



Institutionen för Vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola
Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

Minikraftverk i Främmestad
Förstudie

av

Mats Eriksson och Anders Ternell

Examensarbete 1987:7

Göteborg 1987

Adress: Institutionen för vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg

Telefon: 031/72 10 00

Förord

Föreliggande examensarbete är gjort på uppdrag av Vattenfall Väst-Sverige och utfört vid institutionen för vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola år 1987. Som handledare har docent Torbjörn Svensson, vattenbyggnadsinstitutionen och civ.ing Anders Jonsson, Vattenfall Västsverige fungerat.

Vi vill tacka de ovan nämnda för all hjälp. Dessutom vill vi rikta ett tack till Arne Lundgren, Vattenfall för hjälp med geodetisk mätning, Anders Pettersson, f.d Vattenfall för hjälp med historiska data, Tomas Karlsson, ABV-TEKNIK för hjälp med kostnadsberäkningen.

Göteborg 1987-10-05

Mats Eriksson

Anders Ternell

INNEHALLSFÖRTECKNING

sid.

SAMMANFATTNING

INLEDNING

1.	ALLMAN BESKRIVNING OCH MALSÄTTNING	1
1.1	Historisk beskrivning	1
1.2	Beskrivning av befintlig anläggning	2
1.3	Målsättning	9
2.	TOPOGRAFISKA DATA	10
2.1	Nossans fallprofil	10
2.2	Höjdsystem över Främmestad	10
3.	HYDROLOGISKA DATA	13
3.1	Nossan allmänt	13
3.2	Främmestad	13
3.3	Kommentar till varaktighetsdiagrammet	15
3.4	Kommentar till histogrammet	15
4.	TEKNISKA FÖRUTSÄTTNINGAR	18
4.1	Reglering	18
4.2	Utbyggnadsvattenföring	18
4.3	Geotekniska förhållanden	18
4.4	Planförhållanden	19
4.5	Fiske	19
4.6	Vattendom	19
5.	ALTERNATIVA FÖRSLAG	20
5.1	Utvärdering av fallhöjd	20
5.2	Utvärdering av stationsläge	20
5.3	Utvärdering av utbyggnadsvattenföring	21
6.	TEKNISKA LÖSNINGAR	22
	Stationsläge A; i ravinen	
6.1.A	Dammen	22
6.2.A	Kanalintag	22
6.3.A	Kanalen	24

6.4.A	Tubintag	25
6.5.A	Tilloppstuben	25
6.6.A	Stationsbyggnaden	28
6.7.A	Maskin och el utrustning	28
6.8.A	Byggnadsförlopp	31
	Stationsläge B; vid befintligt läge	
6.1.B	Dammen	32
6.2.B	Kanalintag	32
6.3.B	Kanalen	32
6.4.B	Tubintag	32
6.5.B	Tilloppstuben	32
6.6.B	Stationsbyggnaden	35
6.7.B	Maskin och el utrustning	35
6.8.B	Avloppskanal	35
6.9.B	Byggnadsförlopp	35
7.	EKONOMISK UTVÄRDERING	37
7.1	Produktionsbedömning	37
7.1.1	Stationsläge A	37
7.1.2	Stationsläge B	38
7.2	Kostnadsberäkning	39
7.2.1	Sammanställning av kostnader för stationsläge A	39
7.2.2	Sammanställning av kostnader för stationsläge B	43
7.3	Specifik anläggningskostnad och första årsintäkt	47
7.4	Kostnads-intäkts analys	48
7.5	Känslighetsanalys	50
8.	SLUTSATS	53
	Referenser	
	Litteraturförteckning	
	Bilagor	

SAMMANFATTNING

Syftet med examensarbetet är att utföra en förstudie, som skall ligga till grund för en fortsatt projektering av Främmestads kraftstation.

Vid produktionsberäkningen har en fallhöjd och en utbyggnadsvattenförlust på 12.07 m respektive 8 m³/s använts. Vid normala förhållanden resulterar ovan nämnda data i en utbyggd effekt på 769 kW och en energiproduktion motsvarande 3.05 GWh.

Kraftstationen placeras i ravinen nordost om gamla anläggningen. En fullkaplan turbin utan växel väljes lämpligen. Uppställningen blir en rörturbin med 45 graders lutning.

Den beskrivna anläggningen beräknas ha en anläggningskostnad på 6134000 kr, vilket motsvarar en specifik anläggningskostnad på 2.01 kr/kWh, år.

Energiprisets utveckling är given av Vattenfall. Priset ökar från 13 öre till 30 öre under de närmaste 22 åren, för att sedan stagnera.

Lönsamhetsberäkningen är grundad på en 40-årig avskrivningstid och en 6-procentig inflation. Beräkningen utföres med nuvärdesmetod, och ger ett positivt nuvärde på 2362000 kr. Detta värde medför ett årligt återkommande överskott på 286000 kr.

Förstudien visar entydigt på en stor utbyggnadspotential i Främmestad.

INLEDNING

Sverige har goda förutsättningar för vattenkraft. Idag produceras 53 procent av Sveriges totala elkraft i vattenkraftstationer, detta motsvarar 60 TWh/år. I effektregistret 100-1500 kW finns cirka 520 anläggningar i drift med en installerad effekt av 275 MW, och en medelårsproduktion på 1200 GWh. Ytterligare utbyggnad av orörda vattendrag är det svårt att finna gehör för. Detta gör att restaurering, renovering och komplettering av redan befintliga anläggningar blir av stor betydelse. Samtliga ovan nämnda åtgärder kräver stora kapitalinsatser vad beträffar byggnation och maskinutrustning. En stävan efter ökad standardisering kan vara ett sätt att minska anläggningskostnaderna för små vattenkraftstationer. En hög automatiseringsgrad är en förutsättning för kraftverk med en utbyggd effekt på mindre än 1500 kW, då driftkostnaderna i annat fall blir orimliga.

Miljöskäl gör att vattenkraftprojekt i många fall skrinlägges. Detta kan undvikas om miljövärdande organisationer och myndigheter tidigt får möjlighet att påverka projektet. Lämpliga miljöåtgärder i vattenkraftsammanhang är spegeldammar, minimitappning och olika former av fiskevärdande insatser. Med omdömesfull placering ger vattenkraften endast lokala störningar, dvs anläggningarna måste anpassas så att intressekonflikter undviks.

Beaktar man dessa faktorer måste vattenkraften anses vara en miljövänlig och ekonomisk energikälla.

1. ALLMAN BESKRIVNING OCH MALSATTNING

1.1 Historisk beskrivning

Främmestad kraftstation är beläget ca 2 mil sydost om Trollhättan. Anläggningen ligger i ett naturskönt område omgivet av jordbruksmark. Vid Främmestad anlades mot slutet av 1800-talet en massa-industri. För sin kraftförsörjning utnyttjade industrin Nossans högsta fallhöjd. Anläggningen användes även som kraftkälla för tröskverk, via ett långt remsystem. Den dåliga lönsamheten för massaindustrin i början på 1900-talet resulterade i att lokalerna byggdes om, och en turbin för elproduktion installerades år 1907. (Som kurios kan nämnas att kraftstationen redan från början genererade el med en frekvens av 50 per/sek.) Den ursprungliga energiproduktionen motsvarade 1 GWh per år.

År 1937 brann stationsbyggnaden ned efter ett åskväder. Maskinutrustningen skadades dock ej allvarligt av branden. Vid stationens återuppbyggnad kompletterades den med ytterliggare en liten turbin. Kraftverket genererade nu 1.2 GWh/år. Vattenfall köpte 1956 anläggningen av Föreningen Främmestads Kraftverk (FFK UPA), och samtidigt inköptes den kringliggande marken av berörda markägare (Markägarförhållanden se bilaga 1).

Vattendom för anläggningen har varit svår att återfinna dels p.g.a det stora tidsintervallet från kanalens byggande 1873 och till den tidpunkt då kraftverket togs i bruk, dels av att systemet med vattendomstolar skapades först 1919.

Tidigare utredningar om Främmestad har gjorts av Göran Moberg och Sten Afeldt ex.arb.CTH-79, samt WP-SYSTEM 1979.

1.2 Beskrivning av befintlig anläggning

De i anläggningen ingående delarna är dammen, kanalintaget, kanalen, tubintaget, tilloppstuben, stationen och avloppskanalen. En översikt över området visas i fig. 1.

Dammkonstruktionen är en 58m lång överfallsdamm utförd i betong år 1928. Hela dammen är grundlagd på berg, innefattande en avbördningsanordning i den västra änden. Enligt vår bedömning, grundad på historiska data givna av lokal driftspersonal, är avbördningsanordningen en tömningslucka. Detta bör dock utredas noggrannare vid ansökan om ny vattendom. Avbördningskapaciteten är 8 m³/s. Vi bedömer dammens kondition som god, med vissa lokala undantag.

Kanalintaget innefattar risgrind med gångbro, bilbro och spettluckor med fundament. Intaget är till en början stensatt medan resterande del är sprängd i berg. Tilloppskanalen är 450m lång och har en genomsnittlig tvärsnittsarea på 7,5m². Den är grävd genom ett lerlager och lokalt även sprängd. En vall byggdes på kanalens västra sida, efter en utredning gjord av Vattenfall år 1961. Material till vallen har tagits ur jordslänter utmed tillfartsvägen till maskinstationen. Kanalen gränsar på den östra sidan mot en åker och på den västra mot en brant. På denna sida har ett lokalt läckage observerats. Detta läckage har bedömts som ofarligt av Vattenfalls expertis. (Planskiss över området se fig.1)

Tubintaget är byggt i betong på en botten av hårdpackad lera. I intagsrännan är en grovgrind med gångbro och ett manuellt rens-galler placerat. Där finns även en tömningslucka samt två spettluckor.

Tilloppstuben är tillverkad i stål och upplagd på fem stycken betongfundament. Tuben mäter 38m, med en diameter på 1600mm. Dess lutning är 13 grader mot horisontalplanet. Tuben inspekteras en gång per år, då eventuella åtgärder vidtages. Den ursprungliga trätuben ersattes år 1936, med den nuvarande i stål.

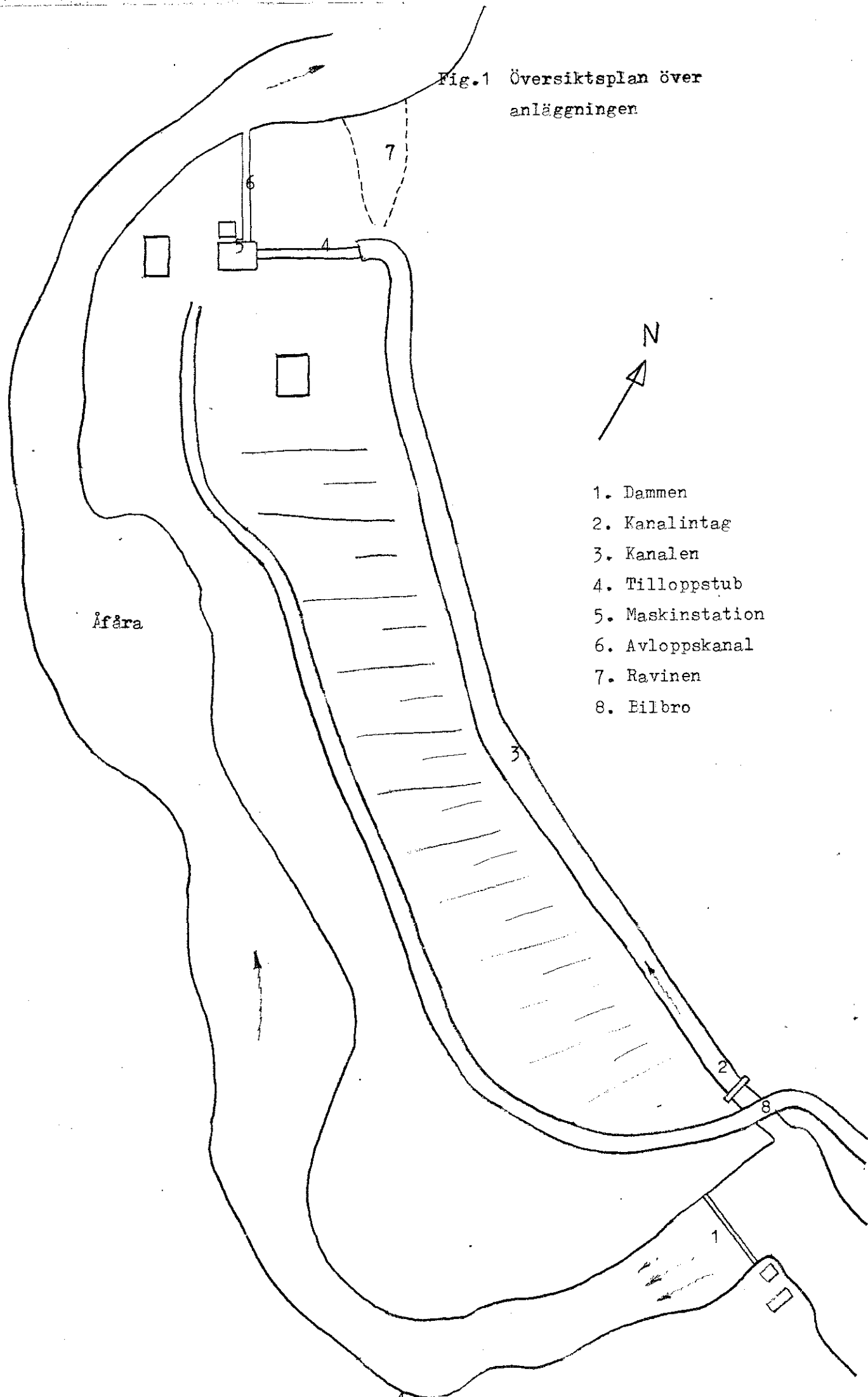
Maskinhuset har det utseende som det fick efter branden år 1937, och är uppfört helt i sten. Maskinutrustningen består av två turbiner som drivs av en vattenföring på 1,6m³/s. Den äldre turbinen från år 1907 består av dubbla vertikalt monterade Francislöphjul tillverkade av Finnshyttan, den yngre från år 1938 är en vertikalt uppställd Francisturbin gjord av NOHAB. Dessa turbiner driver två generatorer, den äldre på 135 kW och den yngre på 25 kW. Ställverket är av gammal konstruktion. Isproppar har ungefär var tionde år orsakat översvämning i stationsbyggnaden.

Avloppskanalen är nedsprängd i berg och stensatt. Tvärsnittet vid normal vattenföring är 8 m². Kanalens längd är 50 m. Vid utloppet i Nossan finns en gångbro anlagd.

Av allmänt intresse är den nyrestaureerade hembygdsgård som ligger i dammens omedelbara närhet, samt den bro som finns 150 m uppströms dämnet. Bron ägs idag av Christer Larsson.

Ritningar över anläggningen, med undantag för maskinstationen, har upprättats av Vattenfall år 1959. Dessa ritningar finns tillgängliga hos Vattenfall Väst- Sverige.

