

CHALMERS



Teknisk handledning vid projektering av mikrovattenkraftverk Manual for the designing of microhydropowerplants

Examensarbete inom Högscoleingenjörprogrammet Byggingenjör, 11 poäng

Niklas Andersson
Lars Engström

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för byggteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2005
Examensarbete 2005:35

Sammanfattning

Förnybara energikällor är ett måste för att denna planet inte ska tömmas på dess tillgångar. Vattnets kretslopp kommer att upphöra någon gång i samband med att solen slutar lysa, vattenkraftverken kommer därigenom att producera energi i form av elektricitet så länge som det finns en sol på himlen.

Målet med detta examensarbete är att ta fram en enkel beskrivning på hur småskalig vattenkraft (i examensarbetet kallad mikrokraftverk) fungerar. Detta för att öka förståelsen för vattenkraftens enkla metodik och skapa intresse för detta område av energiproduktion. Läsaren behöver inte ha någon större förkunskap inom området. Här i beskrivs de viktigaste områden som man behöver kunskap i för att kunna projektera ett mikrovattenkraftverk. Beroende på områdets stora utbredning kan viss fördjupning i vissa detaljer behövas. För att förtydliga handboken har vi valt att lägga in ett exempel på hur ett mikrovattenkraftverk kan projekteras. Detta exempel kan anses som typiskt för denna handboks användningsområde.

För att nå fram till vårt mål har vi sammanställt det man som lekman behöver kunna för att avgöra om ett mikrovattenkraftverk ur olika perspektiv är möjligt att bygga. Sammanställningen kommer främst från böcker och Internet, men också från kontakt med den industri som arbetar med detta område.

Avgränsningarna är satta till vattenkraftverk med en energiproduktion som understiger 100kW. Denna handbok riktar sig främst mot markägare som har tillgång till en bäck.

Källhänvisningen i handbokens text är ej gjord enligt vanlig rapportskrivning. Varje stycke innehåller ofta flera olika källor, detta leder till att en källhänvisning kan rycka sönder handboken och göra den svårsläst.

Abstract

The purpose of this thesis is to produce a manual regarding how to build a microhydropower plant and the technologies for harnessing these within the framework of a broad range of simple state of the art advanced energy systems. Microhydropower plants are highly efficient, reliable and long lasting. They are also very controllable and add an element of storage into the electricity supply system. We want to increase the enlightenment towards hydropower as a clean and useful energy resource.

Methods being used to achieve this goal are to summon library studies and Internet files to a technical manual that is simple enough to use by anyone. We have also included an example. The example enlightens both the technical as the economical problems that a constructor may bump into.

We found that microhydropower plants can be used more. In Sweden the proportion of electricity being made by hydropower is 50%. If the general population knew about the advantages they would certainly find microhydropower interesting as a renewable energy source.

Innehållsförteckning

1.	Inledning	1
	1.1 Bakgrund	1
	1.2 Syfte, avgränsning	1
	1.3 Metod och teori	1
	1.4 Läsanvisningar	1
	1.5 Historia	1
2.	Bestämning av de faktorer som avgör mikrovattenkraftverkets utformning	3
	2.1 Bestämning av flöde	3
	2.2 Bestämning av användbar fallhöjd	6
	2.2.1 Total fallhöjd	6
	2.2.2 Energi förluster vid strömning	7
	2.3 Kraft beräkning	8
	2.4 Topografiska begränsningar och regionens betydelse	9
3.	Vattenintag till turbinen	11
	3.1 Damm och intag	11
	3.2 Kanal	12
	3.3 Pipeline	13
4.	Teknisk utrustning	14
	4.1 Olika typer av turbiner	14
	4.1.1 Aktionsturbiner	14
	4.1.2 Reaktionsturbiner	15
	4.2 Drivsystem	15
	4.3 Olika typer av elektriska lösningar	17
	4.3.1 Växelströmssystem	18
	4.3.2 Likströmssystem	18
	4.4 Bestämning av elektriskt system	19
5.	Lönsamhetsbedömning	21
	5.1 Nuvärdesmetoden	22
	5.2 Paybackmetoden	22
	5.3 Statliga bidrag	22
6.	Exempel på projektering av mikrovattenkraftverk	23
	6.1 Beskrivning av exemplet Bollebygd	23
	6.2 Utformning av fallet i Bollebygd	25
	6.3 Lönsamhetsbedömning	25
7.	Miljöpåverkan, tillstånd och lagar	27
	7.1 Miljöpåverkan	27
	7.2 Tillstånd och lagar	28
8.	Sammanfattande kommentar	29

Bilagor

- Bilaga 1. Krökförlust, Relativ råhet
- Bilaga 2. Moodys diagram
- Bilaga 3. Coolbrook
- Bilaga 4. Översiktskarta Bollebygd
- Bilaga 5. Kostnadsförslag Bollebygd
- Bilaga 6. Nuvärden.

1. Inledning

1.1 Bakgrund

De senaste årens avregleringar på elmarknaden har vi konstaterat leder till ett mera sårbart samhälle, eftersom det ökade lönsamhetskravet leder till eftersatt underhåll och krisberedskap. Om enskilda personer kan lösa sin egen elförsörjning så minskar risken för strömavbrott då transportsträckan blir minimal. Dessutom har man full kontroll över underhåll och distribution.

De nationella miljömålen syftar bl.a. till ett långsiktigt hållbart samhälle. I detta sammanhang skulle minikraftverk utgöra ett litet steg på vägen. Då vattenkraft utnyttjar förnyelsebar energi och minskar användningen av icke förnyelsebar energi.

Detta ämne visade sig vara ett dåligt utforskat område. Det fanns inte att hitta någon form av skrift som beskriver de komponenter, flöden och fallhöjd som krävs för att driva ett småskaligt vattenkraftverk med lönsamhet. Intresset för detta område ökade i och med att en markägare visade sitt intresse för detta ämne. Det visade sig att en bäck som gick på hans ägor blev ett bra objekt att detaljstudera.

1.2 Syfte, avgränsningar

Syftet med denna tekniska rapport är att på ett enkelt sätt beskriva ett småskaligt vattenkraftverk. Vår målgrupp består av markägare med ett vattendrag på deras ägor. De ska med hjälp av denna handbok kunna bestämma om deras bäck går att exploatera. Flera faktorer såsom miljö, praktisk genomförbarhet och ekonomi kommer att beaktas. Avgränsningarna är satta till en effekt på <100kW. Olika lösningar med hänsyn till flöde, fallhöjd och utformning kommer att redovisas.

1.3 Metod, teori

För att rapporten skall innehålla fakta och material som är aktuellt och korrekt så har mycket arbete lagts ner på att hitta bra källor. Detta har primärt skett genom att leta i bibliotekens databaser och genom intervjuer av kunnigt fackfolk. Då vattenkraft finns över hela världen så har Internet visats sig vara en bra källa för att hitta bra och aktuellt material. För att på ett tydligt sätt visa läsaren ett mikrovattenkraftverks uppbyggnad och ekonomiska förutsättningar, så har vi även inkluderat ett exempel i rapporten. Vår teori är att när läsaren läst denna rapport så skall denna kunna besluta om vattenkraft är något för dem, om så är fallet så ökar användandet av en miljövänlig energikälla. Detta skulle i så fall innebära att andra mindre miljövänliga energikällor skulle kunna ersättas.

