

EXAMENSARBETE

Fiskpassagelösning i Luleås innerfjärdar



HANS SJÖBERG

CIVILINGENJÖRSPROGRAMMET

Institutionen för Samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Förnyelsebar energi

Förord

På uppdrag av Luleå kommun har en utredning i form av ett examensarbete gjorts för att kartlägga vilka olika möjligheter det finns att ge vandrande fiskarter fri passage vid överfallsdammarna till Luleå innerfjärdar. Examensarbete har utförts vid avdelningen för förnyelsebar energi på Luleå tekniska universitet.

Jag vill främst tacka teknolog Daniel Johansson som har ställt upp och hjälpt till med laborationsförsöken och fungerat som bollplank vid ett flertal olika frågeställningar.

Övriga personer som på olika sätt varit delaktiga i arbetet har varit.

Bo Nordell, Peter Erixon och Kjell Skogsberg vid Luleå tekniska universitet.

Michael Öhman, Ulf Eriksson, Bo Sundström och Gunilla Ripa på Tekniska förvaltningen, Luleå kommun.

Bernt Granberg på Berglunds Rostfria AB

Till dessa vill jag rikta ett varmt tack.

Ett speciellt tack vill jag rikta till Thord Engström och Jan-Erik Almqvist för informationsmaterial rörande respektive sluss, givande diskussioner och sist men inte minst vill jag tacka Thord för det utsökt goda rökta renköttet och Jan-Erik för den lika utsökt goda rökta öringen.

Sammanfattning

Luleås innerfjärdar har ett stort rekreativvärde med möjlighet till bad, fiske, samt promenadstråk med utsikt över vattenspeglar. Landhöjning tillsammans med övergödning gör att de rekreativa värdena hotas i form av minskad yta med fria vattenspeglar och sämre vattenkvalitet. På sikt kommer innerfjärdarna på grund av landhöjningen avsnöras från havet och till sist växa igen helt och hållet. För att fördröja igenväxningsprocessen genomförde Luleå kommun ett uppdrämningsföretag åren 1992-93. Muddringar utfördes i de fyra innersta fjärdarna, och två överfallsdammarna byggdes av stålspont utom på en sträcka av två meter där trästötter placerades. Dammarna är placerade vid Likskärsbron och Lulsundet, och dämmer upp Sörfjärden, Sinkfjärden, Björsbyfjärden och Björskatafjärden. Dämningshöjden blev ca en halv meter över medelvattenståndet i havet vilket är -0.40 m i höjdsystemet RH 00. En konsekvens av uppdrämningen blev dock att de uppsatta överfallsdammarna kom att tjäntgöra som ett hinder för fiskens normala vandringar. I en vattendom som lagligförklarar dammbyggena fastställs att kommunen i samråd med fiskeriverket ska ordna fungerande fiskpassager. Idag finns det öppningar i sponten på ca 0.15 till 0.20 m² vilka är tänkta att fungera som fiskpassager, men det har visat sig att fisken har svårt att passera genom öppningarna då hastigheten på vattnet där är hög. Nuvarande fiskpassager släpper också ut mycket vatten ur innerfjärdarna och behovet av en ny lösning är därför stort.

Detta examensarbete syftar till att undersöka vilka alternativ till fiskpassagelösning som kan fungera vid överfallen och redovisa för och nackdelar mellan de framtagna alternativen. Det finns främst fyra faktorer att ta hänsyn till vid valet av fiskväg och dessa är fiskarterna som ska använda fiskvägen, fallhöjd som skall övervinnas, tillgängligt vattenflöde och nivåfluktuationer i vattenståndet. På grundval av dessa faktorer vid innerfjärdarna valdes en bassängrappa, en slitsränna, en Denilränna och två typer av slussar ut och jämfördes.

Slussarna var dyra och krävde elektriskt styrda luckor, men släppte ut lite vatten. Av de övriga fiskvägarna visade sig Denilrännan ha flest positiva egenskaper. Återpumpning av vatten för att bibehålla nivån trots flödet genom Denilrännorna skulle endast kräva en pump på 500 w och en energikostnad per år på mindre än 400 kr. Det finns planer på att genom inpumpning av klart näringsfattigt vatten förbättra vattenkvaliteten i innerfjärdarna. Om dessa planer realiseras blir kostnaden för att kompensera utflödet genom Denilrännorna försumbar då en pump ändå måste inköpas och det extra flöde som krävs för att hålla nivån uppe är låg i förhållande till det totala flödet. Då Denilrännan är en billig och funktionell lösning som kräver mindre skötsel än slussarna och kostnaden för återpumpning av vatten visat sig vara låg, så rekommenderas två Denilrännor som fiskvägar till innerfjärdarna.

Abstract

The water area around the city of Luleå and its surroundings consist of several shallow interconnected bays. These bays give the citizens of Luleå good opportunities to spare time activities such as fishing, swimming and walking along paths with a view over open water surfaces. Because of the land uplift the water depth in the bays will decrease and so will the possibilities for mentioned activities. To delay the process with decreasing water depth in the four bays the community of Luleå decided to build two dams. One consequence of the dams was that fish not longer could pass in and out between the sea and these bays. This objective of this project was to investigate different ways to allow fish passage through the weirs and find the best solution considering the local conditions. Five types of fishways were selected for a closer investigation. It was found that the Denil fishway was the best choice with consideration to functionality and cost. The Denil fishway consists of a rectangular chute with a series of planar baffles pointing upstream at an angle of 45° to the fishway floor. The baffles will slow down the velocity of the water and therefore enable fish passage. The disadvantage of the Denil fishway was that the water flow from the bays during the summer will cause a water level decrease. It was however found that the pumping cost to compensate for this outflow, through the fishways, will be very low.

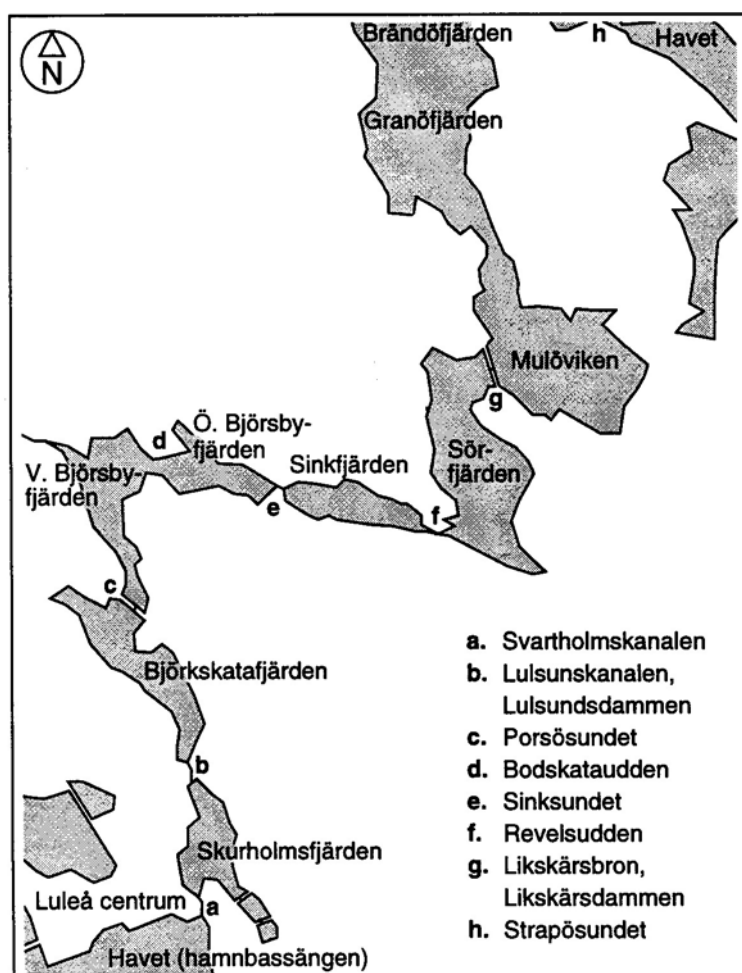
Innehållsförteckning	Sida
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Allmänt om fiskvägar	4
1.3 Mål och Avgränsningar	5
2 Metod	5
2.1 Intervjuer	5
2.2 Ritningskonstruktion	6
2.3 Laborationsförsök	6
2.4 Teori	6
2.4.1 Hydrologiska beräkningar	6
2.4.2 Strömningsberäkningar	7
2.4.3 Pumpberäkningar	10
2.4.4 Laborationsförsök	11
2.4.5 Fiskars simförmåga	12
2.4.6 Denilränna	13
2.4.7 Slitsränna	14
2.4.8 Bassängtrappa	15
2.4.9 Lådsluss	15
2.4.10 Rörsluss	16
3 Resultat	17
3.1 Hydrologi	17
3.2 Återpumpning	20

3.3 Fiskekologi	22
3.4 Strömningsberäkningar	23
3.5 Laborationsförsök	24
3.6 Förslag till fiskvägar	26
3.6.1 Denlränna	27
3.6.2 Slitsränna	31
3.6.3 Bassängtrappa med undervattens öppningar	32
3.6.4 Fisksluss av lådtype	33
3.6.5 Fisksluss av rörtyp	35
3.6.6 Sammanställning av förslagen till fiskpassagelösning	37
4 Slutsatser	38
5 Referenser	40
Bilagor	
1: Denlrännans placering i dammen	
2: Denlrännan sedd från sidan	
3: Lamellerna och Denlrännan sedd framifrån	
4: Denlränna	
5: Slitsränna	
6: Bassängtrappa	
7: Lådsluss	
8: Rörsluss	

Inledning

1.1 Bakgrund

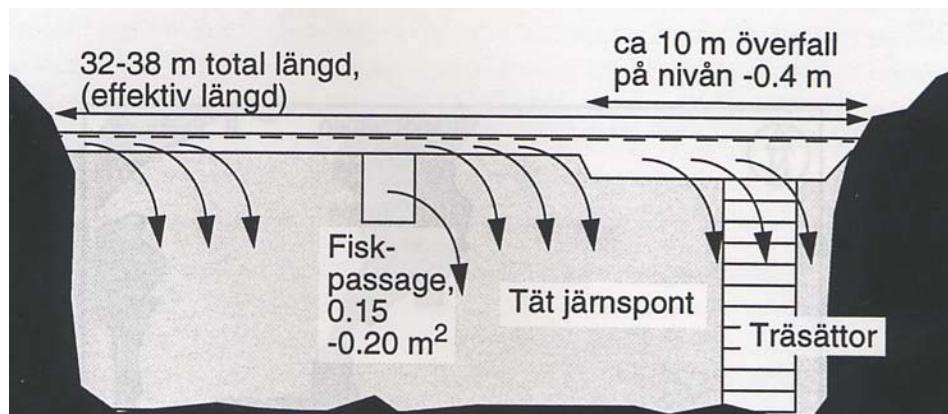
Genom landhöjningen (9 mm/år) och en ökad igenväxning på grund av övergödningen förlorar Luleå innerfjärdar fria vattenspeglar och en rad rekreativa värden så som möjligheter till bad, fiske och båtliv. I ett försök att förhindra detta genomförde Luleå kommun ett upp-dämningsföretag åren 1992-93. Under sommarhalvåret är det tänkt att vattennivåerna i innerfjärdarna skall ligga ca 40 cm över nuvarande normalvattenstånd i havet (Erixon 1996). En konsekvens av upp-dämningen blev dock att de uppsatta överfallsdammarna kom att tjänstgöra som ett hinder för fiskens normala vandringar. I figur 1 nedan visas en skiss över innerfjärdssystemet i Luleå. Det är fjärdarna Björkskatafjärden, Västra och Östra Björsbyfjärden, Sinkfjärden samt Sörfjärden som genom dammar i punkt "b" och "g" blivit avsnörpta från havet.



Figur 1. Luleås innerfjärdar (Hämtad från Adreasson 1996)

Dammarna består av Larssonspånt i stål och trästöttor. En skiss av dammkonstruktionerna visas i figur 2 nedan. I konstruktionen finns det hål vilka är tänkta att fungera som fiskpassage. Dessa fungerar dåligt då strömhastigheten på vattnet genom hålen ofta är för hög för att fisk skall kunna passera. Vidare så hamnar hålen ovanför vattenytan på havssidan då

vattenståndet i havet är lågt. (Andreasson 1996). En ny lösning är därför nödvändig för att fisken ska kunna få fri tillgång till de innersta fjärdarna.

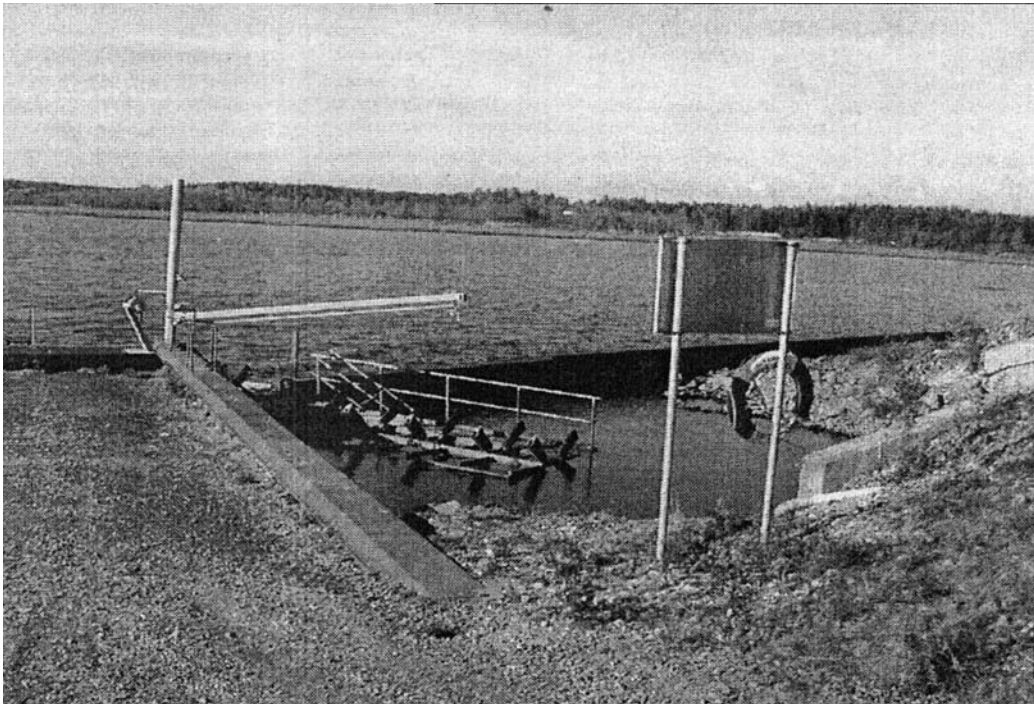


Figur 2. Principskiss på överfallsdammarna (Hämtad från Andreasson 1996)

Träsättorna sätts ner i början av maj och tas upp i mitten av september. Detta görs för att få friskt syrerikt havsvatten att strömma in i fjärdarna vintertid då havsnivån normalt är betydligt högre än under sommaren. Målet är att träsättorna ska sättas ner innan vårfloden är över så att innerfjärdssystemet fylls upp till dammkrön. Hinder för fiskvandring är således begränsat till perioden maj-september. Vid dammarna finns en ramp för transport av mindre båtar. Det finns planer på att pumpa in vatten till innerfjärdarna från havet och på så vis förbättra vattenkvaliteten sommartid genom att friskt havsvatten strömmar igenom fjärdssystemet. För att vattnet ska strömma genom fjärdarna behöver dammhöjden vara högre där inpumpning sker jämfört med dammen på andra sidan innerfjärdssystemet. Figur 3 och 4 nedan visar bilder från de två överfallsdammarna. Där båtrampen sitter är sättarna placerad, vilket också är den troligaste placeringen av en framtida fiskväg då det är enklast att komma åt och installera fiskvägen där jämfört med i själva stålsponten. Båtrampen kommer att göras om och omplaceras i dammen.



Figur 3. Överfallsdammen vid Lulsundet



Figur 4. Överfallsdammen vid Likskär

1.2 Allmänt om fiskvägar

I litteraturen finns en mängd exempel på olika metoder att ge fisk möjlighet att passera hinder. Det som styr valet av fiskväg är främst aktuella fiskarter, fallhöjd, tillgänglig mängd vatten som kan släppas igenom fiskvägen och nivåfluktuationer i vattenståndet uppströms respektive nedströms fiskvägen. De flesta fiskvägar görs för att ge laxfiskar fri passage förbi kraftdammar. Laxfiskar har betydligt bättre simförmåga och kan dessutom hoppa förbi hinder jämfört med söt-vattensfiskar så som t ex. gädda, abborre och vitfisk. Vid design av fiskvägar för dessa fiskar är det därför viktigt att ha låg hastighet och fler viloplatser jämfört med traditionella fiskvägar för laxfiskar, samt undvika hinder som kräver hopp. Fallhöjden avgör längden på fiskvägen och antal viloplatser. Den tillgängliga mängd vatten som kan släppas igenom fiskvägen avgör i fall en fisksluss som släpper igenom lite vatten eller en bassängtrappa som släpper igenom relativt mycket vatten ska användas. Olika typer av fiskvägar är i varierande grad känsliga för nivåfluktuationer. Det finns alltså inte en fiskväg som passar överallt utan varje fiskväg måste designas utifrån de lokala förhållandena. De olika typerna av fiskvägar kan delas in i följande grupper:

Fiskvägar av bassängtyp (bassängtrappor)

Fallhöjden delas upp i flera steg där höjdskillnaden mellan bassängerna är tillräckligt låg för att de aktuella fiskarterna ska kunna passera. Kan utformas med både över och under-vattningsöppningar mellan bassängerna. (Se Bilaga 6)

Fiskvägar med vertikala slitsar (slitsrännor)

En ränna med ett flertal bassänger som skiljs åt med slitsar, vilka kan utformas på en mängd olika sätt för att skapa turbulens i bassängen och på så sätt minska vattenhastigheten. Det finns både rännor med en slitsöppning mellan bassängerna och rännor med två slitsöppningar. Höjd-skillnaden mellan bassängerna styrs av vilka fiskarter slitsrännan byggs för. (Se bilaga 5)

Fiskvägar av motströmstyp (denilrännor)

Vattenhastigheten saktas ner genom lameller som skapar turbulens och på så sätt ger energiförluster vilket minskar rörelseenergin och därmed hastigheten. (Se bilaga 4)

Fiskslussar och fiskhissar

En sluss består förenklat av två lådor med ett rör i mellan. Vid fiskpassage hålls luckan till lådan nedströms helt öppen och luckan till lådan uppströms något öppen. En motström lockar då in fisken i nedströmslådan. När fisken är inne i lådan stängs luckan i nedströmslådan helt och luckan i uppströmslådan öppnas helt och systemet fylls upp med vatten. När både lådor och rör är fyllda med vatten öppnas luckan i nedströmslådan något och en motström lockar fisken genom röret och ut genom lådan uppströms. Fiskvandring åt andra hållet sker på samma vis med skillnaden att nedströmslådan då blir uppströmslåda och vice versa. (Se bilaga 8)

I fiskhissar lockas fisken in i en behållare och flyttas sedan mekaniskt förbi hindret.

Kulvertar

Byggs normalt i betong eller plåt för att dränera vatten förbi bil och järnvägar. Kan innehålla olika typer av strömdämpare för att minska hastigheten.

Kanaler

Leder fisken förbi hindret och byggs med en lutning som passar aktuella fiskarter. I fall kanalen är lång anläggs viloplatser i kanalen.

Vidare finns fiskvägar för yngel/smolt och speciella ledare för ål, vilket inte är intressant för innerfjärdarna.

Rapporten innehåller ett längre teoriavsnitt (2.4) där den matematiska och fysikaliska bakgrunden till de resultat som presenteras senare i rapporten går igenom. Det är inte alls nödvändigt att läsa detta avsnitt för att förstå rapporten utan läsaren rekommenderas att använda avsnittet som referens i fall något skulle vara oklart i resultatdelen eller fördjupad information önskas rörande bakgrunden till ett resultat.

