	
1974	0			3,0(16)	6,5(17)	9,4	13,7	15,7	16,8	16,6	9,9	6,7	5,0	10,3
	10			2,8(18)	5,9(21)	8,5	13,2	15,8	16,7	16,7	11,4	8,4	5,6	10,5
1975	0	3,4(14)	2,8(16)	2,9(15)	4,5(17)	10,0	12,3	18,5	20,0	15,9	10,4	9,8	5,6	9,7
	10	5,0(21)	3,5(17)	3,3(16)	4,7(18)	9,4	12,2	17,0	19,7	16,3	11,2	8,0	5,7	9,7
1976	0	2,0(29)	-0,2(14)	0,9(17)	5,8(18)	10,8	14,0	19,7	18,5	15,3	10,6	6,7	4,0	9,0
	10	2,8(30)	1,3(22)	2,6(17)	4,6(19)	10,2	11,2	17,8	17,7	14,0	10,6	7,4	4,5	8,3
1977	0	1,0(23)	-0,7(23)	1,7(12)	4,8(18)	10,1	16,8	16,9	17,6	14,3	10,6	6,8	3,3	8,5
	10	1,1(23)	-0,7(23)	3,1(24)	4,4(19)	6,4	13,6	14,6	17,1	14,1	10,5	8,5	4,9	8,2

Bilaga 3.2

TABELL 3

1960 - 1980 SAMMANSTÄLLNING AV MÅNADS- OCH ÅRSMEDELVÄRDEN FÖR LUFTTEMPERATUREN

	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	Årsvärde
1960	+ 2,4	- 1,2	- 2,1	+ 1,7	+ 5,0	+ 7,6
1961	+ 1,1	0,0	+ 2,3	+ 4,6	+ 7,0	+ 8,8
1962	+ 0,1	+ 1,9	+ 1,2	- 1,0	+ 5,4	+ 7,2
1963	+ 0,8	- 4,6	- 5,3	- 1,3	+ 4,4	+ 7,0
1964	+ 2,5	+ 1,5	- 0,3	0,0	+ 5,7	+ 7,8
1965	Statistik saknas					
1966	+ 1,6	- 3,6	- 4,9	+ 1,2	+ 1,9	+ 6,8
1967	+ 0,8	- 1,5	+ 1,0	+ 4,1	+ 5,1	+ 8,2
1968	+ 0,6	- 1,6	- 1,1	+ 2,3	+ 6,6	+ 7,7
1969	- 1,4	- 0,6	- 3,9	- 1,0	+ 4,2	+ 7,3
1970	+ 2,3	- 3,8	- 6,0	- 0,6	+ 2,5	+ 6,7
1971	+ 4,9	+ 0,3	+ 1,0	- 0,5	+ 4,4	+ 8,0
1972	+ 4,8	- 2,6	- 0,4	+ 2,1	+ 5,5	+ 7,9
1973	+ 1,4	+ 1,3	+ 2,3	+ 4,2	+ 5,1	+ 8,2
1974	+ 4,6	+ 1,9	+ 2,2	+ 3,1	+ 6,9	+ 8,5
1975	+ 5,1	+ 4,5	+ 1,7	+ 2,2	+ 4,6	+ 9,0
1976	- 0,1	+ 0,6	0,0	- 0,6	+ 4,6	+ 7,5
1977	+ 2,6	- 0,5	- 1,7	+ 2,1	+ 3,5	+ 7,5
1978	- 2,6	+ 1,6	- 2,5	+ 0,7	+ 4,4	+ 7,4
1979	+ 1,3	- 4,6	- 3,7	+ 0,1	+ 4,0	+ 6,3
1980	+ 2,7	- 1,8	- 3,3	+ 0,1	+ 5,0	+ 7,2

SAMMANSTÄLLNING AV IS-STATISTIK (SMHI, HAVSISENS UTBREDNING, THORSLUND B) OCH INTERVJUER.

Som tidsenhet används 5-dygns perioder (pentader) där varje pentad benämns efter mellersta dagen.

Ispentader

är pentader under vilka is förekommit under minst 3 av de 5 dyggen.

Svåra ispentader

är pentader under vilka svår is (4-9 i nuvarande Östersjö-koden) förekommit under minst 3 av de 5 dyggen.

Period med stadigvarande is

är en period med minst 3 på varandra följande ispentader.

Längsta perioden med stadigvarande is

är en vinters längsta period med stadigvarande is, varvid två eller flera perioder med stadigvarande is, åtskilda av högst en icke-ispentad, räknats som en enda period.

Isens utbredning i Kattegatt 1951 - 1967 i öppet hav

1/2 is 1-2 ggr av de 16 åren (en mycket svår isvinter)
 15/2 is 3-6 ggr av de 16 åren (en svår isvinter)
 1/3 is 3-6 ggr av de 16 åren (en svår isvinter)
 15/3 is 1-2 ggr av de 16 åren (en mycket svår isvinter)

Isförhållanden i svenska farvatten under normalperioden 1931 - 1960 (Farled 141)

I grova drag kan man konstatera att av 30 bearbetade vintrar så var:

- 13 vintrar med minst en dags is
- 9 vintrar med minst en ispentad
- 7 vintrar med minst en period med stadigvarande is

Siffrorna anger under hur många år på tio, vinterns olika pentader normalt är ispentader.

3/1 - 13/1	ispentad i 1-4% av antalet bearbetade år
18/1 - 2/2	ispentad i 5-14% av antalet bearbetade år
7/2 - 22/2	ispentad i 15-24% av antalet bearbetade år
27/2	ispentad i 25-34% av antalet bearbetade år
4/3	ispentad i 15-24% av antalet bearbetade år
19/3 - 24/3	ispentad i 5-14% av antalet bearbetade år
29/3	ispentad i 1-4% av antalet bearbetade år