1.4 Läsanvisning

Kapitel 2.1 och 2.2 är i stora drag en sammanfattning tagen ur Nordström, B och Häggström, S. En fördjupning i dessa kapitel sker lämpligast i dessa böcker. I de andra kapitlen så är källorna många, samt är texten sammansatt så att en korrekt litteraturhänvisning skulle rycka sönder texten. För att slippa detta så är det upp till läsaren att vid tveksamheter leta bland litteraturförteckningen för källan.

1.5 Historia

Redan på 1200-talet började vattenhjulet, som härstammar från Kina, komma till användning i Sverige. Genom att utnyttja det rinnande vattnet i älvarna så kunde man ta bättre vara på våra naturtillgångar, framförallt skog och malm. Den första vattenkraftanläggningen i Norden byggdes omkring år 1300. Vattenkraften har alltså utnyttjats i de nordiska länderna i nästan 700 år.



Bild 1. Skvaltkvarn. (Statens energiverk)

De äldsta anläggningarna var vattenkvarnarna, de s.k. skvaltkvarnarna. Den vanligaste konstruktionen var att vattnet leddes fram till ett hjul som satt på en axel över en flod. Det rinnande vattnet gjorde att hjulet roterade och via axlar och kugghjul drev kvarnstenen. Problemet med denna typ av vattenkraft var att typen var tvungen att användas nära vattnet. Man kunde inte transportera energin längre än till själva vattenkvarnen.

Nästa steg i utvecklingen blev att försöka leda energin längre sträckor. Man lärde sig så småningom att koppla ihop trästänger med vilket man kunde transportera vattenhjulets rörelse lite längre sträckor.

Det egentliga genombrottet i utnyttjande av vattenkraft kom i samband med att man uppfann elgeneratoren. Den första vattendrivna elgeneratoren började användas i Sverige 1882. Av den totala elproduktionen i världen var ca 20 % producerat från vattenkraft år 2001. I Sverige var elproduktionen 2001 fördelad enligt diagram 1 nedan.

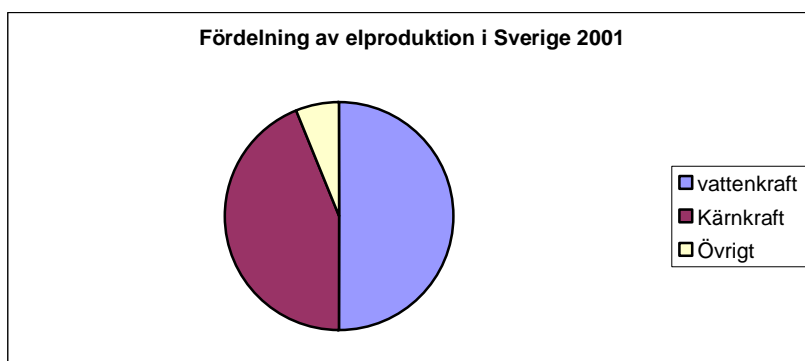


Diagram 1. Fördelning av elproduktion 2001. (Data enligt Svensk energi 2001)

Av den totala vattenkraftsproduktionen på 7850 MWh 2001, var 48,5 MWh producerade från vattenkraftverk med en effekt mindre än 5 MW.

2. Bestämning av de faktorer som avgör mikrovattenkraftverkets utformning

2.1 Bestämning av flöde

Bestämmandet av flödet är ett viktigt moment vid byggande av vattenkraftverk. Det är flödet plus fallhöjden som bland annat bestämmer vilket sorts lösning och aggregat som ska användas. Det är viktigt att man mäter flödet vid flera tidpunkter under året och helst i flera år (se sida 9), detta för att få fram ett så rättvist underlag som möjligt.

Det finns ett antal sätt att få fram flödet, de som redovisas här är ekonomiskt och tidsmässigt försvarbara sätt att mäta flödet i mindre vattendrag.

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) kan mot en avgift (minst 680 kr den 2002-05-01) bestämma ett bra värde för flödet i ditt vattendrag. Genom att studera hur stort avrinningsområde och hur mycket nederbörd som faller kan ett värde för flödet i vattendraget bestämmas. Att tänka på är att korrektioner för avdunstning och markens beskaffenheter måste göras. Alla dessa uppgifter besitter SMHI men det kostar att få ta del av dem. Vid små flöden <500l/s är det bättre att använda sig av någon av metoderna som beskrivs nedan.

En bra metod för att mäta små flöden är den gamla hink och klocka metoden. Man fyller en vattenbehållare med given volym med vatten och tar tiden. Flödet mäts ofta för mikrovattenkraft i l/s.

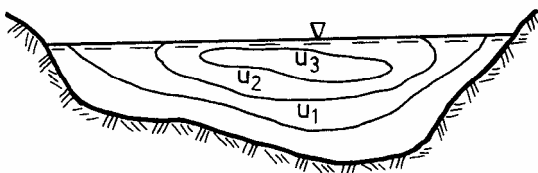
Ett annat enkelt sätt är att på en bestämd sträcka lägga i en apelsin eller en trekvartsfylld flaska. Tiden som det tar för apelsinen/flaskan att rinna sträckan sätts in i följande formel (1),

$$Q = U \cdot A \quad (1)$$

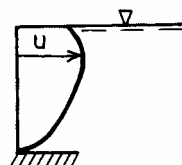
där

- Q är massflödet i m³/s
- A är tvärsnittsarean i m²
- U är hastigheten i m/s

Eftersom att hastigheten varierar i tvärsnittet i vattendraget enligt figur 1 och 2, så kan denna metod bli tidskrävande. Ett bra medelvärde kan fås om man i olika sektioner mäter hastigheten där vattenmassorna illustrerat som u_1 i figur 1 flyter fram.



Figur 1. Hastighetsfördelning över ett tvärsnitt där u_3 är det snabbare flödet. (Häggström)



Figur 2. Hastighetsprofil. (Häggström)

Ett tredje och bra sätt att mäta flödet på är om man bygger en överfallsdamm med bestämd tvärsnitt.