1.3 Mål och Avgränsningar

Examensarbetets mål är att undersöka vilka möjligheter det finns att ge vandrande fiskarter fri passage vid överfallsdammarna och jämföra för och nackdelar med respektive konstruktion. Avsikten med arbetet är att ge Luleå kommun ett underlag för beslut, samt konkreta förslag på hur fiskpassagen kan lösas. Arbetet fokuserar på att finna en lämplig lösning på fiskpassageproblemet och övrig innerfjärdsproblematik så som t ex. läckage och vattenkvalitet studeras inte i detta arbete.

2 Metod

Arbetet inleds med informationsinsamling som sker genom personliga intervjuer och litteraturstudier. Målet med informationsinsamlingen är att skaffa information om tänkbara fiskvägars funktion och de lokala förhållandena så som aktuella fiskarter, fallhöjd, tillgängligt vattenflöde och nivåfluktuationer i vattenståndet på innerfjärds respektive havssidan. Aktuella fiskarter och hydrologiska förhållanden fastställs och utifrån dessa uppgifter väljs ett antal konstruktioner som kan fungera ut. Ut över under punkt 1.2 nämnda fiskvägstyper studeras även två lokala alternativ. Genom beräkningar, laborationsförsök och eventuellt fältförsök undersöks sedan vilka fiskvägar som är mest lämpliga att installera i dammarna. På den mest lämpliga fiskvägen görs detaljerade konstruktionsritningar.

2.1 Intervjuer

Personliga intervjuer görs med två stycken lokala uppfinnare som har idéer på hur fiskpassagen skulle kunna lösas. Thord Engström i Luleå är engagerad i frågor rörande innerfjärdarna och har tagit fram ett förslag på hur fiskpassagen skulle kunna lösas genom en ”lådsluss” variant. Jan-Erik Almqvist i Boden har tillsammans med Berglunds Rostfria AB utvecklat en ”rörsluss” anordning som skulle kunna ge fisken möjlighet till passage förbi dammarna. Syftet med intervjuerna är att få information om ovannämnda förslags funktion och ungefärlig kostnad.

2.2 Ritningskonstruktion

Ritningar av den utvalda konstruktionen görs i AutoCad och redovisas som bilaga 1-3.

2.3 Laborationsförsök

Då det är svårt att beräkna förlusterna vid t ex. turbulent flöde så kan hastigheten för olika konstruktioner bestämmas laborativt genom modellförsök. En enkel och funktionell uppställning kan ha följande utseende enligt figur 5 nedan.

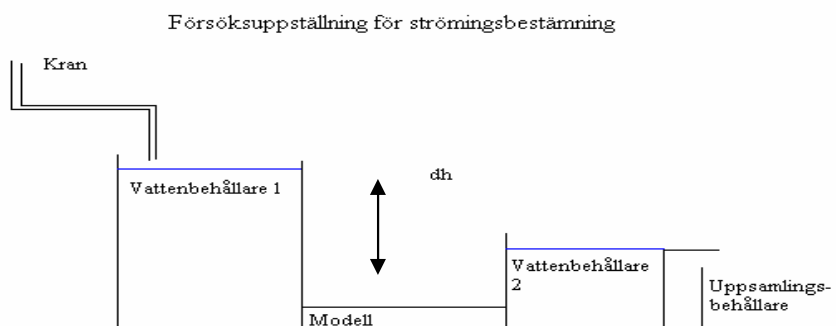


fig. 5 Försöksuppställning för hastighetsbestämning

En modell i skala 1:8 med tvärsnittsarean 6.25×5.0 cm, och längden 60 cm används. Försök 1 genomförs med endast rektangulär ränna. I försök 2 förses rännan med fyra stycken lameller på 20 cm avstånd. Modellerna byggs i trä och genomskinlig hårdplåt så så vis kan strömningens utseende studeras visuellt. Den typ av fiskväg som studeras genom försök är en variant av Denilränna (motströmstyp). Mer detaljerad information rörande laborationsförsöket finns i avsnitt 2.4.4.

2.4 Teori

2.4.1 Hydrologiska beräkningar

Vattenvolymer i fjärdarna styrs av vattenbalanskvationen.

$$\Delta s = Q_{in} - Q_{ut} + Q_{till} + P - E + G \quad (1)$$

Δs = Magasinsförändring i innerfjärdarna

Q_{in} = Flöde in till innerfjärdarna

Q_{ut} = Flöde ut ur innerfjärdarna vilket är noll i fall alla läckage är tätade

Q_{till} = Tillrinning ifrån avrinningsområdet

P = Nederbörd

E = Avdunstning

G = Utbyte med grundvattnet försummas i detta fall då det är litet i förhållande till de andra faktorerna (Andreasson 1996).

Nivåförändringar ΔH fås genom att dividera magasinförändringen Δs med innerfjärdarnas totala area A . Innerfjärdarnas totala vattenarea A antas vara konstant i ett intervall på ± 20 cm i förhållande till normalt vattenstånd.

$$\Delta H = \frac{\Delta s}{A} \quad (2)$$

I nedanstående beräkningar antas läckaget i dammarna och vägbanken vara noll och flödet Q_{ut} genom fjärdarna är det flöde som passerar fiskvägarna. Vid oförändrad nivå är Δs noll och flödet Q_{ut} som kan släppas ut genom innerfjärdssystemet via fiskvägarna utan att nivån förändras ges då av

$$Q_{ut} = Q_{in} + P - E \quad (3)$$

Genom att ta fram månadsmedelvärden för tillrinning, nederbörd och avdunstning så kan det tillgängliga flödet som kan släppas ut genom fiskvägarna varje månad utan att nivån i fjärdarna sjunker bestämmas med ekvation 3. Magasinsförändringen Δs_f för olika flöden genom fiskvägarna beräknas genom att subtrahera det tillgängliga flödet Q_{ut} med utflödet genom fiskvägen Q_f .

$$\Delta s_f = Q_{ut} - Q_f \quad (4)$$

Den totala magasinförändring som härrör från fiskvägen fås genom att multiplicera förändringen Δs med den tid t då utflödet genom fiskvägen Q_f är större än det tillgängliga

flödet Q_{ut} . Därpå beräknas nivåförändringen ΔH_f genom att som tidigare dividera med totala arean A .

$$\Delta H_f = \frac{\Delta s_f \times t}{A} \quad (5)$$

2.4.2 Strömningsberäkningar

Energiekvationen

$$z_1 + h_1 + \frac{U_1^2}{2 \times g} = z_2 + h_2 + \frac{U_2^2}{2 \times g} + h_f + h_t \quad (6)$$

z_1 = höjd i punkt 1

h_1 = vattenhöjd i punkt 1

U_1 = vattenhastighet i punkt 1

z_2 = höjd i punkt 2

h_2 = vattenhöjd i punkt 2

U_2 = vattenhastighet i punkt 2

h_f = friktionsförlusthöjden

h_t = tilläggsförlusthöjden

Givet att:

$$U_1 = 0$$

$$z_1 = z_2$$

$$h_1 - h_2 = \Delta h$$

Kan energiekvationen förenklas till

$$\Delta h = \frac{U_2^2}{2 \times g} + h_f + h_t \quad (7)$$

Friktionsförlusterna h_f ges av

$$h_f = f \times \frac{L \times U_2^2}{8 \times g \times R} \quad (8)$$

f = friktionskoefficienten

L = längden på fiskvägen

R = hydrauliska radien

Friktionskoefficienten f är en funktion av strömbilden och materialegenskaper i fiskvägen. Denna koefficient fås ur tabell för beräknade värden på ekvationerna 9 och 10 nedan

$$\frac{k}{4 \times R} \quad (9)$$

$$R_e = \frac{U_2 \times 4 \times R}{\nu} \quad (10)$$

k = Ekvivalenta sandrårheten (materialegenskap)

R_e = Reynolds tal

ν = Viskositeten (mått på hur trögflytande vattnet är)

Hydrauliska radien är ett mått på medelavståndet till yta med friktion och ges av

$$R = \frac{A}{P} \quad (11)$$

A = fiskvägens tvärsnittsarea

P = våta perimetern (omkretsen av den yta som är i kontakt med vattnet.)

För ett rektangulärt tvärsnitt ges våta perimetern P och tvärsnittsarean A av

$$P = 2 \times y + 2 \times b \quad (12)$$

$$A = b \times y \quad (13)$$

b = fiskvägens bredd

y = fiskvägens höjd

En alternativ formel för friktionsförluster är Manningsformel.

$$h_f = \frac{L \times U_2^2}{M^2 \times R^{4/3}} \quad (14)$$

M = Mannings tal (materialkonstant)

Tilläggförlusterna h_t består av accelerationsförluster h_a då vattnet strömmar in i fiskvägen samt retardationsförluster h_r då vattnet strömmar ut ur fiskvägen.

$$h_a = k_a \times \frac{U_2^2}{2 \times g} \quad (15)$$

$$h_r = k_r \times \frac{U_2^2}{2 \times g} \quad (16)$$

k_a = koefficient som beror av utformningen på ingången till fiskvägen

k_r = koefficient som beror av utformningen på utloppet från fiskvägen

Den kompletta formeln för energiekvationen ges nu av

$$\Delta h = \frac{U_2^2}{2 \times g} + \frac{f \times L \times U_2^2 [2 \times y + 2 \times b]}{8 \times g \times b \times y} + k_a \times \frac{U_2^2}{2 \times g} + k_r \times \frac{U_2^2}{2 \times g} \quad (17)$$

Ur ekvation 15 kan hastigheten U_2 lösas ut

$$U_2 = \sqrt{\frac{2 \times g \times \Delta h}{1 + k_a + k_r + \frac{f \times L [2 \times y + 2 \times b]}{4 \times b \times y}}} \quad (18)$$

I fall Manningsformel används så får uttrycket för hastigheten U_2 följande utseende

$$U_2 = \sqrt{\frac{2 \times g \times \Delta h}{1 + k_a + k_r + \frac{L}{M^2 \times R^{4/3}}}} \quad (19)$$

Den högsta teoretiska hastigheten vid ett givet Δh fås då friktions och tilläggförlusterna är noll d.v.s. $h_f = h_t = 0$

$$U_{\max} = \sqrt{2 \times g \times \Delta h} \quad (20)$$

För fiskvägen gäller att hastigheten U_2 inte får överstiga den kritiska hastigheten V_{kr} för de aktuella fiskarnas simförmåga. Det är också av intresse att släppa ut så lite vatten som möjligt ur fjärdarna. Då hastigheten minskar sjunker flödet enligt $Q = U \times A$. Hastigheten U_2 minskas genom att på olika sätt öka friktions och tilläggförlusterna

2.4.3 Pumpberäkningar

Pumparbetet som krävs för att pumpa tillbaka vattnet som rinner ut genom fiskvägen beror av höjdskillnaden Δh mellan innerfjärdarna och havet, samt flödet Q_f genom fiskvägen.

Formeln för lägesenergi

$$w_l = m \times g \times \Delta h \quad (21)$$

w_l = pumparbetet

m = massan i kg

g = gravitationskonstanten

Effekten ges av

$$P = \frac{\Delta w_l}{\Delta t} \quad (22)$$

Effekten är alltså derivatan av lägesenergin.

Derivering av ekvation 5 ger

$$P = m \cdot g \times \Delta h \quad (23)$$

Massflödet $m \cdot$ fås genom att multiplicera flödet Q_f med vattnets densitet. I fall densiteten sätts till 1000 kg/m^3 får vi följande uttryck för pumpeffekten

$$P = \frac{Q_f \times g \times \Delta h}{\eta} \quad (24)$$

η = Pumpens verkningsgrad

Den totala energiförbrukningen w_{tot} fås genom att multiplicera pumpeffekten P med tiden t då pumpen är i drift.

$$w_{tot} = P \times t \quad (25)$$

2.4.4 Laborationsförsök

I vattenbehållare två (se figur 1) kommer vattnet att avbördas över ett rektangulärt överfall. Flödet över ett rektangulärt överfall ges av

$$Q = C \times \frac{2}{3} \times \sqrt{2 \times g} \times b_e \times (h_1 - h_2)^{\frac{3}{2}} \quad (26)$$

(Häggström 1999)

Avbördningskoefficienten C varierar med överfallsbredden b relativt bredden B i vattenbehållare två och överfallshöjden $h_1 - h_2$ relativt överfallets tröskelhöjd över botten P . I försöksuppställningen är

$B = 23$ cm

$b = 20$ cm

$P = 10,5$ cm

Överfallets tröskelhöjd P är beläget 0.5 cm över modellens överkant.

För $b/B = 0.9$ fås C till

$$C = 0.599 + 0.064 \times \left(\frac{h_1 - h_2}{P} \right) \quad (27)$$

Genom att samla upp vatten under en given tid Δt och bestämma volymen V av detta vatten så fås.

$$Q_{ut} = \frac{V}{\Delta t} \quad (28)$$

När flödet Q är känt så kan avbördningshöjden $h_{avbörd}$ bestämmas genom passningsräkning. Den verkliga höjdskillnaden dh mellan behållarna ett och två ges nu av

$$\Delta h = h_{mät} - 0.005 - h_{avbörd} \quad (29)$$

$h_{mät}$ = höjd över modellens överkant i vattenbehållare 1

Kontinuitetsekvationen för modellen ges av

$$Q_{in} = Q_{ut} = U_{in} \times A_{in} = U_{ut} \times A_{ut} \quad (30)$$

Modellen har konstant form d.v.s. $A_{in} = A_{ut}$

Ekvation 25 och 27 ger hastigheten U i modellen.

$$U = \frac{V}{\Delta t \times A} \quad (31)$$

A = modellens tvärsnittsarea.

$$A = y \times b \quad (32)$$

y = modellens djup

b = modellens bredd

För att försök med modell ska ge en korrekt bild av den verkliga prototypens strömning krävs likformighet i form och strömning d.v.s. följande samband måste gälla:

$$\frac{y_m}{b_m} = \frac{y_p}{b_p} \quad (33)$$

$$R_m = R_p = \frac{U_m \times L_m}{\nu} = \frac{U_p \times L_p}{\nu} \quad (34)$$

Beteckningarna m och p står för modell respektive prototyp.

R = Reynolds tal

ν = Viskositeten för vattnet

L = är det längdmått som påverkas av flödet t ex. Diameter eller hydrauliska radien

2.4.5 Fiskars simförmåga

Simhastighet och uthållighet hos fiskar är beroende av art, längd och aktuell vattentemperatur. Laxfiskar simmar fortare och har bättre uthållighet än t ex abborre, gädda och vitfisk. Större fisk simmar bättre än mindre och fisken simmar långsammare vid låga vattentemperaturer. Maximalt tillåten vattenhastighet, längd mellan viloplatser och utformning av fiskväg som kräver hopp styrs av de aktuella fiskarnas sim och hoppförmåga. Det är alltså viktigt att utreda vilka fiskarter och storleken på de fiskar som fiskvägen ska designas för. En uppfattning om rådande vattentemperatur då det är tänkt att fisken ska använda fiskvägen är också viktigt att ha i åtanke vid val av fiskväg. Fiskarnas simhastighet delas upp i tre grupper (Katopodis 1992).

Rusning: Den hastigheten fisken kan hålla i högst 10 sekunder.

Medeldistans: Hastigheten som fisken kan hålla mellan 10 sekunder till 30 minuter.

Långdistans: Den hastighet som fisken kan simma i längre än 30 minuter. (Katopodis 1992)

Hur långt fisken når i respektive hastighetsgrupp beror av vattenhastigheten enligt uttrycket nedan.

$$X = (V - U)t \quad (35)$$

X = Sträckan som fisken tillryggalägger under tiden t

V = Fiskens simhastighet

U = Vattenhastigheten

t = Tiden som fisken simmar i hastigheten U

(Katopodis 1992)

Fisken lockas av en vattenström och orienterar sig efter strömriktningen. Den lägsta hastighet vid vilken fisken orienterar sig mot strömmen benämns "Threshold current velocity (V_{thr})" och den lägsta hastighet då fisken inte längre klarar hålla sig kvar i strömmen benämns "Critical velocity" (Pavlov 1989).

2.4.6 Denilränna

Vattenhastigheten beror av lutningen på rännan, längden mellan lamellerna och förhållandet mellan den fria bredden b (bredden mellan lamellens innerkanter) och djupet över lamellens lägsta punkt y det vill säga y/b (Rajaratnam och Katopodis 1984).

Rajaratnam och Katopodis (1984) har genom ett stort antal experiment tagit fram ett uttryck för flödet Q i en Denilränna.

$$Q = Q_* \times \sqrt{g \times S_0 \times b^{2.5}} \quad (36)$$

Där g är gravitationskonstanten, S_0 är lutningen på rännan och b är som tidigare nämnts den fria bredden. Q_* beror av värdet på y/b och för ett värde på ca 1 så fås Q_* till

$$Q_* = 0.94 \times \left(\frac{y}{b}\right)^2 \quad (37)$$

En denilränna är i princip en kanal med lameller som bromsar vattnet. För en kanal gäller sambandet

$$Q = A \times M \times R^{2/3} \times \sqrt{S_0} \quad (38)$$

A = Den vattenfyllda tvärsnittsarean

M = Manningstal vilket beror av materialet i kanalen

R = Hydrauliska radien

Storleken på flödet Q in i kanalen beror vidare på hur pass högt vattennivån vid kanalens ingång ligger över botten på kanalen. När vattnet accelererar in i kanalen så omvandlas en del av den potentiella lägesenergin till rörelseenergi, vilket gör att djupet i kanalens början är mindre än vid kanalens öppning. Skillnaden dh ger hastigheten $U \approx \sqrt{2 \times g \times dh}$ i fall förlusterna är små. Djupet i kanalen kommer i fall lutning och friktion är konstant minska till dess energilinjen lutning är lika med bottenlutningen. Rörelseenergin och friktionsförluster är då lika stora som förändringen i lägesenergi orsakad av bottenlutningen. Det djup som då inträtt kallas det naturliga vattendjupet, och kommer att vara konstant genom kanalen till dess strömningen i kanalen påverkas av förhållandena på utloppssidan. Vattenhastigheten i kanalen styr vilken typ av strömning vi får i kanalen. I fall vattenhastigheten är låg så fås subkritisk strömningen (långsamflytande) medan hög hastighet ger superkritisk strömning (forsande strömning). Vilken typ av strömning som råder i kanalen kan bestämmas genom att beräkna Froudes tal F . Detta är av intresse att känna till då dämningseffekter ska uppskattas (Häggström 1999).

$$F = \frac{U}{\sqrt{g \times y}} \quad (39)$$

U = Vattenhastighet i kanalen

y = Djupet i kanalen

Ett värde på Froudes tal mindre än ett ger subkritisk strömning och ett värde större än 1 ger superkritisk strömning. I fall vattennivån på utloppssidan är högre än djupet i kanalen så kan det orsaka olika typer av dämningseffekter beroende på vilket strömningstillstånd som råder i

kanalen. Risken för dämning uppströms utloppet är betydligt större för subkritisk strömning jämfört med superkritisk strömning (Häggström 1999).