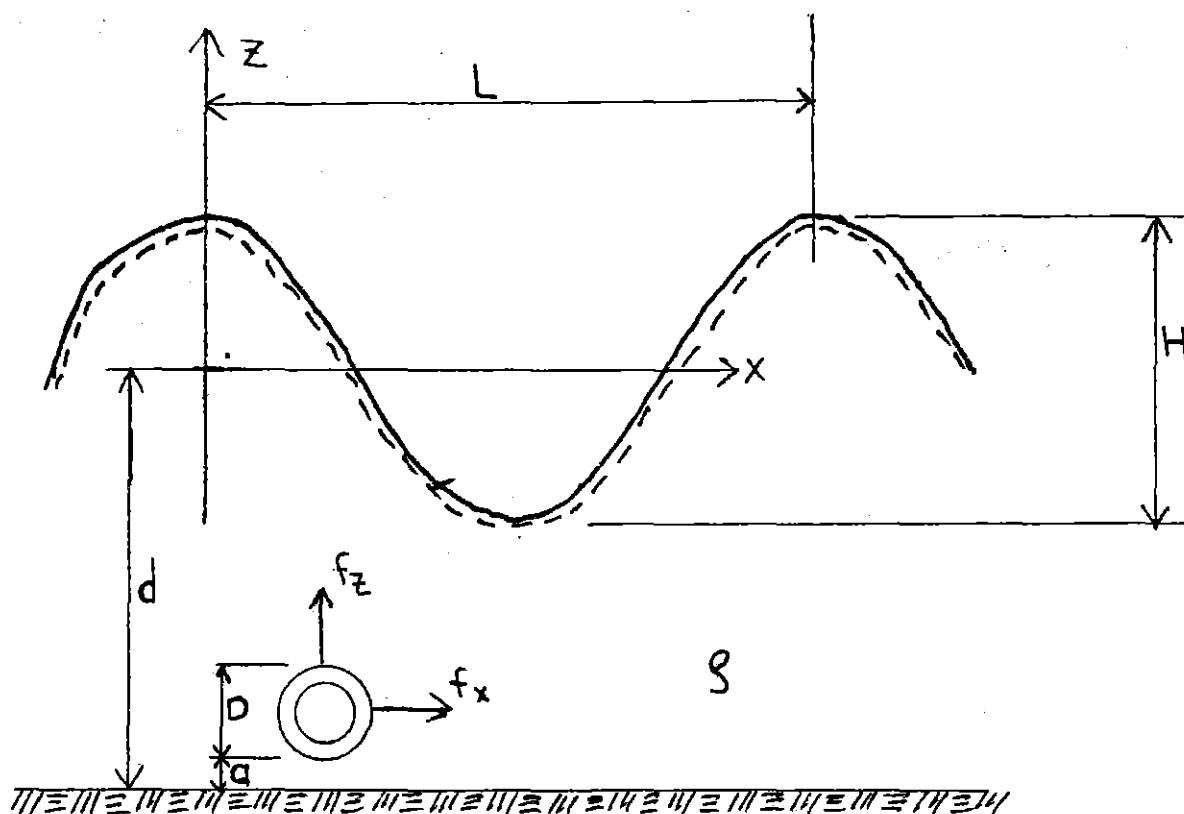
Totalt 14 stycken ispentader under vintern, 6 vintrar med minst en svår ispentad. Det som är intressant i detta materialet är att konstatera längre perioder med stadigvarande isläggning. Under de studerade åren har man haft 7 vintrar med minst en period med stadigvarande is.

I detta sammanhang måste påpekas att den tilltänkta viken ligger betydligt mer skyddat än vad farvatten innanför Nidingen gör. Man kan därför förvänta sig att isen lägger sig tidigare och under längre perioder. Då viken är öppen ut mot havet kan man trots isläggningen räkna med god vattencirkulation under vintern.

Vid intervjuer med några boende vid viken konstaterades följande:

- Den inre delen av viken fryser i stort sett någon gång under varje vinter
- Vart tredje till vart femte år lägger sig isen ut till Virkesholmarna under en kortare period
- Senast viken frös helt var 1978, då isen låg i 3 veckor
- Det inträffar ibland att stora isflak ställer sig på högkant i närheten av stranden.

BERÄKNING AV VÅGKRAFTER (BERGDAHL 1979)



VÅGDATA : ANTAGEN MAX. VÅG I VIKEN

$$T = 5 \text{ SEKUNDER}$$

$$L = \frac{T^2 g}{2\pi} = \frac{25g}{2\pi} \approx 40 \text{ METER}$$

$$H = 2,0 \text{ METER}$$

$$d = 4,0 \text{ METER}$$

$$D = 0,0 \text{ METER}$$

$$a = 0,0125 \text{ METER}$$

$$x = 0$$

$$z = -[d - a - D/2] = -3,96 \text{ METER}$$

$$\rho = 1015 \text{ Kg/m}^3$$

FORMLER:

$$u = \frac{\pi \cdot H}{T} \cdot \frac{\cosh \frac{2\pi}{L}(d+y)}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi x}{L}\right)$$

$$\frac{du}{dt} = -\frac{2\pi^2 H}{T^2} \cdot \frac{\cosh \frac{2\pi}{L}(d+y)}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi x}{L}\right)$$

$$w = \frac{\pi \cdot H}{T} \cdot \frac{\sinh \frac{2\pi}{L}(d+y)}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi x}{L}\right)$$

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{2\pi^2 H}{T^2} \cdot \frac{\sinh \frac{2\pi}{L}(d+y)}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi x}{L}\right)$$

$$\begin{cases} f_x = C_{Dx} \cdot S \cdot D \cdot \frac{1}{2} \cdot u |u| + C_{Mx} \cdot S \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{du}{dt} \\ f_z = C_{Mz} \cdot S \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{dw}{dt} + C_L \cdot S \cdot D \cdot \frac{1}{2} \cdot u^2 \end{cases}$$

$$\frac{a}{D} = \frac{0,0125}{0,050} = 0,25$$

$\frac{a}{D}$	C_L	C_{Dx}	C_{Mx}	C_{Mz}
0,25	0	1,1	2,4	1,9

MED INSATTA VÄRDEN FÅS:

$$u = 1,87 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$$

$$\frac{du}{dt} = -2,36 \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$$

$$\frac{dw}{dt} = -0,0148 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$$

$$f_x = -11,288 \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right) + 97,607 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \left| \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \right|$$

$$t(0) \rightarrow f_x = +11,288 \quad \text{N/m}$$

$$t(T/4) \rightarrow f_x = +97,607 \quad \text{N/m}$$

$$f_x^{\text{MAX}} = 9,7 \text{ kg/m}$$

$$f_z = -0,056 \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$$

$$t(0,5T) = 0,056 \text{ N/m}$$

$$f_z^{\text{MAX}} = 0,6 \text{ kg/m}$$

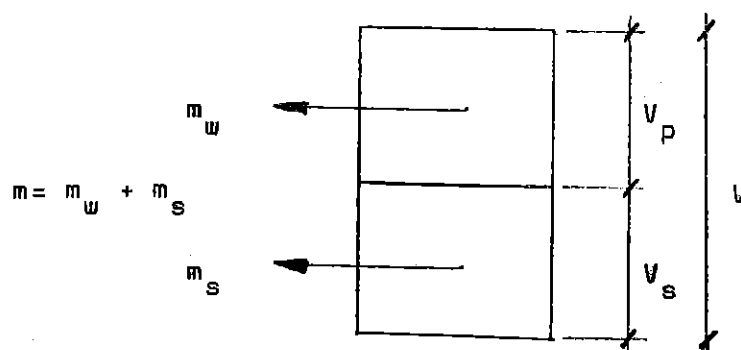
TILL f_z ADDERAS DET FALL DÅ SLANGEN ÄR FYLLED
AV LUFT : $\frac{\pi (50 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 1015 = 2,0 \text{ kg/m}$

TOTALT:

$$f_x = 9,7 \text{ kg/m}$$

$$f_z = 2,6 \text{ kg/m}$$

BERÄKNING AV BOTTENMATERIALETS KARAKTERISTISKA STORHETER

Helt vattenmättad jord

Porositet $n = V_p/V$ (%)

Vattenhalt $w_h = m_w/m$ (%)

Vattenkvot $w = m_w/m_s$ (%)

Skrymdensitet $\rho = m/V$ (kg/m^3)

Torr densitet $\rho_d = m_s/V$ (kg/m^3)