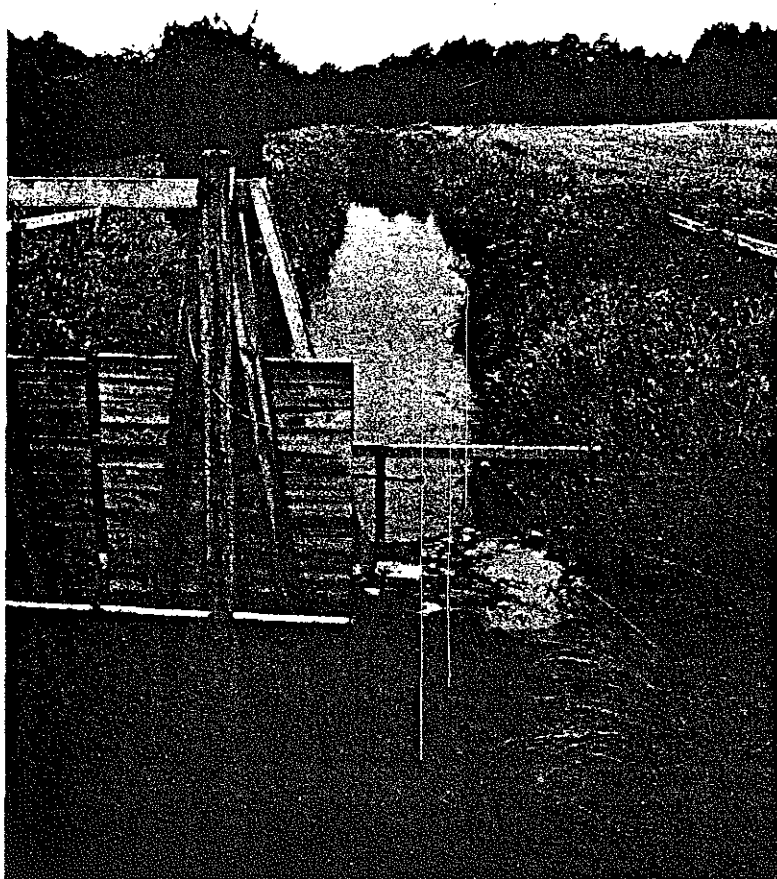
Fig.1 Översiktsplan över
anläggningen



1. Dammen
2. Kanalintag
3. Kanalen
4. Tilloppstubb
5. Maskinstation
6. Avloppskanal
7. Ravinen
8. Eilbro



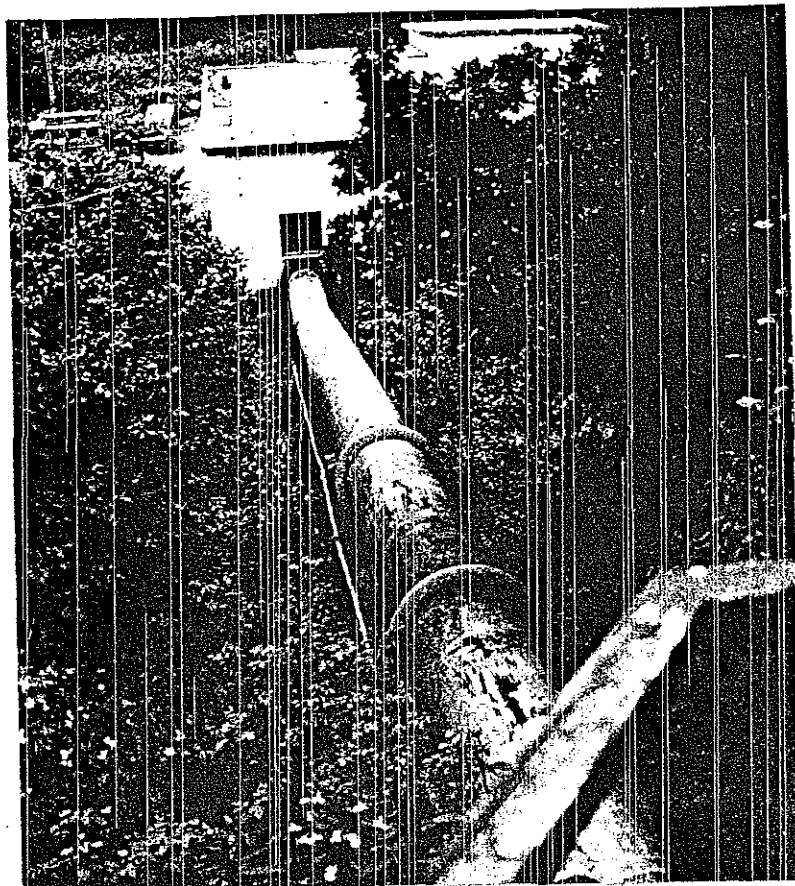
Bild föreställande damm och dammlucka



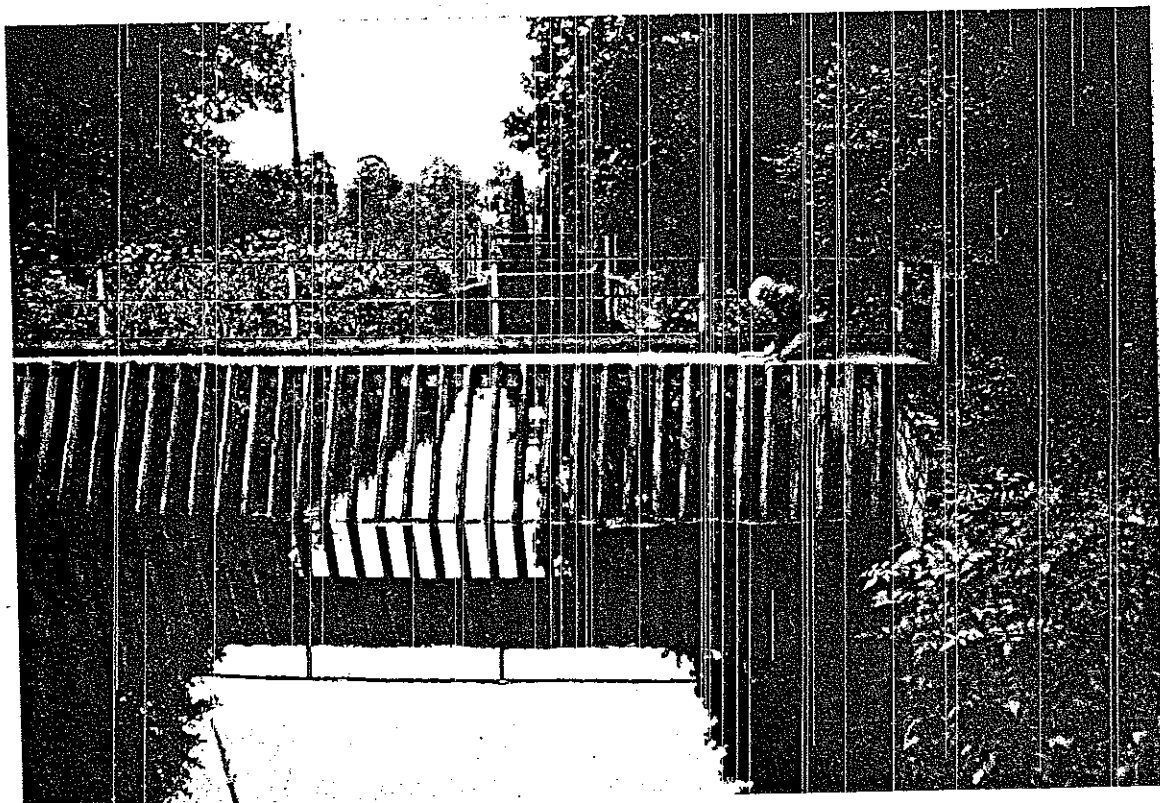
Kanalen med spetttluckor i förgrunden



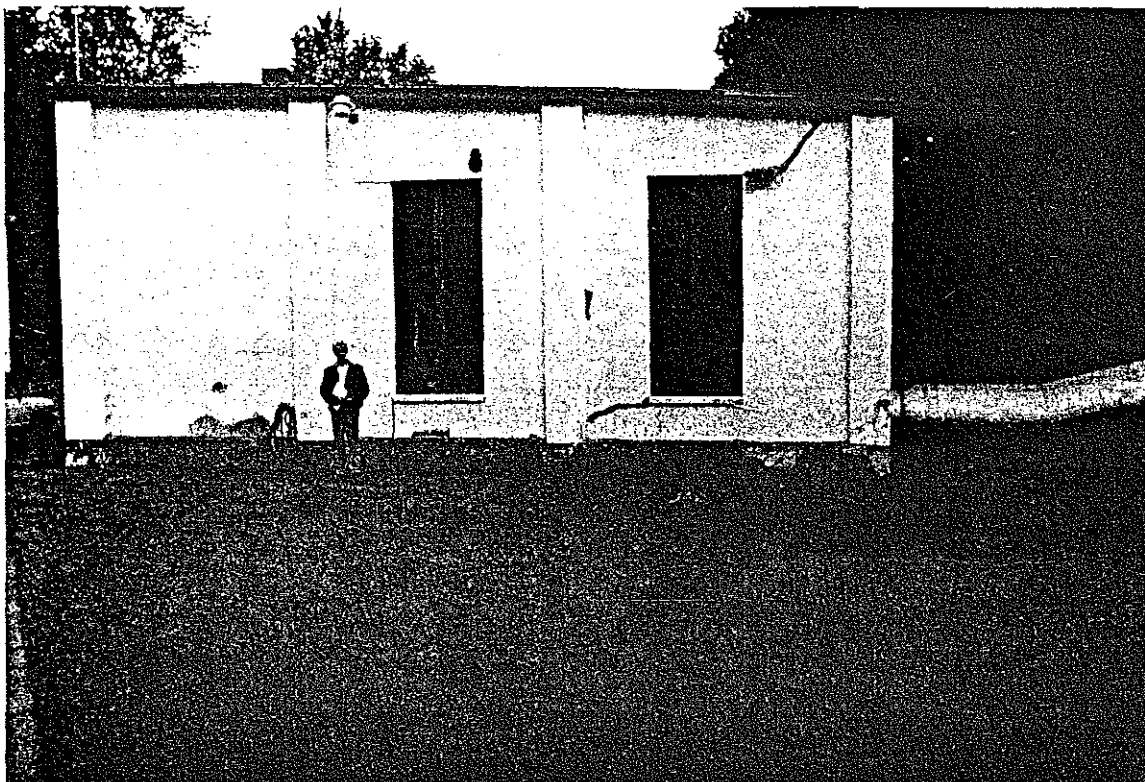
Kanalintag med bilbro och spetttluckor



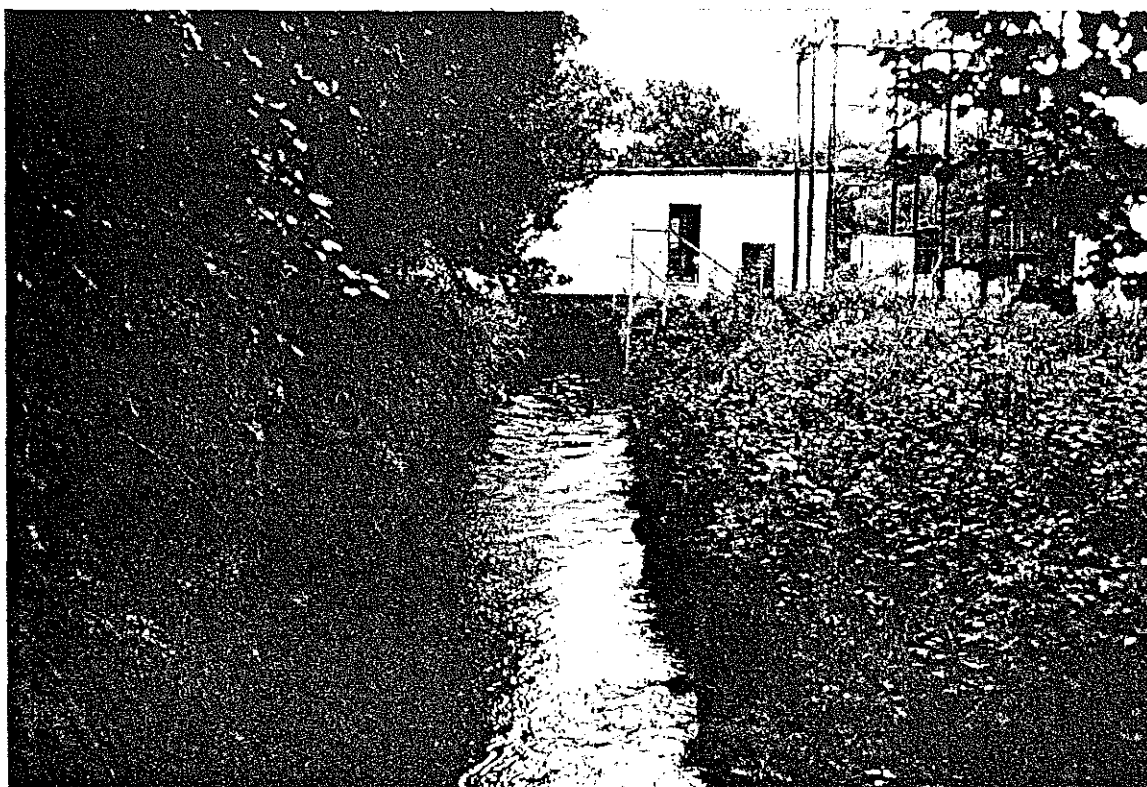
Bilden visar den nuvarande tilloppstuben av stål



Intagsränna med risgrind



Maskinstationens södra fasad



Avloppskanalen och stationens norra fasad

1.3 Målsättning

Målsättningen för projektet är att förnya och bygga ut kraftstationen så att en optimal relation mellan producerad elkraft och anläggningskostnader erhålles.

De miljömässiga aspekterna skall bevakas så att minsta möjliga ingrepp i miljön behöver göras. Av stor vikt är lokala fiskeintressen.

Om så är möjligt bör man använda standardiserad utrustning och hög automatiseringsgrad för att minimera anläggnings och driftkostnaderna.

2. TOPOGRAFISKA DATA

2.1 Nossans fallprofil

Nossan förbinder sjöarna Nossekälla (uppströms) och Väneren (nedströms). Nossans sträckning är 86 km och faller på denna sträcka 127 m. An innehåller ett femtontal fall, varav endast Baljefors och Tengene är av intresse för utredningen (se fallprofil fig.2, planskiss fig.3).

2.2 Höjdsystem över Främmestad

Vid avvägning och bestämning av höjdförhållanden kring Främmestad utgick vi från Kartverkets fix, belägen nära Främmestads kyrka. Fixens placering är vid den östra av de två hällarna intill norra kyrkväggen. Fixen är markerad med en koppardubb i ett hugget kryss placerad 74,13 m.ö.h. Härifrån gjorde Vattenfall 1956 en fixflyttning. En horisontell dubb insattes i spetlucksfundamentets västra betongmur. Dubben sitter på fundamentets uppströmssida nära vattenytan med plushöjden 68,54 m.ö.h.

NOSSANS FALLPROFIL

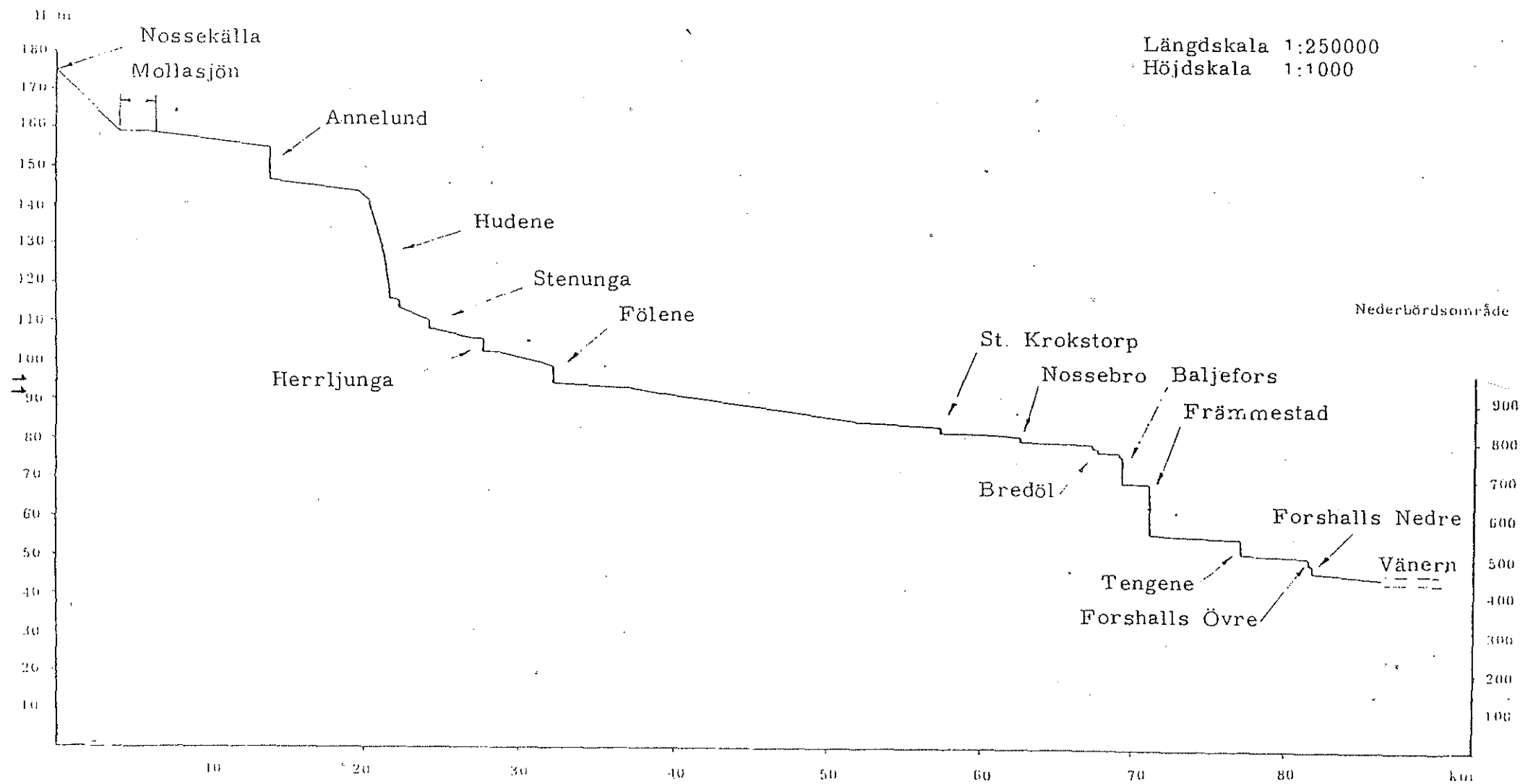


Fig 2. Nossans fallprofil och avrinningsområde.