2.4.7 Slitsränna

I en ränna med slitsöppningar är hastigheten låg i poolerna, medan den maximala hastigheten i själva slitsöppningen är approximativt $U \approx \sqrt{2 \times g \times dh}$ där dh är höjdskillnaden mellan poolerna

(Rajartnam & Katopodis 1999). Slitsöppningen kan utformas på en mängd olika sätt, och det finns varianter med enkla slitsöppningar (endast en öppning på vardera sidan av polen) och rännor med dubbla slitsar (två öppningar på var sida av poolen). Gemensamt för alla olika varianter är att genom utformningen av slitsarna få vattnet att recirkulera i poolerna och på så vis sänka hastigheten genom den energiförlust som då uppkommer (Sandell m.fl., 1994). Experiment gjorda på slitsrännor har visat att flödet kan uttryckas med:

$$Q = Q_* \times \sqrt{g \times S_0 \times b_0^5} \quad (40)$$

$$Q_* = A \left(\frac{y}{b_0} \right) + B \quad (41)$$

A och B är konstanter som beror av geometrin i rännan.

y = Medeldjupet i poolerna

b_0 = Bredden på slitsöppningen

(Rajartnam & Katopodis 1999)

Rajartnam och Katopodis 1999 har även funnit att en lämplig längd på poolerna är 10 gånger slitsöppningens bredd och en lämplig bredd på poolerna är åtta gånger slitsbredden b_0 . Vid design av en slitsränna tas först information om fallhöjd och aktuella fiskarter fram. Fiskarterna styr vilken höjdskillnad mellan poolerna som är acceptabel. Antalet pooler n beräknas sedan genom att dividera fallhöjden H med höjdskillnaden dh .

$$n = \frac{H}{dh} \quad (42)$$

Totala längden på slitsrännan L fås genom att multiplicera antalet pooler n med poolens längd $l = 10 \times b_0$ (Katopodis 1992).

$$L = n \times 10 \times b_0 \quad (43)$$

Slitsöppningen måste vara tillräckligt bred för att de största fiskarna skall kunna passera med lätthet. Denna bredd är vanligtvis 0,305 m (Rajartnam & Katopodis 1999).

2.4.8 Bassängtrappa

En bassängtrappa kan vara utformad med under- och/eller övervattensöppningar. Hastigheten i undervattensöppningarna beror av höjdskillnaden dh mellan poolerna, och är ungefär $U \approx \sqrt{2 \times g \times dh}$. Flödet fås sedan genom att multiplicera hastigheten med öppningens tvärsnitts-area A . För övervattensöppningarna gäller att strömningen över öppningen antingen är ”dykande” eller ”strömmande”, vilket beror av vattenhöjden över öppningen, bassänglängd och nivåskillnad mellan bassängerna (Katopodis 1992). Flödet över bassängöppningen kan

approximativt beräknas med hjälp av uttrycket för rektangulärt överfall ekvation (25). Avbördnings-koefficienten C varierar med bredden på öppningen b relativt den totala bredden B i bassängen och överfallshöjden h (vattenhöjden över bassängöppningen) relativt öppningens tröskelhöjd över botten i bassängen P. För en öppning som är halva totala bredden på bassängen fås Avbördningskoefficienten C till:

$$C = 0.592 + 0.011 \left(\frac{h}{P} \right) \quad (44)$$

(Häggström 1999)

Precis som slitsrännan så planeras bassängtrappan utifrån högsta acceptabla höjdskillnad mellan bassängerna. Detta ger i sin tur antalet bassänger. Utformningen och val av öppningstyp mellan bassängerna styrs av fiskarterna samt nivåfluktuationerna i vattenståndet. En bassängtrappa är känslig för nivåfluktuationer då en förändring av höjdskillnaden mellan bassängen närmast inloppet och havet direkt kommer att påverka vattenströmmens hastighet och utseende.

2.4.9 Lådsluss

I denna fiskväg bestående av en låda med två luckor görs ett mindre hål i vardera luckan för att skapa en lockvattenström. Vattenhastigheten genom det lilla hålet beror av höjdskillnaden dh mellan innerfjärd och hav. Denna hastighet bestäms genom ekvation (20) $u = \sqrt{2 \times g \times dh}$. Hålets storlek beräknas sedan med hjälp av kontinuitetsekvationen enligt nedan:

$$A \times U = a \times u \quad (45)$$

Ur ekvation (44) löses lilla hålets area a ut, vilket tillsammans med ekvation (20) ger:

$$a = \frac{A \times U}{\sqrt{2 \times g \times dh}} \quad (46)$$

A = Luckans area

U = Önskad lockvattenström

En genomsnittlig höjdskillnad dh mellan innerfjärdarna och havet används för bestämning av lilla hålets area.

2.4.10 Rörsluss

I rörslussen regleras lockvattenströmmens styrka genom att öppna luckorna så pass mycket att önskad lockvattenström erhålls. Storleken på öppningen kan bestämmas med ekvation (45). Då fisken ska lockas in i den ena lådan genom den helt öppna luckan med arean A så ska den andra luckan öppnas till dess genom ekvation (46) bestämda arean på öppningen nåtts för önskad lockvattenström U. När fisken är inne stängs luckan till dess öppningen är så pass liten att den ger en önskad lockvattenström U i röret mellan lådorna med tvärsnittsarean A. Båda luckorna är nu öppna lika mycket och öppningens area a bestäms med ekvation (46). Med en givare som registrerar höjdskillnaden dh mellan innerfjärd och hav kan öppningen styras så att lockvatten-strömmen kan hållas konstant vid olika nivåskillnader.

3 Resultat

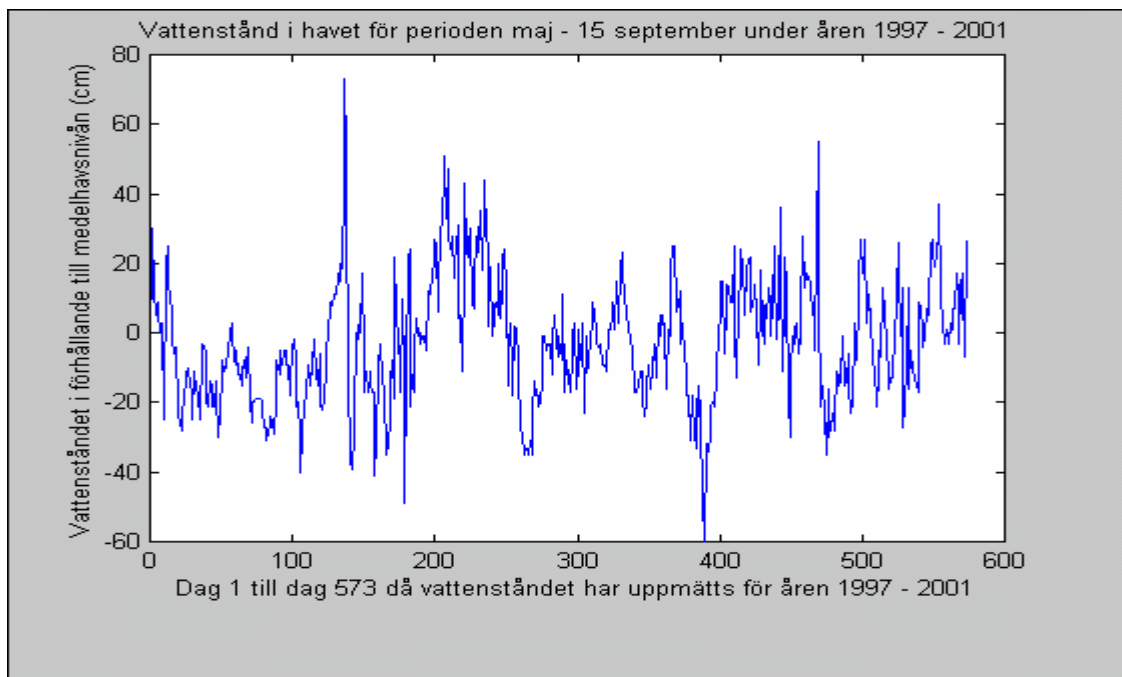
3.1 Hydrologi

Vattenståndets variation i hav såväl i som i innerfjärdarna har stor betydelse för fiskvägens utformning och funktion. Vattenståndet i havet varierar kraftigt medan nivåfluktuationerna i innerfjärdarna är små under perioden maj-september då sätterna är på plats. I tabell 1 nedan visas storleken på fjärdarna innan för dammarna. Vid beräkningar på hur utflödet genom fiskvägarna påverkar nivån i fjärdarna används den totala arean 381 ha.

Tabell 1 Innerfjärdarnas areor i hektar (Andreasson 1996)

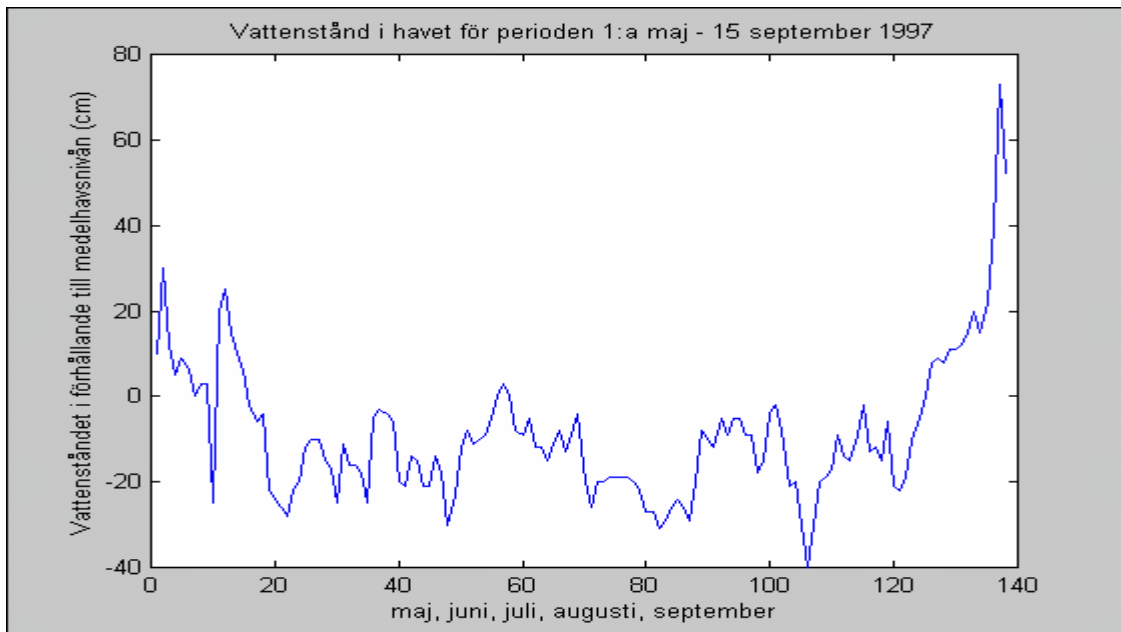
Fjärd	Area (ha)
Björkskatafjärden	83
Västra Björsbyfjärden	63
Östra Björsbyfjärden	43
Sinkfjärden	49
Sörfjärden	143
Summa	381

Vattenståndet för sommarsäsongerna maj – 15 september under åren 1997 – 2001 totalt 573 stycken värden visas i figur 6.



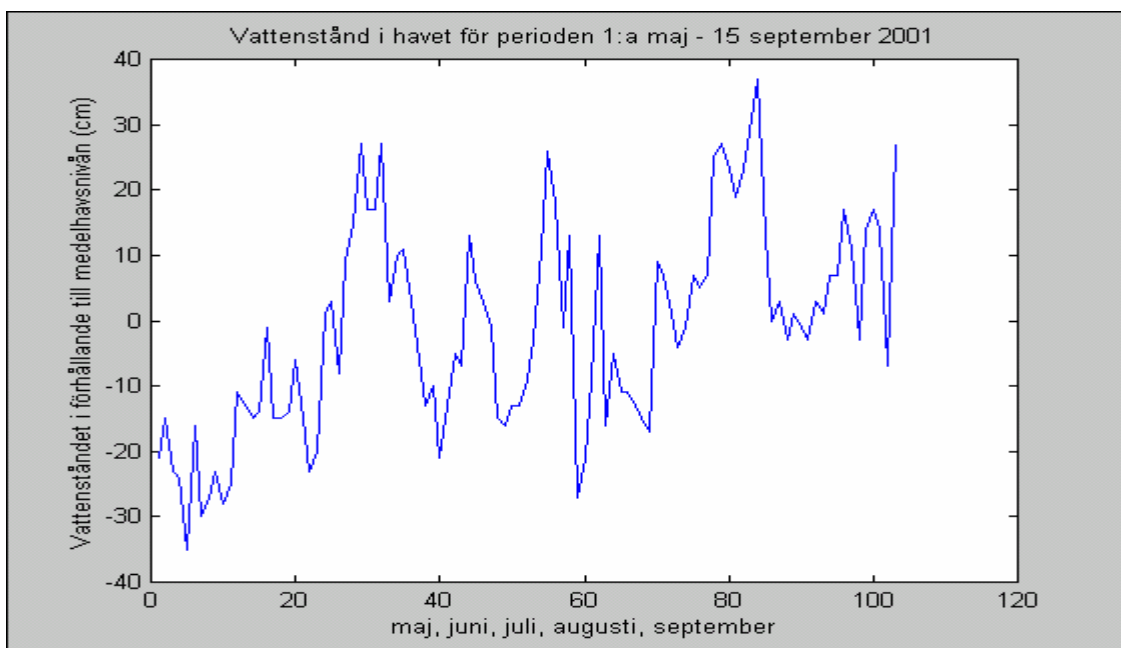
Figur 6. Vattenstånd i havet för sommarperioderna 1997–2001 (källa Luleå hamn)

För femårsperioden är medelvärdet -2.7 cm och medianen -3 cm. Högsta vattenstånd är 73 cm och lägsta vattenstånd är -60 cm. Gränsen för de fem procent lägsta värdena d.v.s. lägre värden än så är det endast 5 % av det totala antalet dagar benämns lågvatten Lw. På motsvarande vis benämns gränsen för de 5 % högsta värden högvatten Hw. För den aktuella perioden fås då lågvatten Lw till -30 cm och högvatten Hw till 27 cm. Nedan visas två exempel på hur vattenståndet varierar under en säsong.



Figur 7. Vattenstånd i havet sommaren 1997 (källa Luleå hamn)

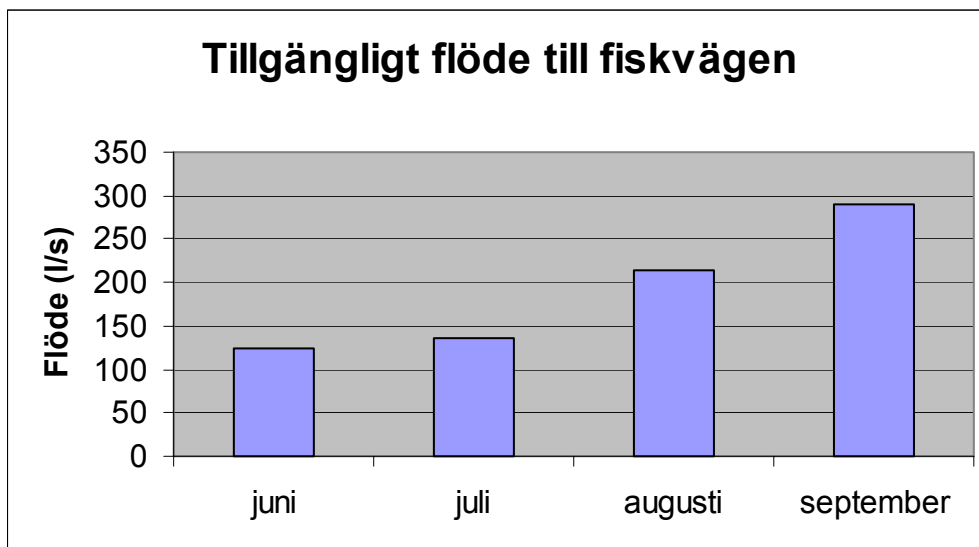
I figur 7 syns att vattenståndet sommaren 1997 var lågt och att nivåfluktuationerna var små.



Figur 8. Vattenståndet i havet sommaren 2001 (källa Luleå hamn)

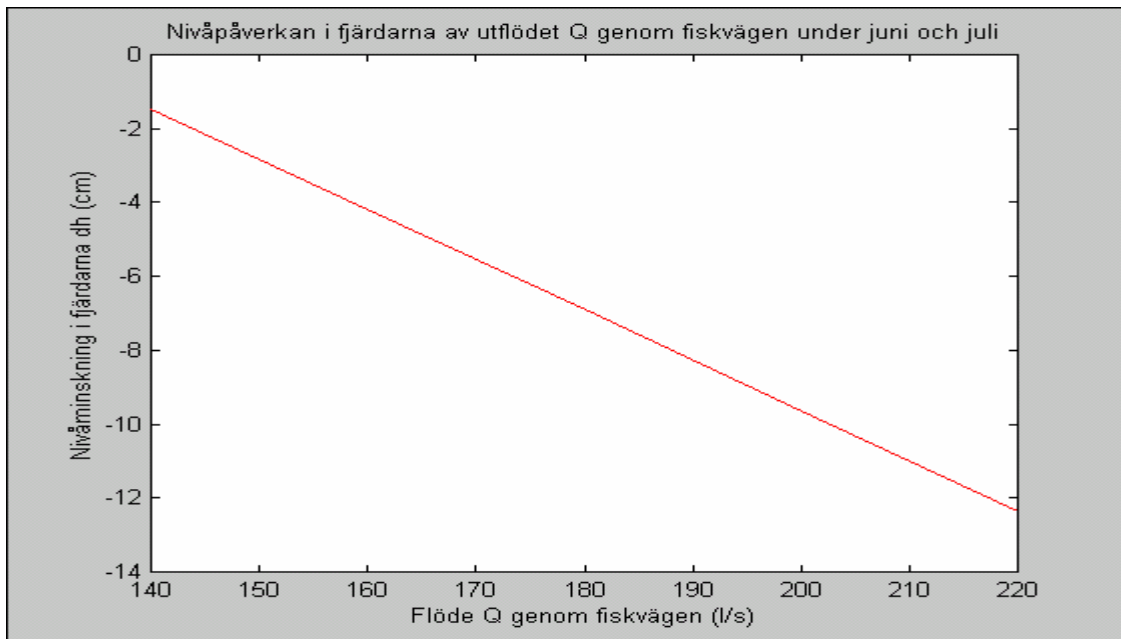
I figur 8 syns att vattenståndet i havet sommaren 2001 var högt större delen av perioden, och nivåfluktuationerna var stora. Högsta vattenstånd var ca + 35 cm över medelvattenstånd och lägsta ca – 35 cm under medelvattenståndet i havet. Figur sju och åtta visar att havsnivån kan variera kraftigt från säsong till säsong. Detta ställer stora krav på fiskvägen att kunna fungera tillfredställande trots stora fluktuationer i havsnivån. Innerfjärdarna fylls upp till bräddningsnivån + 40 cm över medelhavsnivån på våren efter det att sättorna satts på plats. Nivå sjunker sedan långsamt under sommaren genom avdunstning och läckage. Regniga somrar så kan förstås nivån hållas konstant under hela perioden då sättorna är i. Med ekvationen (3) i avsnitt 2.4.1 kan det maximala utflödet ur innerfjärdarna utan någon nivåpåverkan för varje månad under perioden maj t.o.m. september bestämmas. Under maj

månad är tillrinningen så pass hög att utflödet genom fiskvägen är försumbar i jämförelse tillrinningen. För resterande månader har den totala tillrinningen antagits vara $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$. Det är beräknat minimalt flöde för Holmsundet ett normalt år (Bengtsson 1980). Holmsundet är den klart dominerande tillrinningskällan i innerfjärds-sytemet (Andreasson 1996). Tillrinningen bör alltså med marginal aldrig vara lägre än 250 l/s . Data för direkt nederbörd och avdunstning från innerfjärdarna ett normalt år är hämtade från (Andreasson 1996). Vid beräkning av tillgängligt flöde till fiskvägarna har nuvarande läckage i sättare och vägbank antagits ha tätats. Resultatet redovisas nedan i figur nio.



Figur 9. Maximalt flöde genom fiskvägarna utan nivåpåverkan i innerfjärdarna för ett normal år

I figur nio framgår att det tillgängliga flödet som kan släppas ut genom fiskvägarna utan att nivån i innerfjärdarna sjunker är lågt i juni och juli. Det kan då endast släppas ut ca 60 l/s genom vardera fiskvägen utan att nivån i fjärdarna sjunker. Under senare delen på säsongen kan drygt 100 l/s släppas ut genom varje fiskväg, vilket borde vara tillräckligt för de flesta tänkbara fiskvägar. I fall flödet ut genom fiskvägarna är större än det tillgängliga flödet, så kommer nivån i innerfjärdarna att sjunka. Hur mycket nivån kommer att sänkas beror av storleken på differensen mellan utflöde genom fiskvägarna och tillgängligt flöde, samt hur lång tidsperiod utflödet är större än det tillgängliga flödet. I figuren nedan visas nivåminskningen som funktion av utflödet genom fiskvägen för juni och juli ett normalt år.