Sätt: $\rho_s = 2600 \text{ kg/m}^3$

$\rho_w = 1015 \text{ kg/m}^3$

PROV	1	2	3
m_s	$158,1 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$	$117,4 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$	$156,6 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$
m_w	$34,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$	$23,1 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$	$35,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$
m	$192,3 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$	$140,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$	$191,6 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$
V_s	$5,955 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$	$4,561 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$	$6,001 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$
V_w	$3,369 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$	$2,276 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$	$3,448 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$
V	$9,284 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$	$6,837 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$	$9,449 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$
ρ	2071 kg/m^3	2055 kg/m^3	2025 kg/m^3
ρ_d	1700 kg/m^3	1715 kg/m^3	1655 kg/m^3
w	0,22	0,20	0,22
w_h	0,18	0,16	0,18
n	0,36	0,33	0,36

Medelvärde för dessa 3 prover blir:

$$\rho = 2050 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_d = 1690 \text{ kg/m}^3$$

$$w = 0,21$$

$$w_h = 0,17$$

$$n = 0,35$$

Beräkning av bottenmaterialets λ och c' värden (Modin 79)

Värmeledningstalet är

$$\lambda = \lambda_1^n \lambda_2^{(1-n)}$$

$$\lambda_1 = 0,57 \text{ W/m}^\circ\text{C} \quad (\text{vattnets värmekonduktivitet})$$

$$\lambda_2 = 7,7^q 2,0^{(1-q)} = 3,92 \quad (q=0,5, \text{ kvartshalt})$$

$$n = \text{porositet} = 0,35$$

$$\lambda = 0,57^{0,35} 3,92^{(1-0,35)} = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

Värmekapacitivet m.a.p. volym är

$$c' = \frac{(C_s + wC_w)}{1+w} \cdot \rho$$

c' = värmekapacitivet m.p. volymen (även benämnd ρc i viss litteratur)

$$C_s = \text{värmekapacitivet för jord} = 825 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$C_w = \text{värmekapacitivet för vatten} = 4180 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$w = \text{vattenkvoten} = 0,21$$

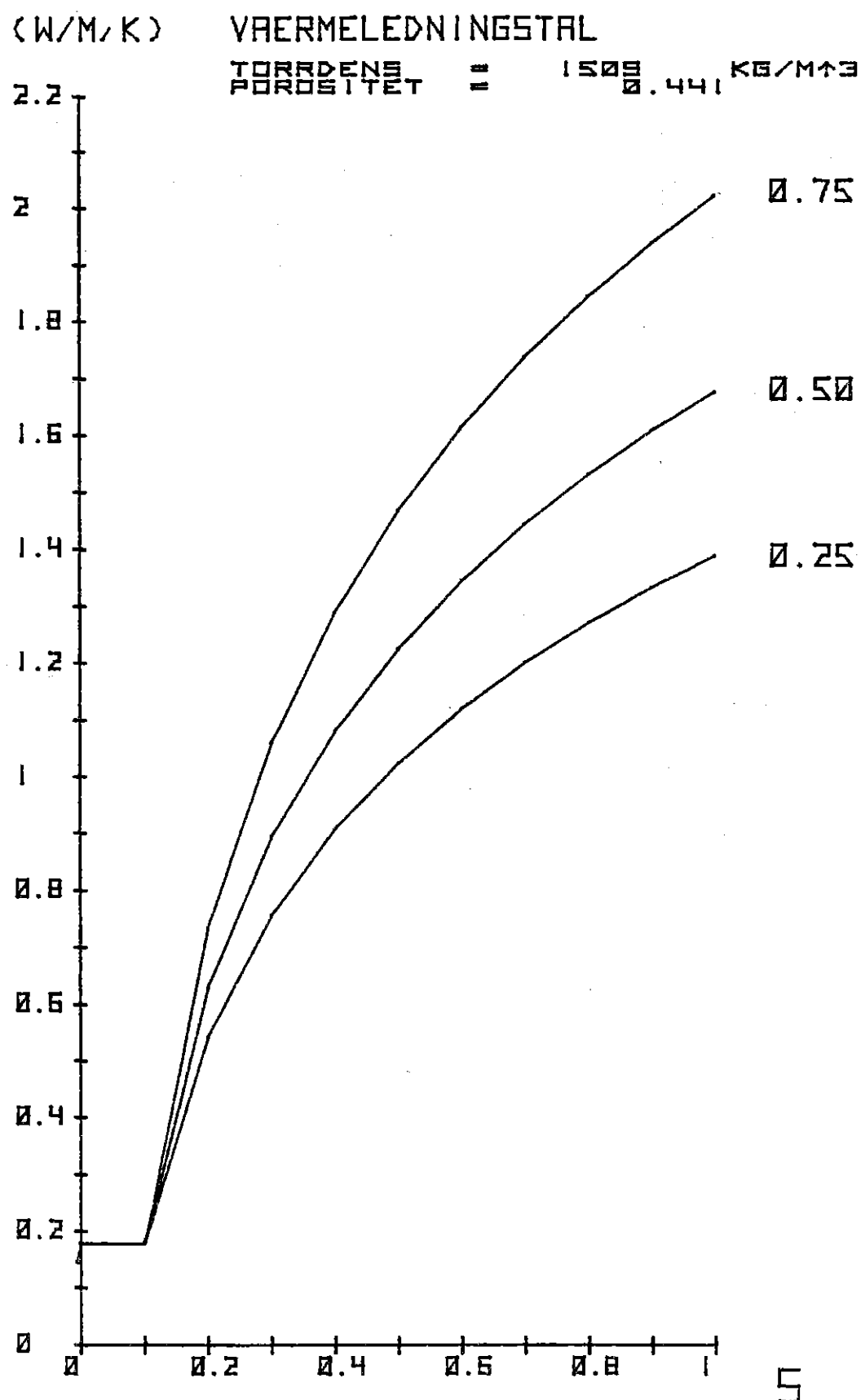
$$\rho = \text{skrymdensitet} = 2050 \text{ kg/m}^3$$

$$c' = \frac{825 + 0,21 \cdot 4180}{1 + 0,21} \cdot 2050 = 2\,900\,572 \text{ J/m}^3^\circ\text{C}$$