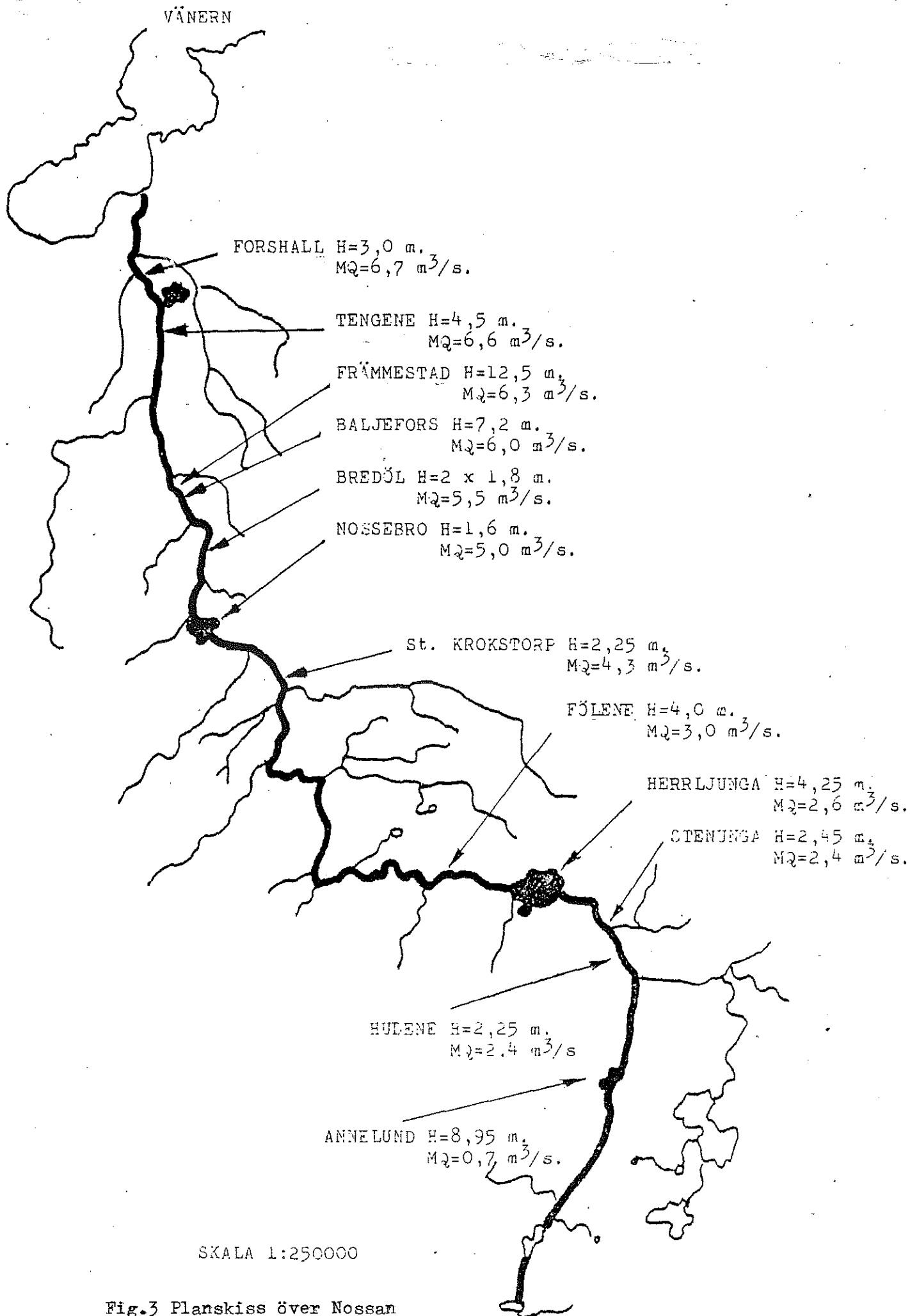


Fig.3 Planskiss över Nossan

3. HYDROLOGISKA DATA

3.1 Nossan allmänt

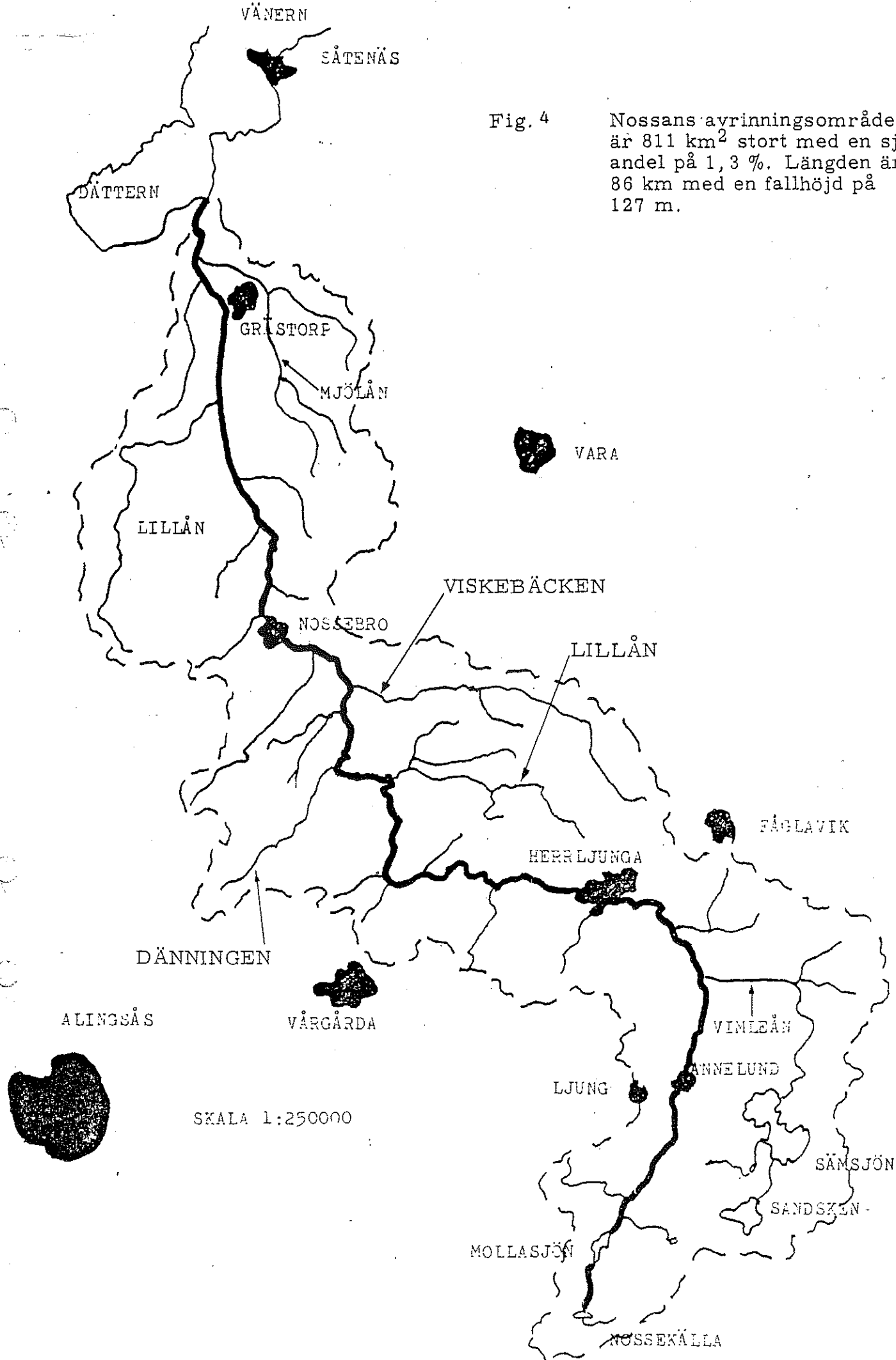
Nossan avbördar sitt vatten från ett 811 km² stort avrinningsområde. Av denna yta är 1,3 % sjöar (se fig.4). Vid mynningen har ån en medelvattenföring på 7,3 m³/s. På mitten av 70-talet har omfattande utdikningar gjorts vilket medfört en snabbare avrinning. Övan nämnda åtgärd gör tillsammans med den låga sjöprocenten att vattenföringen varierar kraftigt under året.

Nossan får även tillflöden från ett antal mindre åar, av vilka endast Vimleåns tillflöde är av betydelse. Vimleån har en medelvattenföring på 1,1 m³/s där den mynnar, strax nedströms Annelund.

3.2 Främmostad

De hydrologiska betingelserna vid Främmostad har uppskattats av SMHI år 1985. Statistiken gäller de naturliga framrinningsförhållandena under en 50-års period. Detta material har jämförts med undersökningar gjorda av SMHI åren 1948 och 1957 samt en studie utförd av Sten Afeldt CTH 1979, och god överensstämmelse har konstaterats. De för Främmostad karakteristiska värdena är följande:

Högsta högvattenföring	70	m ³ /s
Medelhögvattenföring	30	m ³ /s
Medelvattenföring	5,6	m ³ /s
Vattenföring med 50 % varaktighet	3,5	m ³ /s
Vattenföring med 75 % varaktighet	1,7	m ³ /s
Medellågvattenföring	0,7	m ³ /s
Lägsta lågvattenföring	0,15	m ³ /s



3.3 Varaktighetsdiagram för vattenföringen

Ett varaktighetsdiagram har upprättats genom en jämförelse mellan Främmestad och SMHIs mätstation 108-1236 Sundstorp, lokaliserad i Lidan 30 km från Främmestad. Avrinningsområdenas storlek, medelvattenföring och sjöprocent är likartade för Lidan och Nossan. Hänsyn har tagits till de aktuella skillnaderna mellan värdena på högsta högvattenföring, lägsta lågvattenföring och flödena med 50 respektive 75 procents varaktighet (se fig.5).

	Nossan	Lidan	
Avrinningsområde	622	688	(km ²)
Medelvattenföring	5,6	6,1	(m ³ /s)
Sjöprocent	1,6	0,3	(%)

Värdena på varaktigheten för Lidan är baserad på statistik från åren 1954-1975 och är hämtade ur Vattenföring i Sverige utgiven av SMHI.

Varaktighetsdiagrammet ligger till grund för de effekt- och energiberäkningar som redovisas i utredningen.

Det nyttiga medelvattenflödet genom kraftstationen vid drift, har med hjälp av varaktighetsdiagrammet bestämts till 6.1 m³/s.

3.4 Flödesfördelning under året

Flödesfördelningen (se fig.6) har konstruerats med hjälp av de värden på månadsmedelvattenföringen som givits från SMHI 1987-07-01.

Diagrammet visar att Nossan har en högvattenperiod november till maj, vilket ur kraftvärdessynpunkt är mycket fördelaktigt.

$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$

45

30

25

20

15

10

5

2

1

Utbyggnadsvattenföring

Minimivattenföring

Förbildning

Varaktighet
dagar/år

30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

Fig.5 Varaktighetsdiagram för vattenföring

$Q(m^3/s)$

12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1

Jan Feb Mars Apr Maj Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dec Mån

Fig.6 Flödesfördelning under året

SIS

514 A4
32501

mperts
01/0000

r 30 1/2

4. TEKNISKA FÖRUTSÄTTNINGAR

4.1 Reglering

Förutsättningarna för reglering är mycket små, då reservoaren uppströms är liten i förhållande till medellågvattenföringen. De topografiska förhållandena medger ingen nämnvärd förändring av magasinsvolymen.

4.2 Utbyggnadsvattenföring

De faktorer som är avgörande för en optimal utbyggnadsvattenföring är:

1. Fallhöjd
2. Olika flödens varaktighet
3. Anläggningens totalkostnad
4. Anläggningens drift

Med hänsyn tagen till dessa faktorer och med anpassning till tillgängliga standarddimensioner samt turbinens arbetsintervall, har vi funnit att en rimlig utbyggnadsvattenföring bör ligga mellan 6-8 m³/s. Denna vattenföring skulle medföra en medeldrifttid för anläggningen på 210-250 dagar per år.

4.3 Geotekniska förhållanden

Det vid Främmestad dominerande jordmaterialet är lera, av typen glacial och åkerlera. Vår bedömning är att materialet är av fast karaktär. De problem av geoteknisk natur som bör beaktas är stabiliteten hos vallen intill intagskanalen och i ravinen. Vid fortsatt projektering bör en geoteknisk undersökning genomföras.

4.4 Planförutsättningar

Planenheten vid länsstyrelsen i Mariestad har lämnat följande information om förutsättningarna. För området finns varken kommunala detaljplaner eller övriga planer. Strandskydd råder dock för Nossan inom en sträcka på 100 m från varje strandkant. Beträffande naturvård finns inga riksintressen, däremot föreligger vissa regionala intressen eftersom man anser att området har stort friluftsvärde för rekreation o dyl.

I samband med utbyggnad av kraftstationen vill länsstyrelsen i Mariestad vara med i diskussionerna på ett tidigt stadium.

4.5 Fiske

Enligt fiskerivårdsintendenten i Jönköping finns det öring i hela Nossan. Dessutom pågår ett projekt med lokal inplantering av regnbågsforell. I detta projekt ingår enligt intendenten Främmestad.

4.6 Vattendom

Trots sökande hos Landsarkivet i Göteborg, har ej någon Vattendom hittats. För fortsatt utredning bör expertis inom området kontaktas. Skulle Vattendom saknas, ger högsta högvattenföringen en vattennivå på +69,04. Detta kan då vara av intresse.

5. ALTERNATIVA FÖRSLAG

5.1 Utvärdering av fallhöjd

Två alternativa fallhöjder har studerats.

Alternativ_1: Fallhöjden kan ökas då vi bedömer det möjligt att höja det befintliga skibordskrönet 0,5 m med fritt överfall. För att förhindra översvämning vid högvattenföring måste man bygga utskov så högsta högvattennivån ej förändras. Om man däremot kan tillåta vissa överskridanden räcker det med att låta vattnet rinna fritt över med endast ett utskov som kan avbörda dubbla utbyggnadsvattenföringen. (Kostnader och utskovskapacitet redovisas i bilaga 6 och 7) Gemensamt för bägge lösningarna är att inkomstökningen är relativt liten i förhållande till kostnaderna, och att outnyttjad fallhöjd i Baljefors kommer att utnyttjas. Denna förlust av fallhöjd är ur samhällsekonomiskt perspektiv ej försvarbar, då Baljefors har en potentiell utbyggnadsmöjlighet.

Alternativ_2: Dammen bibehålles i befintligt skick, med smärre åtgärder för eventuell minimitappning.

Dagens elpriser i kombination med ovan nämnda faktorer gör att alternativ 1 förkastas.

5.2 Utvärdering av stationsläge

Två skilda stationslägen har utvärderats. Stationen kan förläggas i ravinen nordost om det nuvarande läget (se fig.1 sid 4). Förde-
lar med detta förslag är framförallt miljömässiga, då stationen blir dold från omgivande bebyggelse. Alternativt kan man behålla dagens lokalisering. Kostnadsberäkning genomförs för bägge alternativen.

5.3 Utvärdering av utbyggnadsvattenföring

Analys har skett av tre olika vattenföringar. En vattenföring på 7 m³/s och 8 m³/s medför ingen större skillnad på anläggningskostnaden då samma maskinutrustning (enligt VAST) samt största standardtillverkade tilloppstub användes. 9 m³/s kräver en större specialtillverkad tilloppstub. 9 m³/s medför även en större turbindimension.

Slutsatsen av analysen innebär att vi senare endast betraktar en utbyggnadsvattenföring på 8 m³/s.

6. TEKNISKA LÖSNINGAR

I detta kapitel beskrivs utförande av de olika kraftverksdelarna samt erforderliga arbeten. Först behandlas lokaliseringsalternativ A (ravinen), och därefter B (nuvarande läget).

6.1.A Dammen

Vissa lokala skador har konstaterats och bör åtgärdas. Vid en ökning av utbyggnadsvattenföringen till 8 m³/s, kommer en viss minimitappning i åfåran med stor säkerhet att erfordras. I syfte att uppnå denna minimitappning monteras en spettlucka.

6.2.A Kanalintag

Kanalintaget bibehålles oförändrat de första 15 m, för att helt slippa kostnaderna för en ny bilbro. En nya risgrind placeras på samma ställe som den gamla. Galleravståndet bestäms efter beslut av vattendomstolen. De ursprungliga grindfundamenten och gångbron behålles. För avstängning av kanalen används sätтар med mellanliggande vertikalt ingjuten HEA-balk, på lämpligt avstånd från bilbron. Efter avstängningsanordningen vidgas kanalen till sin fulla bredd (se fig.7). Hastigheten i den trängre sektionen kommer ej att överskrida 1 m/s. Vi förutsätter att iskravning ej kommer att uppstå.