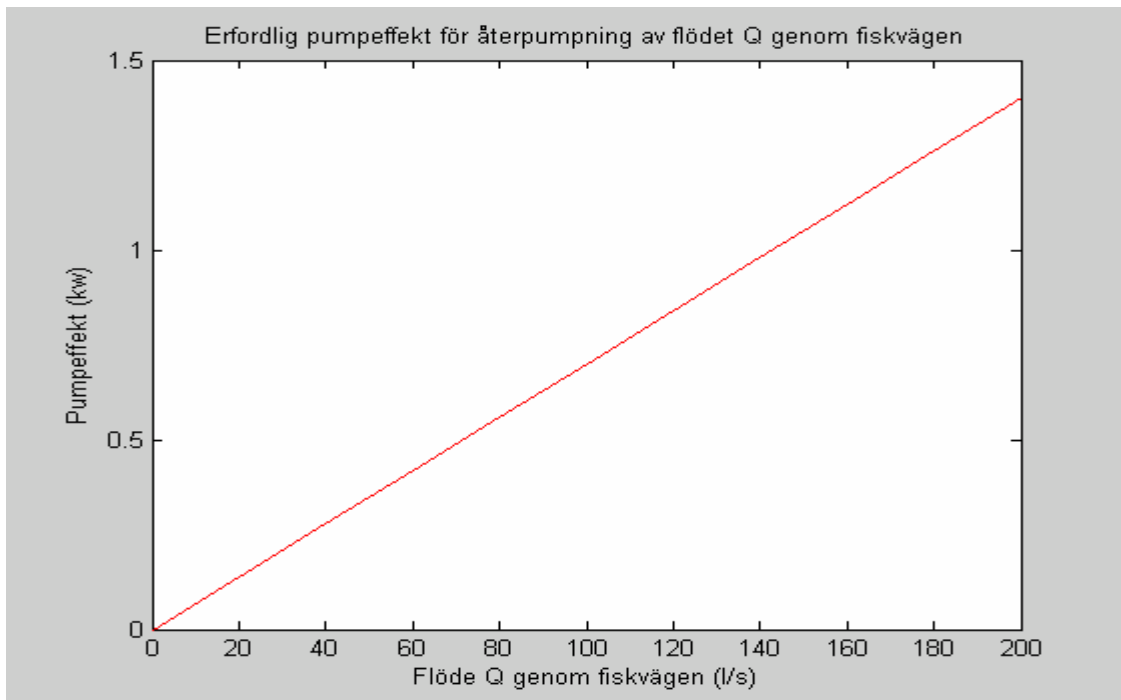


Figur 10. Nivåminskning i fjärdarna på grund av utflöde genom fiskvägen under två månader

Figur tio visar att om flödet genom varje fiskväg är ca 100 l/s alltså totalt ca 200 l/s ut ur innerfjärdarna så skulle nivån i fjärdarna minska med ungefär nio cm under ett normal år. Då syftet med dammarna är att hålla uppe vattennivån, så bör någon form av återpumpning ske i fall en fiskväg som släpper ut mycket vatten väljs. Återpumpning kan även ha en klart positiv effekt på vattenkvaliteten (Erixon 1996). I jämförelse med det pumpflöde som skulle krävas för att få en genomströmning i fjärdarna av friskt vatten (uppskattningsvis 500 l/s Andreasson 1996) är det extra flödet som krävs för att kompensera nivåminskningen rätt begränsat. I fall fiskvägarna totalt släpper ut ca 200 l/s så skulle en återpumpning på ca 60 l/s göra att nivåminskningen endast blir drygt en centimeter, vilket nog får anses acceptabelt.

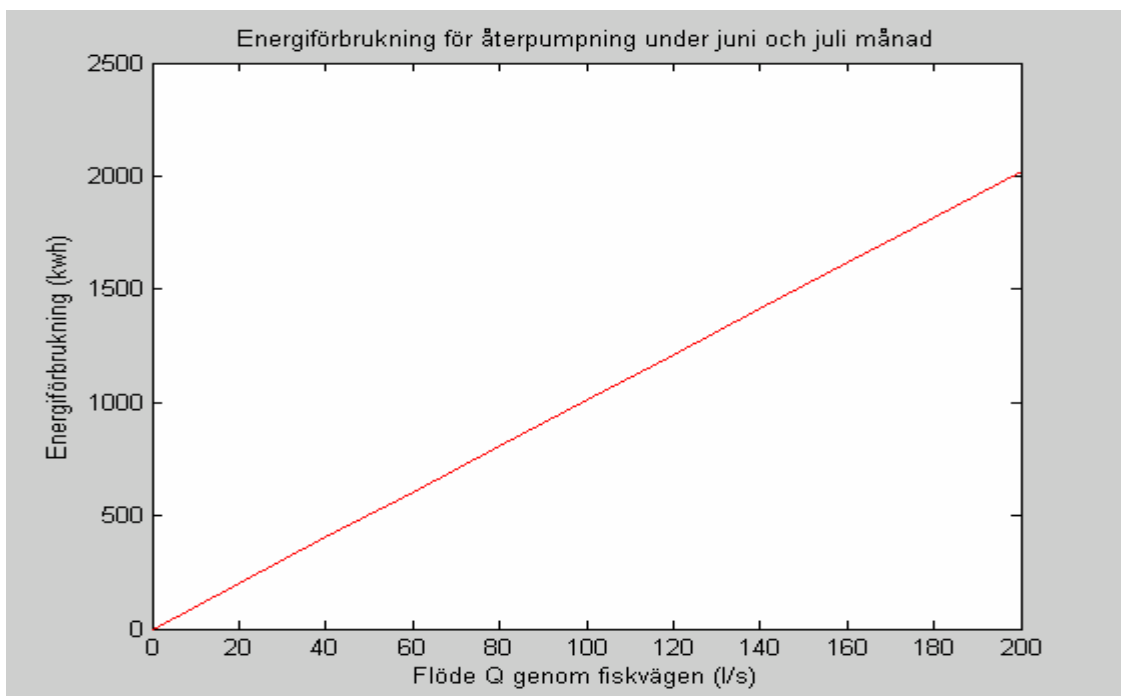
3.2 Återpumpning

I genomsnitt är nivåskillnaden mellan innerfjärd och hav knappt en halvmeter (Andreasson 1996). Återpumpning av vatten från havet till innerfjärdarna för att kompensera utsläppet av vatten genom fiskvägarna kräver med den lilla höjdskillnaden inte mycket effekt och energiförbrukning blir då låg. Vid konstant pumpeffekt kommer pumpflödet att variera med nivåskillnaden, men medelvärdet av pumpflödet kommer vara det flöde som en nivåskillnad på 0,5 m ger. Vid beräkning av erforderlig pumpeffekt har pumpen antagits ha en verkningsgrad på 70 % (Andreasson 1996). I figur 11 framgår att en återpumpning av vatten på 60 – 80 l/s skulle kräva en effekt på mindre än 500 W. Den effekten är mindre än vad en normal kaffebryggare har!



Figur 11. Pumpeffekt som funktion av flödet genom fiskvägen med höjdskillnad 0.5 m och en verkningsgrad på 70 %

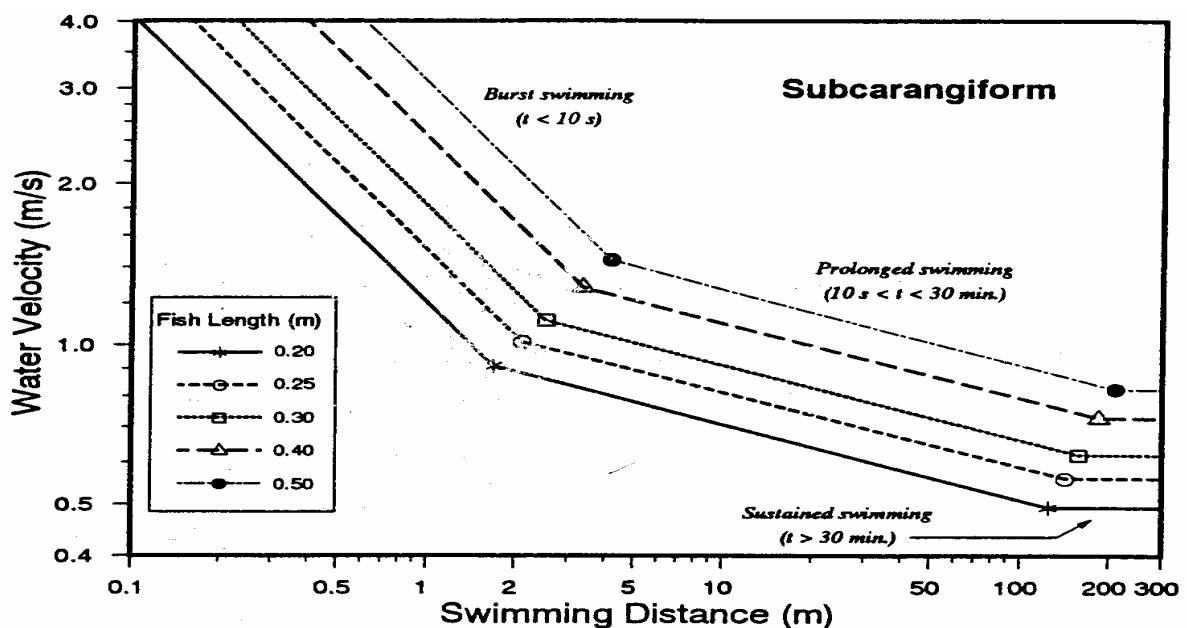
Då pumpeffekten som krävs för att kompensera för utflödet genom fiskvägarna visat sig vara låg, så blir energiförbrukningen och därmed kostnaden också låg. Figur 12 nedan visar att för ett pumpflöde på ca 60 l/s blir energiförbrukningen drygt 600 kWh för en tvåmånaders period. Med ett elpris på 50 öre per kWh blir kostnaden för återpumpning en säsong ca 300 kr.



Figur 12. Energiförbrukning för återpumpning av vatten per säsong

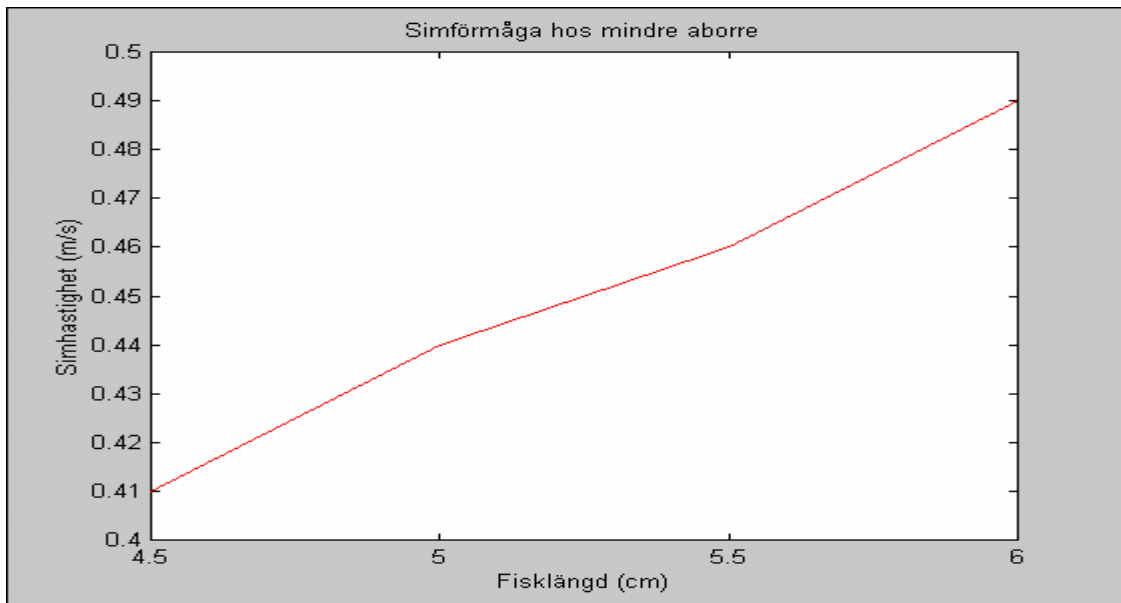
3.3 Fiskekologi

I innerfjärdarna finns främst gädda, abborre och vittfisk (mört, brax, löja). Lake och sik kan förekomma i innerfjärdarna vid enstaka tillfällen. Abborre är den vanligaste fisken i systemet (Wiklund & Näslund 1980). Gemensamt för dessa fiskar är att de alla är Sötvattensfiskar med begränsad sim och hoppförmåga. Fiskvägen som väljs måste alltså ha låg strömhastighet, flera viloplatser i fall fiskvägen är lång och fisken måste kunna passera genom fiskvägen utan att behöva hoppa. En fisk kan ta sig igenom en fiskväg som har områden med hög strömhastighet genom att göra en rusning där vattenhastigheten är hög och sedan vila upp sig i ett låghastighetsområde innan den gör en ny rusning förbi nästa område med hög strömhastighet. En förutsättning är dock att längden på områden med hög hastighet är kort och att låghastighets-områdena är relativt stora. Sambandet mellan den absoluta simdistansen och motströms-hastigheten för några fisklängder visas i figur 13.



Figur 13. Simdistans som funktion av motströmmens hastighet och fiskens längd för fiskar som simmar genom att röra bakre kroppen fram och tillbaka i sidled (Hämtad från Katopodis 1992)

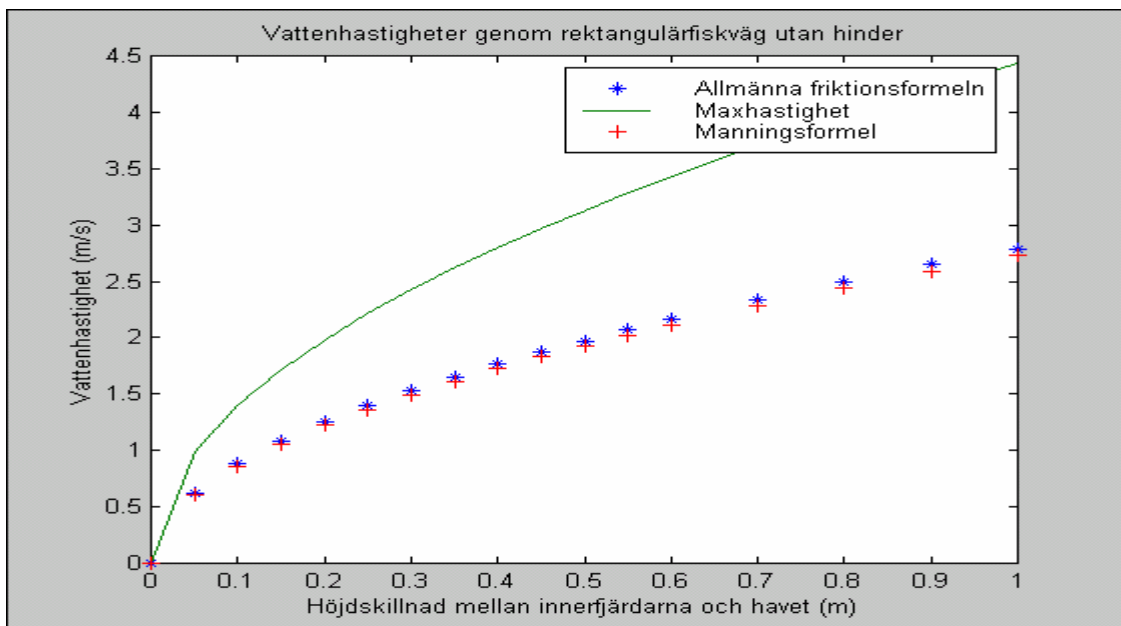
I figuren ovan syns att en 20 cm lång fisk endast klarar simma ca 15 cm i fall motströmmen är tre meter per sekund. En fiskväg där vattenhastigheten inte överstiger en halvmeter per sekund bör kunna passeras av fiskar över 20 centimeters längd utan problem. I t ex. en bassängtrappa med en nivåskillnad på 10 cm mellan bassängerna är hastigheten ca 1.4 m/s i öppningen, och bör enligt figur 13 kunna passeras av en 20 cm lång fisk förutsatt att området med hög strömhastighet inte är längre än halv meter. I fall fiskvägen ska kunna passeras av små fiskar måste hastigheten vara väldigt låg för att fisken ska en chans att simma mot strömmen. I figur 14 visas den hastighet mindre abborre maximalt kan simma i. Är hastigheten högre än den kritiska vattenhastigheten så kommer fisken driva bakåt med strömmen då strömhastigheten är högre än den hastighet som fisken maximalt kan simma med. För en abborre med en längd på ca 6 cm bör fiskvägen innehålla låghastighetsområden där hastigheten inte överstiger 0.5 m/s. En lämplig lockvatten-ström varierar enligt (Pavlov 1989) mellan 1-30 cm/s.



Figur 14. Kritisk vattenhastighet för mindre aborre (modifierad efter figur 2. Pavlov 1989)

3.4 Strömningsberäkningar

För en fiskväg bestående av endast ett hål i dammen alternativt av en rörform eller rektangulär form utan något hinder som hindrar vattenströmmen styrs hastigheten av höjdskillnaden mellan innerfjärd och hav samt olika friktionsförluster. För fiskvägar av typ bassängtrappa och slitsrännan, så är hastigheten mellan bassängerna/poolerna approximativt den hastighet som fås då höjdskillnaden omvandlas till rörelseenergi utan förluster. Detta gäller även nuvarande fiskvägar i dammarna som består av fyrkantiga hål. Figur 15 visar hastigheten på vattnet i en helt dränkt rektangulär ränna med en längd på fem meter som funktion av höjdskillnaden mellan innerfjärdarna och havet.

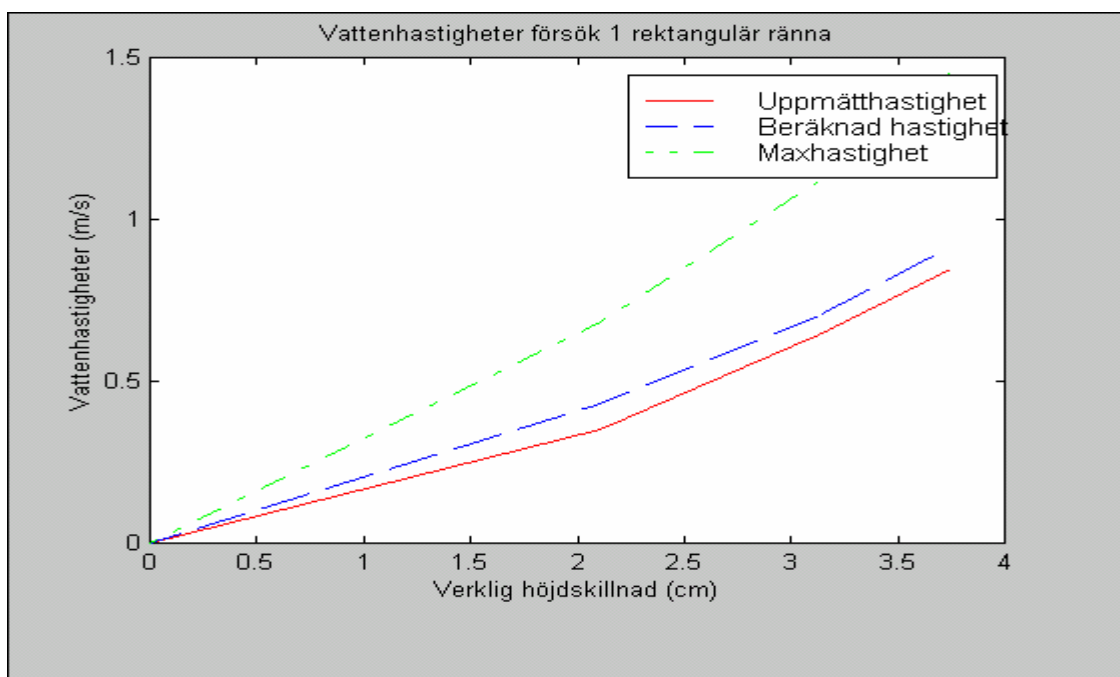


Figur 15. Vattenhastighet som funktion av höjdskillnad Δh

Maxhastigheten är den hastighet vattnet skulle få i fall inga förluster förekom. I verkligheten så har vi förluster vid in och utströmning samt friktionsförluster mot väggarna inne i fiskvägen. De två formlerna för att beräkna hastigheten med förluster av energi stämmer väl överens med varandra. Detta beror på att friktionsförlusterna mot väggarna är låga för en kort sträcka, och in och utströmningsförluster dominerar vilka är gemensamma för båda sätten att räkna. I figur 15 ovan syns att hastigheten stiger snabbt med höjdskillnaden och att även en mindre höjdskillnad ger en hög hastighet. En nivå skillnad på mer än 50 cm mellan innerfjärd och hav är inte ovanligt, och i nuvarande fiskvägar skulle detta ge en hastighet på ca 3 m/s vilket är alldeles för högt för många fiskar. Figuren visar också att höjdskillnaden mellan bassängerna/poolerna i en bassängtrappa respektive en slitsränna bör vara högst 10 cm i fall hastigheten skall understiga 1.0 m/s.