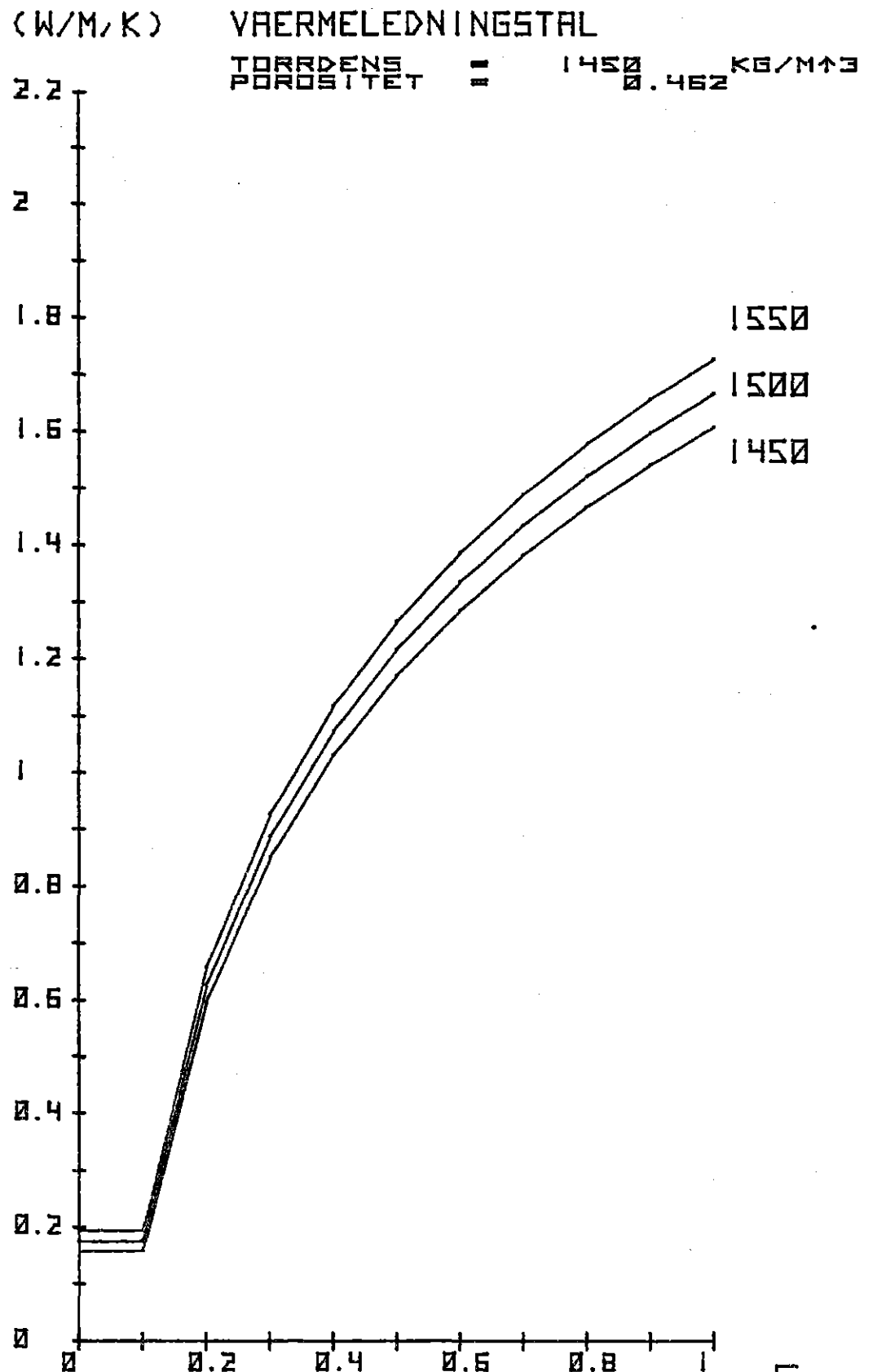
$\lambda = 2,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ $c' = 2\,900\,000 \text{ J/m}^3^\circ\text{C}$

FIGURER VISANDE VARIABEL KVARTSHALT, TORRDENSITET OCH POROSITET

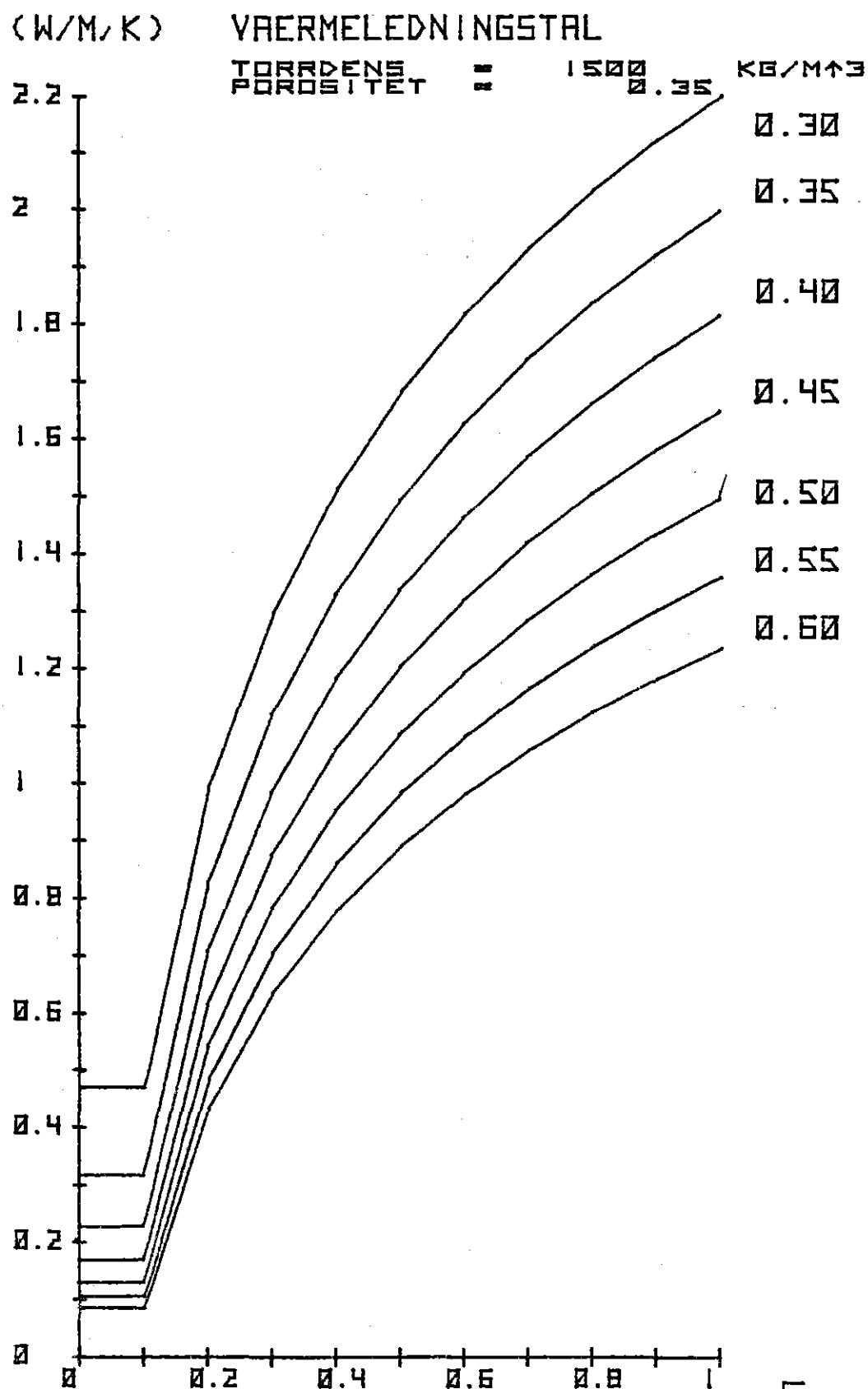
Eftersom dessa jordprover är tagna under vattnet, kommer figur 23 - 25 enbart att gälla vid vattenmättnadsgrad $S=1,0$.



Figur 23 Värmeledningstal som funktion av vattenmättnadsgrad vid varierande kvartshalt.



Figur 24. Värmeledningstal som funktion av vattenmättnadsgrad vid varierande torrdensitet



Figur 25 Värmeledningstal som funktion av vattenmättnadsgrad vid varierande porositet.

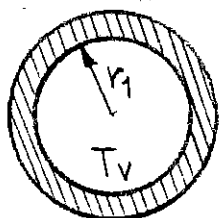
BERÄKNING AV ERFORDERLIG ISOLERING FÖR LEDNING I MARK (Svensson T 1980)

Genom värmebärarkrets upptas värme från omgivningen och avges i förångaren. Vidare upptas eller avges värme på transportsträckan mellan värmekälla och värmepump.