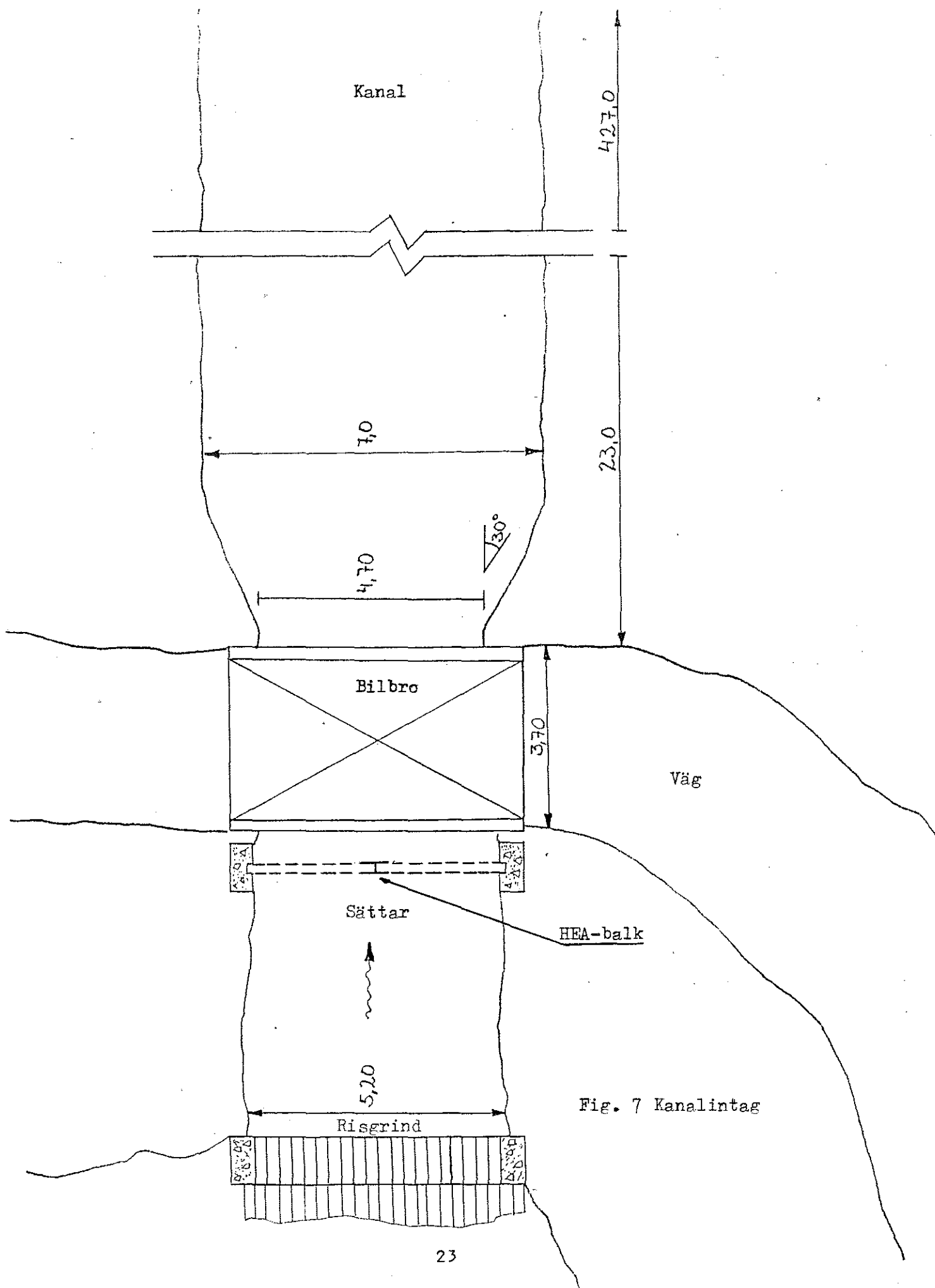


Fig. 7 Kanalintag

6.3.A Kanalen

Tilloppskanalen byggs ut med större tvärsnittsarea för att klara den ökade utbyggnadsvattenföringen på 8 m³/s. Kanalen bör ha en nyttig area på 14 m², fördelad på 7 m medelbredd och 2 m vattendjup. Kanalarean är beräknad m.a.p erosion. Då kanalen är grävd i kohesionsmaterial bör hastigheten enligt Crow ej överstiga 0,6 m/s. Vid beräkningen har hänsyn även tagits till isbildning, då ett istäcke ger jämt flöde samt minskar problem med issörja.

Ett vanligt problem i kanalsammanhang är skador, orsakade av den islyftning som sker på våren innan tjälen har släppt. Några uppgifter som tyder på att detta problem har uppstått eller kommer att uppstå i Främmostad, går ej att finna.

Vid utgrävningen av kanalen erhålles stora massor jordschakt. Massorna kan, med markägarens godkännande, utläggas på åkern strax uppströms bron. Matjorden måste först skrapas av, för att efter genomförandet åter kunna planeras ut. Markägaren skulle vinna brukbar åkermark, då åkern idag sluttar ned mot Nossan och delvis översvämmas vid högvattenföring.

Erosionsskydd måste utläggas eftersom hastigheten tangerar den för kohesionsmaterial kritiska gränsen. Erosionsskyddet blir också en säkerhetsfaktor mot de erosionsskador som kan uppstå genom kanalvågor vid snabba flödesförändringar.

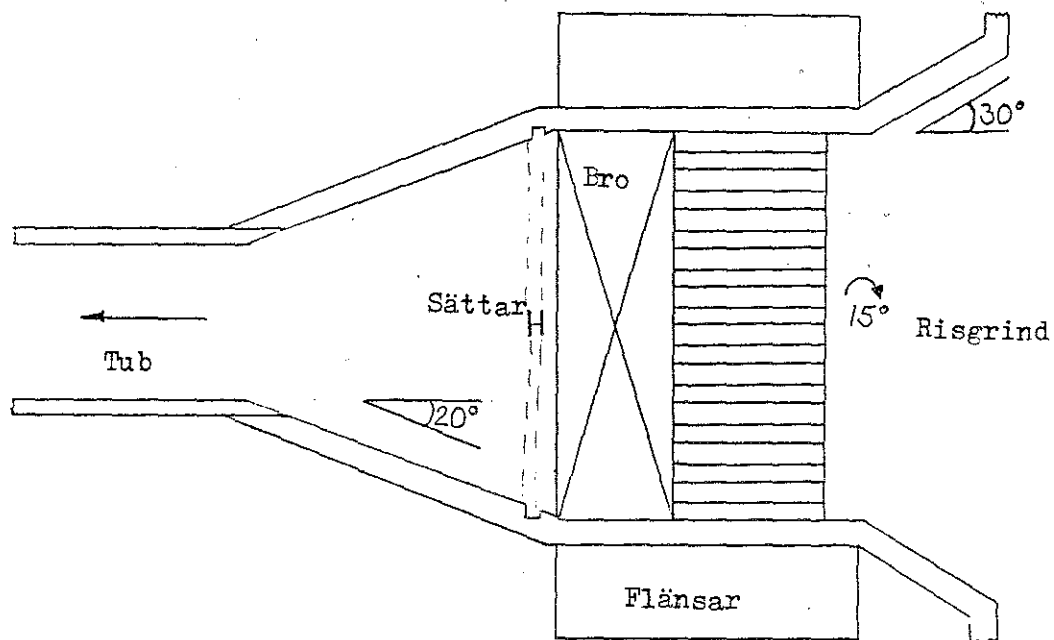
En permanent väg anlägges längs den östra kanalsidan, med en vändplats förlagd vid det nya tubintaget. Vägens syfte är att underlätta drift och underhåll av kanal och tubintag.

6.4.A Tubintag

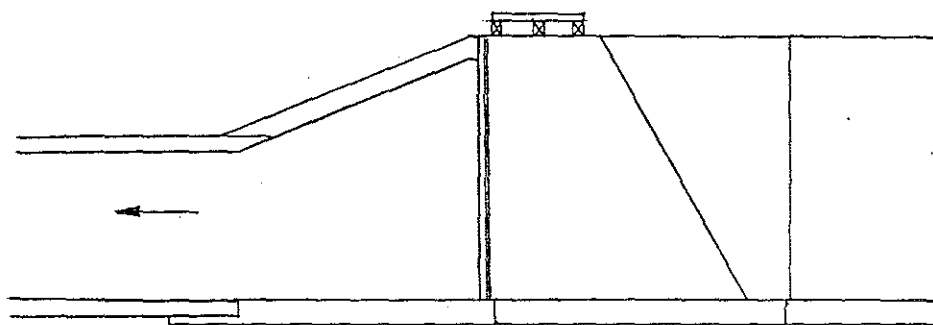
Det nya tubintaget förlägges i kanalens längdriktning och utformas som en helgjuten betongkonstruktion med flänsar i underkant (se fig. 8). Flänsarna överlastas med jord, för att öka säkerheten mot stabilitetsproblem. Den gamla tuböppningen igensättes med betong, och intagsrännan fylls upp med de schacktmassor som bildas vid byggandet av det nya tubintaget. Efter färdigställandet anslutes intaget mot den befintliga betongmuren. Avstängningsanordningen utformas med falsar och en i mitten placerad HEA-balk, för sättrar av samma typ som vid kanalintaget. Intaget förses med en 90 cm bred gångbro från vilken det automatiska intagsgallret kan nås för översyn.

6.5.A Tilloppstuben

Tilloppstuben dras ned i ravinen öster om nuvarande stationsläget. I ravinen genomförs ett omfattande röjnings och schacktningsarbete. Schacktmassorna lägges lämpligen i den gamla intagsrännan alternativt avloppskanalen. En tillfällig transportväg anlägges i ravinen, för installation av tuben med grävmaskin (se fig. 9). Tilloppstuben mäter 85 m, och tillverkas av spännbetong (typ Sentab). Rörets innerdiameter är 2000 mm, och levereras i enheter på 5 m vägande 12 ton. Röret lägges på en bädd av sand och grus, och stabiliseras med material taget från ravinens slänter.



Plan



Sektion

Fig.8 Intag i plan och sektion

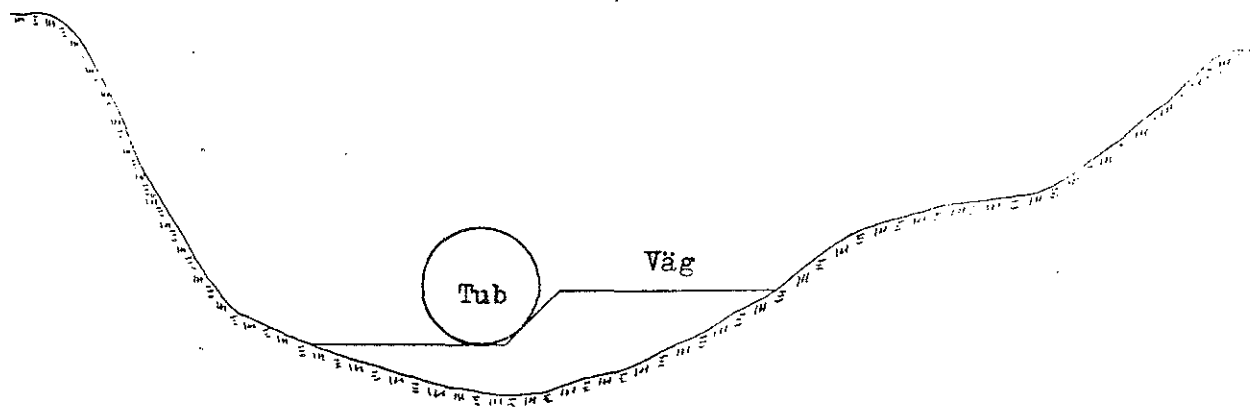


Fig.9 Sektion av ravin och väg

6.6.A Stationsbyggnaden

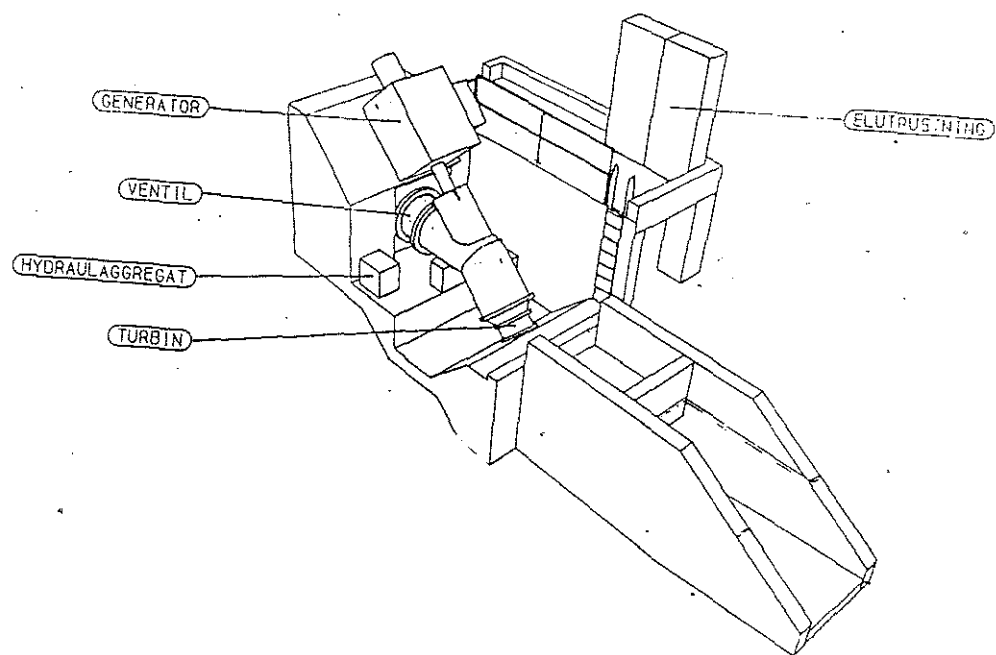
Stationsbyggnaden anlägges direkt på det rensade berget. Stationsgolvet bör ligga på plushöjden 58,90 m.ö.h, för att undvika kostsamma översvämningsskador. Ovan angivna höjd är beräknad utgående från gamla stationens golvnivå, och historiska uppgifter om översvämningar givna av lokal driftspersonal. Efter erforderlig sprängning utföres underbyggnad och sugrör i armerad betong. Topografin medger att sugröret mynnar direkt i Åfåran (underbyggnad och sugrör visas i fig. 10).

Fasaden muras i lättklinker av ljudtekniska skäl. Fasaden och taket kläs sedan med korrugerad stålplåt. Byggnaden förses med fönster, räcken, ventilation, belysning och två stycken brandklässade dörrar. Av säkerhetsskäl fungerar den ena dörren som nödutgång. Risken för överslag i ställverket medför att en tryckventil monteras (Principskiss överbyggnad se fig. 11). En taklucka installeras för eventuellt montage av maskinutrustning.

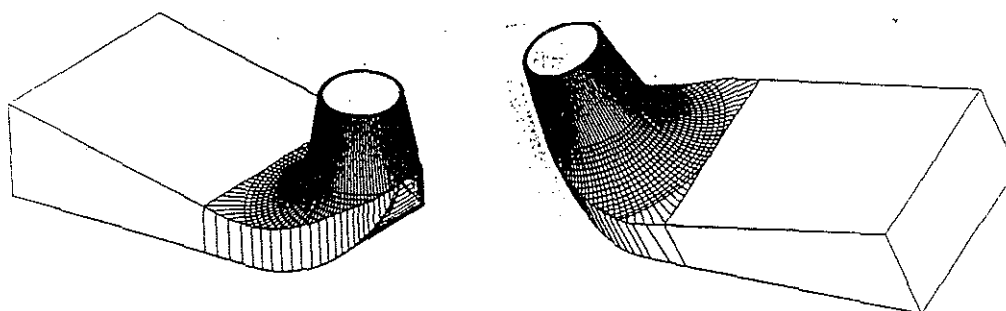
En uppställningsplats med tillfartsväg anlägges vid den nya stationen. Vägen ansluter till den nuvarande vid gamla kraftstationen.

6.7.A Maskin och elutrustning

En fullkaplan turbin väljes lämpligen. Denna turbintyp är att föredra, då Nossan uppvisar stora flödesvariationer. Uppställningen blir en rörturbin med 45 graders lutning mot horisontalplanet. Med den aktuella fallhöjden och vald turbin behövs ej någon växel. Avstängningsanordningen utgöres av en trottelveil. Turbinen anslutes till en asynkrongenerator. Leveransgränsen är satt till högspänningsställverkets utgående plintar (se fig.10).

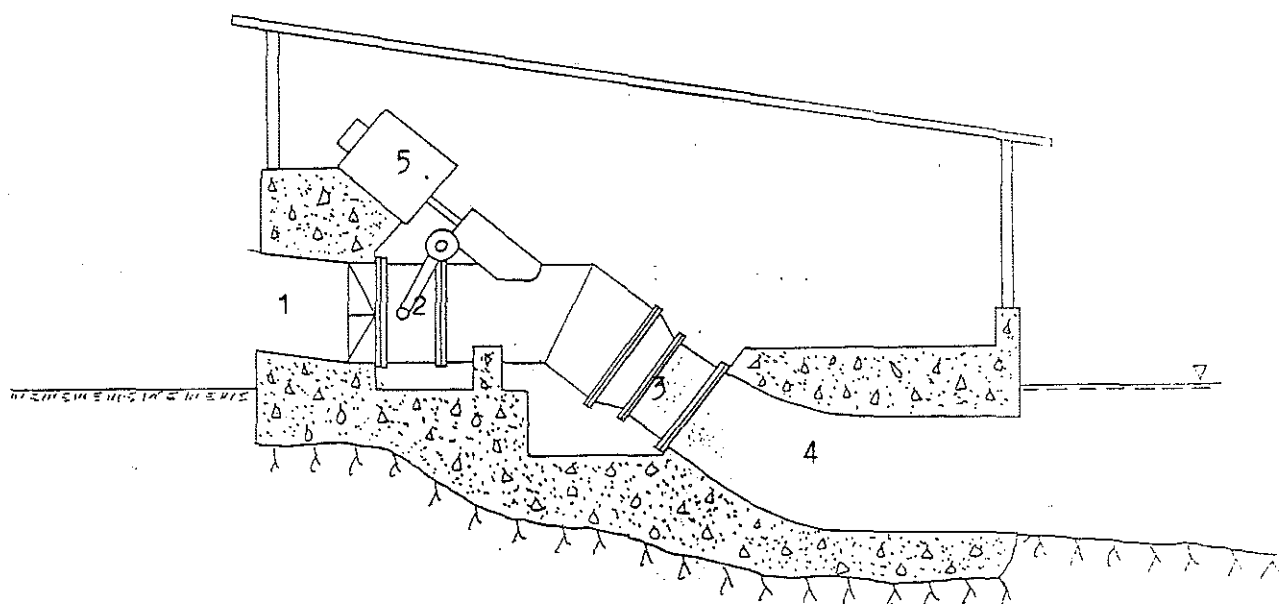


Underbyggnad



Sugrör för stationsläge B

Fig.10 Underbyggnad och sugrör



- 1. Tub
- 2. Trottelventil
- 3. Turbin
- 4. Sugrör
- 5. Generator

Fig.11 Genomskärning genom kraftstationen

6.8.A Byggnadsförlopp

Byggnationen av maskinstationen bör påbörjas i oktober-november. Montering av tuben, och gjutning av tubintaget bör vara färdigställt innan kanalarbetena påbörjas. Ovan nämnda starttid bör resultera i att kanalarbetena kan genomföras under sommarmånaderna, vilket ger ett minimalt driftsbortfall för den gamla anläggningen.