3.5 Laborationsförsök

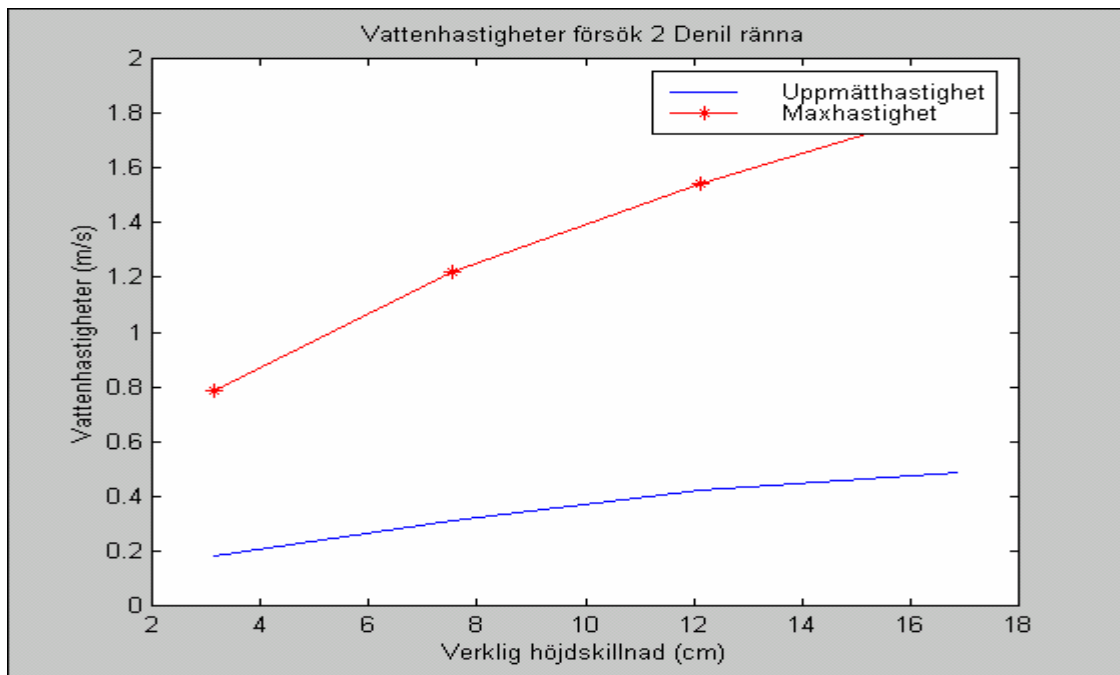
En Denilränna kan vara en tänkbar fiskväg till innerfjärdarna förutsatt att hastigheten i rännan är tillräckligt låg. För att mindre fisk ska kunna passera igenom en Denilränna så bör hastigheten enligt figur 10 inte överstiga 0.5 m/s. En Denilränna med plana lameller och där kvoten mellan djupet över lamellens lägsta punkt och den fria bredden är ungefär 1 har låg hastighet nära botten och hög hastighet vid vattenytan. För att få en uppfattning hur pass effektivt lamellerna bromsar vattnet genomfördes laborationsförsök med en mindre rektangulär ränna. Rännans längd var 60 cm. Först gjordes försök med en ränna utan lameller och därpå ett försök där fyra stycken lameller med 20 cm mellanrum sattes in i rännan. I figur 16 nedan visas resultatet av försök 1.



Figur 16. Vattenhastigheter som funktion av höjdskillnad för försök 1 med rektangulär ränna utan hinder

Den uppmätta hastigheten är medelhastigheten i rännan bestämd genom att väga vattnet som passerar ränna under en given tidsperiod se avsnitt 2.4.4 för detaljerad beskrivning. Beräknad hastighet är den teoretiska hastigheten på vattnet för givna höjdskillnader en ränna av den typ som används i försöken, mht l accelerations-, retardation- och friktionsförluster. Maxhastigheten är den teoretiska bestämda hastigheten för de givna höjdskillnader då inga

förluster förekommer. Den teoretiskt bestämda hastigheten stämmer väl överens med den uppmätta hastigheten i försöket. Anledningen till de låga värdena på höjdskillnaden är att flödet genom rännan för större värden blev större än tillgänglig vattenmängd. I figur 12 syns att en hastighet på 0.5 m/s nås redan vid en så pass liten höjdskillnad som drygt tre cm. När lamellerna sattes in i rännan så minskade hastigheten avsevärt och det blev då möjligt att öka höjdskillnaden vid försöken. Den uppmätta hastigheten för rännan med lameller i samt teoretisk maxhastighet för en ränna utan hinder visas i figur 17 nedan.



Figur 17. Vattenhastigheter som funktion av höjdskillnad för försök 2 med Denilränna innehållande fyra stycken lameller. Maxhastighet är för rektangulär ränna utan hinder

Den uppmätta hastigheten når nu 0.5 m/s först vid en höjdskillnad på drygt 15 cm alltså hela fem gånger större höjdskillnad jämfört med ränna utan lameller. En höjdskillnad på 15 cm för den i försöket helt dränkta rännan med längden 60 cm motsvarar en lutning på ca 25 % för en Denilränna i kanalform (ej helt dränkt). Den uppmätta hastigheten är en medelhastighet för ett tvärsnitt i rännan. Hastigheten under halva djupet är troligtvis lägre än 0.5 m/s. Det finns många osäkra faktorer i försöket varför resultatet inte ska tolkas så att en fullskalig modell i verkligheten får samma hastighet som försöksmodellen. Försöket ger ändå en tydlig indikation på lamellernas bromsande effekt. Vid försöket noterades viss turbulens vid lamellernas kanter. Denna turbulens borde dock inte störa fisken då denna är lokaliserad endast vid lamellkanten.

3.6 Förslag till fiskvägar

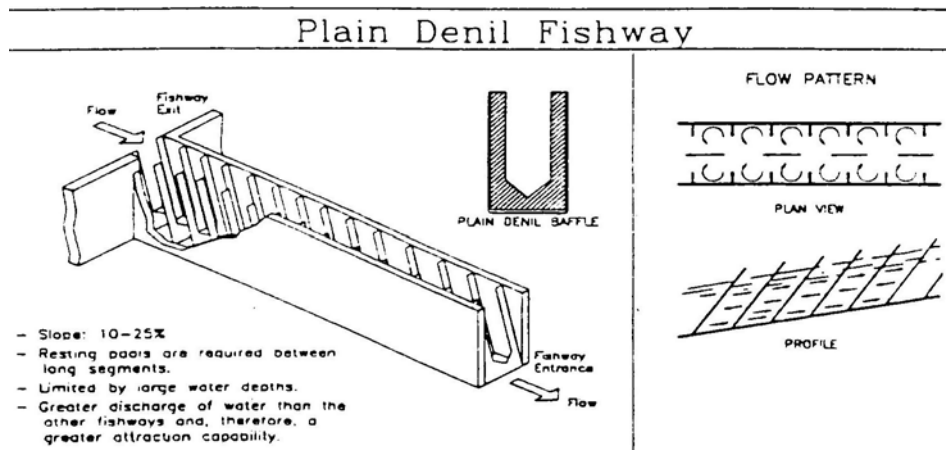
På grundval av de lokala förhållandena har fem stycken lösningar till fiskpassage valts ut. Fiskhiss är en onödigt dyr och komplicerad lösning för den ringa fallhöjden vid dammarna. En kanal vid sidan av dammen skulle bli mycket sårbar för nedskräpning och sabotage. Kulvert som fiskpassagelösning passar inte bra i nuvarande dammkonstruktioner utan är mest lämplig vid vägtrummor.

De fiskvägar som valts ut är Denilränna, slistränna, bassängtrappa med undervattensöppningar, en sluss i form av en låda samt en sluss med ett rör mellan två lådor. Dessa fiskvägar bedöms kunna fungera tillfredsställande vid de flesta förhållanden som

uppträder vid dammarna under den aktuella perioden. Teori och ekvationer rörande dessa utvalda fiskvägar finns i avsnitt 2.4.6 till 2.4.10. Fiskvägarna har olika för- och nackdelar vilket redovisas nedan.

3.6.1 Denilränna

En bild av Denilrännans funktion visas nedan i figur 18.



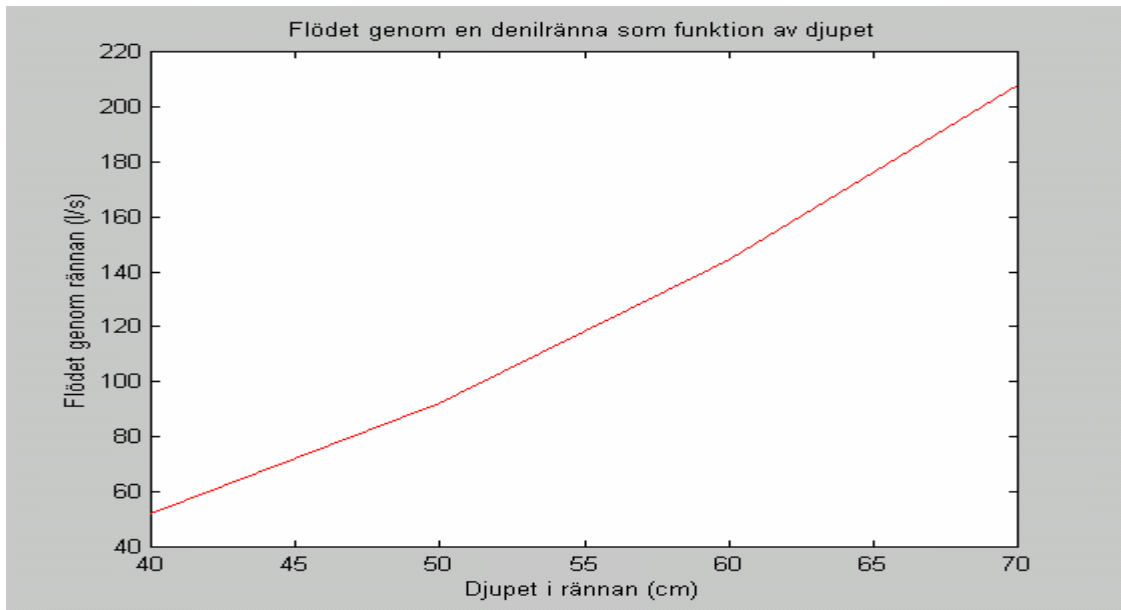
Figur 18. Principskiss av Denilränna (källa Johlander & Sjöstrand 1993)

De plana lamellerna sitter fastsatta i rännan med 45 graders vinkel mot strömriktningen. Vatten-hastigheten saktas ner genom att vattnet vänder tillbaka när det träffar lamellerna och skapar då turbulens, vilket ger energiförluster. Energiförlusterna blir så pass stora att rörelseenergin kraftigt minskar och hastigheten blir betydligt lägre jämfört med en ränna utan lameller (kanal). Hastigheten i Denilrännan beror av rännans lutning, djupet i förhållanden till bredden och avståndet mellan lamellerna. Vid normalt flöde i rännan, så uppkommer ett område med låg hastighet i undre delen av rännan. Hastigheten ökar sedan i den övre delen av rännan och maxhastigheten uppträder vid vattenytan (Katopodis 1992).

Denilrännor finns på flera platser i landet. Johlander och Sjöstrands "Fiskvägar i Sydvästra Sverige" har uppgifter registrerade kring åtta Denilrännor i Malmöhus, Blekinge samt Skarborgs län. Vid Hertings kraftverk i Falkenberg finns sedan 1947 en Denilränna som årligen passeras av några tusen laxar och havsöringar på väg till lekområden i Ätran uppströms kraftverket (Johlander & Sjöstrand 1993). I Dammark är Denilrännor vanliga och det finns ca 100 stycken i landet. De flesta av dem har ett flöde på 100 – 200 l/s. Ett stort antal olika fiskar av varierande längd använder sig av Denilrännorna. (Lonnebjerg 1990)

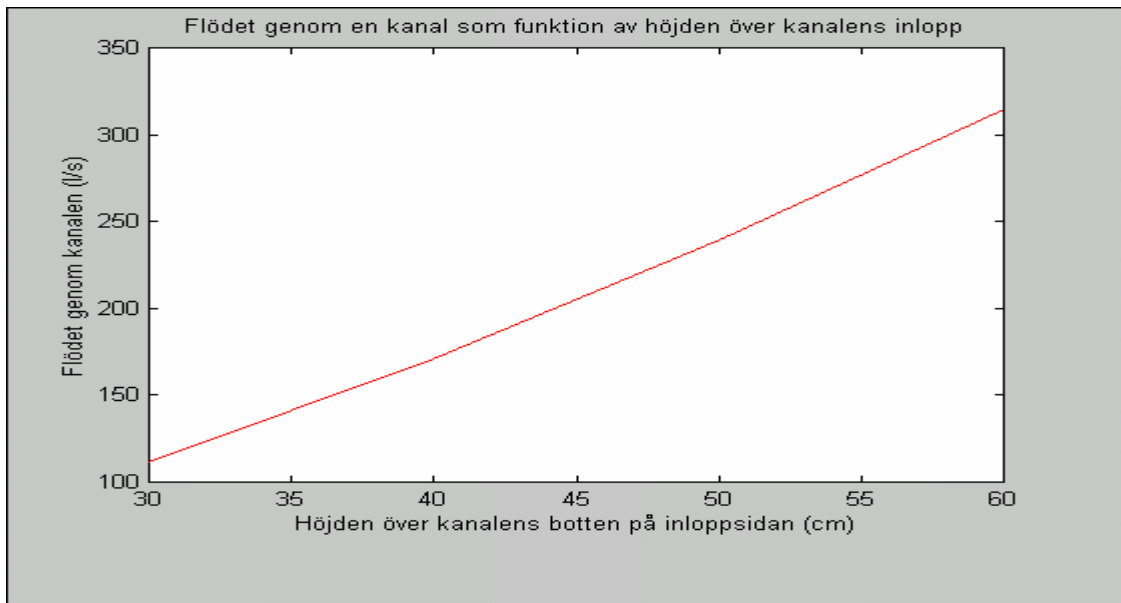
Då fiskarna i innerfjärdarna är vanliga sötvattensfiskar bör Denilrännans lutning vara 10 till 15 % och viloplats behövs i fall Denilränna är längre än 5 m (Katopodis 1992). För att få låg hastighet och ett tydligt låghastighetsområde bör kvoten mellan djupet y över lamellens lägsta punkt och bredden mellan lamellerna b vara så låg som möjligt. En lämplig placering av Denilrännan med hänsyn till vattennivåerna i innerfjärdarna och havet är att placera rännans botten 50 cm under dammkrön (-90 RH00) på innerfjärdssidan och 70 cm under medelhavsnivån (-150 RH00) på havssidan. Lutningen blir då 12 % med en längd på fem meter. Djupet i rännan kommer att variera något med nivåfluktuationerna i havet, men i snitt kommer det att vara ca 50 cm. Lamellens lägsta punkt ligger ca 10 cm över botten på rännan, vilket ger ett djup över lamellen på ca 40 cm. Bredden på rännan väljs till 50 cm och bredden mellan lamellerna till 32 cm. Kvoten y/b fås då till 1.25. Ekvation (36) och (37) ger för dessa

värden flödet 92 l/s. I fall djupet i rännan ökar, så kommer flödet genom rännan att också öka, vilket visas i figur 19.



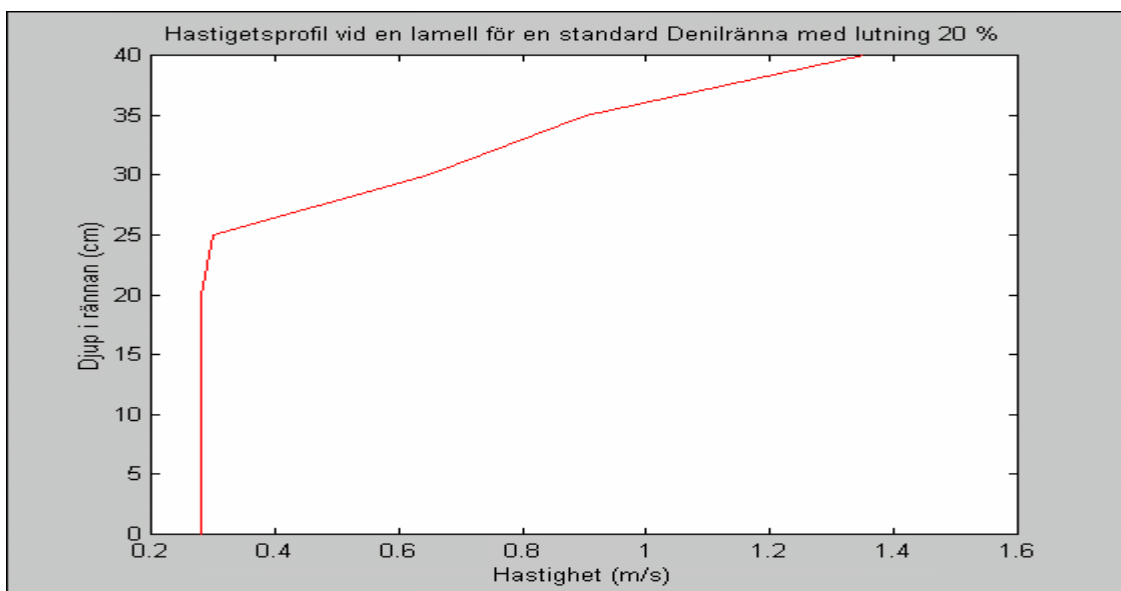
Figur 19. Flödet genom en Denilrännan som funktion av djupet

I figuren ovan syns att i fall djupet i rännan ökar från 50 cm till 60 cm, så ökar flödet från ca 90 l/s till ca 140 l/s. Det är alltså viktigt att placera rännan så att djupet håller sig kring 50 cm. Placeras rännans botten 50 cm under dammkrön på innerfjärdssidan, så kommer djupet inte överstiga 50 cm annat än i de fall då havsnivån är högre än djupet i rännan, men då kommer havet att dämna vilket bromsar flödet. Froudes tal ekvation (39) ger för flödet 92 l/s ett värde på 0.37 d.v.s. < 1 , alltså har vi subkritisk (långsamflytande) strömning i rännan (se avsnitt 2.4.6). Subkritisk strömning gör att djupet och hastigheten i rännan kommer påverkas av nedströmsförhållandena d.v.s. nivån på havssidan. I fall lamellerna togs bort skulle Denilrännan bli en kanal. Flödet i en kanal av stål (Manningstal = 90) med bredd, djup och lutning enligt ovan skulle då enligt ekvation (38) bli 2360 l/s. Detta är vad som maximalt kan avbördas i kanalen, men i verkligheten kommer flödet bero av höjden över inloppet till kanalen. Det är storleken på den höjden som styr hur mycket vatten som kan rinna in i kanalen. Figur 20 visar sambandet mellan flödet in till kanalen och höjden över inloppet.