Flödet av värmebärarvätska beror av värmebehov, Q_2 , vätskans densitet, ρ , och värmekapacitet, c , samt temperatursänkningen över värmeväxlaren ΔT .

$$q = \frac{Q_2}{\rho \cdot c \cdot \Delta T}$$

Energiflöde genom slangen, Q , bestäms av dess K-värde, temperaturfallet genom väggen, $T_V - T_a$, samt av slangens radie r_1 .



$$Q = 2\pi r_1 K (T_V - T_a)$$

(2)

Om omgivningstemperaturen är konstant

$$T_{(x)} - T_a = (T_{(0)} - T_a) \cdot e^{-\frac{2\pi r_1 K}{\rho c q} \cdot X}$$

$$\frac{T_{(x)} - T_a}{T_{(0)} - T_a} = e^{-\frac{2\pi r_1 K}{\rho c q} \cdot X}$$

(3)

Det vänstra ledet är den relativa temperaturförändringen och exponenten på logaritmen benämns värmeförlustparametern.

$$\text{Ansätt: } \Delta T = (T_V - T_a) = 30^\circ \text{ C}$$

$$Q_2 = \text{Husets effektbehov som hämtar ur havet} = 12 \text{ kW}$$

$$r_1 = 0,05 \text{ m}$$

$$X = \text{sträcka från hus till kopplingsbrunn} = 60 \text{ m}$$

Tillåt en temperaturförändring på 10%

$$10\% \Rightarrow \frac{T_{(x)} - T_a}{T_{(0)} - T_a} = 0,9$$

Ekvationer

$$(3) \quad \frac{T(x) - T_a}{T(a) - T_a} = e^{-\frac{2\pi r_1 k}{scq} \cdot x}$$

$$(2) \quad q = \frac{Q_2}{sc \Delta T}$$

$$\frac{T(x) - T_a}{T(a) - T_a} = e^{-\frac{2\pi r_1 k sc \Delta T}{sc \cdot Q_2} \cdot x} = e^{-\frac{2\pi r_1 \cdot k \cdot \Delta T}{Q_2} \cdot x}$$

Med insatta värden

$$0,9 = e^{-\frac{2\pi \cdot 0,05 \cdot K \cdot 3 \cdot 60}{12 \cdot 10^3}}$$

$$K = \frac{-\ln \cdot 0,9 \cdot 10 \cdot 10^3}{2\pi \cdot 0,05 \cdot 3 \cdot 60} = 18,6$$

Antag λ vätskeisolering $\simeq 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^\circ\text{C}$

$$d = K \cdot \lambda = 18,6 \cdot 4,5 \cdot 10^{-3} = 8,4 \text{ cm}$$

Returledningen skall isoleras med 10 cm isolering för att temperaturen ej ska förändras mer än 10% om temperaturdifferensen gentemot marken är 3°C .

DIMENSIONERING AV VÄRMEUPPTAGNINGSFÖRMÅGAN

Förutsättningar för beräkningar

- PEL 40, NT 6
- Brine bestående av 25% etylenglykol + 75% vatten
 $\lambda = 0,56 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ (Chemische werke hyls GmbH)
- Turbulentströmning i slangarna
- Påtvingad laminär strömning utanför slangarna
- Värmeledningstal för slangen $\lambda = 0,35 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

För att kunna bestämma värmeupptagningsförmågan hos slangarna har värmegenomgångstalet K' ($W/m^{\circ}C$) per meter slang bestämts under följande betingelser:

- slang fritt i vattnet, låg strömningshastighet $u = 0,01 \text{ m/s}$
 - måttlig ström $u = 0,1 \text{ m/s}$
 - stark ström $u = 0,5 \text{ m/s}$
- slang på botten

Beräkningen av värmeupptagningsförmågan har sedan genomförts i tre principiellt olika fall

- Radiell värmeledning genom slangvägg - fritt i vattnet
 - på botten
- Radiell värmeledning i oändligt medium - i sedimenten
- Värmeupptagning med frysning kring slangen.

Förklaring av i texten använda begrepp

Pr = Prandts tal = materialkriterium

Nu = Nusselts tal, temperaturfältskriterium

Re = Reynolds tal, strömningsskriterium

$$\alpha_y = \text{Yttre värmeövergångstal } W/m^2\text{ }^\circ C$$
$$\lambda = \text{Värmeledningstal } \text{W/m}^{\circ}\text{C}$$

ρ = Densiteten kg/m^3

ν = Kinematisk viskositet m^2/s

C_{vatten} = värmekapacitiviteten hos vatten $\text{KJ/kg } ^\circ\text{C}$

u = Vattenhastigheten m/s

Värmegenomgångstalet $K' \text{ W/m}^\circ\text{C}$ per meter slang (installationsteknik, 1978:4) uttrycks enligt

$$K^I = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_i d_i} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_y}{d_i} + \frac{1}{\alpha_y \cdot d_y}} \quad \left[\text{W/m}^2 \text{ C} \right]$$

α_i = inre värmeövergångstal $\text{W/m}^2 \text{ C}$

α_y = yttre värmeövergångstal $\text{W/m}^2 \text{ C}$

λ = värmeledningstal $\text{W/m}^2 \text{ C}$

d_i = inre diametern m

d_y = yttre diametern m

Detta värmegenomgångstal K^I används vid beräkning av radiell värmeledning genom slangvägg.

Det inre värmeövergångstalet α_i för påtvingad turbulent rörströmning blir

$$\text{Nu} = 0,116 (\text{Re}^{2/3} - 125) \text{Pr}^{1/3} \left[1 + \left(\frac{d}{l} \right)^{2/3} \right] = \frac{\alpha_i \cdot d}{\lambda}$$

$$\alpha_i = \frac{\lambda}{d} \cdot 0,116 (\text{Re}^{2/3} - 125) \text{Pr}^{1/3} \left[1 + \left(\frac{d}{l} \right)^{2/3} \right]$$

d = rörets innerdiameter m

l = rörets längd m

$\text{Re} = \frac{u \cdot d}{\nu}$ = Reynolds tal refererar i detta fall till d

u = I detta fall hastighet i slangarna.

Följande begränsningar finns:

$$2300 < \text{Re} < 10^6$$

$$0,6 < \text{Pr} < 500$$

$$0 < d/l < 1$$

Beräkning av vätskehastigheten i slangarna
(Svensson, T 1980)

$$c_{\text{glykol} + \text{vatten}} = 4,75 \cdot \text{KJ/C}^0 \text{kg}$$

$$\rho_{\text{glykol} + \text{vatten}} = 1030 \text{ kg/m}^3 \quad \text{vid } \pm 0^0 \text{ C}$$

$$q = \frac{Q}{\rho_{G+V} \cdot c_{G+V} \cdot \Delta T} = \frac{10000}{1030 \cdot 4,75 \cdot 10^3} = 6,81 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

hastigheten i slangen blir $u \approx 0,5 \text{ m/s}$

$$Re = \frac{u \cdot l}{\nu} = \frac{0,5 \cdot 0,0326}{3,88 \cdot 10^{-6}} = 4,201 \cdot 10^3$$