6.1.B Dammen 6.2.B Kanalintag 6.3.B Kanalen

Dammen, kanalintaget och kanalen kommer att utformas analogt med lösningarna i fall A.

6.4.B Tubintag

Tubintaget förlägges till början av gamla intagsrännan (se fig. 12). Utformningen av intaget blir analog med den i alternativ A.

6.5.B Tilloppstub

Den gamla tilloppstuben monteras ned från sina fundament, och det gamla tubintaget rivs. Den nya tuben består inledningsvis av 10 m betongrör, av samma typ som de i fall A. Betongtuben nedlägges i botten på gamla intagsrännan och överlagras med jord. De gamla fundamenten förstärks och vaggorna byggs om. En ny ståltub monteras nerifrån och vinchas upp för att slutligen anslutas till betongtuben. Produktionsmetoden medför att fundamenten måste sidostabiliseras mot horisontalkrafter. Ståltuben har en längd av 38 m och en lutning på 13 grader mot horisontalplanet. Rören har en innerdiameter på 2000 mm, och levereras i 5 meterslängder. Varje rörenhet väger cirka 1,5 ton.

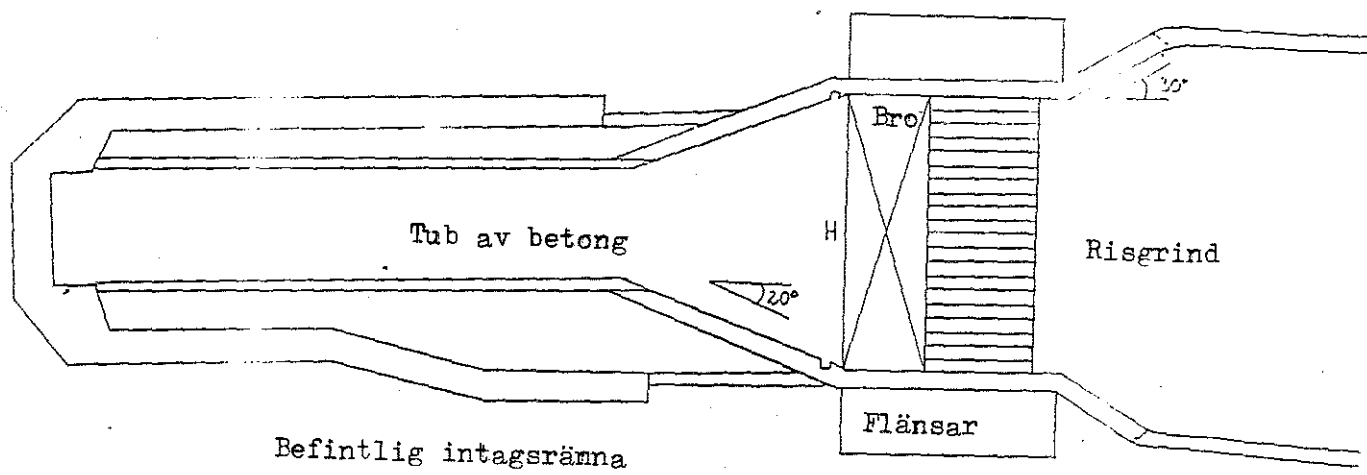
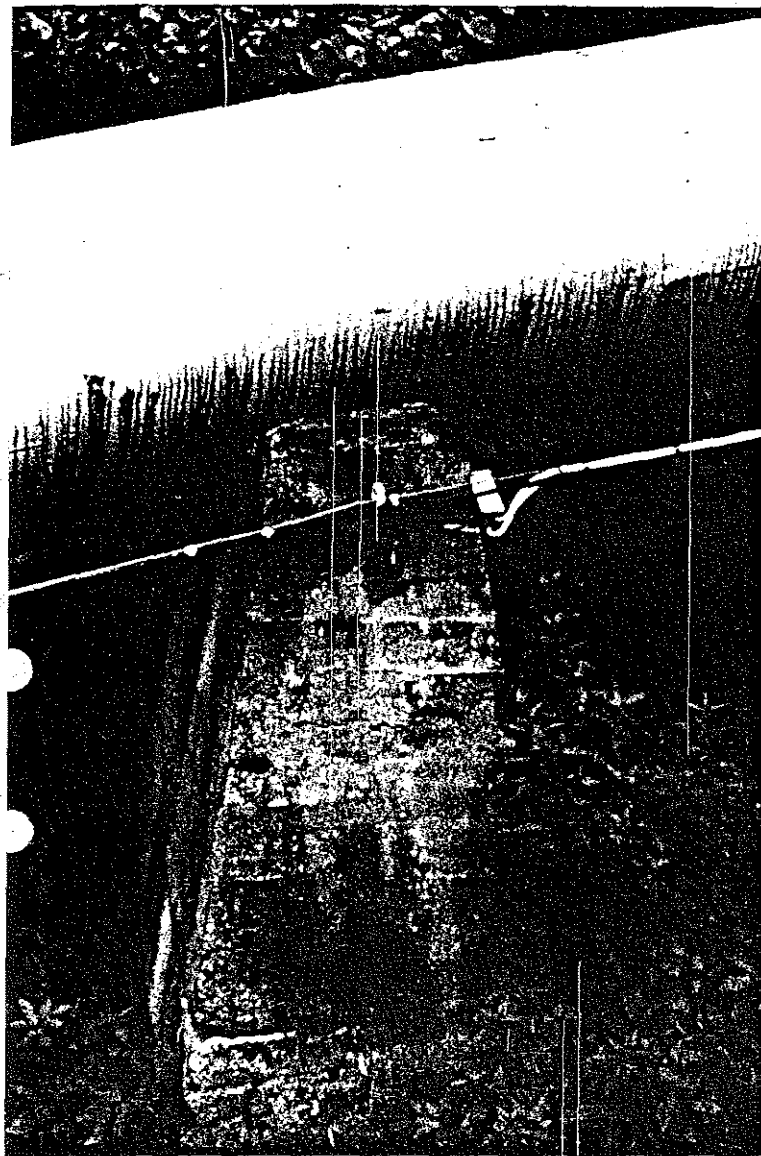
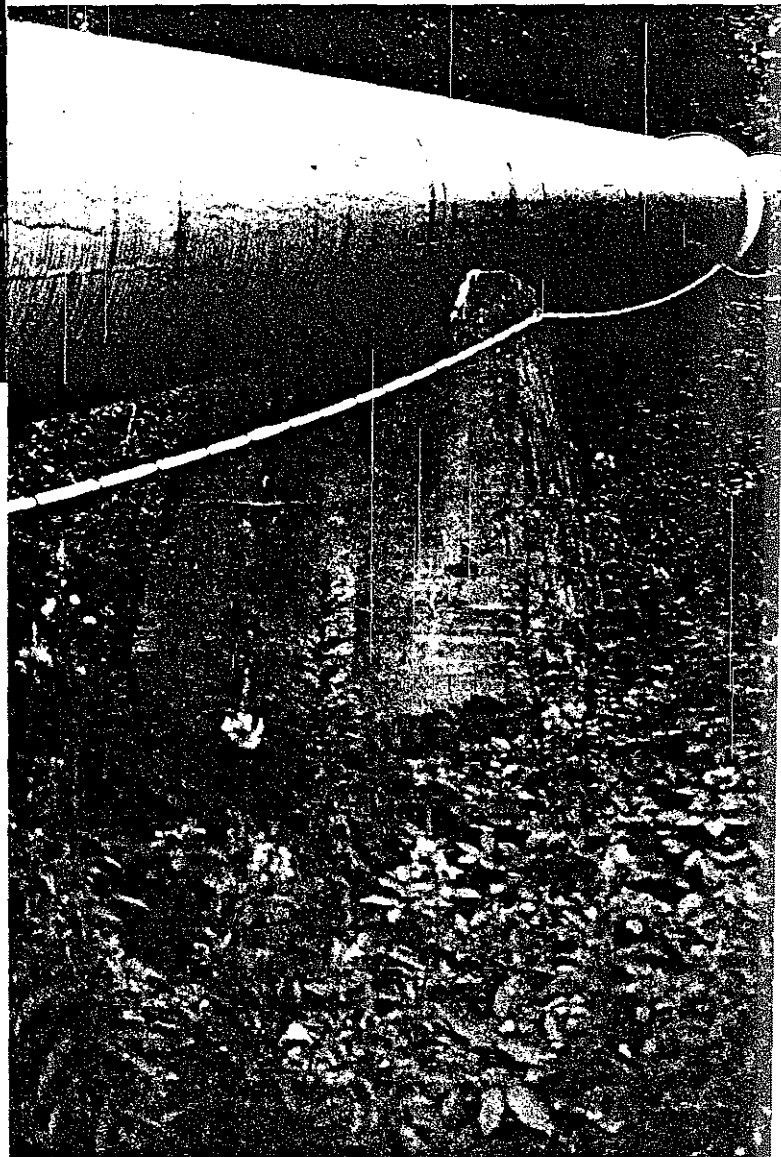


Fig. 12 Planskiss intag



Bilder visande betong-
fundament och vaggor.



6.6.B Maskinstation

Den gamla stationsbyggnaden rivs, och materialet fraktas till tipp. Efter rensning anlägges maskinstationen på berg. Golvet lägges på nivån 58,90 m.ö.h. Fasaden uppföres i lättklinker. Fasad och tak kläs med korrugerad stålplåt. För övrig utrustning gäller samma som i fall A. (Principskiss maskinstation se figur 13).

6.7.B Maskin och elutrustning

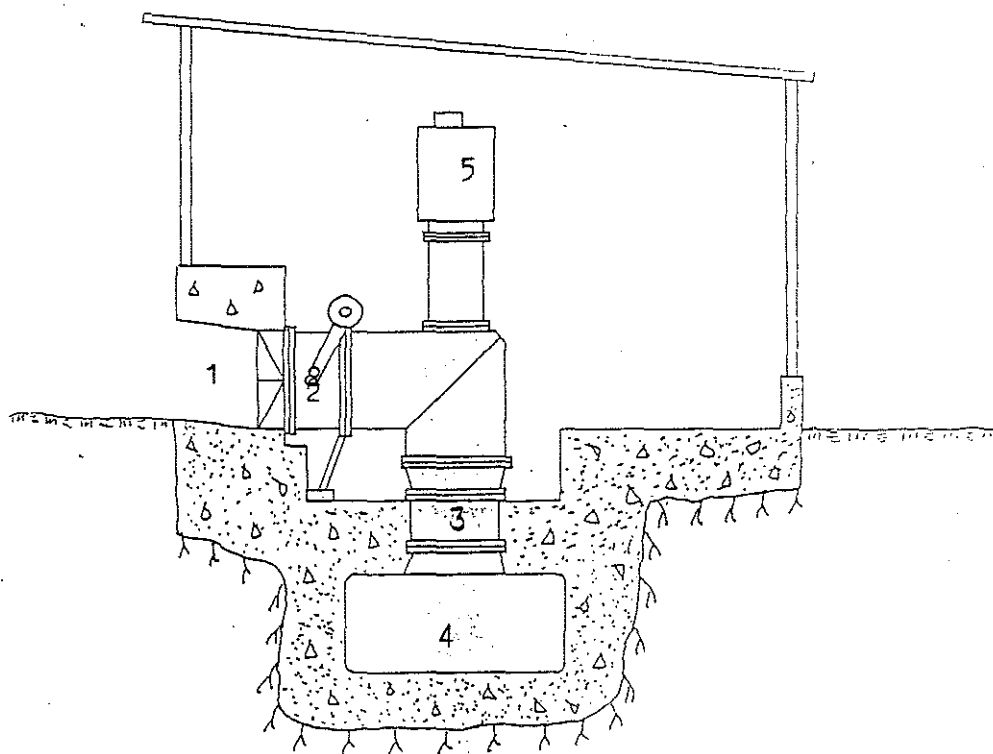
En fullkaplan turbin väljes. Uppställningen blir av typen vertikal snäckturbin. Turbinen installeras med trottelveil, men utan väx-
el. Turbinen anslutes till en asynkrongenerator. Leveransgränsen är satt till högspänningsställverkets utgående plintar.

6.8.B Avloppskanal

Den befintliga avloppskanalen används även efter nybyggnationen. Aktuell åtgärd blir en rensning av kanalen, i syfte att förbättra strömningsförhållandena.

6.9.B Byggnadsförlopp

Byggnationen av maskinstationen bör påbörjas i februari-mars, denna starttid bör ge en minimal kostnad på produktionsbortfallet. Flera aktiviteter kommer att drivas parallellt för att minska produktions tiden. Kanalarbetena utföres lämpligen under sommartid, av materialtekniska skäl.



1. Tub
2. Trottleventil
3. Turbin
4. Sugrör
5. Generator

Fig.13 Principskiss maskinstation

7. EKONOMISK UTVARDERING

7.1 Produktionsbedömning

7.1.1 Stationsläge A (Ravinen)

Fallförluster vid utbyggnadsvattenföring:

Kanalintaget $h=0.013$ m

Kanal $h=0.098$ m

Tubintag $h=0.016$ m

Tilloopstub $h=0.192$ m

Sugrör $h=0.025$ m

Totala fallförluster $\underline{h=0.34}$ m

Fallförluster vid nyttig medelvattenföring:

(Medelvattenföring genom turbinen vid drift.)

Nyttig medelvattenföring $=6.1$ m³/s

Totala fallförluster $\underline{h=0.20}$ m

Nettofallhöjd vid utbyggnadsvattenföring:

$68.33-56.05-0.34=\underline{11.93}$ m

Nettofallhöjd vid nyttig medelvattenföring:

$68.33-56.05-0.20=\underline{12.07}$ m

Utbyggd effekt:

$0.82 \cdot 1000 \cdot 9.81 \cdot 11.93 \cdot 8 = \underline{769}$ kW

Energiproduktion:

En drifttid motsvarande 5688 tim, ger en årsproduktion på 3.05 GWh

7.1.2 Stationsläge B (Gamla stationsläget)

Fallförluster vid utbyggnadsvattenföring:

Kanalintag $h=0.013$ m

Kanalen $h=0.098$ m

Tubintag $h=0.016$ m

Tilloopstub $h=0.085$ m

Sugrör $h=0.020$ m

Avloppskanal $h=0.042$ m

Totala fallförluster $\underline{h=0.27$ m

Fallförluster nyttig medelvattenföring:

Nyttig medelvattenföring= 6.1 m³/s

Totala fallförluster $\underline{h=0.16}$ m

Nettofallhöjd vid utbyggnadsvattenföring:

$68.33-56.10-0.27=\underline{11.96}$ m

Nettofallhöjd vid nyttig medelvattenföring:

$68.33-56.10-0.16=\underline{12.07}$ m

Utbyggd effekt:

$0.82*1000*9.81*11.96*8=\underline{771}$ kW

Energiproduktion:

En drifttid motsvarande 5688 tim, ger en årsproduktion på 3.04 GWh

Vid beräkningen av de olika fallhöjderna har hänsyn ej tagits till uppströms dämning.