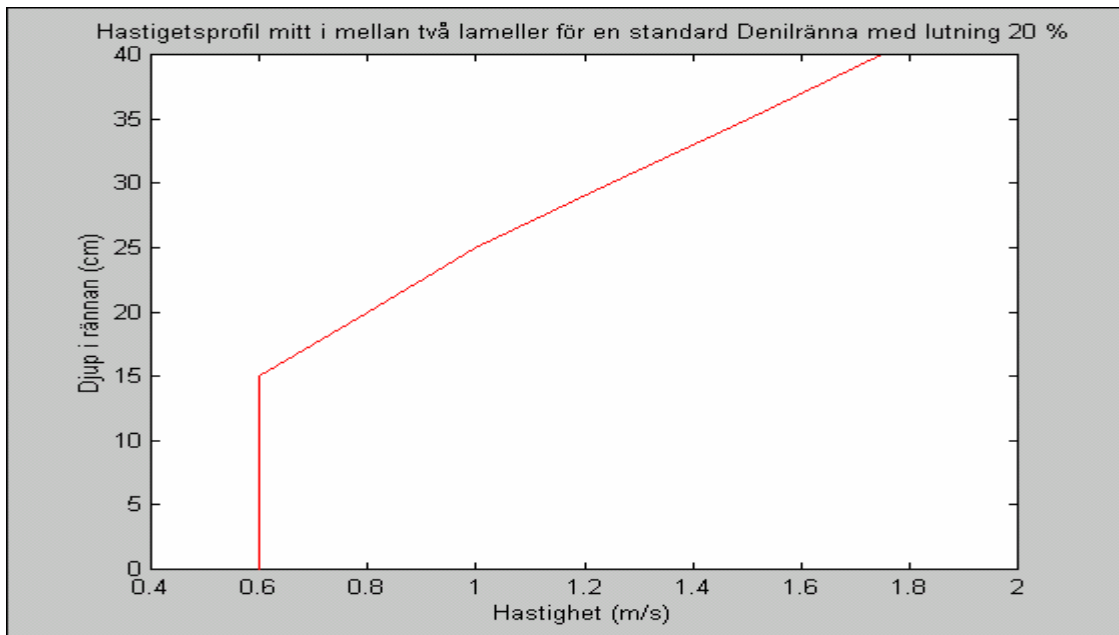


Figur 20. Flödet genom en kanal med bredden 0.5 m som funktion av höjden över kanalens inlopp

Flödet in till kanalen är avsevärt mycket mindre än vad som kan avbördas genom densamma, och ungefär dubbelt så mycket som avbördas genom Denilrännan i figur 19. I Denilrännan kommer lamellerna att bromsa upp vattnet vilket, gör att en betydligt mindre del av höjden över inloppet omvandlas till rörelseenergi jämfört med kanalen. Det gör att hastigheten är lägre och djupet större i Denilrännan än i kanalen. En förutsättning för detta är att lamellerna börjar direkt vid inloppet till rännan. I fall flödet i rännan är relativt lågt fås ett låghastighetsområde från botten och ett par decimeter upp med konstant låg hastighet. I figur 21 och 22 visas hastighetsprofilen över en lamell respektive mitt i mellan två lameller för en Denilränna med lutningen 20 %.



Figur 21. Hastsighetsprofil ovanför lamellen i en Denilränna med lutning 20 % (Modifierad efter Rajartnam & Katopodis 1984)



Figur 22. Hastighetsprofil mellan lamellerna i en Denilrännan med lutning 20 %
(Modifierad efter Rajartnam & Katopodis 1984)

I figurerna ovan syns att lagret med konstant låg hastighet är ca 25 cm tjockt vid lamellerna och 15 cm mitt i mellan lamellerna. Denilrännan till innerfjärdarna kommer få en lutning på 12 %, vilket gör att hastigheten i låghastighetsområde på den är lägre än vad som visas i figurerna 21 och 22. I fall flödet ökar så minskar tjockleken på låghastighetskiktet till dess det försvinner helt vid höga flöden (Rajartnam & Katopodis 1984). Existensen av låghastighetskiktet kan förklara varför fiskar med dålig simförmåga samt små fiskar har lyckats passera genom Denilrännor (Rajartnam & Katopodis 1984). I en jämförelse mellan två Denilrännor och en slitsrännan visade det sig att gädda föredrog Denilrännor framför slitsrännan. I samma undersökning observerades hur små fiskar vilade upp sig i lugnvattnet bakom lamellerna innan de fortsatte simma uppför rännan (Schwalme & Mackay 1985).

Fakta Denilrännan som fiskväg till innerfjärdarna

Förutsättningar:

Rännan placeras så att höjden över inloppet ger ett djup i rännan på 40 till 50 cm eftersom kvoten mellan djup och bredd är avgörande för vattenströmmens hastighet och flödet i rännan. Lutningen på rännan får max vara 15 % och inte längre än 5 m utan att viloplatsen ordnas. Nivåsänkningen i innerfjärdarna som utsläppet genom de två Denilrännorna orsakar under juni och juli kompenseras med återpumpning alternativt accepteras.

Fördelar:

Denilrännan är enkel och billig att tillverka och installera jämfört med andra fiskvägar. Den är inte så känslig för nivåfluktuationer. Det relativt stora flödet genom fiskvägen ger en tydlig lockvattenström. Förekomsten av ett låghastighetskikt i botten av rännan samt möjligheten för små fiskar att vila sig bakom lamellerna gör att även en liten fisk med begränsad simförmåga kan passera rännan. Denilrännan är en etablerad fiskväg som har använts länge på ett flertal platser i världen och visat sig fungera tillfredsställande.

Nackdelar:

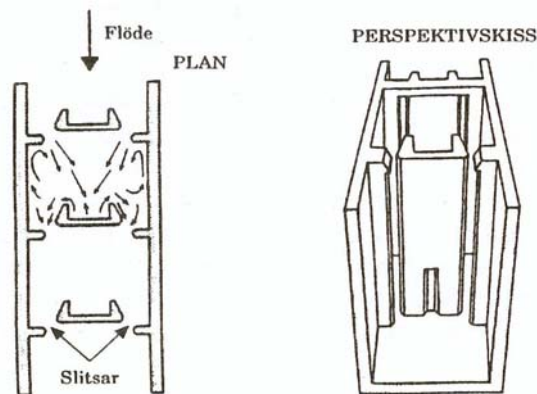
Den största nackdelen med Denilrännorna är att de släpper ut mycket vatten, vilket gör återpumpning nödvändig för att hålla uppe nivån i innerfjärdarna under sommaren. Eventuellt kan fiskvägarna stängas under delar av perioden t ex. juli månad för att spara vatten, men det kan leda till negativa effekter för fisken. I fall djupet i rännan blir stort så kan låghastighetskiktet försvinna och små fiskar få besvär med att passera rännan.

Osäkerheter:

Det är osäkert hur dämningseffekter vid hög havsnivå kommer att påverka lockvattenströmmen och därmed rännans attraktionskraft. Då det inte finns någon konkurrerande vattenström så bör ändå lockvattenströmmen i de flesta fall vara tillräckligt hög.

3.6.2 Slitsränna

En bild av en slitsränna med dubbla slitsöppningar visas nedan i figur 23.



Figur 23. Principskiss Slitsränna (källa Johlander & Sjöstrand 1993)

Slitsrännan placeras normalt med en lutning på 5 till 10 %. Varianten med dubbla slitsöppningar enligt figur 23 gör att hastigheten i poolerna blir nära noll. Distansen fisken behöver simma mot en ström med hög hastighet i slitsöppningarna blir i denna variant kort. Slitsrännan blir därför en lämplig fiskväg för många arter med dålig simförmåga. Precis som fallet var med Denilrännorna, så är kvoten mellan djup och bredd avgörande för flödet i rännan (se ekvation 40 och 41). För de aktuella sötvattensfiskarna i innerfjärdarna bör höjdskillnaden mellan poolerna vara maximalt 10 cm (Katopodis 1992). Då fallhöjden mellan innerfjärdarna och havet i snitt är ca 0.5 m, blir antalet pooler fem stycken. En lämplig bredd på slitsöppning är 30.5 cm och för den bredden fås poollängden till 305 cm. Den totala längden på slitsrännan blir då 15.25 m. Det flöde som passerar genom slitsöppningen måste givetvis också passera genom resten av ränna alltså är flödet genom en slitsöppning lika med det totala flödet i rännan. Hastigheten genom slitsöppningen ges av ekvation (20) och flödet fås genom att multiplicera hastigheten med tvärsnittsarean på öppningen. Höjden på öppningen är lika med djupet i rännan och ungefär ca 50 cm. Tvärsnittsarean blir då ca 0,1525 m² per öppning. I fall hastigheten genom slitsöppningen antas vara 50 % av den genom ekvation (20) teoretiskt bestämda hastigheten p.g.a. energiförluster blir flödet i rännan ungefär två gånger 107 l/s. Bredden på poolerna i rännan är 244 cm. (se avsnitt 2.4.7)

I Sverige finns få slitsrännor. Johlander och Sjöstrand har i ”Fiskvägar i Sydvästra Sverige” endast noterat en kombinerad fiskväg där nedre delen var byggd som en slitsränna medan övre delen bestod av en bassängrappa med undervattensöppningar (Johlander och Sjöstrand 1993).

Fakta slitsränna som fiskväg till innerfjärdarna

Förutsättningar:

Slitsrännans utlopp i på havssidan placeras så att vattenhöjden i poolen närmast havet inte är mer än 10 cm högre än havsnivån vid lågt vatten. Höjdskillnaden mellan poolerna får inte överstiga 10 cm. Nivåsänkningen i innerfjärdarna som utsläppet genom de två slitsrännorna orsakar under juni och juli kompenseras med återpumpning alternativt accepteras. Slitsrännorna kommer att släppa ut mer vatten än Denilrännorna och alltså påverka vattennivån i innerfjärdarna än mer negativt.

Fördelar:

Konstruktionen är förhållandevis enkel och billig att tillverka och installera. Kan passeras av liten fisk med dålig simförmåga.

Nackdelar:

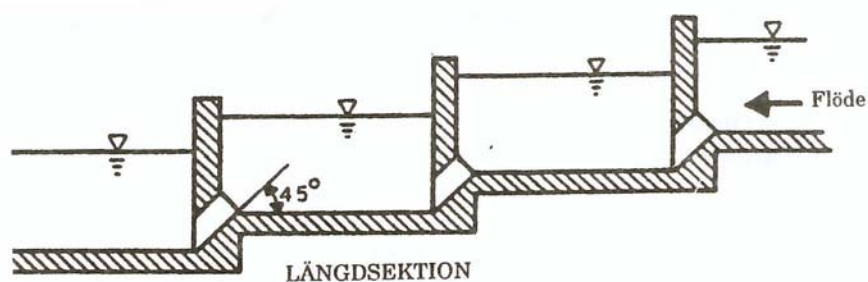
Konstruktionen blir lång vilket gör den dyrare och mer svårplacerad än en Denilränna. Lockvattenströmmen blir dålig även vid måttligt höga nivåer på havssidan. Släpper ut mycket vatten.

Osäkerheter:

Det är osäkert huruvida fisken kommer lockas till rännan då minst ena öppningen tack vare rännans längd hamnar långt i från dammen. Lockvattenströmmen är också känslig för nivåfluktuationer. Energiförlusterna och därmed hastigheten i slitsöppningen är svåruppskattad.

3.6.3 Bassängtrappa med undervattensöppningar

En bild av en bassängtrappa med undervattensöppningar visas i figur 24.



Figur 24. Principskiss Bassängtrappa med undervattensöppningar (källa Sandell m.fl. 1994)

Den totala fallhöjden mellan hav och innerfjärdar delas upp i flera ”trappsteg”. Vattenhastigheten blir då låg i bassängerna medan den i undervattenöppningarna beror av höjdskillnaden mellan bassängerna enligt ekvation (20). Höjdskillnaden mellan bassängerna väljs beroende på vilka fiskarter som det är tänkt att bassängtrappan ska byggas för. Vid höga vattennivåer i innerfjärdarna kan vatten även avbördas genom att rinna över bassängkanterna och på så vis kan höjdskillnaden mellan bassängerna hållas på en konstant nivå. Distansen med hög vattenhastighet vid undervattensöppningarna kommer i bassängtrappan vara längre än i slitsrännan då vattnet inte bromsas upp lika effektivt i bassängtrappans öppningar. Då vatten endast rinner över bassängkanterna vid höga vattennivåer i innerfjärdarna, så är det mest intressanta vattenflödet det flöde som passerar genom undervattensöppningarna eftersom vattnet flödar ut genom dessa öppningar även när tillrinningen till innerfjärdarna är låg.

Antalet bassänger blir fem till antalet för att nivåskillnaden mellan bassängerna ska hållas runt 10 cm. En tvärsnittsarea på $0.3 \times 0.3 \text{ m}^2$ i undervattensöppningarna ger flödet 126 l/s. Hastigheten genom öppningarna blir ca 1.4 m/s (se avsnitt 2.4.8). Fiskvägar av bassängtyp (trappa) är den vanligaste formen av fiskväg och är den typ personer normalt associerar till när de hör ordet fiskväg. Johlander och Sjöstrands undersökning av fiskvägar i sydvästra Sverige fann att 80 % av alla fiskvägar var av bassängtyp (Johlander & Sjöstrand 1993).

Fakta bassängtrappa med undervattensöppningar som fiskväg till innerfjärdarna

Förutsättningar:

Att bassängtrappans utlopp placeras så att vattenhöjden i bassängen närmast havet inte är mer än 10 cm högre än havsnivån vid lågt vatten. Höjdskillnaden mellan bassängerna får inte överstiga 10 cm. Nivåsänkningen i innerfjärdarna, som utsläppet genom de två bassängtrapporna orsakar under juni och juli kompenseras med återpumpning alternativt accepteras.

Fördelar:

Kräver inga rörliga delar. Höjdskillnaden mellan bassängerna hålls på en konstant nivå genom överfall av vatten vid stigande nivå. Är en etablerad fiskväg som använts sedan länge runt om i världen.

Nackdelar:

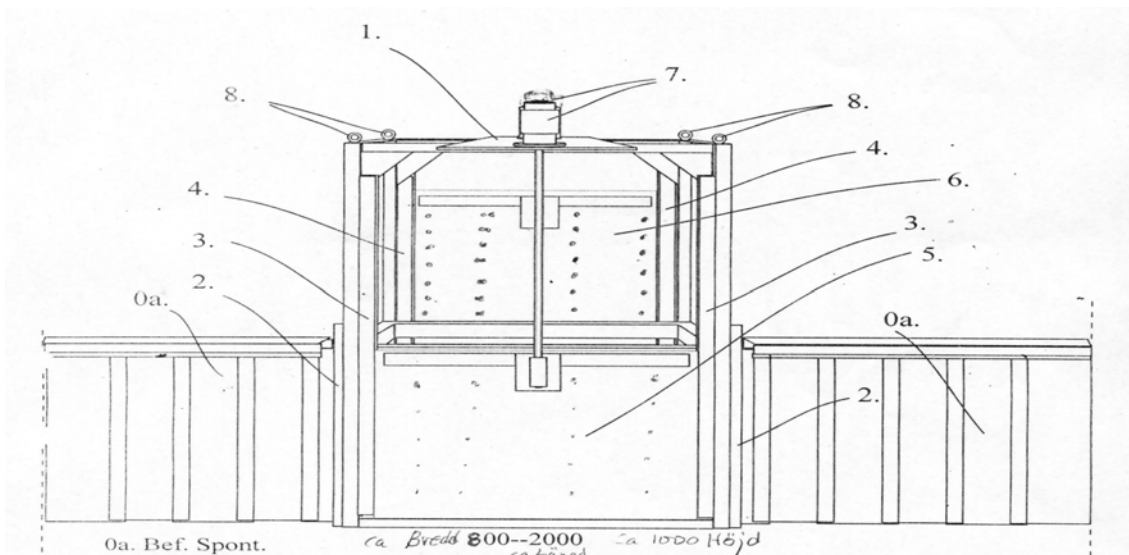
Bassängtrappan är känslig för nivåfluktuationer. Konstruktionen monteras fast i dammen och blir därmed svårare att underhålla. Området med hög hastighet i öppningarna kan vara svårt att passera för små fiskar. Släpper igenom mycket vatten och återpumpning är nödvändigt för att upprätthålla nivån i innerfjärdssystemet.

Osäkerheter

Det är osäkert i fall små fiskar klarar av att simma genom undervattensöppningarna.

3.6.4 Fisksluss av lådtype

I figur 25 nedan visas Thord Engströms konstruktion av lådsluss/nivåutjämnare. Vid fiskpassage från havet till innerfjärdarna är luckan på havssidan (5) helt öppen och luckan på innerfjärdssidan (6) är då helt stängd. Genom ett litet hål i lucka (6) strömmar vatten från innerfjärdarna ut genom lådan till havet. Denna vattenström lockar in fisken i slussen (1) När fisken är inne i slussen stängs luckan på havssidan och fisken är nu instängd i slussen. Nu öppnas luckan på innerfjärdssidan och fisken kan simma ut i innerfjärdarna. Ett mindre hål har även gjorts i luckan på havssidan och när luckan på innerfjärdssidan öppnas fås en svag vattenström som går igenom slussen och ut genom hålet i luckan på havssidan. Denna vattenström lockar fisken att simma ut ur slussen när luckan på innerfjärdssidan öppnas. Fiskpassage från innerfjärdarna till havet följer samma princip som beskrivningen ovan i fall lucka (5) och lucka (6) byter plats. Fiskslussen monteras i stålsporten (Oa) alternativt i sättarna (Engström 2002). Mer detaljerad beskrivning av slussens olika detaljer återfinns i bilaga 7.



Figur 25. Principskiss Lådsluss (Källa Engström 2002)

En lämplig lockvattenström ska vara tillräckligt stark för få fisken att följa strömmen, men så pass svag att små fiskar inte har några problem att simma mot strömmen. En väl avvägd strömshastighet enligt figur 10 och Pavlos rekommendationer i avsnitt 2.4.5 är ca 0.1 m/s. Luckorna i slussen har en tvärsnittsarea på ca en halv kvadratmeter. Normal höjdskillnad mellan innerfjärdarna och hav är ca 50 cm. Tvärsnittsaren på hålet i luckorna är för ovanstående värden 160 cm². Flödet genom slussen blir 50 l/s (se avsnitt 2.4.9). Totalt kommer 100 l/s släppas ut genom innerfjärdarna, vilket enligt figur 6 orsakar en försumbar nivåminskning i innerfjärdarna. Denna fiskväg är en unik konstruktion speciellt konstruerad för förhållandena vid Lulsunds- och Likskärsdammarna.

Fakta fisksluss av lådtype som fiskväg till innerfjärdarna

Förutsättningar:

Reglering av luckorna styrs antingen av en fisksensor som ger en signal till regulatören att stänga luckan när en viss mängd fisk har lockats in i slussen alternativt så öppnas och stängs luckorna med jämna tidsperioder.

Fördelar:

De två stora fördelarna är att fiskslussen inte är så känslig för nivåfluktuationer samt att flödet genom den är så pass lågt att återpumpning ej är nödvändigt.

Nackdelar:

Kräver rörliga delar och elektronisk styrning. Konstruktionen blir därmed dyr och komplicerad att underhålla. Fiskpassage är ej kontinuerlig.

Osäkerheter:

Det är osäkert huruvida fisken stannar i slussen när luckan stängs. Används inte fisksensor så gäller det att tidsperioderna är väl avvägda så att fisken har hunnit simma in i slussen men inte vänt ut igen innan luckan stängs.