Den allmänna formeln för flödet är enligt Häggström (1999), när man bygger en överfallsdamm av rektangulärt tvärsnitt.

$$Q = c_e \cdot 2/3 \cdot (\sqrt{2 \cdot g}) \cdot b_e \cdot h_e^{1.5} \quad (2)$$

där

Q är massflödet i m³/s

c_e är en flödeskoefficient

b_e är effektiva överfallsbredden = b+k_b, meter

h_e är effektiva tryckhöjden = h+k_h, meter

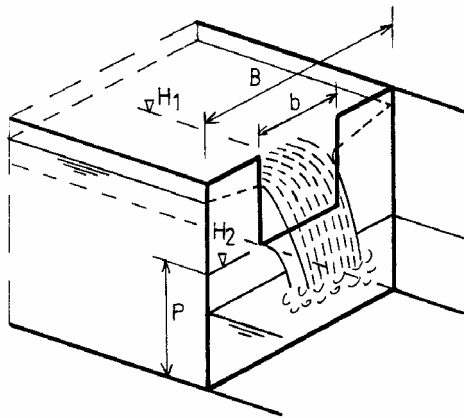
k_b och k_h är korrektionsfaktorer

g är jordaccelerationskonstanten = 9,81 m/sek²

k_h brukar generellt vara 0,001m och termen kan anses försumbar i praktiken,
d v s h_e = h

Värdena på k_b framgår av tabell 1.

I tabell 2 anges ekvationerna för beräkning av c_e vid några olika värden på b/B.



Figur 3. Beskrivning av mätthöjder.
(Häggström)

Formeln för flödet gäller med följande begränsningar:

- P skall vara minst 30 cm
- b skall inte vara mindre än 15 cm
- h skall vara minst 3 cm
- h/p skall vara mindre än 2,5
- (B-b)/2 skall antingen vara = 0 (B = b) eller större än 0,1

Tabell 1. Korrektionsvärden.
för k_b.

b/B	k _b , m
0,0	0,0024
0,2	0,0024
0,4	0,0027
0,6	0,0037
0,8	0,0043
1,0	-0,0009

Tabell 2. Beräkning av c_e.

b/B	c _e
1,0	0,602+0,075 (H ₁ -H ₂)/P
0,9	0,599+0,064 - " -
0,8	0,597+0,045 - " -
0,7	0,595+0,030 - " -
0,6	0,593+0,018 - " -
0,5	0,592+0,011 - " -
0,4	0,591+0,006 - " -
0,3	0,590+0,002 - " -
0,2	0,589+0,002 - " -
0,1	0,588+0,002 - " -

Den allmänna formeln för flödet är enligt Häggström (1999), när man bygger en överfallsdamm av triangulärt tvärsnitt.

$$Q = c_e \cdot 8/15 \cdot \tan \alpha/2 \cdot (\sqrt{2g}) \cdot h_e^{2.5} \quad (3)$$

där

Q är massflödet i m^3/s

c_e är en flödeskoefficient

α är vinkeln i grader

h_e är effektiva tryckhöjden = $h+k_h$, meter

g är jordaccelerationskonstanten = $9,81 \text{ m/sek}^2$

k_h är en faktor där experimentella bestämningar har visat ett värde som understiger 1mm. För praktiska förhållanden är korrektionen försumbar och h_e kan därför sättas lika med h . c_e kan tas ur diagram 1.

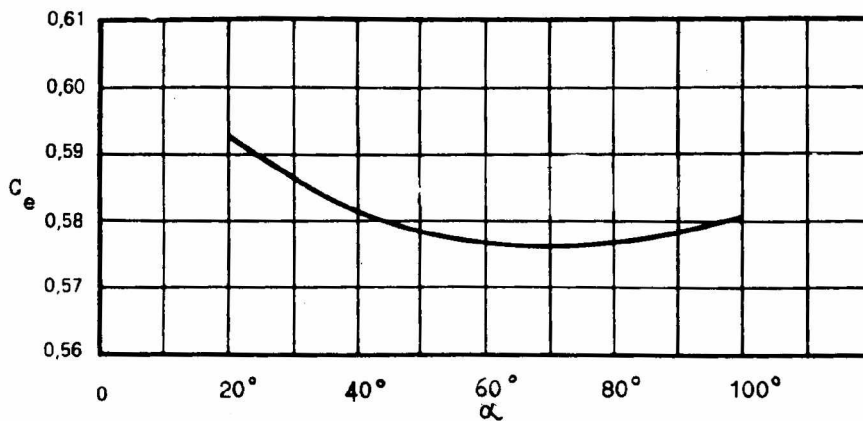
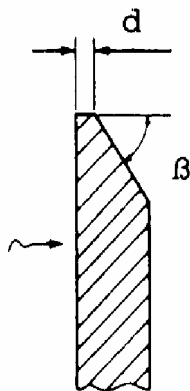


Diagram 2. Avbördningskoefficient C_e för skarpkantat V-format överfall. (Nordström)

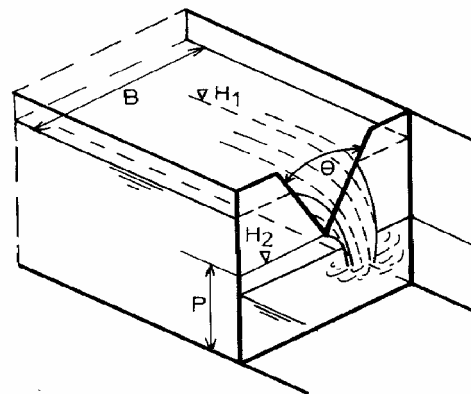
Formeln för flödet gäller med följande begränsningar:

- h skall ligga mellan 3 och 75 cm
- B får inte vara mindre än 30 cm
- P får inte vara mindre än 30 cm



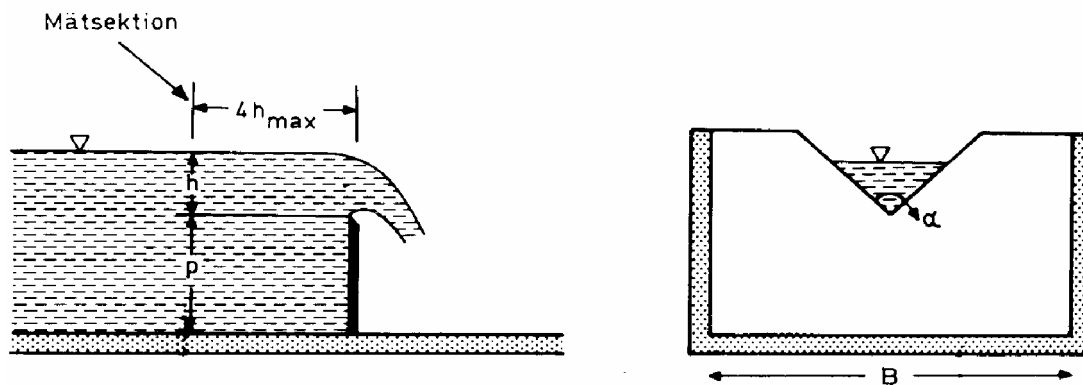
d skall vara 1 – 2 mm
 β skall vara större än 45°

Figur 5. Överfallskantens utformning. (Nordström)



Figur 4. Beskrivning av mätthöjder. (Nordström)

Det är viktigt att kanten på överfallsdammen ser ut som på figur (5). Detta för att få bra noggrannhet på flödet. Detta gäller alla slags överfallsdammar.