7.2 Kostnadsberäkning

7.2.1 Sammanställning av kostnader för stationsläge A

<u>Definition</u>	<u>Mängd</u>	<u>å-pris</u>	<u>Kostnader</u>
<u>Damm</u>			
Fångdamm	40 m3	70	2800
Betong	2 m3	7000	14000
Spettlucka	1 st	70000	70000
			<u>Summa 86800</u>

Kanal och kanalintag

Fångdamm	60 m3	70	4200
Risgrind	15 m2	2500	37500
Betong	3 m3	3500	10500
Jordschakt	2900 m3	50	145000
Aterställningsarbete åker			30000
Produktionsbortfall åker			20000
Bergschakt	160 m3	250	40000
Erosionsskydd	900 m	55	50000
Väg + vändplats	450 m	250	112500
Injektering			20000
			<u>Summa 469700</u>

Definition	Mängd	å-pris	Kostnader
------------	-------	--------	-----------

Tubintag

Igensättning gamla intaget	9 m3	3000	27000
Jordschakt	450 m3	50	22500
Betong	41 m3	3500	143500
Sättar			50000
Gångbro	1 st	15000	15000
Rensgaller	16 m2	3000	48000
Automatisk rensare	1 st	250000	250000
Aterställningsarbete			10000
			<u>Summa 566000</u>

Ravin och tilloppstub

Rensning av vegetation			20000
Jordschakt	160 m3	50	8000
Rörbädd	630 m3	70	44100
Utläggning rör	90 m	500	45000
Aterfyllning			15000
Spetsrör	1 st	18000	18000
Ingjutningsmuffar	2 st	11000	22000
Betongrör	85 m	2900	246500
Aterställningsarbete			30000
			<u>Summa 448600</u>

Definition	Mängd	å-pris	Kostnader
------------	-------	--------	-----------

Stationsbyggnad

Fångdamm	250 m3	70	17500
Bergsschakt	130 m3	250	32500
Betong sugrör	15 m3	10000	150000
Betong underbyggnad	100 m3	3500	350000
Väggar	84 m2	250	21000
Tak	68 m2	350	23800
Dörrar och fönster			20000
Ventilation och räcken			20000
El och belysning			30000
Uppställningsplats			50000
Tillfartsväg	100 m	250	25000
Aterställningsarbete			10000
			<u>Summa 749800</u>

TOTALA BYGGKOSTNADER

SUMMA 2318100

Maskin och elutrustning

Turbin	1 st	1500000	1500000
Elutrustning			750000
			<u>Summa 2250000</u>

<u>Definition</u>	<u>Kostnader</u>
-------------------	------------------

Övriga kostnader

Tilläggsarbeten (10 % av totala byggnadskostnader)	231800
Oförutsedda utgifter (5 % av maskinkostnader)	112500
Etablering och avetablering	70000
Entreprenörarvode (7 % av anläggningskostnaden)	320000
Konsultkostnader	300000
Produktionsbortfall	45000
Vattendom	100000

TOTALKOSTNAD FÖRE RANTA	<u>SUMMA 5747400</u>
-------------------------	----------------------

Räntekostnad under byggtid

$12\% * (5747400/2) * (10/12)$	287400
--------------------------------	--------

<u>Nätanslutning</u>	100000
----------------------	--------

TOTAL ANLAGGNINGSKOSTNAD	<u>SUMMA 6134800</u>
--------------------------	----------------------

7.2.2 Sammanställning av kostnader för stationsläge B

<u>Definition</u>	<u>Mängd</u>	<u>å-pris</u>	<u>Kostnader</u>
<u>Damm</u>			
Fångdamm	40 m3	70	2800
Betong	2 m3	7000	14000
Spettlucka	1 st	70000	70000
			<u>Summa 86800</u>

Kanal och kanalintag

Fångdamm	60 m3	70	4200
Risgrind	15 m2	2500	37500
Betong	3 m3	3500	10500
Jordschakt	2900 m3	50	145000
Aterställningsarbete åker			30000
Produktionsbortfall åker			20000
Bergsschakt	160 m3	250	40000
Erosionsskydd	900 m	55	50000
Väg + vändplats	450 m	250	112500
Injektering			20000
			<u>Summa 469700</u>

Definition	Mängd	å-pris	Kostnader
------------	-------	--------	-----------

Tubintag

Jordschakt	50 m3	50	2500
Betong	41 m3	3500	143500
Sättar			50000
Gångbro	1 st	15000	15000
Rensgaller	16 m2	3000	48000
Automatisk rensare	1 st	250000	250000
Aterställningsarbete			10000
			<u>Summa 519000</u>

Tilloppstub

Nedmontering av gamla tuben			30000
Renovering av plintar	5 st	10000	50000
Spetsrör	1 st	18000	18000
Ingjutningsmuff	1 st	11000	11000
Betongrör	10 m	2900	29000
Ståltub	38 m	5150	195700
Tubmontering	38 m	1500	57000
Aterställningsarbete			10000
			<u>Summa 400700</u>

<u>Definition</u>	<u>Mängd</u>	<u>å-pris</u>	<u>Kostnader</u>
-------------------	--------------	---------------	------------------

Stationsbyggnad

Rivning av gamla maskinstation			170000
Fångdamm	60 m3	70	4200
Bergschakt	20 m3	250	5000
Underbyggnad och sugrör	150 m3	4000	600000
Väggar	84 m2	250	21000
Tak	68 m2	350	23800
Dörrar och fönster			20000
Ventilation och räcken			20000
El och belysning			30000
Aterställningsarbeten			20000
			<u>Summa 914000</u>

Avloppskanalen

Rensning			30000
----------	--	--	-------

TOTALA BYGGKOSTNADER			<u>Summa 2417400</u>
----------------------	--	--	----------------------

Maskin och elutrustning

Turbin	1 st	1500000	1500000
Elutrustning			750000
			<u>Summa 2250000</u>

<u>Definition</u>	<u>Kostnader</u>
-------------------	------------------

Övriga kostnader

Tilläggsarbeten (10 % av totala byggnadskostnader)	241700
Oförutsedda utgifter (5 % av maskinkostnader)	112500
Etablering och avetablering	70000
Entreprenörarvode (7 % av anläggningskostnaden)	351500
Konsultkostnader	300000
Produktionsbortfall	121000
Vattendom	100000

TOTALKOSTNAD FÖRE RÄNTA

SUMMA 5964100

Räntekostnad under byggtid

12% * (5964100/2) * (7/12)	208700
----------------------------	--------

Nätanslutning

100000

TOTAL ANLÄGGNINGSKOSTNAD

SUMMA 6272800

7.3 Specifik anläggningskostnad och första årsintäkt

Specifik anläggningskostnad definieras som total anläggningskostnad i förhållande till anläggningens årsproduktion av energi.

Specifik anläggningskostnad läge A :

$$6134800 \text{ kr} / 3.05 \text{ GWh} = 2.01 \text{ kr/kWh, år}$$

Specifik anläggningskostnad läge B :

$$6272800 \text{ kr} / 3.04 \text{ GWh} = 2.06 \text{ kr/kWh, år}$$

Av vikt för en fortsatt ekonomisk bedömning är första årsintäkten. Värdet är beräknat på ett aktuellt genomsnittligt energipris på 13 öre/kWh. Här bör noteras att effektvärde saknas för anläggningen.

Första årsintäkt läge A :

$$3.05 \text{ GWh} \times 0.13 \text{ kr/kWh} = 396500 \text{ kr}$$

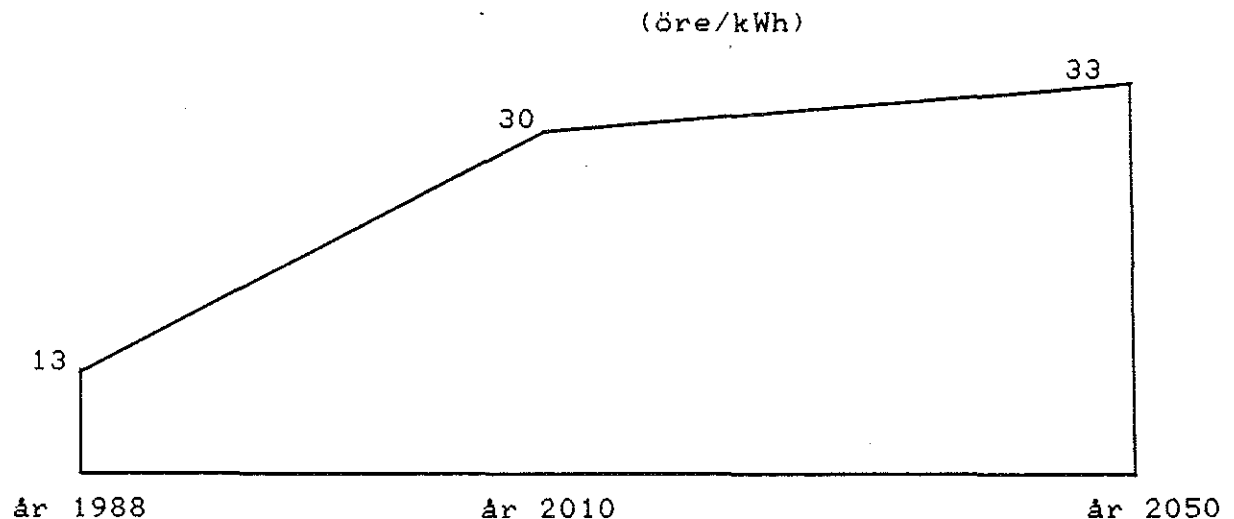
Första årsintäkt läge B :

$$3.04 \text{ GWh} \times 0.13 \text{ kr/kWh} = 395200 \text{ kr}$$

De ur ekonomisk synpunkt lika betingelserna för läge A och B, gör att den efterföljande kostnads-intäkts analysen gäller för bägge alternativen.

7.4 Kostnads-intäkts analys

Intäkterna grundar sig på en energiprisutveckling (utan hänsyn till inflation) enligt nedan.



Kapitalkostnaden är uppdelad i amorteringskostnad och räntekostnad. Lånevillkoren är satta till 12 % ränta och 30 års rak amortering. Drift och underhållskostnaderna bedöms första året till 50000 kr.

Analysen genomförs med hjälp av nuvärdesmetoden. Ett problem i samband med denna metod är att bestämma en korrekt kalkylränta. Med utgångspunkt från aktuell räntesats, en avskrivningstid på 40 år och en kontinuerlig inflation på 6 % ansätter vi en kalkylränta på 12 %. Med dessa förutsättningar erhålles årliga intäkter och kostnader för projektet enligt fig.14.

Resultatet av analysen motsvarar ett nuvärde på 2362000 kr. Denna summa omräknad med annuitetsfaktor leder till ett årligen återkommande överskott på 286500 kr.

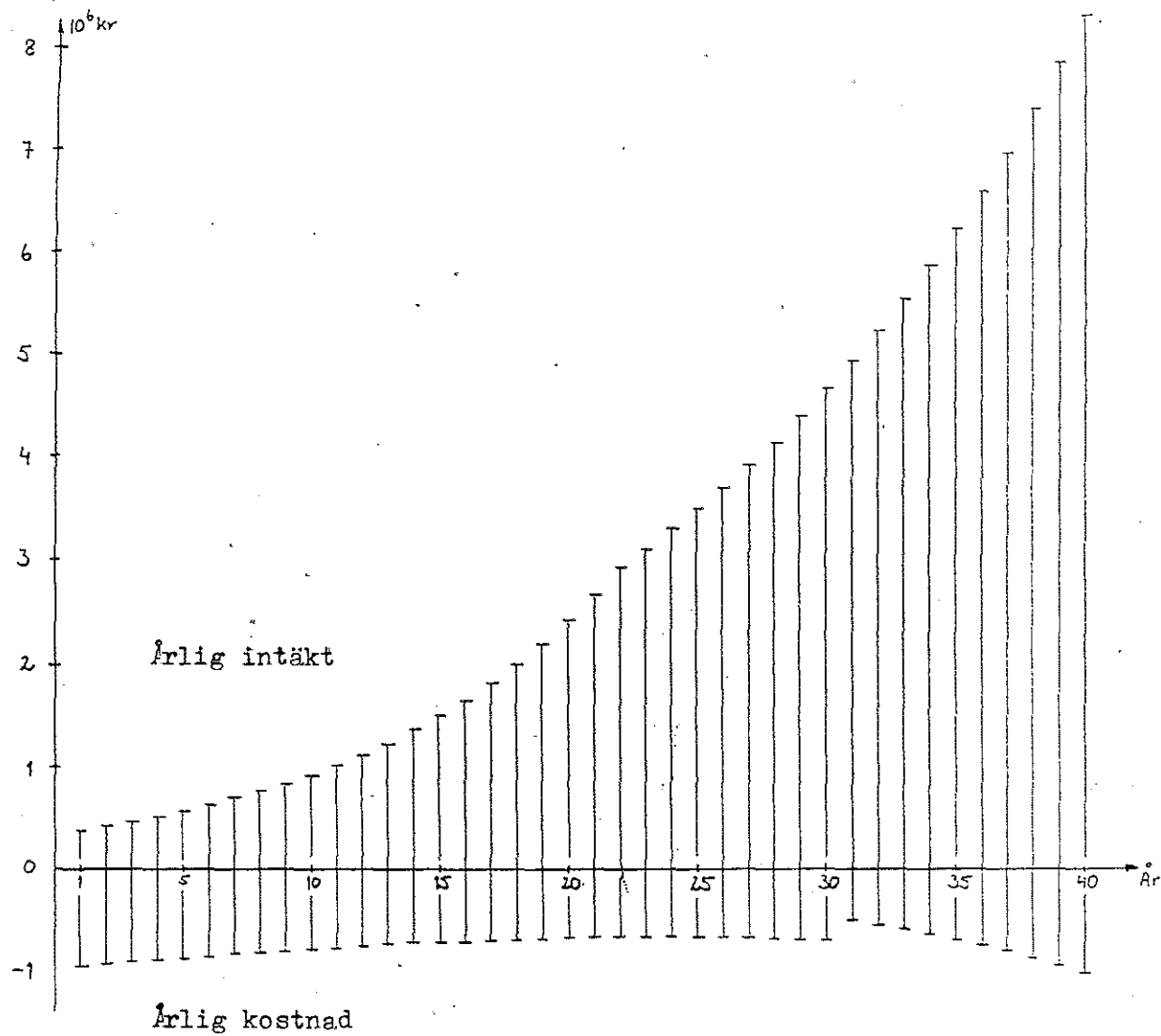


Fig.14 Kostnad-intäktsdiagram

7.5 Känslighetsanalys

Kostnadsposten drift och underhåll är känslig för kostnadsökningar utöver inflationen. Därför genomföres en känslighetsanalys. Vid analysen har kostnadsökningar på 2 respektive 4 % beaktats. Även här har nuvärdesmetoden använts. Med utgångspunkt från ovan angivna kostnadsökningar erhålles intäkter och kostnader enligt fig. 15.

Resultatet visar att skillnaden av nuvärdet över 40 år endast är 60000 kr. Detta ger att kostnadsökningar på drift och underhåll inte påverkar projektet i någon större utsträckning.

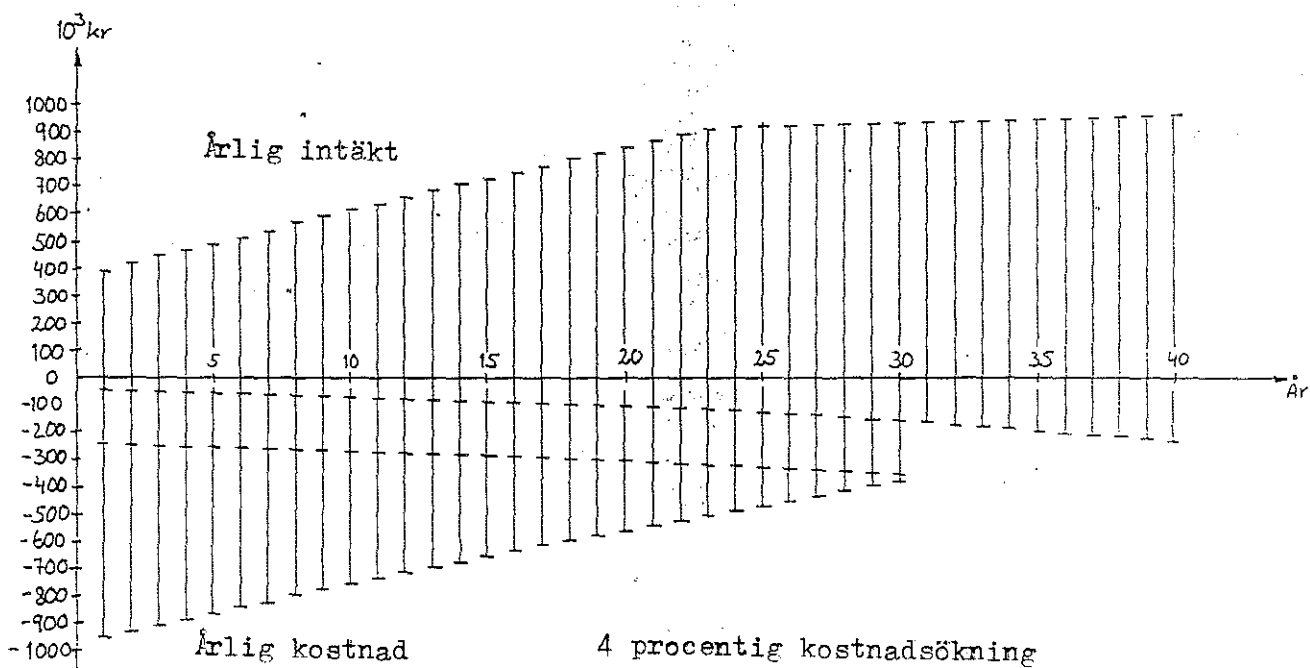
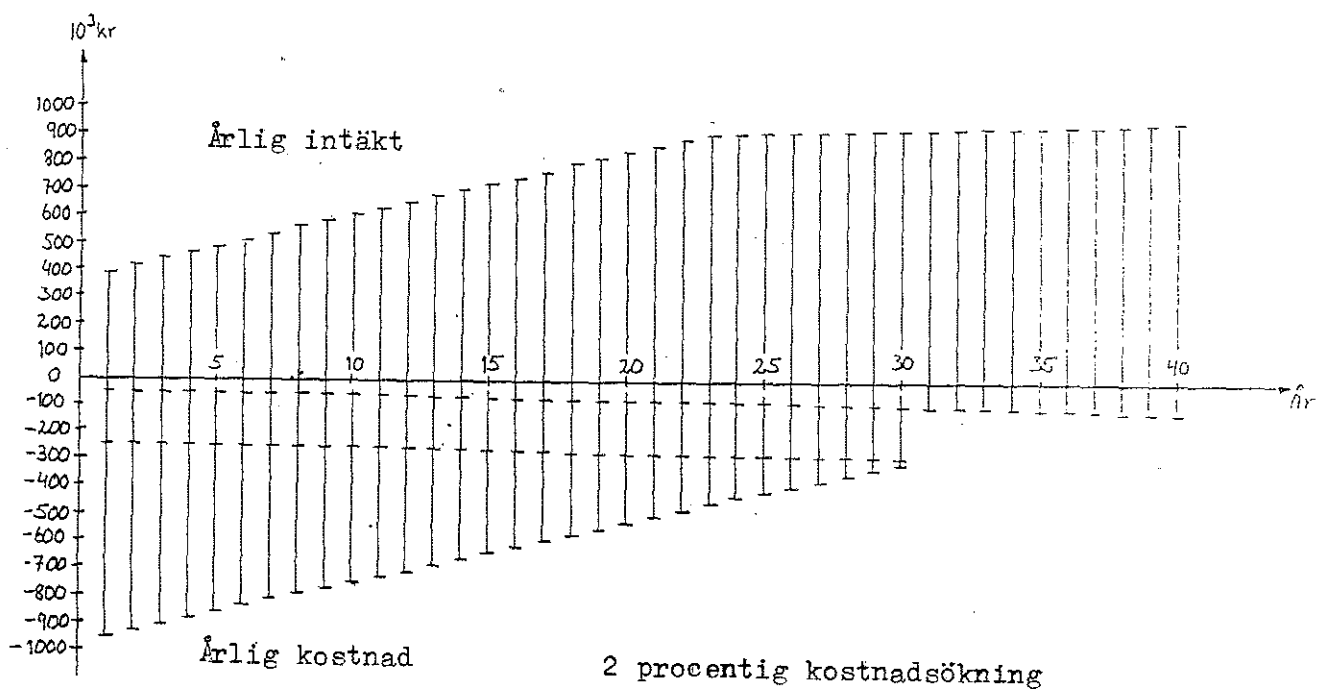


Fig.15 Känslighetsanalys

8. SLUTSATSER

Den ekonomiska analysen visar att en utbyggnad av Främmestads kraftstation är mycket intressant. En osäkerhet i analysen är den antagna inflationsutvecklingen.