3.6.5 Fisksluss av rörtyp

Slussen är i huvudsak tänkt för användning i strömmande vattendrag med relativt stora fallhöjder, men den kan anpassas till förhållandena vid innerfjärdsdammarna. I figur 26 nedan

visas Jan Erik Almqvist konstruktion av rörsluss. Rörslussen består förenklat av två lådor 5 och 6 med ett rör 3 i mellan.

Vid fiskpassage uppströms stängs luckorna 7 och 8.

Lucka 12 öppnas helt och lucka 10 öppnas så pass mycket att lämplig lockvattenström erhålls.

När fisken har kommit in i lådan 6 stängs luckorna 10 och 12.

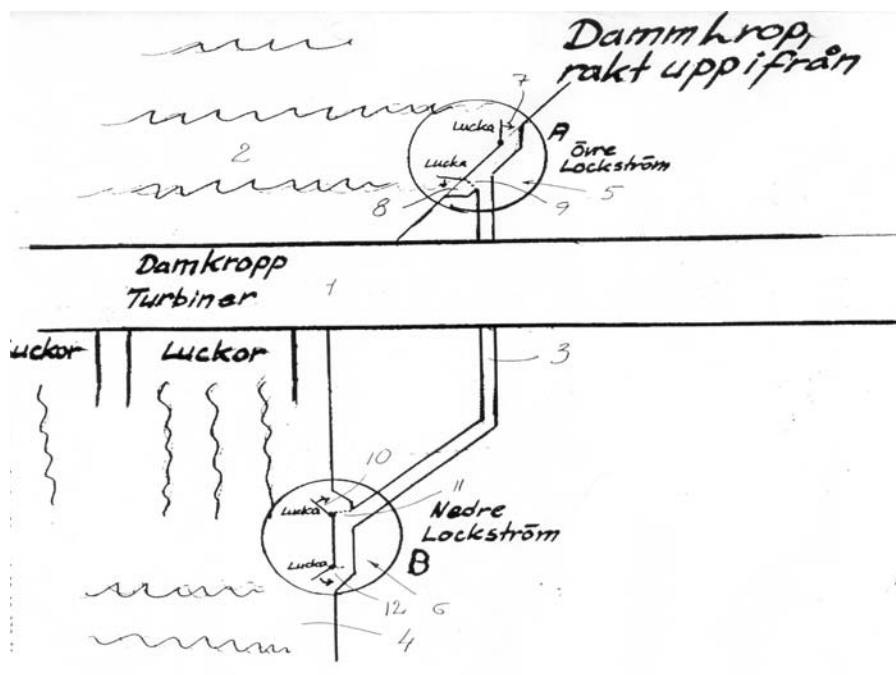
Nu öppnas lucka 7 helt och lucka 8 öppnas så att lämplig lockström skapas.

Vandringskanalen 3 fylls nu med vatten och fisken kan vandra uppåt.

I fall en svag motström önskas i vandringskanalen öppnas antingen lucka 10 eller 12 tills önskad strömhastighet uppnås.

Fiskvandring åt andra hållet sker på samma vis med skillnaden att nedströmslådan 6 då blir uppströmslådan 5 och vice versa i beskrivningen ovan (Almqvist 2002).

En tydligare och större bild av rörslussen finns i bilaga 8.



Figur 26. Principskiss Rörsluss (Källa Almqvist 2002)

Storleken på öppningen av luckan som öppnas för att skapa en motström i vandringskanalen 3 bestäms med ekvation 46 (se avsnitt 2.4.10). För en önskad motströmhastighet på 0.1 m/s i vandringskanalen/röret med diametern 50 cm blev öppningens area 63 cm². Höjdskillnaden mellan hav och innerfjärdar är 0.5 m. Flödet genom fiskvägen blir ca 20 l/s. När fisken ska lockas in i antingen nedströms 6 eller uppströmslådan 5 behövs mer vatten släppas ut. Systemet med luckor för lockvattenström enligt figur 26 fungerar inte i innerfjärdarna då inget strömmande vatten finns att tillgå. Det går att med hjälp av en pump skapa strömmande vatten på konstgjord väg. Utan pump måste lockvattenströmmen skapas genom att låta vatten flöda från innerfjärdarna till havet. I fall luckan där fisken simmar in i slussen har en tvärsnittsarea på 0.5 m² behöver luckan på andra sidan dammen öppnas till dess öppningen blir 160 cm² stor. Flödet från innerfjärdarna till havet är då 50 l/s. Jan Erik Almqvist och Berglunds rostfria AB står för konstruktionen.

Fakta rössluss som fiskväg till innerfjärdarna

Förutsättningar:

Fisken lockas in i slussen och stannar där när luckan stängs. Lämpliga tidsperioder alternativt fisksensor styr när luckorna stängs respektive öppnas.

Fördelar:

Om luckan som styr lockvattenströmmen kan regleras efter aktuell höjdskillnad mellan innerfjärdarna och havet, så är rösslussen helt okänslig för nivåfluktuationer. Rösslussen släpper ut så pass lite vatten att återpumpning ej krävs.

Nackdelar:

Komplicerad konstruktion som gör den dyr att tillverka och installera i dammarna. Kräver elektrisk och elektronisk utrustning för att fungera.

Osäkerheter:

Det är osäkert huruvida fisken lockas in i slussen och stannar där när luckan stängs.

3.6.6 Sammanställning av förslagen till fiskpassagelösning

En sammanställning av fiskvägarna visas i tabell 2. Alla fiskvägarna bedöms kunna fungera i innerfjärdarna efter en del justeringar på plats. Bassängtrappan som är känslig för nivåfluktuationer kommer troligtvis inte fungera tillfredsställande hela säsongen. Vid Valet av fiskväg får kostnad, utflöde, osäkra faktorer och framtida underhåll vägas mot varandra.

Tabell 2. Sammanställning av förslagen till fiskpassagelösning

Sammanställning av förslag till fiskvägar					
Faktorer	Denilränna	Slitsränna	Bassängtrappa	Rössluss	Lådsluss
Hastighet	0.5 m/s	0.7 m/s	1.4 m/s	0.1 m/s	0.1 m/s
Flöde	80 – 100 l/s	200 -220 l/s	120 – 130 l/s	20 – 50 l/s	30 – 50 l/s
Uppskattad kostnad	< 10 000 kr (material)	< 15 000 kr (material)	< 25 000 kr (material)	> 400 000 kr (material + tillverkning)	< 50 000 kr (material)
Underhåll	Endast rengörning	Endast rengörning	Endast rengörning	Flera rörliga delar	Flera rörliga delar
Fördelar	Enkel och billig	Enkel och billig	Viloplatser	Litet utflöde	Litet utflöde
Nackdelar	Stort utflöde	Mycket stort utflöde	Känslig för nivåfluktuationer	Komplicerad och dyr	Komplicerad
Övrigt	låg hastighetsskikt	Dubbla Slitsöppningar	Tveksam då nivåfluktuationerna är stora	Kanske kan bli billigare	Unik

4 Slutsatser

I inledningen av denna rapport fastställdes de faktorer som styr valet av fiskväg. Dessa var aktuella fiskarter, fallhöjd, tillgängligt flöde och nivåfluktuationerna på båda sidorna av dammen. Fiskarterna som vandrar in och ut ur innerfjärdarna under en säsong är främst gädda, abborre och vitfisk, vilka alla har betydligt sämre simförmåga än laxfiskar när det gäller snabbhet och uthållighet. Fallhöjden är i genomsnitt en halv meter, och det tillgängliga flödet som kan släppas ut genom fiskvägen utan att vattennivån sjunker i innerfjärdarna är som lägst ca 100 l/s förutsatt att nuvarande läckage tätas. Nivåfluktuationerna på havssidan är stora, och för en femårs period låg 90 % av värdena på havsnivån under perioden maj – september i intervallet – 30 till + 30 cm i förhållande till medelhavsnivån. De två slussalternativen släpper totalt ut mindre vatten än vad som finns tillgängligt enligt vattenbalanskvationen (se figur 5) medan de övriga alternativen kräver återpumpning i varierande omfattning. Av de tre fiskvägarna som kräver återpumpning förefaller Denilrännan vara det klart bästa alternativet då den släpper ut minst vatten och är minst känslig för nivåfluktuationer. Vidare så är konstruktionen billig, lätt att underhålla och förekomsten av ett låghastighetskikt ger även mycket små fiskar möjlighet att vandra in till innerfjärdarna. Återpumpning av vatten för att kompensera för utflödet genom Denilrännorna kräver låg pumpeffekt och kostnaden för elförbrukningen under en säsong är mindre än 500 kr (se avsnitt 3.2). Då kostnaden för återpumpning är låg och planer finns på att pumpa in vatten till fjärdarna för att förbättra vattenkvaliteten så rekommenderas Denilrännor som fiskvägar till innerfjärdarna. Lämpligen så installeras en Denilränna till att börja med och funktionen av den testas under en längre tidsperiod. En Denilränna släpper igenom mindre vatten än vad som normalt finns tillgängligt varför återpumpning under testperioden ej borde vara nödvändigt. I fall testerna av Denilrännan utfaller till belåtenhet så installeras även en Denilränna i den andra dammen och lämplig återpumpning anordnas. Om det skulle visa sig att Denilrännan inte alls fungerar enligt önskemål så kan lådslussen vara ett intressant alternativ då den är en smart lösning anpassad för just de specifika förhållandena vid dammarna till innerfjärdarna. Denilrännan måste testas under en hel säsong så att dess funktion vid olika vattennivåer och fiskvandningsperioder kan bestämmas. Innan alla läckage är tätade så bör rännans botten på utloppssidan d.v.s. innerfjärdssidan placeras 20 cm lägre än vad som anges i bilaga 1.

Ritningar på huvudförslaget Denilränna redovisas i bilaga 1-3.

5 Referenser

Andreasson, P. 1996. Luleå innerfjärdar Rapport B: Hydrologi, Avd. För vattenteknik, Tekniska högskolan i Luleå, TULEA 1996:12

Almqvist, Jan-Erik. 2003. Muntlig referens våren 2003, Boden

Bengtsson, L. 1980. Vattenutbytet mellan Luleås innerfjärdar – stationära förhållanden, Forskningsrapport, Avd för vattenteknik, Tekniska högskolan i Luleå, TULEA 1980:04

Engström, Thord. 2003. Muntlig referens våren 2003, Luleå

Erixon, P. 1996. Luleå innerfjärdar- Rapport A: Vattenkvalitet, bottenkvalitet och vegetation, Avd. För ekologi och miljövard, Tekniska högskolan i Luleå, TULEA 1996:11

Häggström, S. 1999. Hydraulik för V-teknologer, Undervisningsskrift, upplaga 3, Institutionen för vattenbyggnad, Chalmers tekniska högskola, Göteborg 1999.

Johlander, A. och Sjöstrand, P. 1993. Fiskvägar i sydvästra Sverige, En översikt. Projekt Fiskvägar - funktion och utveckling, Delrapport etapp 1, Fiskeriverket, utredningskontor, Jönköping

Kaotopodis, C. 1992. Introduction to fishways design. Working document, Freshwater institute, Central and arctic region, Department of fisheries and oceans, 501 University Crescent, Winnipeg, Manitoba, Canada

Lonnebjerg, N. 1990. Fishways in Denmark. Proceedings of the international symposium on fishways '90 in Gifu, Japan October 8 - 10, 1990.

Luleåhamn 2003, Vattenståndsstatistik för åren 1997 – 2001.

Nilsson, D. & Olshamm, M. 1995. Luleå innerfjärdar – Hydraulisk modellering med Mike 11, Examensarbete, Avd. för vattenteknik, Tekniska högskolan i Luleå, 1995:140E

Näslund, I. & Wiklund, B-S. 1980. Fiskfaunans sammansättning och fiskets omfattning i ett innerfjärdsområde i Luleåskärgård, Examensarbete, Umeå universitet, Biologisk grundutbildning, Rapportserie 1980:10.

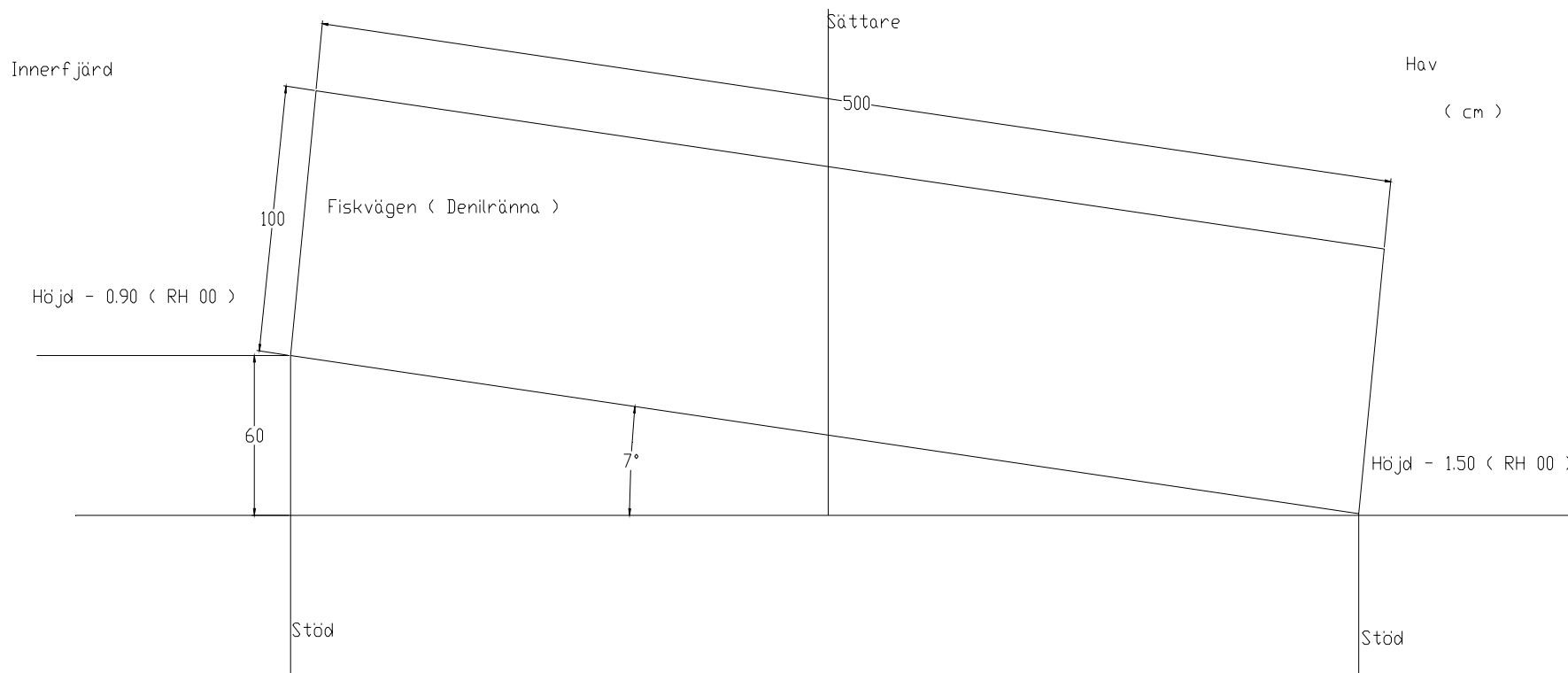
Pavlov, D.S. 1989. Structures assisting the migrations of non-salmonid fish. USSR, FAO Fisheries technical paper, No. 308. Rome, FAO. 1989. 97 p.

Rajartnam, N. och Katopodis, C. 1984. Hydraulics of Denil fishways. Journal of hydraulic engineering, Vol. 110, No. 9, 1219 - 1233

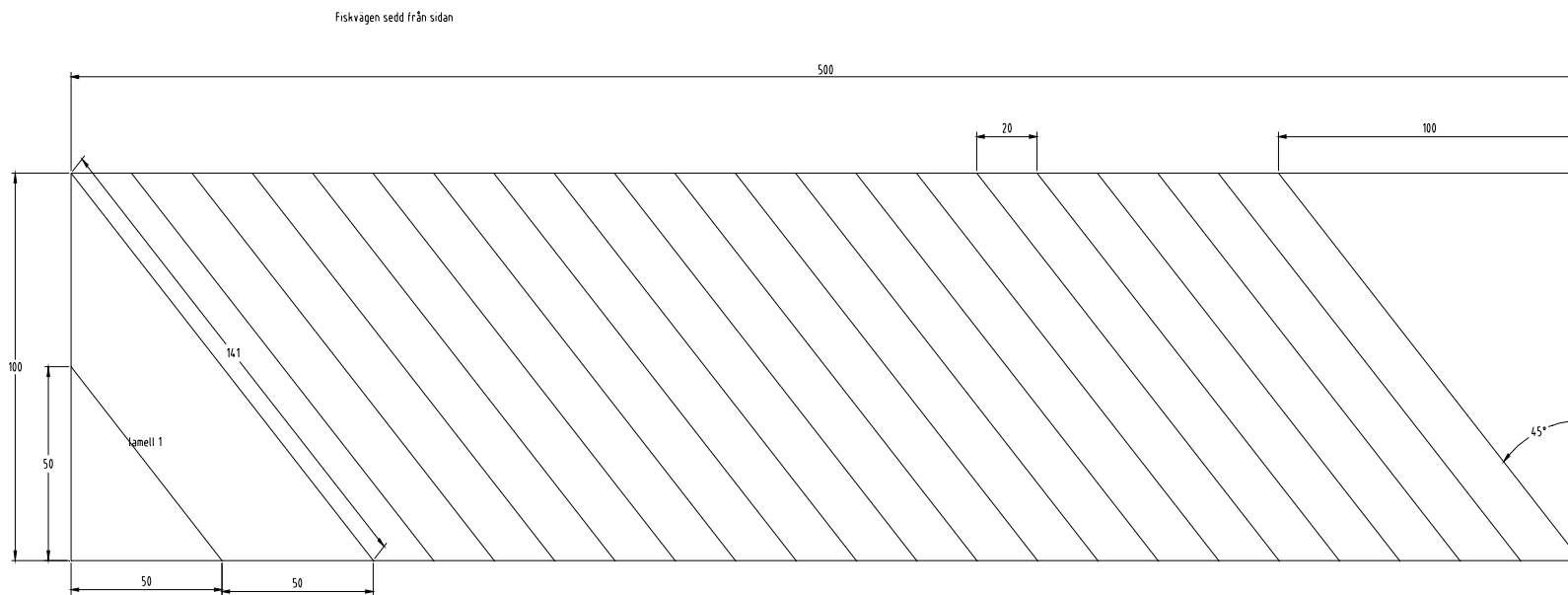
Rajartnam, N., Katopodis, C. och Wu, N. 1999. Structure of flow in vertical slot fishway. Journal of hydraulic engineering, Vol. 125, No. 4, 351 – 360

Schwalme, K., Mackay, W. C. och Lindner, D. 1985. Suitability of vertical slot and Denil fishways for passing north-temperate, nonsalmonid fish. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 42: 1815-1822

Denitreringsrännans placering i dammen.