Figur 6. Thomsons kibord, triangulärt mätöverfall. (Nordström)

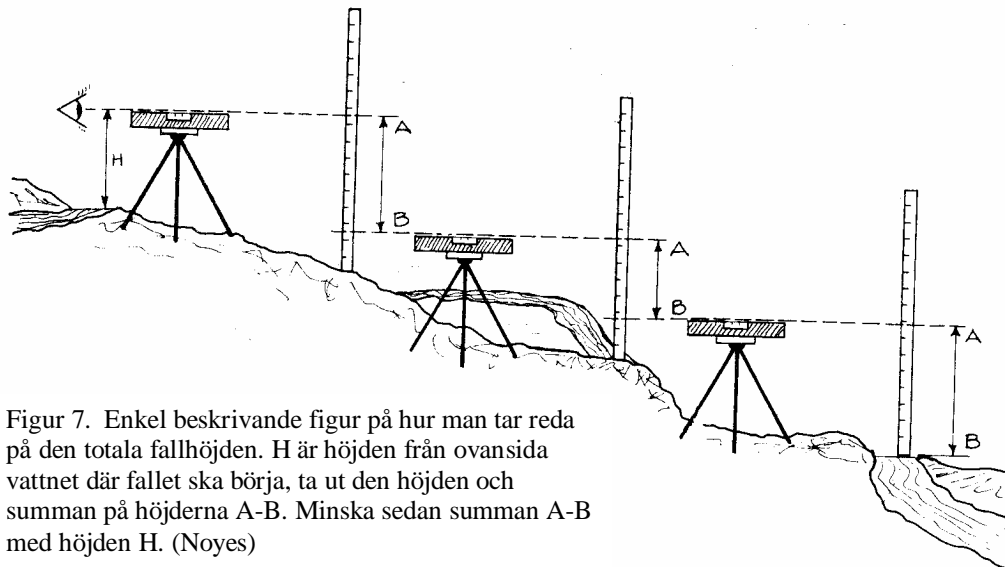
Det finns olika sätt att utforma tvärsnittet, det rektangulära eller triangulära tvärsnitt är standardiserade, andra tvärsnitt finns också för att tillgodose speciella krav på noggrannhet, flödes och nivåintervall. Att tänka på är att dämning kommer att uppstå vilket leder till att vattnet kommer att rinna över dämningens kant om överfallsdammen ej är tillverkad för att klara flödet. En överfallsdamm är lätt och snabbt tillverkad, vid högre flöden kan en mindre grävmaskin krävas men annars görs den lätt med handkraft.

2.2 Bestämning av användbar fallhöjd

2.2.1 Total fallhöjd

Fallhöjden är tillsammans med flödet det viktigaste att bestämma innan man börjar konstruera ett vattenkraftverk. Man vill i regel ha så stor fallhöjd som möjligt för att få ut så mycket energi som möjligt. Det finns en rad sätt på vilket man kan bestämma fallhöjden vid ett vattenfall, här nedan tas några av de vanligaste sätten upp, som företrädesvis används vid små vattenkraftprojekt.

Vid små och medelstora fallhöjder är avvägning med ett avvägningsinstrument ett bra sätt. Avvägningsinstrument används ihop med en mätsticka, för att mäta höjder i flera steg. Instrumentet tillåter användaren att se mätpinnen exakt i samma horisontalplan som instrumentet befinner sig i. Varje mätsteg begränsas av höjden på mätpinnen, som oftast inte överstiger fyra meter. Begränsande för metoden är också att användaren måste ha fri sikt till mätpinnen, så vid beväxta platser kan det bli besvärligt med denna metod. Har man ej tillgång till ett avvägningsinstrument kan ett vanligt vattenpass användas (se figur 7). Vid större fallhöjder lämpar sig ej dessa metoder så bra då mätningarna blir mycket tidskrävande. Vidare är en enkel och effektiv metod, att använda en vattenslang och en tryckmätare. Här drar man slangen från toppen på fallet, till platsen där turbinen skall placeras. Fyll slangen i uppströms ände och mät trycket i turbin änden. Denna metod har dock två felkällor som måste undvikas, bubblor i slangen och fel kalibrering av tryckmätaren. För att undvika bubblor i slangen bör en genomskinlig slang användas, där eventuella bubblor kan upptäckas. Fel kalibrering av tryckmätaren undviks genom att kalibrera tryckmätaren både före och efter mätning. Vid överslagsmässig bestämning av fallhöjden kan detaljerade topografiska kartor eller mobila höjdmätare användas.



Figur 7. Enkel beskrivande figur på hur man tar reda på den totala fallhöjden. H är höjden från ovansida vattnet där fallet ska börja, ta ut den höjden och summan på höjderna A-B. Minska sedan summan A-B med höjden H. (Noyes)

2.2.2 Energiförluster vid strömning

Det finns en rad energiförluster att ta hänsyn till innan den så kallade nettofallhöjden fås fram. Denna fallhöjd används sedan för att göra de teoretiska kraftberäkningarna. Förlusterna uppstår av många orsaker, en förlust som alltid finns då vatten rinner genom ett rör är friktionsförluster. Dessa förluster blir större vid ökat flöde och minskad rördiameter. Materialvalet av rören är något som är mycket avgörande för hur stora friktionsförlusterna blir. PVC rör har små friktionsförluster oftast under 8 % av den totala fallhöjden. Bra stålrör har ungefär dubbelt så stora friktionsförluster, medan betong och gjutjärns rör har ännu större förluster. Tilläggsförluster är också något som finns i varje rör eller rörsystem. För ett enkelt rör utgörs de i princip av inströmnings-, utströmnings-, krök-, acceleration och retardationsförluster. Här nedan följer en enklare förklaring på hur de olika förlusterna kan beräknas.

Friktionsförlusterna kan beräknas på olika sätt. Allmänna friktionsformeln är den metod vi beskriver mest ingående då den anses mest noggrann och även tar hänsyn till strömningstillstånd (laminär eller turbulent och turbulensgraden). Friktionsfaktorn är förutom strömningstillstånd även beroende av ledningens storlek samt rörväggens skrovlighet eller ytråhet som det kallas. Hur friktionsfaktorn varierar med Reynolds tal och relativa råheten k/D (se bilaga 1) har sammanställts i det så kallade Moodys diagram. (se bilaga 2) Noggrannheten vid beräkning med allmänna friktionsformeln är mellan 5-10 %. Denna noggrannhet förutsätter att rördiametern är känd med noggrannhet $\pm 0,5$ %.

Allmänna friktionsformeln, Häggström (1999).

$$H_f = f \cdot (L/D) \cdot (U^2/2G) \quad (4)$$

där

H_f = friktionsförlust

L = ledningens längd

f = en faktor som beror på Reynolds tal och rörets diameter och skrovlighet se bilaga 2

D = rörets diameter i mm

$U =$ medelhastighet (Q/A)

Allmänna friktionsformeln är något omständig att använda. Ett alternativ som kan användas istället är Colebrook diagrammen (se bilaga 3) där man direkt kan avläsa friktionsförlusterna mot rördiameter och vattenflöde i ledningarna. Ett sådant diagram gäller då för en given råhet k på röret.