Vi förordar att kraftstationen placeras i ravinen dvs läge A. Detta med motivering av de miljömässiga vinster som uppnås med denna lokalisering. Vinsten består främst i att anläggningen blir dold för omgivningen. Placeringen möjliggör ett bevarande av den gamla anläggningen som museum.

Lämplig utbyggnadsvattenföring är 8 m³/s. Denna vattenföring motsvarar cirka 1.5 gånger medelvattenföringen och överensstämmer väl med standardstorlekar på turbin och tilloppstub, samt flödets varaktighet.

En hög automatiseringsgrad är en förutsättning för att uppnå rimliga drift och underhållskostnader i framtiden.

Dygnsreglering är värt att eftersträva för en anläggning av denna typ. Detta kan på grund av topografiska och samhällsekonomiska orsaker ej uppnås i Främmestad.

REFERENSER

Tel

ABV-TEKNIK; Tomas Karlsson	031-870200
Chalmers tekniska högskola	031-721000
Byggnadsekonomi; Sten Bengtsson	
Geoteknik; Göran Sällfors	
Vattenbyggnad; Steffen Häggström	
Fiskeriintendent; Bo Essvik	036-127580
Hedpipe; Torsten Dense	0750-21120
Landsarkivet i Göteborg	
Noréns Ing-byrå; Hampus Tiberg	031-755035
Skanska prefab	
SMHI; Bertil Jansson	011-158000
Vaplan;	0640-20350
VAST; Sten Lasu	08-7900350
Vattenfall	0520-88000
Arne Lundgren	
Kjell-Ake Nilsson	
Anders Pettersson	
Eve Orvarsson	

LITTERATURFÖRTECKNING

Cedervall, Klas Larsen, Peter. Hydraulik för väg-och vattenbyggare 1976.

Gejhammar, Ulf et al. Fallet Lekvad, CTH, Inst.f.vattenbyggnad. Examensarbete 1979:2

Moberg, Göran et al. Nossan, CTH, Inst.f.vattenbyggnad. Examensarbete 1979:1

Montén Erik. Fisk och turbiner. 1985

Norrby, J.V. Vattenkraftens värde varar. 1984 (Broschyr)

SMHI:Vattenföring i Sverige. Stockholm 1980.

Statens energiverk. Vattenkraftsutbyggnad under 1980-talet. 1984:1

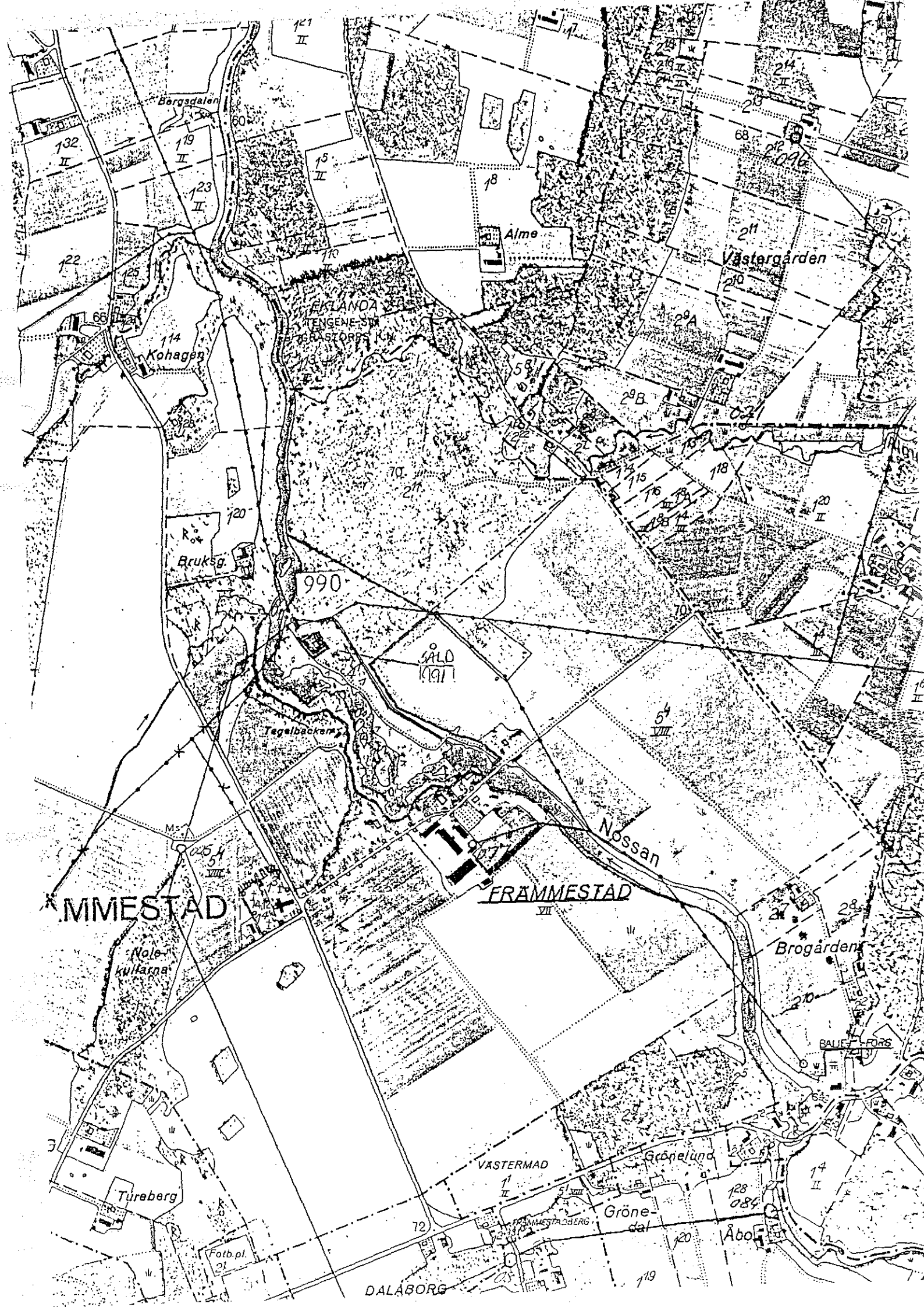
Statens energiverk. Små vattenkraftverk. 1984:4

VAST:Minikraftverk. 1980.