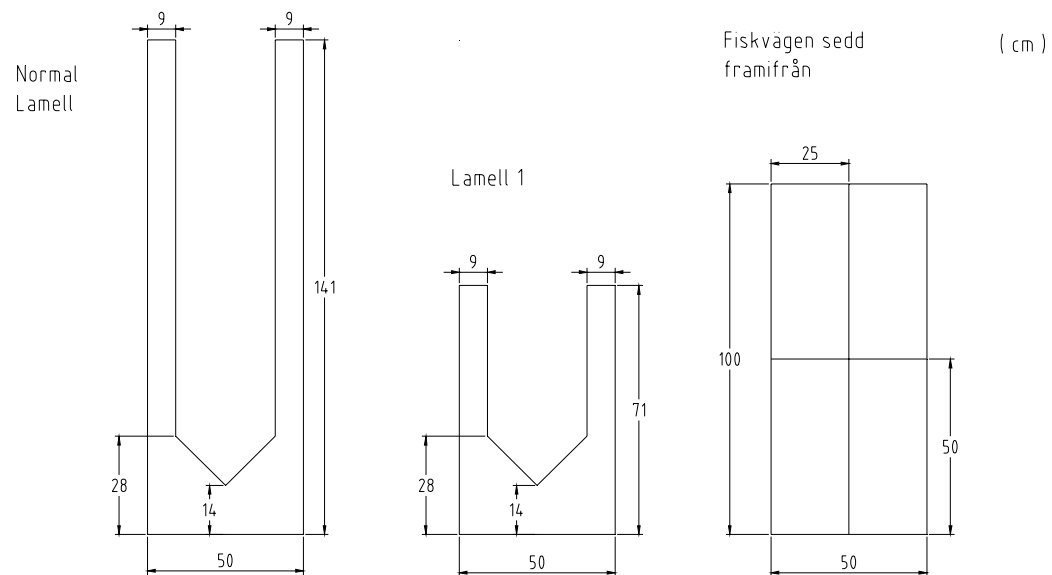


Denitrännen sedd från sidan



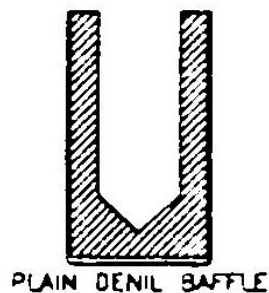
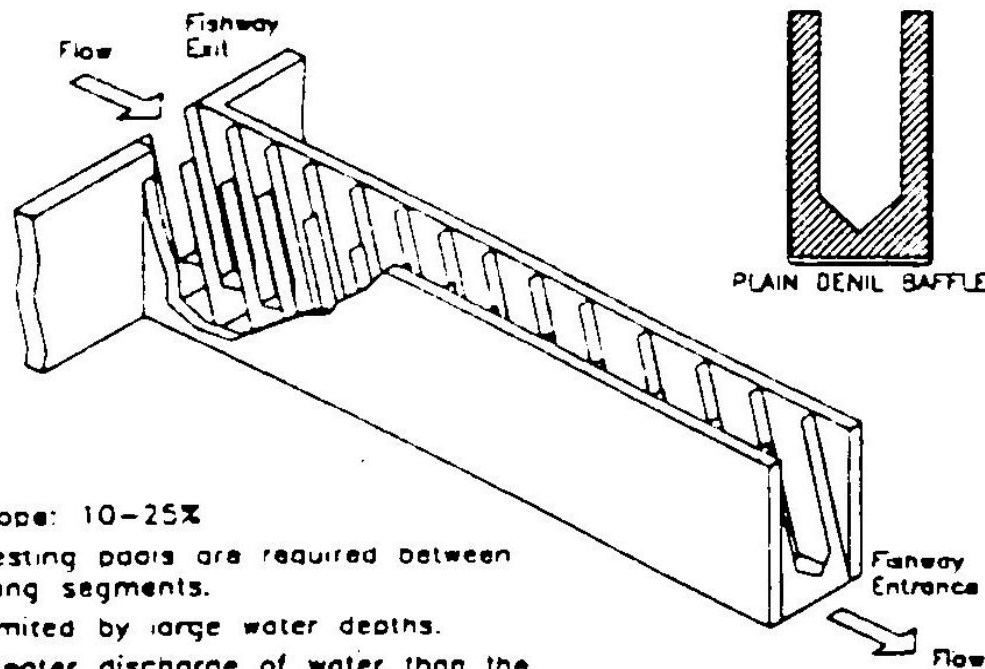
Bilaga 3

Lamellerna och Denlrännan sedd framifrån



Denilrännan

Plain Denil Fishway

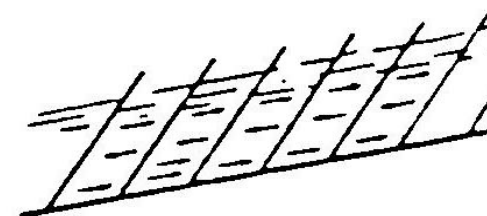


- Slope: 10-25%
- Resting pools are required between long segments.
- Limited by large water depths.
- Greater discharge of water than the other fishways and, therefore, a greater attraction capability.

FLOW PATTERN

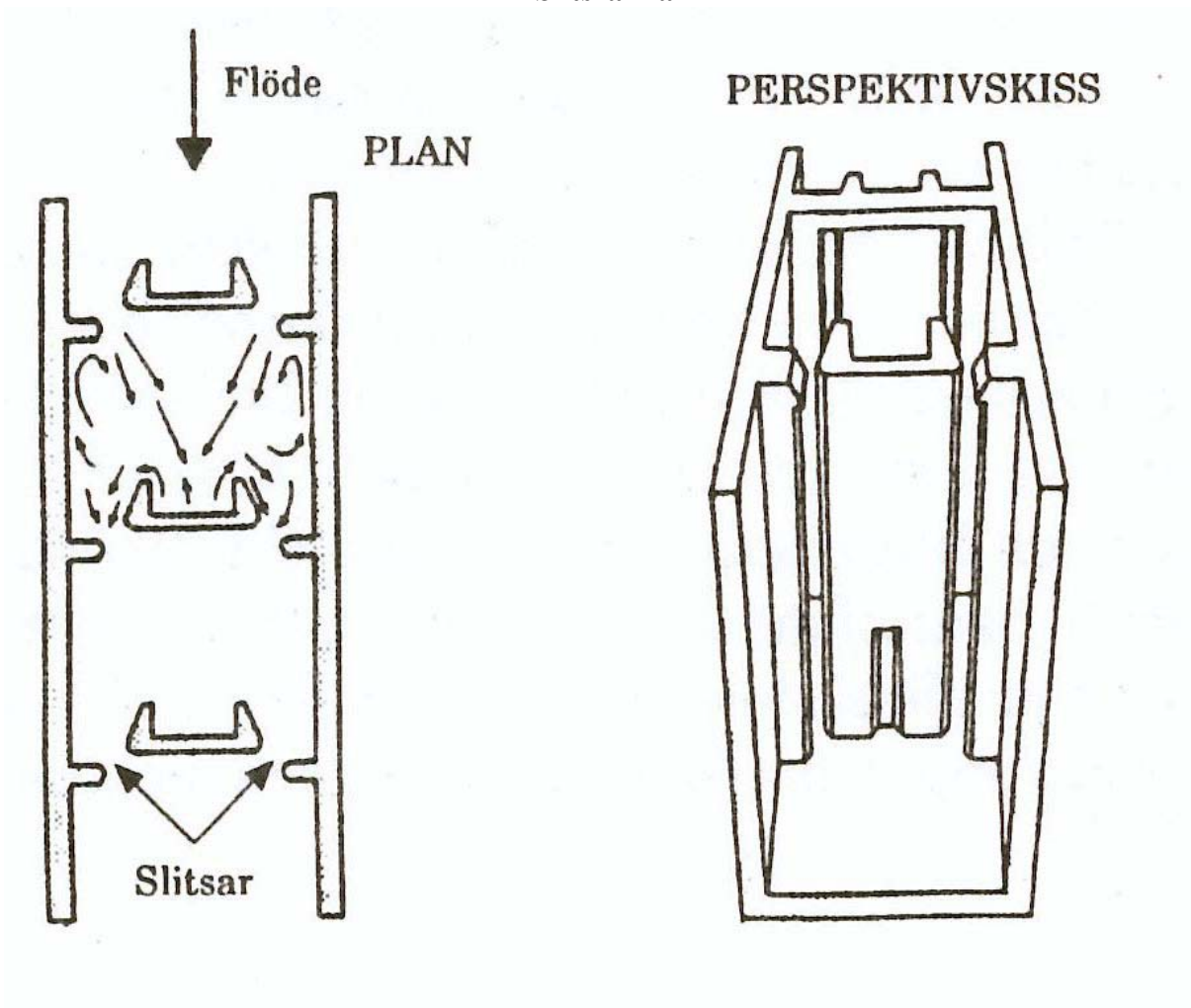


PLAN VIEW

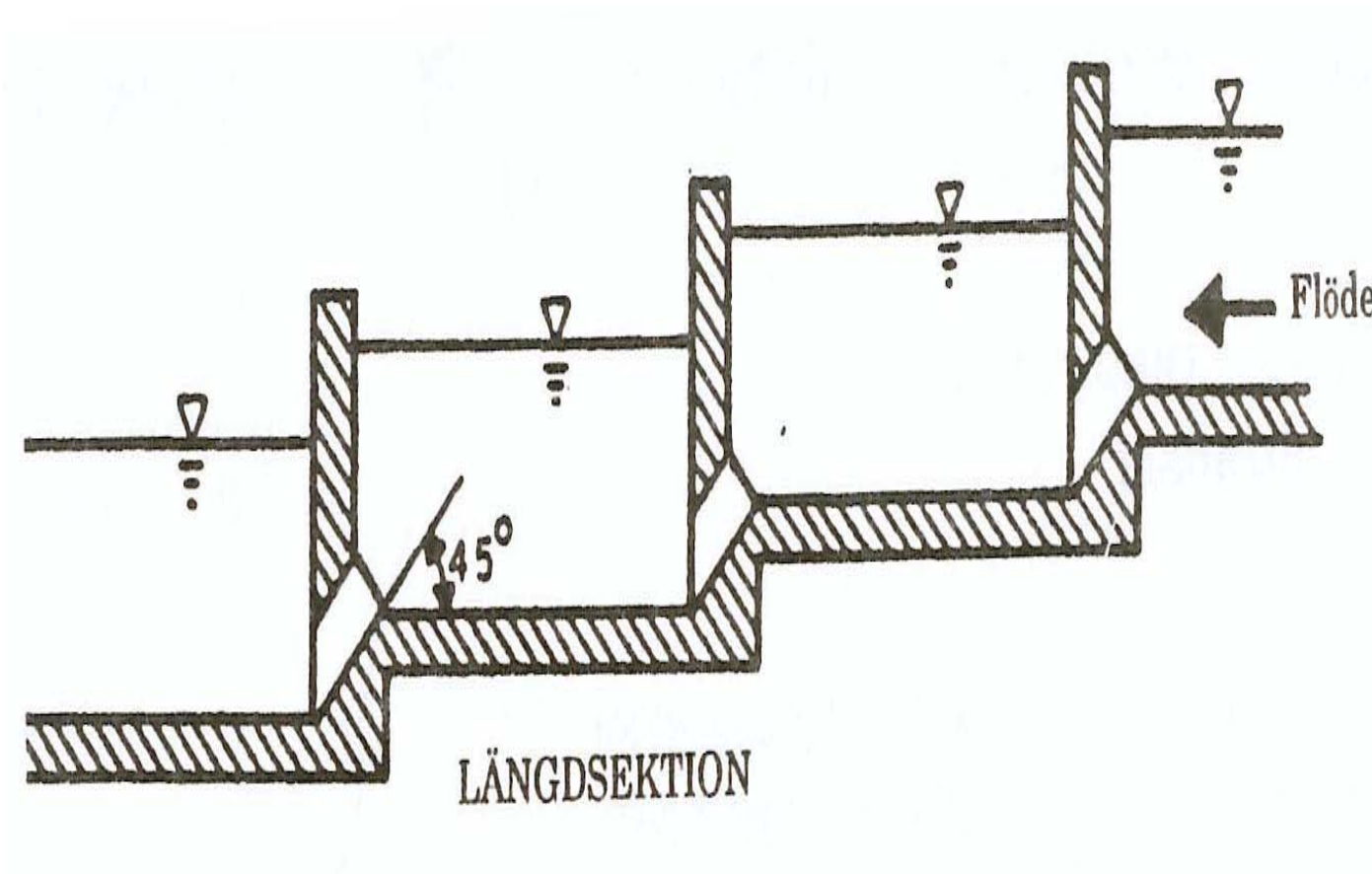


PROFILE

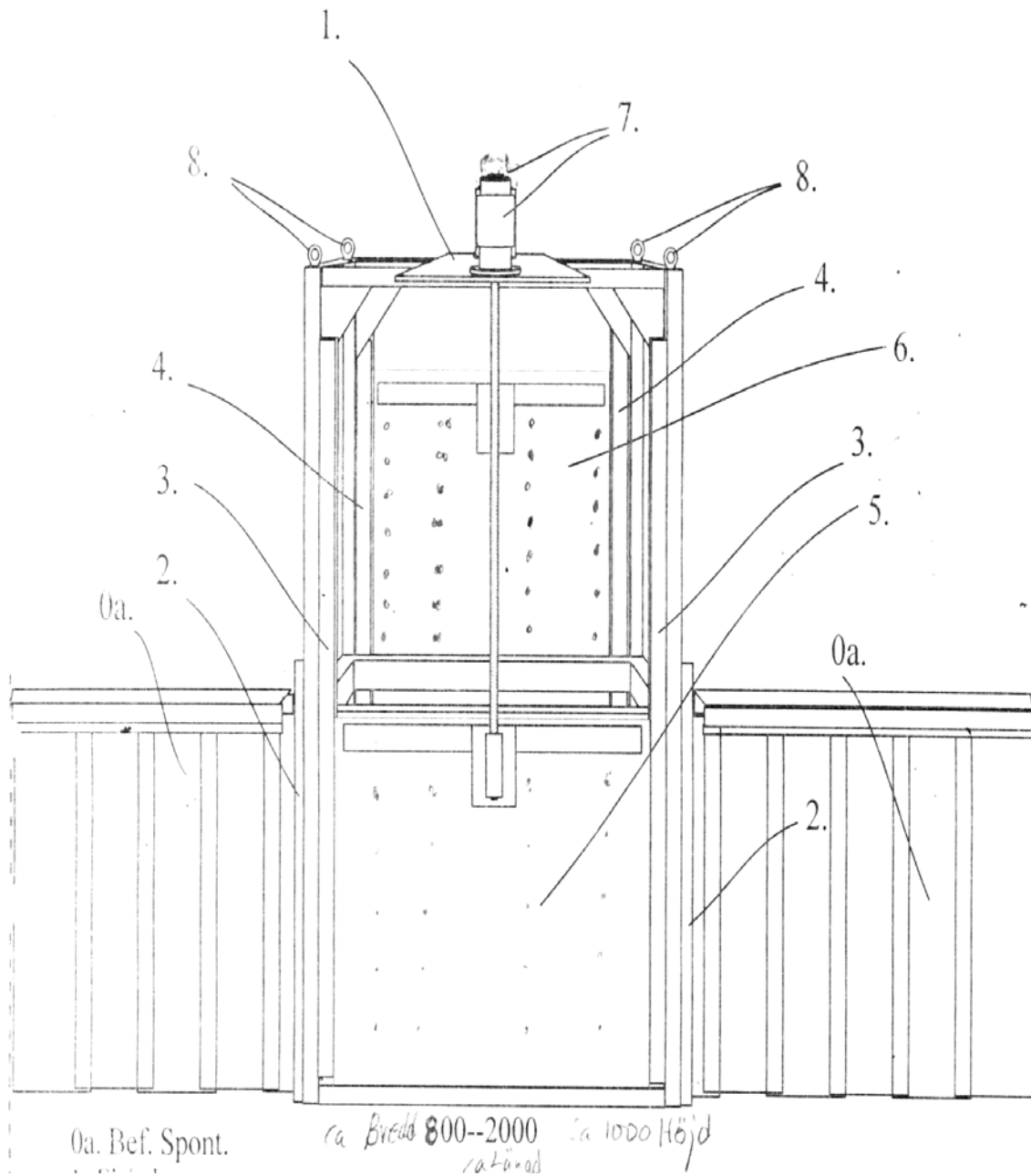
Slitsränna



Bassängstrappa



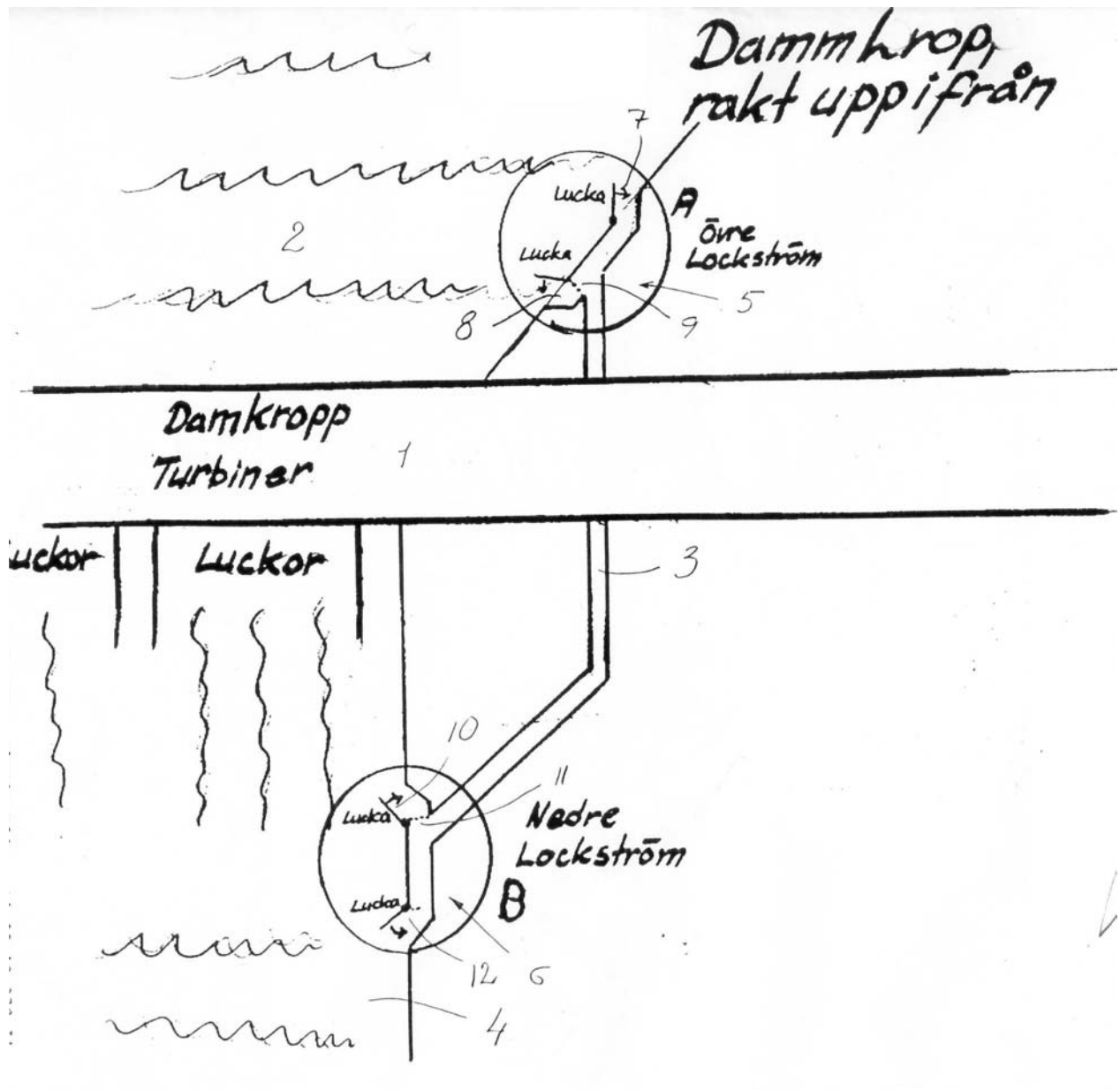
Lådsluss



- 1. Fisksluss
- 2. Geider (hela utrustningen)
- 3. Geider. Lucka havssida
- 4. Geider. Lucka dammsida

- 5. Lucka havssida
- 6. Lucka dammsida
- 7. Skruvdomkrafter 24 V
- 8. Lyftöglor

Rörsluss



1. Damm
2. Övre vattenmagasin
3. Fiskvandningskanal
4. Nedre vattenmagasin
5. Övre slussanordning
6. Undre slussanordning

7. Övre utsläppslucka
8. Övre lockströmslucka
9. Övre lucka för justering av lockström
10. Nedre lockströmslucka
11. Nedre lucka för justering av lockström
12. Nedre utsläppslucka