Tilläggsförlusterna beräknas med formeln

$$h_t = k \cdot (U^2/2g) \quad (5)$$

där

$h_t =$ tilläggsförluster (index a för acceleration osv.)

$k =$ koefficient som beror av hur "elementet" ser ut, se bilaga 1

$U =$ medelhastighet i en lämplig definierad sektion

Andra förluster som kan finnas beror på vilken typ av turbin eller vattenhjul som används. Till exempel så har ett överfallsvattenhjul en del naturlig förlust genom att hjulet måste snurra fritt ovanför det använda vattnets yta. Aktionsturbiner har en liten fallhöjdsförlust på grund av det vertikala avståndet mellan munstyckets stråle och utrinningsvattnet. Propeller och Francis turbiner har däremot inga naturliga fallhöjds förluster.

När alla förluster sedan räknats fram kan nettofallhöjden beräknas med formel 6 nedan.

$$\text{Användbar fallhöjd} = \text{totala fallhöjden} - \text{energiförluster} \quad (6)$$

2.3 Effektberäkning

När man har bestämt det användbara flödet och beräknat användbara fallhöjden, kan den förväntade effekten räknas fram. Man börjar med att räkna ut den teoretiskt användbara effekten, förutsatt att 100 % av energin i vattnet kan omvandlas till elektrisk energi. Detta gör med formel 7 nedan.

Effektformel $P_{th} = H \cdot Q \cdot g \cdot \rho \quad (7)$

där

$P_{th} =$ teoretisk effekt i KW

$H =$ nettofallhöjden

$Q =$ vattenföringen i m^3/s

$g =$ konstant $9,81 \text{ m/s}^2$

$\rho =$ vattnets densitet

Sambandet mellan effekten, fallhöjden och vattenföringen illustreras i diagram 3.

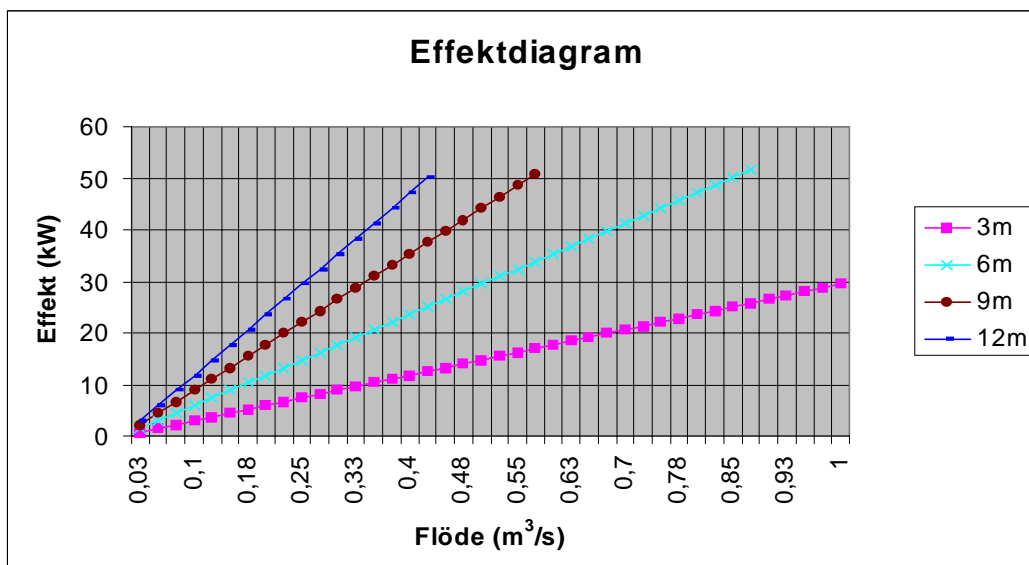


Diagram 3. Effektdiagram för olika flöden och fallhöjder.

Den teoretiskt användbara effekten representerar mer effekt än vad som kan fås ut ur ett vattenkraftssystem. Detta beror på att man alltid får förluster vid effektöverföring, så hänsyn till verkningsgraden för de olika komponenterna i ett vattenkraftssystem har måste beaktas. Som riktvärde kan sägas att turbinens vekningsgrad är ca 0.85, generatorns ca 0.95 och transmissionen (ex vis remdrift) ca 0.97. För mer exakt bestämning av verkningsgraden på de olika komponenterna rekommenderas kontakt med återförsäljare av de komponenter som skall användas. Med hänsyn till detta kan effekten ut till nätet beräknas enligt formel 8.

Effektformel $P_{\text{användbar}} = h \cdot Q \cdot g \cdot \rho \cdot \eta_{\text{total}}$ (8)

där

P = användbar effekt i KW

Q = vattenföringen i m³/s

H = nettofallhöjden

g = konstant 9,81 m/s²

ρ = vattnets densitet

η_{total} = totala vekningsgraden på alla komponenter

2.4 Topografiska begränsningar och regionens betydelse

Hur landskapet ser ut runtomkring vattendraget betyder en hel del för utformningen av mikrovattenkraftverket. Det optimala vore om vattendraget hade konstant flöde under hela året. Vattendrag som har sin främsta tillrinning i norra inlandet har stora variationer i flödet beroende på årstid och att avrinningen från berg sker snabbt. En fördel med vattendragen i norra inlandet är att större fallhöjder kan vara lättare att exploatera och dammar stör i mindre utsträckning. Anläggningskostnader kan skjuta i höjden om berg måste sprängas vid nybyggnation.

I södra Sverige är landskapet relativt sett plant, stora fallhöjder är svårt att få utan att göra stora ingrepp på naturen. Marken och grundvattnet dämpar variationerna i nederbörd bättre i södra Sverige än i norr.

De stora variationerna i klimatet har betydelse när man planerar sitt mikrovattenkraftverk. I södra Sverige har man ofta de största flödena på vintern medan man i norrland då har de lägsta.