Bilaga 1

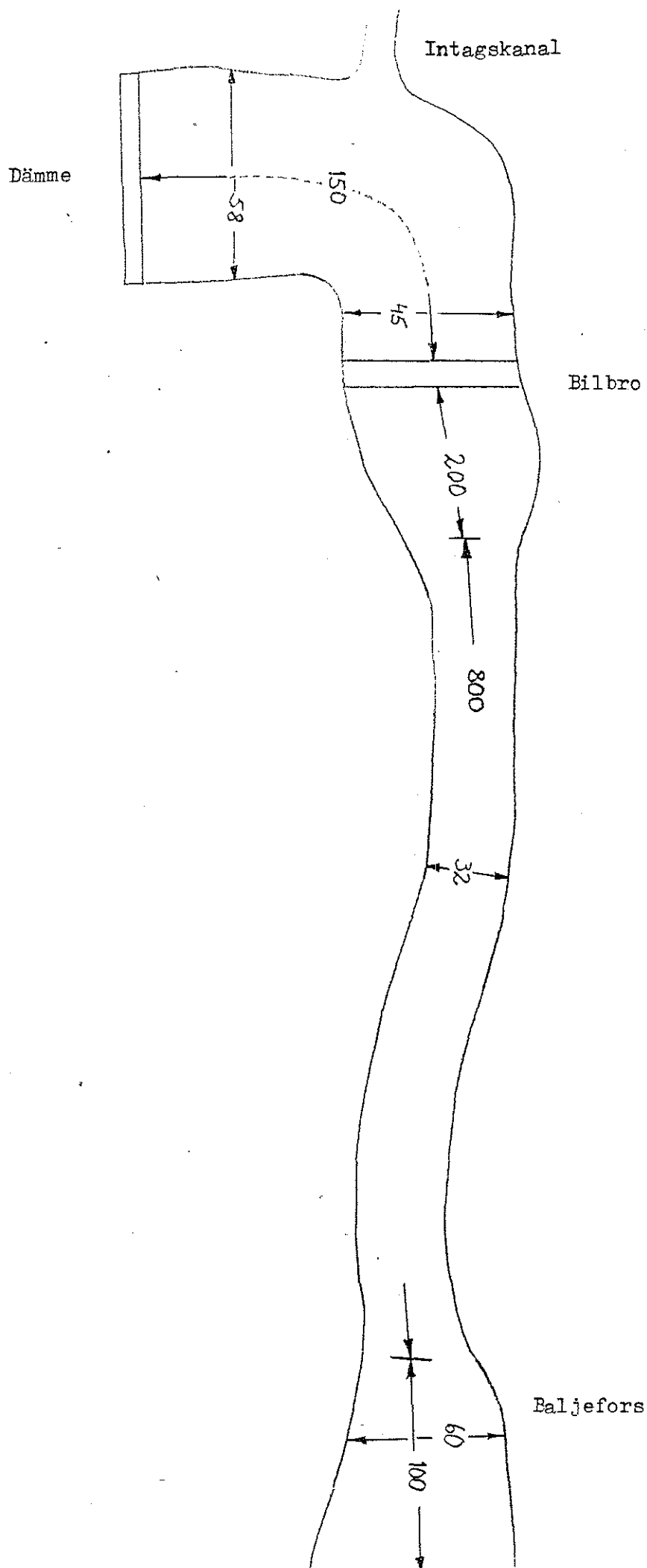
Markägarförhållanden

Ekonomisk karta 1:10 000



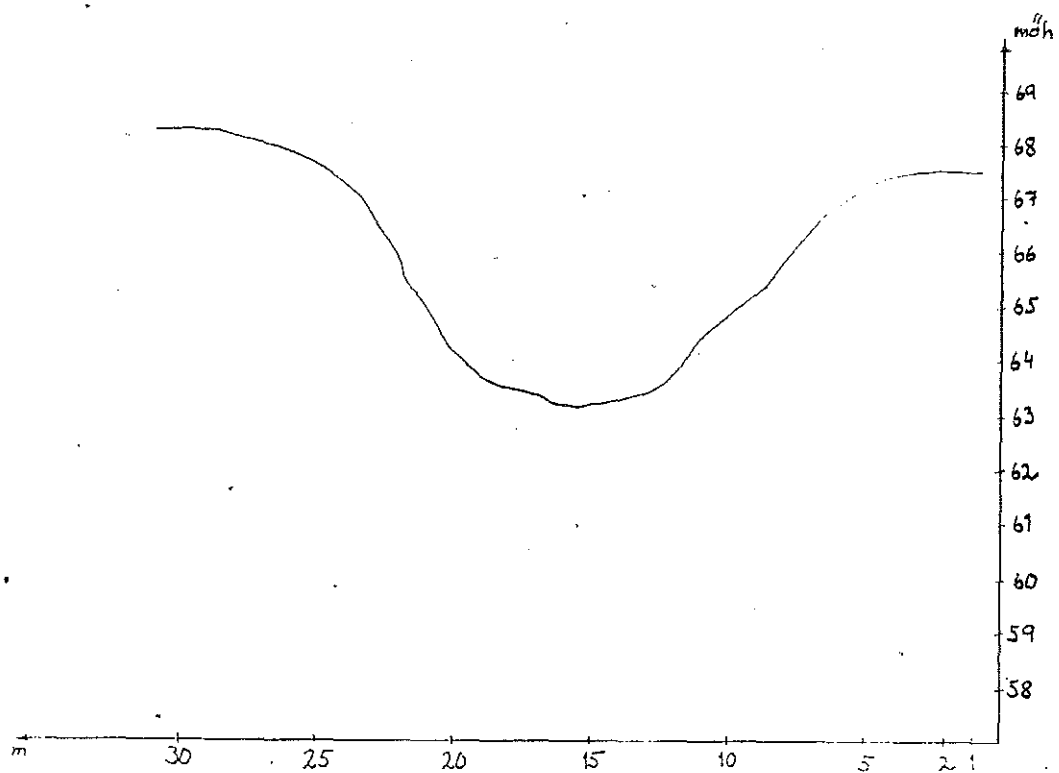
Bilaga 2

Planskiss över åfåran uppströms dämnet

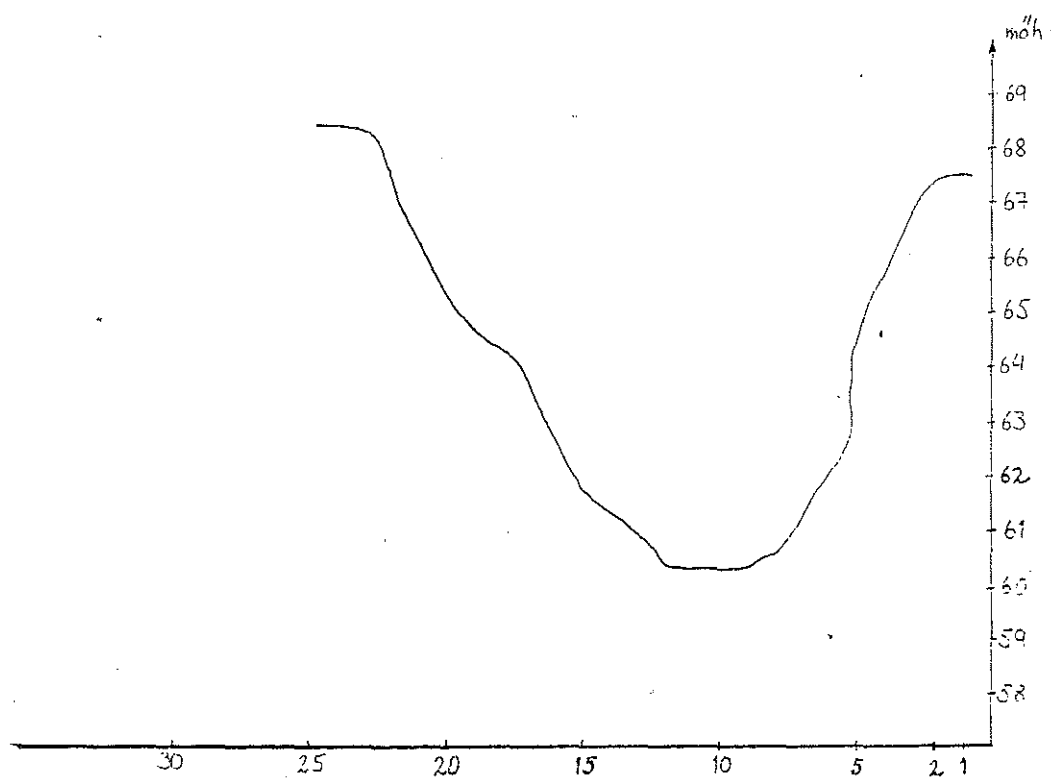


Bilaga 3

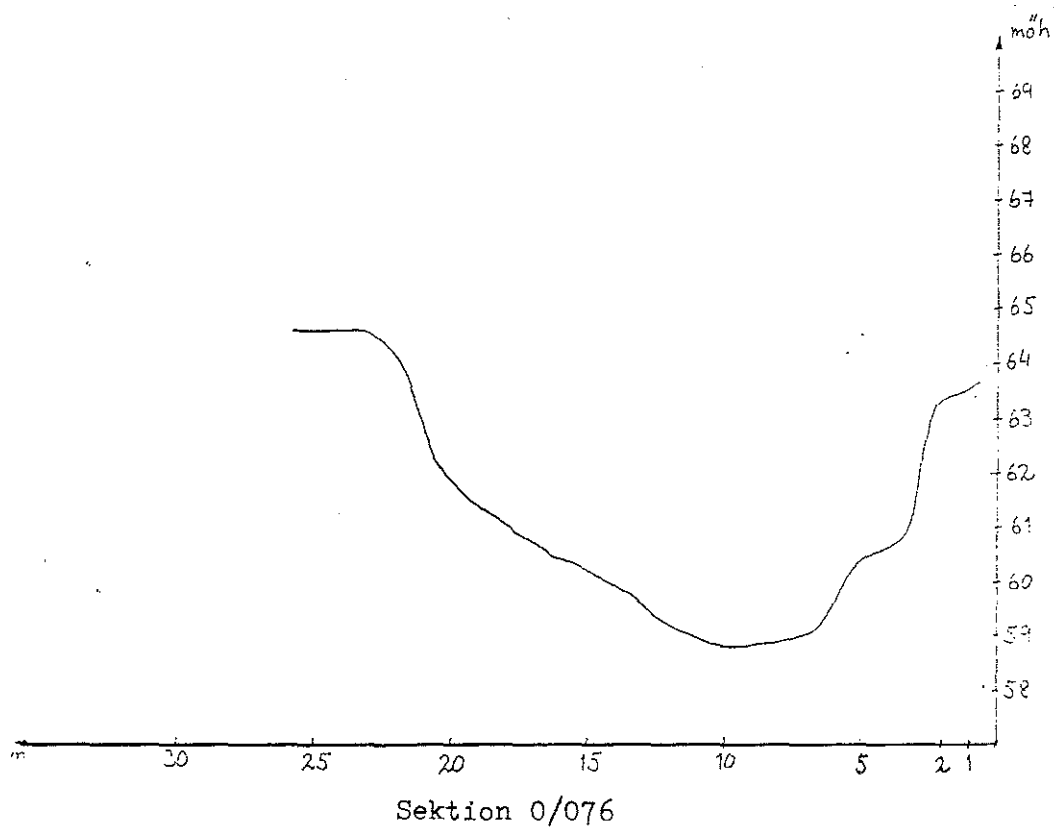
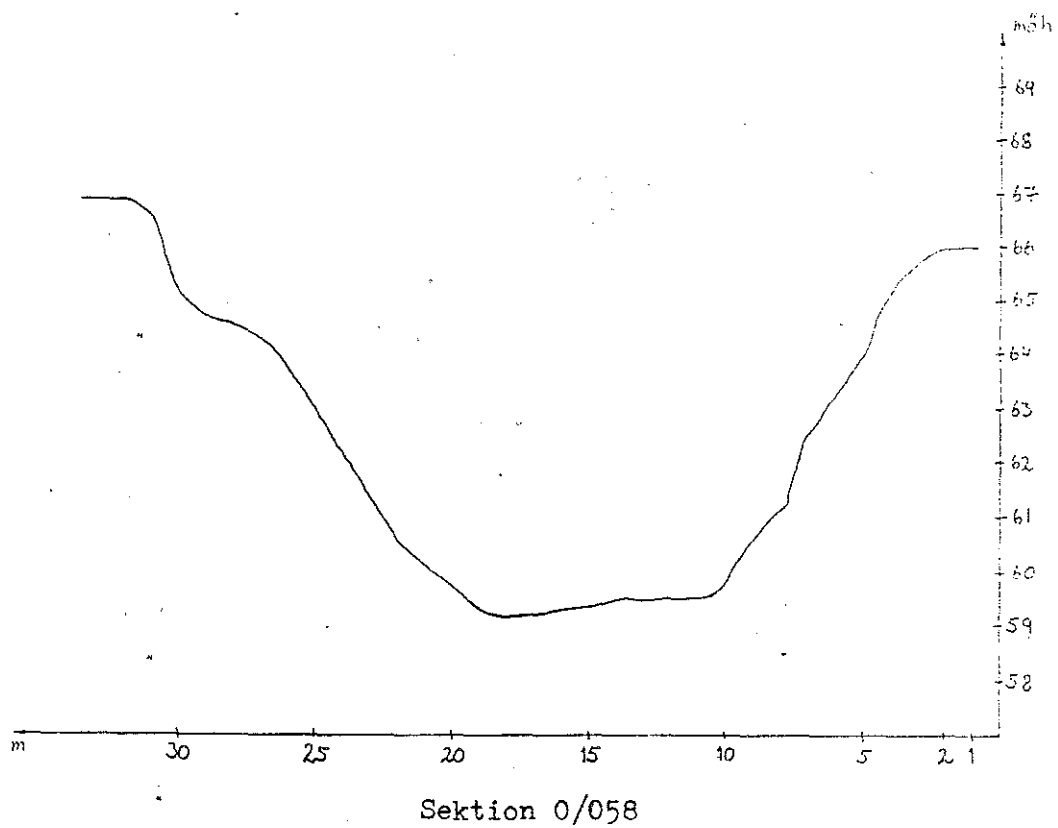
Sektion ravin	0/022
	0/040
	0/058
	0/076
Fallprofil ravin	
Fallprofil ravin	0/090-0/114

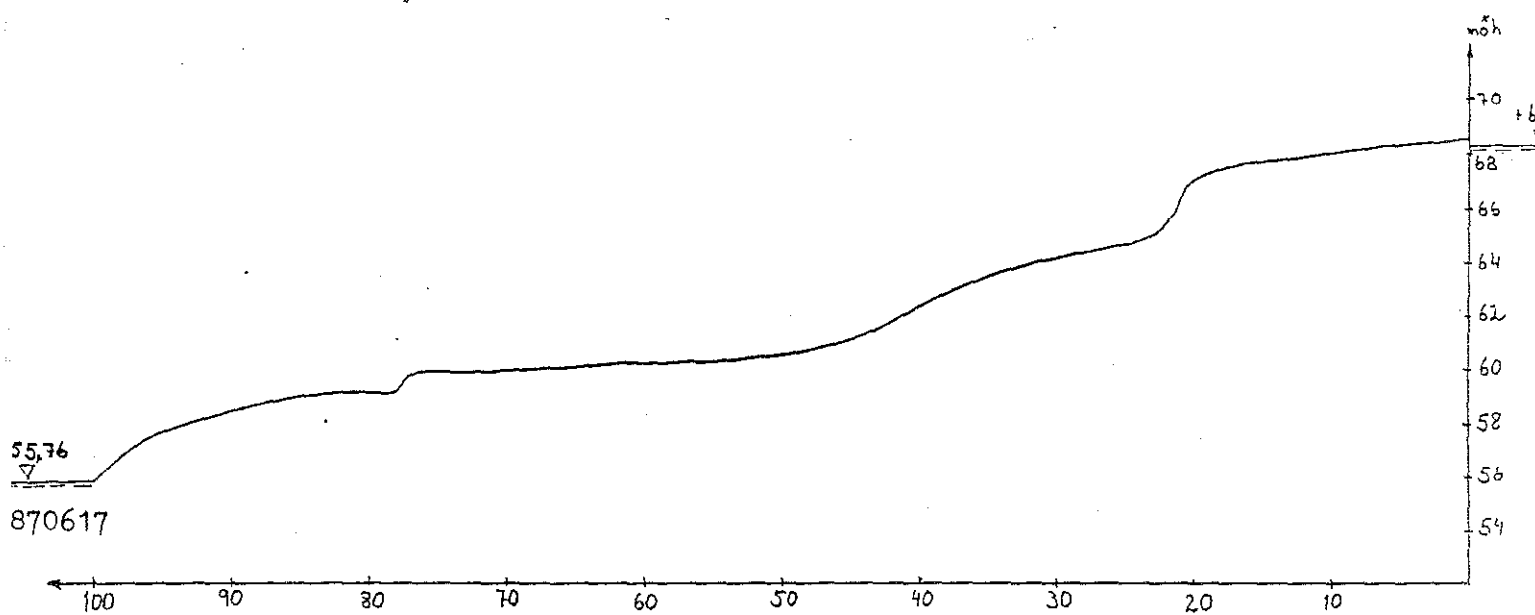


Section 0/022

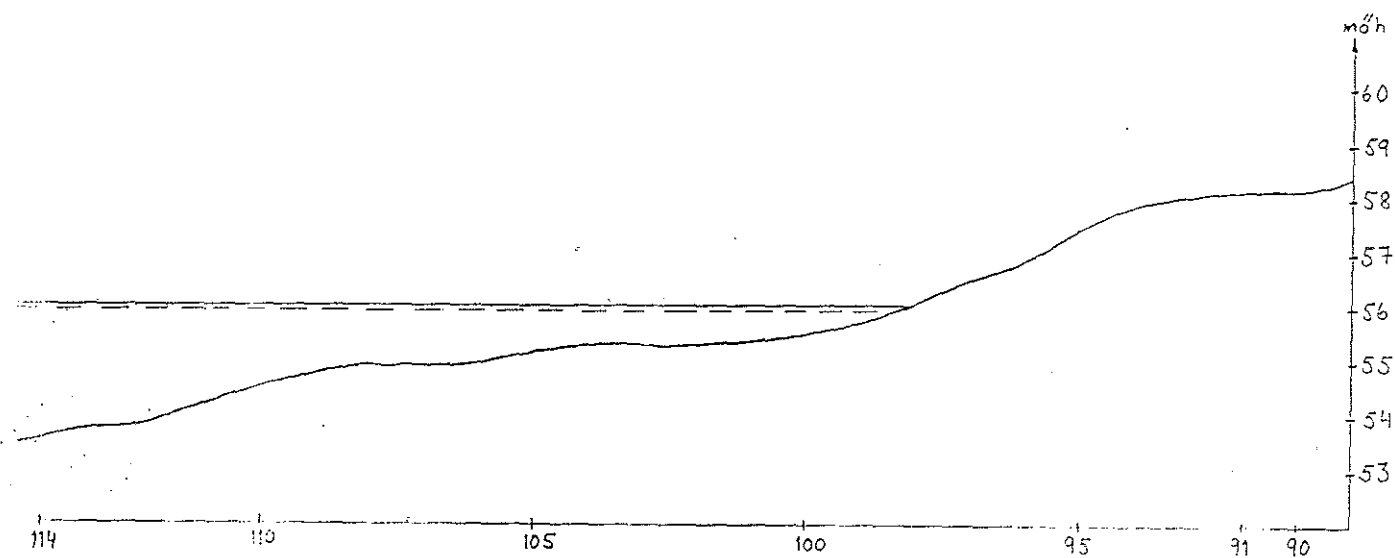


Section 0/040





Fallprofil ravin



Fallprofil ravin 0/090-0/114

Bilaga 4

Bild 1 beskriver förhållandena uppströms dämnet.

Bild 2 beskriver förhållandena nedströms gamla stationen.



Bild 1



Bild 2

Bilaga 5

Bild 1 visar en vy över fallet i Baljefors.

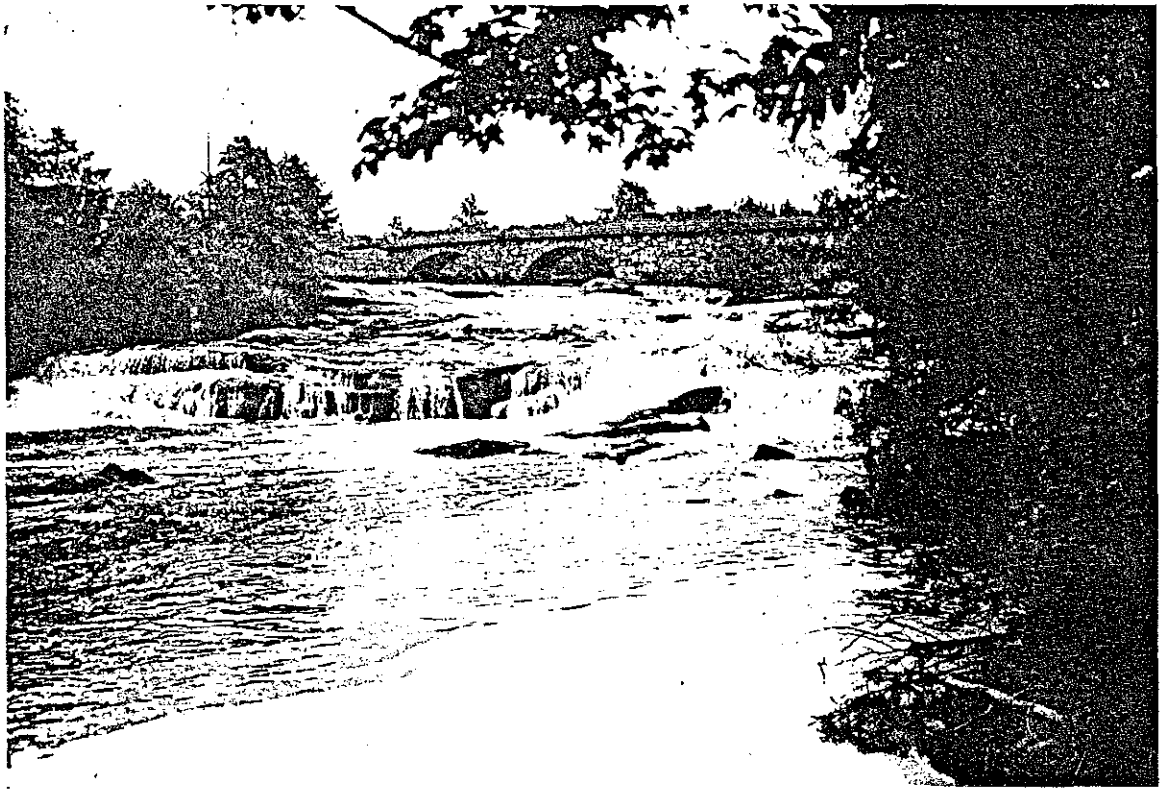
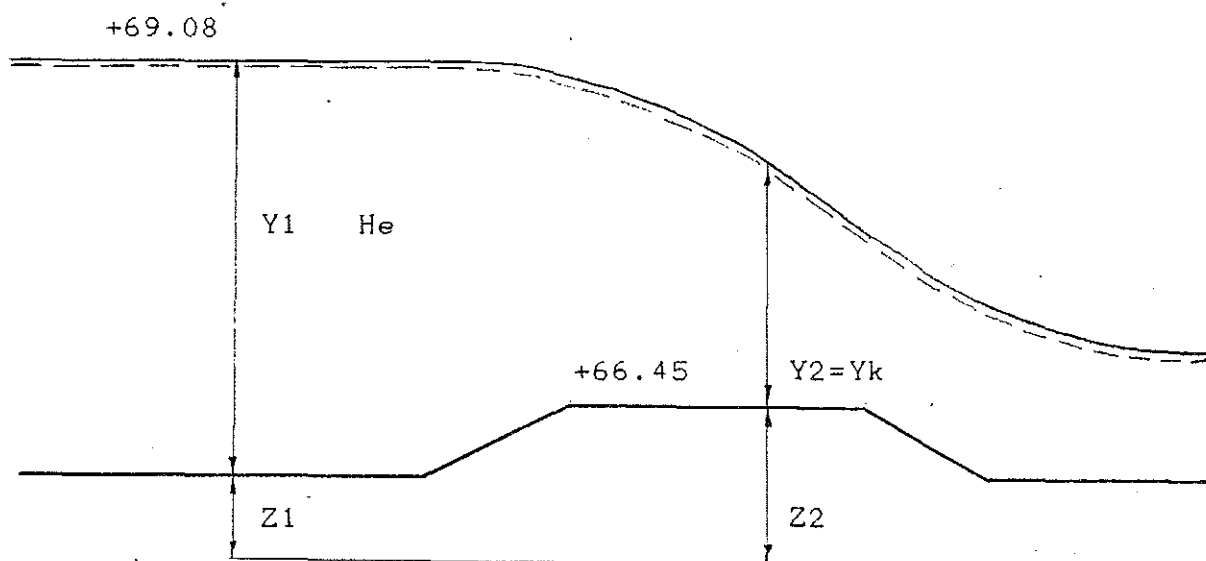


Bild 1

Bilaga 6 Dimensionering av utskovsluckor

Dimensionering sker för en höjning av dammtröskeln med 0.5 m utan att höja högsta högvattennivån.

Energibetraktelse: $Z_1 + Y_1 + (U_1 * U_1 / 2g) = Z_2 + Y_2 + (U_2 * U_2 / 2g) + k_a * (U_2 * U_2 / 2g)$



$k_a * (U_2 * U_2 / 2g)$ = avbördningsförlust där $k_a = 0.1$

Analog formel: $Y_1 = Y_k + Y_k / 2 + 0.1 * Y_k / 2$ ger $Y_k = 1.83$ m

Skibordets kapacitet: För skibordsbredden 50 m erhålles en avbördningskapacitet på $Q = 10$ m³/s

Erforderlig utskovsbredd för $Q = 60$ m³/s: $Q = Y_k * B * \text{SQRT}(Y_k * g)$ ger $B = 8$ m

Kontroll så att dämning ej uppträder nedströms

Vi förutsätter att dämning ej uppstår nedströms. Beräkningarna blir högst opålitliga, på grund av utseendet på åfårans botten och lutning, samt förhållandet mellan utskovets och åfårans bredd. Skulle trots antagandet dämning uppstå måste åfåran nedströms utskovet jämnas så att bättre flödesförhållanden uppnås.

Bilaga 7 Kostnadsberäkning vid ökad fallhöjd

Skadeersättning

Inlösen av mark 2 kr/m² = 30000 kr

Inlösen av outbyggd kraft $Q \cdot H \cdot 9.81 \cdot 1000 \cdot 400$ = 20000 kr

Denna summa är förmodligen mycket lågt räknad då Baljefors har en potentiell utbyggnadsmöjlighet.

Dammanläggningen

Alternativ 1: utan höjning av högsta högvattenytan

Betong = 200000 kr

Spettluckor 2 st à 8 m³/s = 140000 kr

Kontraforer = se not 1

Automatiska utskovsluckor 2 st à 16 m³/s = 540000 kr

Hus för hydraulaggregat = 50000 kr

Summa= 930000 kr

Alternativ 2: med höjning av högsta högvattenytan

Inlösen av mark och outbyggd kraft = 120000 kr

Förstärkning av bro = se not 2

Höjning av kanalvallarna = 100000 kr

Betong = 200000 kr

Automatisk utskovslucka 1 st à 16 m³/s = 270000 kr

Hus för hydraulaggregat 50000 kr

Summa= 740000 kr

not 1: Kostnaderna för dessa är svåra att bedömma.

not 2: Förstärkning av bron, som är i dåligt skick, bör bekostas av energiproducenten.

Bägge alternativen kräver stabilitetskontroll mot istryck. Dammen kan betraktas som en gravitationsdamm.

Afårans topografiska utseende gör att energidämpare ej erfordras.