l = karakteristisk längd = innerdiametern

$$Pr = \frac{\nu \cdot \rho \cdot c}{\lambda} = \frac{3,88 \cdot 10^{-6} \cdot 1030 \cdot 4,75 \cdot 10^3}{0,56} = 33,90$$

$$\alpha_i = \frac{0,56}{0,0326} : 0,116 \left[(4,201 \cdot 10^3)^{2/3} - 125 \right] \cdot 33,90^{1/3} \left[1 + \left(\frac{0,0326}{1} \right)^{2/5} \right]^{-1/4}$$

$$= 960 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

BERÄKNING AV DET YTTRE VÄRMEÖVERGÅNGSTALET

Det yttre värmeövergångstalet för påtvingad strömning vinkelrätt ett rör beräknas enligt:

$$Nu = 1,11 \cdot b \cdot Re^m \cdot Pr^{0,31} \left[0,785 \frac{t_v}{t_i} \right]^{\frac{m}{4}} = \frac{\alpha_y \cdot d}{\lambda}$$

$$\alpha_y = \frac{\lambda}{d} \cdot 1,11 \cdot b \cdot Re^m \cdot Pr^{0,31} \left[0,785 \frac{t_v}{t_i} \right]^{\frac{m}{4}}$$

b och m = koefficienter enligt tabell nedan

t_v = rörväggens temperatur

t_i = mediets temperatur

Re refererar till rörets ytterdiameter, d och hastigheten före röret

för vätskor sätts $\left[0,785 \frac{t_v}{t_i} \right] = 1$

$$Pr = \frac{\nu \cdot \rho \cdot c_{\text{vatten}}}{\lambda} = \frac{1,75 \cdot 10^{-6} \cdot 1015 \cdot 4,22 \cdot 10^3}{0,569} = 13,2$$

För formeln gäller: $0,5 < Pr < 10^6$

$0,1 < Re < 10^6$

Re	b	m
40 - 4 000	0,615	0,466
4 000 - 40 000	0,174	0,618

Värmeövergången genom vattnet omedelbart utanför rören beror till största delen på strömningshastigheten i vattnet. Därför har tre olika hastigheter studerats för slang fritt i vattnet:

$u_1 = 0,01 \text{ m/}$ vattenhastighet som värmeuttaget ger upphov till
(Norin, 80)

$$Re = \frac{u \cdot l}{\nu} = \frac{0,01 \cdot 0,04}{1,75 \cdot 10^{-6}} = 230$$

$$\alpha_y = \frac{0,569}{0,04} \cdot 1,11 \cdot 0,615 \cdot 230^{0,466} \cdot 13,2^{0,31} [1]^{\frac{0,466}{4}} = 272$$

$$K' = \frac{\pi}{\frac{1}{960 \cdot 0,0326} + \frac{1}{2 \cdot 0,75} \ln \frac{0,04}{0,0326} + \frac{1}{272 \cdot 0,04}} = 7,55 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$$

$u_2 = 0,1 \text{ m/s}$ (ström i viken)

$$Re = \frac{u \cdot l}{\nu} = \frac{0,1 \cdot 0,04}{1,75 \cdot 10^{-6}} = 2290$$

$$\alpha_y = \frac{0,596}{0,04} \cdot 1,11 \cdot 0,615 \cdot 2290^{0,466} \cdot 13,2^{0,31} [1]^{\frac{0,466}{4}} = 795$$

$$K' = \frac{\pi}{\frac{1}{960 \cdot 0,0326} + \frac{1}{2 \cdot 0,35} \ln \frac{0,04}{0,0326} + \frac{1}{795 \cdot 0,04}} = 8,83 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$$

$u_3 = 0,5 \text{ m/s}$ (mycket stark ström i viken)

$$Re = \frac{u \cdot l}{\nu} = \frac{0,5 \cdot 0,04}{1,75 \cdot 10^{-6}} = 11\,430$$

$$\alpha_y = \frac{0,569}{0,04} \cdot 1,11 \cdot 0,174 \cdot 11\,430^{0,618} \cdot 13,2^{0,31} [1]^{\frac{0,618}{4}} = 1969$$

$$K' = \frac{\pi}{\frac{1}{960 \cdot 0,0326} + \frac{1}{2 \cdot 0,35} \ln \frac{0,04}{0,0326} + \frac{1}{1969 \cdot 0,04}} = 9,33 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$$

För slang på botten fås

$u_1 = 0,01 \text{ m/s}$

$Re = 230$

$\alpha_y = 272$ värdet på α_y kan i detta fall vara för högt men
i brist på exaktare värde används detta

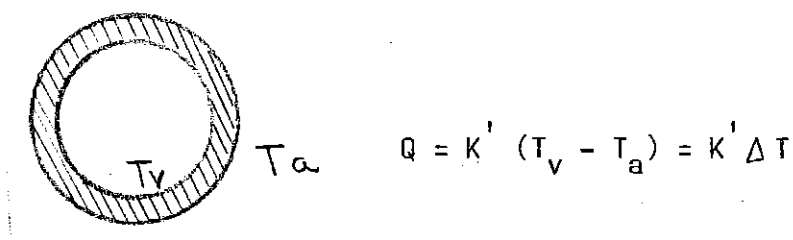
$\lambda_{\text{vatten}} = 0,57$

$$K' = 0,5 \frac{\pi}{\frac{1}{960 \cdot 0,0326} + \frac{1}{2} \frac{1}{0,35} \ln \frac{0,04}{0,0326} + \frac{1}{0,57} \ln \frac{0,04+0,03}{0,04} + \frac{1}{272 \cdot 0,04}}$$

$K' = 173 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ mht värmeledning från sedimenten ligger i ett
rimligt värde på 2 - 3 W/m^{°C}

Det visar sig att det isolerande vattenskiktet svarar för huvuddelen
av värmemotståndet. Om detta skikt fryses till is ökar värmelednings-
förmågan och därmed också K' .

RADIELL VÄRMELEDNING GENOM SLANGVÄGG (Svensson, T 1980)



K' = Värmegenomgångstalet per meter slang $W/m^{\circ}C$

T_v = Brinetemperatur $^{\circ}C$

T_a = Vattentemperatur $^{\circ}C$

Fritt i vattnet:

omgivande vattenhastighet

$u_1 = 0,01 \text{ m/s}$ $Q = 7,5 \cdot \Delta T \text{ W/m}$

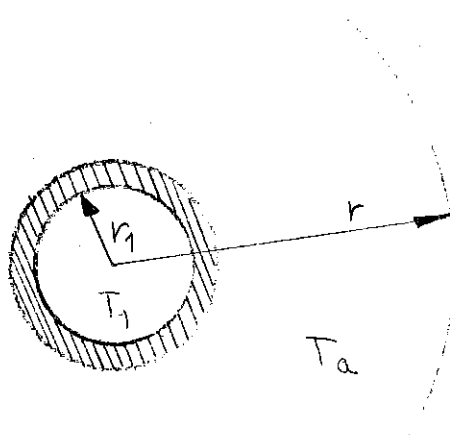
$u_2 = 0,1 \text{ m/s}$ $Q = 8,8 \cdot \Delta T \text{ W/m}$

$u_3 = 0,5 \text{ m/s}$ $Q = 9,3 \cdot \Delta T \text{ W/m}$

På botten:

$u_1 = 0,01 \text{ m/s}$ $Q = 2-3 \cdot \Delta T \text{ W/m}$

VÄRMEUPPTAGNING GENOM RADIELL VÄRMELEDNING I OÄNDLIGT MEDIUM (Svensson, T 1980)



Värmetransporten beskrivs av följande ekvation:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right)$$

där T = temperaturen, $^{\circ}\text{C}$

t = tid, s

λ = värmeledningstal, $\text{W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$

ρ = densitet kg/m^3

c = värmekapacitet $\text{J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$

r = radiell koordinat

r_1 = slangradie

Sätt $k = \lambda / \rho c$ m^2/s = värmediffusivitet

Randvillkor: $r \rightarrow \infty$ $T = T_a$

$r = r_1$ $T = T_1$ (värmemotståndet hos slangväggen försummas)

Begynnelsevillkor $T = T_a$ för $r > r_1$

Detta fall finns löst analytiskt i Crank (1975) med avseende på temperaturflödet, q .