VATTENFÖRING

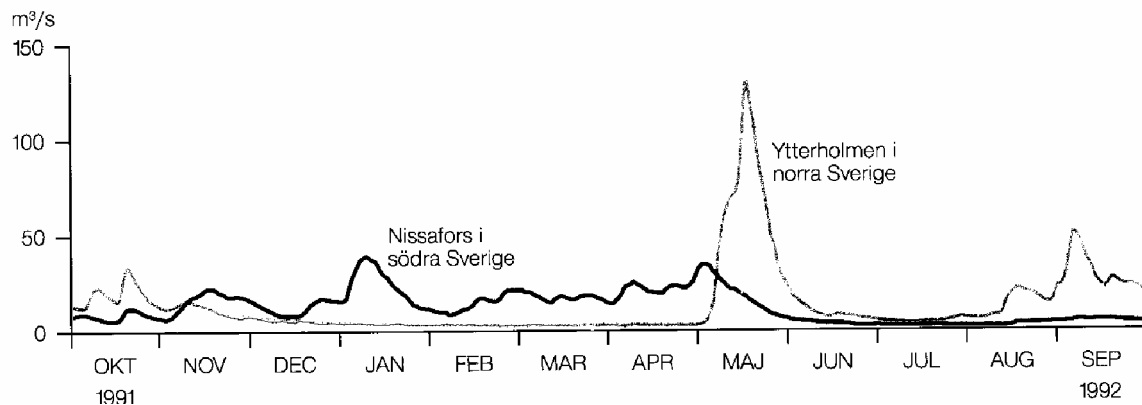
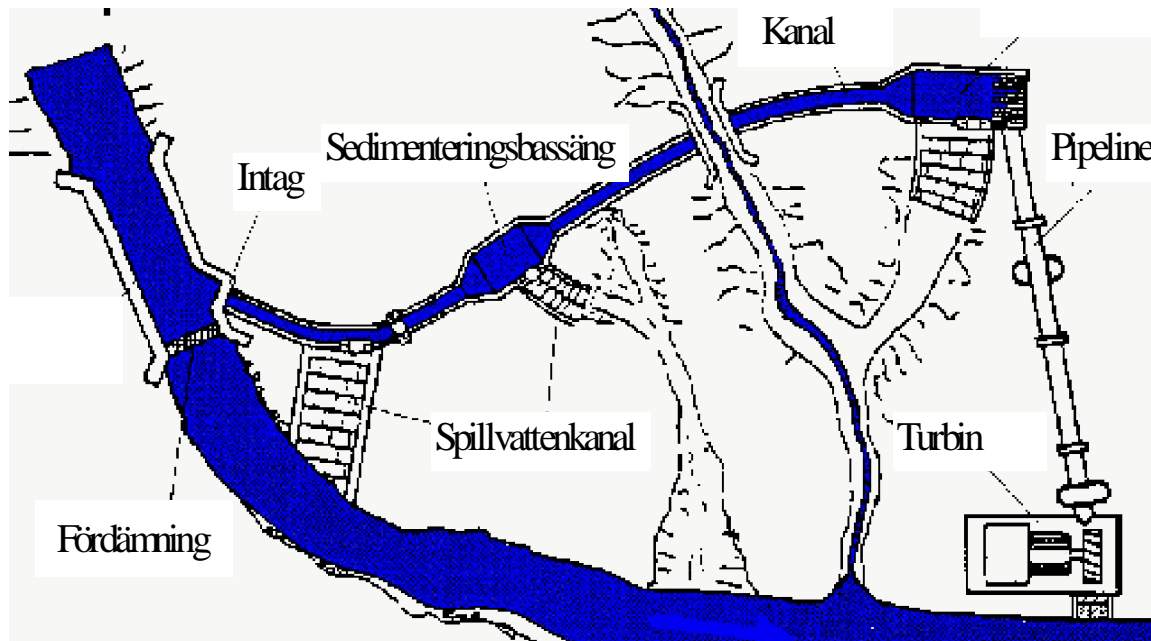


Diagram 4. Skillnaden i vattenföring mellan södra och norra Sverige. (Raab)

Det är på vintern som elförbrukningen är som störst på grund av att uppvärmningsbehovet av hus och industrier då är som störst. Man vill därför producera mer el på vintern något som är svårt i norrland då avrinningen är som minst under denna årstid. Med stora vattenmagasin kan man lagra energi till vintern. Mikrovattenkraftverk byggs i regel som strömkraftverk, det vill säga att de inte har några magasin.

3. Vattenintag till turbinen

Bilden här nedan visar principen för hur vattnet kan ledas till turbinen.



Figur 8. Principschema på hur vattnet kan ledas till turbinen. (www.smallhydropower.com)

Vattnet från floden fördelas med hjälp av dammen genom intaget i flodsidan till den öppna kanalen. En sedimenteringsbassäng används sedan för att ta bort sand och andra partiklar från vattnet. Kanalen följer konturerna i terrängen för att bevara fallhöjden på det avledda vattnet. Vidare rinner vattnet in i en liten reservoar där det sedan strömmar in i pipeline som förser turbinen med vatten.

3.1 Dam och intag

Ett mikrovattenkraftsystem måste ta in vattnet från floden eller bäcken på ett pålitligt och kontrollerat sätt. Vattnet som rinner in i kanalen måste regleras beroende på om det är höga eller låga flöden i floden. En damm kan användas för att höja vattennivån och försäkra ett konstant flöde till intaget. Ibland kan ett dammbygge undvikas genom att använda naturliga inslag i bäcken. En naturlig fördjupning i bäcken kan t ex fungera lika bra som en byggd damm. För att illustrera varför man bör tänka sig för innan man bygger en damm så följer här ett räkne exempel.

Flöde till turbinen:	100 l/s
Förbrukat vatten på en månad:	259200 m ³
Areal för att rymma detta vatten:	2,6 hektar med ett djup av 10 m.

Inloppet på ett mikrovattenkraft system är konstruerat för att leda in en viss del eller hela flödet i bäcken till turbinen.

Följande punkter är viktiga för att intaget skall fungera väl.

- Det bestämda flödet måste avledas.
- Maximala flödet måste kunna passera dammen och intaget utan att det skadas.
- Så lite underhåll och reparationer som möjligt skall krävas.
- Det måste förhindra stora mängder av partiklar från bäcken att komma in i kanalen.

Med hänsyn till dessa punkter framgår det att placeringen och utformningen av intaget är mycket viktigt.

Hur vattnet leds till intaget i ett vattenkraftsystem kännetecknar de olika typerna av intag. För mikrovattenkraft system fungerar endast de minsta intagen. Följande tre intag är de som först och främst används vid mikrovattenkraft idag.

Intag utan damm är den enklaste typen. Fördelar med detta intag är att det är billigt och enkelt att bygga. Nackdelar med intaget är att det kräver regelbundet underhåll och reparationer samt att vid låga flöden kommer endast en lite del av vatten att avledas. Detta medför att denna typ av intag inte är lämpliga vid bäckar med stora variationer i flödet.

Intag med damm är ett mer avancerat intag. Dammen kan vara antingen delvis eller helt under vatten. Denna intagstyp medför att vattennivån kan kontrolleras och att underhållet blir lågt. Minus för typen är dock att låga flöden inte avleds på önskat sätt.

Bottenintag har hela intaget under vatten. Överflödigt vatten passerar här intaget genom att rinna över dammen. Denna intagstyp är den enda som fungerar bra vid låga och varierande flöden. Vidare kräver typen inget underhåll vid god konstruktion. Konstrueras intaget fel är risken stor att det snabbt kommer att blockeras av sediment och underhållet blir då tidskrävande.

3.2 Kanal

Kanalen transporterar vattnet från inloppet till reservoaren där rörledningen sedan tar vid. Längden på kanalen kan variera stort, från att inte behövas till att vara flera kilometer lång. Variationen beror på lokala förhållanden. I vissa fall kan en lång kanal tillsammans med en kort pipeline vara billigare eller nödvändigt, medan det i andra fall är bättre med en kort eller ingen kanal och en längre pipeline.

De flesta kanaler är grävda, där det ibland krävs konstruktioner som akvedukter för att nå ett bra resultat. För att minska friktionsförlusterna i kanalen och förhindra läckage, kläs ofta kanalerna in med cement eller lera. Storleken på kanalen är ofta en kompromiss mellan kostnad och förlorad fallhöjd. När vattnet rinner i kanalen förlorar det lägesenergi, detta kan minskas genom att kanalen görs större och ytorna i kanalen glattare.

Finns mycket partiklar i vattnet som kan skada turbinen så behövs en sedimenteringsbassäng i kanalen. I denna bassäng saktar vattnet ner så mycket att partiklar som sand och grus sjunker till botten.

3.3 Pipeline

Pipelinen är röret som förser turbinen med vatten från kanalens slut. Denna rörledning är ofta en betydande del av kostnaden vid ett mikrovattenkraftverk, ända upp till 40 % av kostnaden vid höga fallhöjder är inte ovanligt. Beroende på detta är val och konstruktion av röret mycket viktig. En kompromiss mellan friktionsförluster och kostnad måste göras. Friktionsförlusterna ökar dramatiskt med minskande diameter på rören medan kostnaden ökar med ökad diameter.

4. Teknisk utrustning

4.1 Olika typer av turbiner

En turbin omvandlar energin i det fallande vattnet till rotation i en axel. Alla turbiner har speciell karaktär, de fungerar bäst under visst förhållande mellan flöde, fallhöjd och fart. Turbinens fart bestäms till stor del av vilket vattentryck som den jobbar i. Man kan dela in turbiner på olika sätt, dels hur de fungerar och dels i vilken fallhöjd som de är lämpliga att arbeta under som i tabell 3.

Tabell 3. Tabell över turbiner.

	Hög fallhöjd	Medel fallhöjd	Låg fallhöjd
Aktionsturbiner	Pelton Turgo	Cross-flow Pelton med flera munstycken Turgo	Cross-flow
Reaktionsturbiner		Francis	Propeller Kaplan

4.1.1 Aktionsturbiner

Aktionsturbinen använder sig av ett munstycke längst ut på pipelinen, detta munstycke omvandlar vattentrycket till en vattenstråle. Denna riktas mot turbinhjulet som med sin speciella utformning omvandlar rörelseenergin i vattenstrålen till turbinaxeln. Vanliga aktions turbiner är pelton, turgo och crossflow. De är i sin konstruktion enkla och billiga på grund av att lägre toleranser än reaktionsturbiner kan användas då dessa turbiner ej jobbar i en tryckkammare. Allt eftersom flödet varierar så kan munstycket bytas ut eller så kan variabla munstycken användas, detta leder till bättre verkningsgrad vid varierande flöde. En nackdel med aktionsturbinen är att man inte kan utnyttja hela tryckhöjden. Tryckhöjden räknas här från vattenytan till munstycket. Aktionsturbiner har i allmänhet ett lågt varvtal, därför kan en transmission med hög utväxling behövas mellan turbin och generator för att generatorn ska få tillräckligt varvtal.

Pelton turbinen används där man har lågt flöde men högt tryck. Minsta tryckhöjd är i princip 20m. Men om man har en generator som fungerar på låga varvtal och har utrymme för en stor turbin så kan den användas till lägre tryckhöjder.

Turgo turbinen används i området mellan Pelton och Crossflow turbinen. Den är designad för högre varvtal än Pelton turbinen. Detta gör att man sällan behöver en transmission mellan turbin och generator.

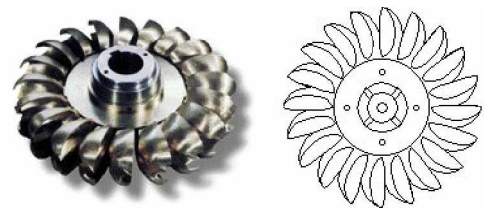
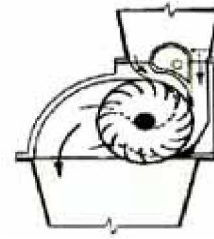


Bild 2. Pelton turbin. (Energi system and design)

Crossflow turbiner används där man har ett högre flöde men lågt tryck. Den placeras alltid horisontellt som på figur 9. Hög verkningsgrad kan bibehållas vid låga flöden då turbinen i sin längsaxel är uppdelad i tre delar som kan stängas av separat.



Figur 9. Crossflow turbin.
(Energi system and design)

4.1.2 Reaktionsturbiner

Reaktionsturbiner omvandlar vattentrycket till rörelseenergi på dess rotorblad. Exempel på reaktionsturbiner är propeller, kaplan och Francis turbiner. De har till skillnad från aktionsturbinerna ett högt varvtal vilket gör att man kan koppla dem direkt till en generator utan dyra transmissioner. Detta har många tillverkare tagit fasta på och tillverkar kombinerade turbingeneratorpaket som har låga service kostnader. Till fördel är att man kan använda hela tryckhöjden, man använder sig av den venturieffekt som bildas om man konstruerar utloppet från turbinen i en kon. Om flödet varierar så kan man inte ställa om reaktionsturbinen detta medför att när flödet blir för litet så tappar man mycket i verkningsgrad. Det finns reaktionsturbiner som kan ställa om sina rotorblad. De kan bibehålla sin verkningsgrad vid skiftande flöden men är dyra vid inköp.

Propellerturbinen kan tänkas som en vanlig fartygspropeller. Den har ofta mellan tre till sex blad där tre blad används vid lägre tryckhöjder.

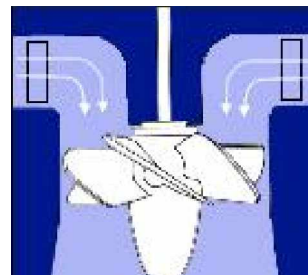


Bild 3. Propellerturbin. (Morehead valley hydro Inc2002)

Kaplanturbinen är en propellerturbin med propellerblad som kan ändra vinkel.

Francisturbinen har som man ser på bild 4 ett annat utseende än propellerturbinen och är mer komplicerad att framställa. De används i huvudsak vid större anläggningar.



Bild 4. Francisturbin.
(Morehead valley hydro Inc2002)

4.2 Drivsystem

Drivsystemet i ett vattenkraftverk har till uppgift att överföra kraften från turbinaxeln till generatoraxeln. Drivsystemet har också till uppgift att ändra rotationsfarten från en axel till en annan vid behov. Detta behöver göras när turbinhastigheten är avvikande från den önskade

farten på generatorn. Drivsystemen som används vid mikrovattenkraft är direkt drift, platt drivrem med drivskiva, v formad eller trekantig drivrem med drivskiva, kedja med kedjekrans och växellåda. Dessa drivsystem kommer här att beskrivas för att påvisa brister och fördelar med de olika systemen.

Direkt drift

Systemet med direkt drift fungerar endast om turbinaxelns och generatoraxelns hastighet är exakt lika stora. Detta beroende på att systemet använder en direktkoppling mellan axlarna. Fördelarna med detta system är lågt underhåll, hög verkningsgrad (större än 98 %) och lågt inköpspris. En nackdel med systemet är dock att injusteringen är mycket viktigare än i de andra systemen.