För små tider är lösningen:

$$q = \frac{k(T_a - T_1)}{r_1} (\pi A)^{-\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} - \frac{1}{4} \left(\frac{A}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{8} A \dots \dots \dots (1)$$

För långa tider erhålles:

$$q = \frac{2 k(T_a - T_1)}{r_1} \frac{1}{\ln(4A) - 2\gamma} - \frac{\gamma}{(\ln(4A) - 2\gamma)^2} \dots \dots \dots (2)$$

där $\gamma = 0,5772$ = konstant

Den styrande parametern, A , ges av

$$A = \frac{kt}{r_1^2}$$

För de värden på k och r_1 som är aktuella gäller att $A >$ tiden i dygn vilket innebär att ekv (2) är tillämplig för tider > 10 dygn.

Ekvationerna (1) och (2) ger temperaturflödet per ytenhet av slang, dvs för $r = r_1$. För att få värmeflödet, Q , multipliceras med omkretsen och $\rho \cdot c$.

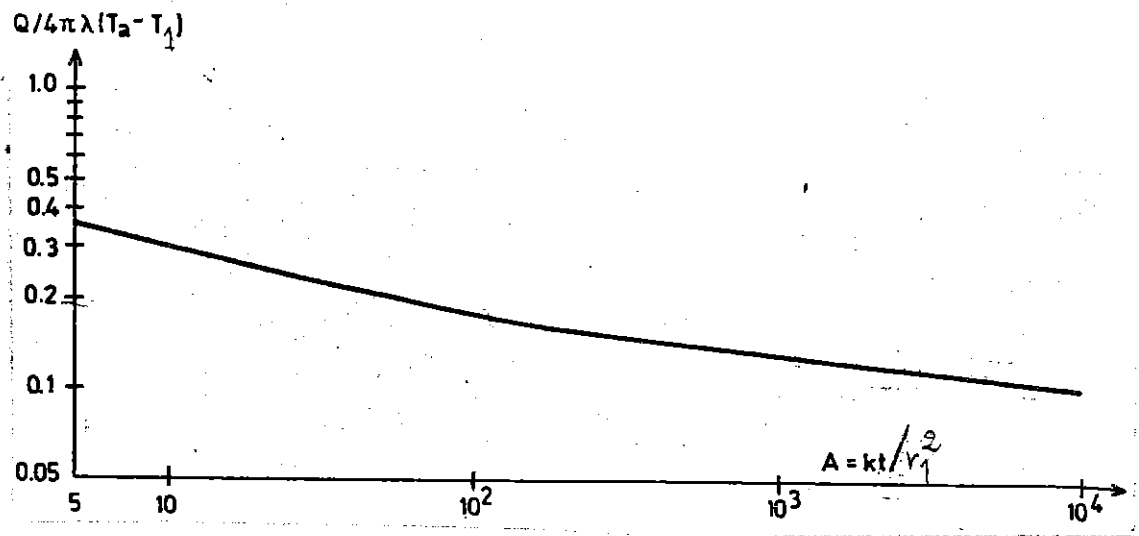
Ekvationen (2) ger då:

$$Q = 4\pi \lambda (T_a - T_1) \cdot f(A)$$

En dimensionslös formulering blir:

$$\frac{Q}{4\pi \lambda (T_a - T_1)} = f\left(\frac{k t}{r_1^2}\right)$$

Funktionen $f(A)$ visas i följande figur



I detta fall är det rimligt att antaga att uppvärmningssäsongen är > 100 dygn om $t = 100$ dygn blir $P/L = 3,62 \Delta T$ (enligt, tabell nedan). Vid en längre tidsperiod minskar värdet på P/L .

Enligt bilaga 7 är:

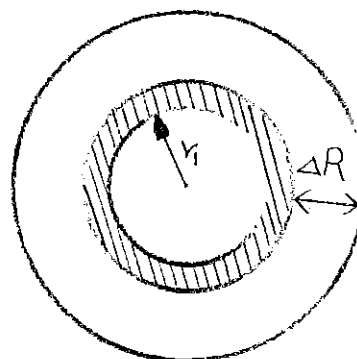
$$\lambda = 2,0 \text{ W/m}^0\text{C}$$

$$\rho C = C' = 2,9 \cdot 10^{-6} \text{ J/m}^3\text{C}^0$$

$$K = \frac{\lambda}{\rho \cdot C} = \frac{2,0}{2,9 \cdot 10^6} = 6,897 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Dimension	$\frac{K \cdot f}{r_1^2}$	$f(A)$	$\frac{P}{L} = 4 \pi \cdot \lambda \cdot f(A) \cdot \Delta T$
40/32,6	3 725	0,144	$3,62 \cdot \Delta T$

VÄRMEUPPTAGNING GENOM FRYSNING



$$\Delta R = \text{istillväxt}$$

$$\Delta Q = \Delta R \cdot 2\pi r_i \alpha_{is} \quad \text{W/m}$$

$$\alpha_{is} = 334 \cdot 10^3 \cdot 917 = 306,3 \cdot 10^6 \text{ I/m}^3$$

$$\int_0^Q \Delta Q = \int_{0,04}^R 2\pi r_i \alpha_{is} d\Delta R$$

$$Q = \pi \alpha_{is} (\Delta R^2 - 0,02^2)$$

Isbildning under en veckas tid ger

$$t = 604,8 \cdot 10^3 \text{ s}$$

$$Q_{1 \text{ vecka}} = \frac{Q}{t} = \frac{\pi \cdot 306,3 \cdot 10^6 (0,05^2 - 0,02^2)}{604,8 \cdot 10^3} = 3,3 \text{ W/m}$$

Isbildning under tre veckors tid ger

$$t = 181,44 \cdot 10^6 \text{ s}$$

$$Q_{3 \text{ vecor}} = \frac{Q}{t} = \frac{\pi \cdot 306,3 \cdot 10^6 (0,05^2 - 0,02^2)}{181,44 \cdot 10^6} = 1,1 \text{ W/m}$$

MOTION OM LAGREGLERING AV YTJORDVÄRME - ANLÄGGNINGAR

Ytjordssystemen kommer att bli vanliga i framtiden. Det är viktigt att systemen får en utformning som förebygger allvarliga skador vid olyckstillbud. Även lagstiftning och försäkringsväsande måste anpassas till den kommande utvecklingen.

Ett ytjordssystem skadas, miljöfarlig vätska läcker ut i marken. Vem är ansvarig för skadan? Innehåller lagen regler som förebygger skaderisker? Vilka skyldigheter har markupplåtaren? Hur ser försäkringsskyddet ut? Kan husägaren gardera sig?

Gällande författningar är skrivna utan tanke på ytjordssystem och andra liknande arrangemang för att tillvarata energi.

Byggnadslov - behövs det?

Ett ytjordssystem med slangar i egen eller annans mark kräver inte byggnadslov eftersom det enligt byggnadsstadgan inte är att betrakta som en ledning för vattenförsörjning eller avlopp. Ett ytjordssystem kan inte heller betraktas som en nybyggnad. Ej heller kan systemet tänkas falla under definitionen "industriell och liknande verksamhet, som är av väsentlig betydelse för hushållningen med energi eller med landets samlade mark- och vattentillgångar". Detta gäller så länge ytjordssystemet ansluts till befintliga byggnader. Om däremot ledningssystemet ingår som en del i nybyggnad kommer viss granskning att ske vid byggnadslovsprövningen eftersom fastigheten skall ha en tillfredsställande uppvärmning.

Vattendom?

Om ledningssystemet läggs ut i vatten anses det vara byggande i vatten. Trots det kräver anläggningen inte vattendom, såvida det inte föreligger sannolika skäl att anläggningen orsakar någon störning.

Miljöskyddsprövning?

Ett ytjordssystem är slutet och förorenar därför inte direkt vatten och är ej heller störande för omgivningen. Ytjordssystem som inte orsakar någon störning utanför det egna området faller utanför begreppet miljöfarlig verksamhet. Därmed föreligger varken skyldighet eller möjlighet att erhålla tillstånd från koncessionsnämnden. Anläggande av ett ytjordssystem är knappast att betrakta som byggnadsarbete enligt lagen om byggnadstillstånd. Så länge arbetet är begränsat till själva ytjordssystemet kan arbetet därför ske utan igångsättningsstillstånd.

Sammanfattningsvis kan vi konstatera att så länge man lägger ned systemet på egen mark, har man idag inga direkta normer eller förordningar som styr arbetet.

Om man nyttjar annans mark så är det möjligt att ingå avtal med markägaren om användning av dennes mark för nedläggning av ytjordssystem.

Bland kraven i lagen för att giltigt servitut skall anses föreligga kan nämnas att anläggningen skall vara av stadigvarande betydelse. Upplåtelsen kan dock tidsbegränsas.

Det finns inte några lagliga hinder att erhålla servitut för ytjordssystem i allmän mark. Kommunen har dock ingen skyldighet att upplåta sin mark för ytjordssystem.

Upplåtelse kan ske på andra sätt än genom servitut. Det kan faktiskt räcka med ett muntligt tillstånd. Fördelen för ytjordssystemets nyttjare är dock att genom att teckna servitut, som inskrivs i fastighetsboken hos den lokala tingsrätten, erhålls en säkerhet för fortsatt användning så länge avtalet gäller, även om marken där ytjordssystemet ligger byter ägare.

Skador

Skada till följd av ytjordssystem är reglerad enligt de allmänna skadeståndsrättsliga principer som finns i miljöskyddslagen, jordabalken och skadeståndslagen. Den som orsakar olägenhet genom en miljöfarlig verksamhet blir ersättningsskyldig, och storleken skall bestämmas enligt allmänna skadeståndsrättsliga regler.

Verksamhet som medför olägenhet i form av uppvärmning eller nedkylning av annans mark, som därigenom orsakar exempelvis försenad tjällossning, anses vara miljöfarlig och faller under miljöskyddslagens bestämmelser.

När det gäller ledningssystem som innehåller en eller annan form av fröstskyddsmedel som kan vara skadligt för omgivningen måste man räkna med att det föreligger strikt ansvar för nyttjaren av ledningssystemet.

Framtida författningar?

Jag har gått igenom de aktuella utredningarna angående framtida markanvändning:

- o revision av vattenlagen
- o hushållning med mark och vatten (fysisk riksplanering)
- o ny plan- och bygglag
- o miljöskyddsutredningen.

Redan från början kan konstateras att dessa utredningar inte går in på energilagring i mark.

Sammanfattningsvis skall sägas att förslaget till ny vattenlag endast vid en stark tänjning av reglerna kan innebära någon ytterligare reglering och kontroll som berör energilagringssystem.

I förslaget till plan- och bygglag (PBL) finns bestämmelser som kan få betydelse. Man inför en allmän paragraf som gäller för planläggning och tillståndsprövning. Därvid skall markområdets lämplighet för bebyggelse prövas, och särskilt skall undersökas om det är lämpat för sitt ändamål från sundhets- synpunkt samt med hänsyn till grundförhållandena och möjlig- heterna att ta hand om avfall och ordna trafik, service samt energi- och vattenförsörjning på ett sätt som förebygger vatten- och luftföroreningar och bullerstörningar. Vidare tas upp frågor om risker för förorening av grund- eller ytvatten och hur detta skall förebyggas. Någon direkt betydelse för energilagring i eller energiuttag från mark finns ej. Samman- fattningsvis gäller samma sak som för den befintliga lagstift- ningen att de inte är skrivna med hänsyn till ytjordssystem.

Den nya tekniken för ytjordssystem har inte legat till grund för befintlig och närmast framtida lagstiftning. Förprovning, kontroll och uppsikt ligger i nyttjarens intresse så till vida att han själv bär ansvaret för konsekvenserna om systemet inte fungerar och medför skada. Problemen har olika karaktär be- roende av om systemen används i glesbygd eller tätbebyggelse.

Enligt min uppfattning borde det ske en ökad medvetenhet om de risker som är förbundna med systemet. Jag tänker då närmast på ytjordssystem med frostskyddsmedel. Systemen bör enligt min uppfattning göras säkrare så att risken för utsläpp av miljö- farliga ämnen reduceras. Det kan inte vara rimligt att tillåta att ett system kontinuerligt kan pumpa ut mediet i marklagren efter att brott inträffat på ledningarna. Det torde vara en absolut förutsättning att systemet förses med en automatisk avstängningsanordning som förhindrar utpumpning vid läckage.

Man borde även pröva nödvändigheten av alternativa tillsatser för att förhindra frysning. Det i dag förhärskande systemet med glykol är diskutabelt då glykolen både är giftig och för- brukar syre i stor omfattning när den kommer ut i marklagren eller vattenlagren.

En annan fråga som bör undersökas närmare är försäkrings- skyddet för det fall att skada inträffar. Det är i dag otill- fredsställande att sanering på egen mark ej täcks av försäkring. Det är också tveksamt om immissionsskadorna på annans mark är täckta. Nuvarande försäkringsvillkor har som förutsättning att skadan skall ha skett genom en olyckshändelse. Om skadan sker successivt till följd av läckage föreligger normalt ej försäkringsskydd. Vidare är det oklart hur försäkringsskyddet fungerar om ledningssystemet ligger på annans mark. Större ytjordssystem ägs ofta av gemensamhetsanläggningar med begrän- sade ekonomiska resurser, och försäkring mot möjliga skador borde därför vara ett krav.

Hemställan

Med hänvisning till vad som ovan anförts hemställer jag att riksdagen som sin mening ger regeringen till känna vad som i motionen anförts om ytjordssystem och en översyn av gällande författningar, m m. (Avskrift av Motion 1980/81:373)