Platt drivrem

Moderna platta drivremmar är gjorda av högfriktionsmaterial som t ex gummi och kan arbeta i mycket spänt tillstånd. De har högre verkningsgrad än v formad drivrem och arbetar renare, dvs. ger ej ifrån sig så mycket gummi stoft. Ett av drivhjulen måste vara konvext, som tillsammans med god injustering håller drivremmen på plats.

Den största nackdelen med detta drivsystem är att drivremmen behöver vara mycket spänd (ofta omkring två ton), vilket medför att lagren behöver tåla höga laster. Detta kräver ibland att generatorn måste extrastruktureras med lager som tål höga laster och att speciella axlar används. Maximalt fart förhållande mellan axlarna är omkring 5:1 i detta system.

V formad drivrem

Detta drivsystem är det vanligaste valet för mikro kraftverk upp till 50 kW. En stor fördel är att dessa remmar är mycket välkända och välanvända, vilket medför att de är lätta att få tag på.

V formad drivrem skiljer sig från platt drivrem genom att friktionsgrepp på drivskivan skapas genom trekantens verkan på sidväggarna av remmen inuti drivskivans skåra. På grund av detta behöver inte drivremmen vara lika spänd för att bibehålla greppet. Detta medför att lasten på lager och axlar minskar.

Vanligtvis placeras ett antal v formade drivremmar bredvid varandra på flera drivskivor för att uppnå tillräckligt grepp. Vid hög effekt och stora vridmoment kan dessa drivsystem med flera drivremmar bli otympliga på grund av remmantalet då blir stort. Toleransen på injusteringen av v remmar är större än på andra system men verkningsgraden är också lägre, omkring 85-95 %. Maximalt fart förhållande mellan axlarna är i detta system omkring 5:1.

Kedja och kedjekrans

Kedjedrift kan ha mycket hög verkningsgrad men då på bekostnad av livslängden på kedjan. Kedjor med lång livslängd har ungefär samma verkningsgrad som remdrift. Kedjedrift är inte att rekommendera på grund av dess höga kostnad, behovet av att byta sprucken kedjekrans med jämna mellanrum och behovet av att smörja kedjan ofta. Högt fart förhållande mellan axlarna över 20:1 kan uppnås med detta system.

Växellåda

Växellådor används i stora system när remdrift blir för besvärligt och eller om effektiviteten blir för dålig. Problem med injustering, underhåll och höga kostnader gör att de inte bör användas förutom när de ingår i ett komplett turbin- generator set.

4.3 Alternativa elektriska system

Det finns primärt två olika elektriska system som används vid mikro vattenkraftverk. Det ena är ett växelströmssystem (AC) system som bygger på att en generator producerar växelström, med den spänning och frekvens som önskas, i Sverige vanligen 230volt, 50Hz. Det andra systemet, likströmssystem (DC) bygger på att en generator producerar likström med lägre spänning (12, 24 eller 48volt) som sedan kan lagras i batterier.

Ett AC system har en enklare konstruktion i sin helhet än ett batteribaserad DC system, därför används det av många vid mikrokraftverk. Likväl måste generatoren vid ett AC system kunna producera all ström som behövs vid ett visst tillfälle, vilket kan bli betydligt mer än genomsnittet vid vissa tillfällen. Till exempel kräver lampor upp till tio gånger sin strömförbrukning när de slås på, frysar och pumpar kan behöva 5-7 gånger sin genomsnittliga strömförbrukning när de slås på. Denna ström måste finnas tillgänglig när så krävs för att säkerställa systemets funktion, om strömförbrukningen överstiger detta faller det elektriska systemet. AC system har ingen lagrings kapacitet, men finns det tillgång till ett kommersiellt elnät kan detta användas som en sorts lagring, man säljer ström vid överproduktion och köper tillbaka när behovet överstiger generators kapacitet. Har man tillgång till ett kommersiellt kraftnät kan asynkrongenerator användas, vilket innebär att flödet ej behöver vara konstant detta beroende på att generators varvtal styrs av nätfrekvensen. Ett DC system sparar den genererade strömmen kemiskt, därför behöver endast den genomsnittliga strömförbrukningen genereras. Batterierna tar hand om strömtoppar och variationer i strömförbrukningen.

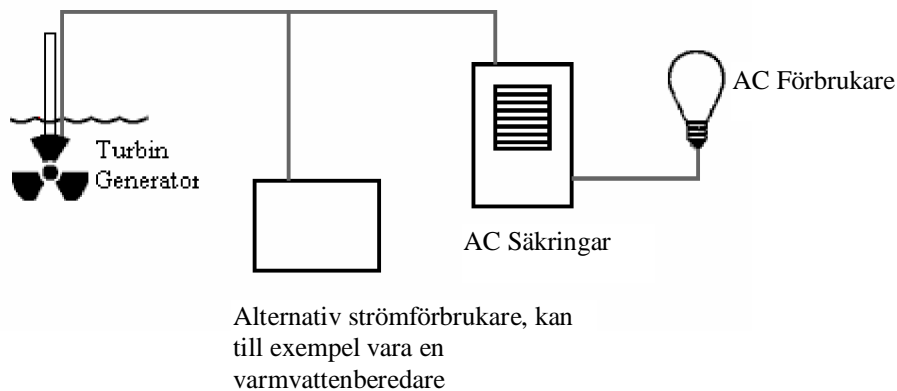
Både AC och DC system kan erbjuda elektricitet lika användbar som kommersiell ström. AC system kräver vanligen att mer effekt genereras än i ett DC system. Detta på grund av de energiförluster som uppstår vid hög spänning. Denna faktor är viktig att ta hänsyn till när typ av system skall väljas. AC system har sällan en kapacitet under 2 kW. DC system däremot har ofta en genererad effekt på omkring 0,4 kW, vilket motsvarar behovet exklusive värme i ett genomsnittligt hushåll. En fördel med den stora strömproduktionen som krävs för att klara strömtopparna vid ett AC system, är att överskottsenergin oftast täcker all uppvärmning av varmvatten och en stor del, om inte all uppvärmning av hushållet.

Vid val av elektrisk lösning bör man tänka på några saker. Hur stort energibehov finns? Är huset utrustat med lik eller växelströmförbrukare? Om man tillför lika mycket energi till ett AC och ett DC system så kommer DC systemet att ge elektrisk energi med mindre förluster. För att utjämna denna skillnad så krävs att man bygger ett större vattenkraftverk vid AC system med större fallhöjd eller mer vattenföring. Anläggningskostnaden blir då dyrare då större rördimensioner, generator och turbin krävs. Transporten av strömmen från generatoren sker i koppar eller aluminiumledningar. Storleken på ledningar avgörs av spänningen och strömstyrkan som skall överföras och av avståndet mellan generator/batteri och användningsplats. Vid långa avstånd har AC systemen en fördel på grund av att spänningen är

högre i dessa system, vilket minskar ledningsförlusterna vid en given ledningsdimension. I batteri baserade DC system avgörs spänningen av batteribanken, så i batteribankar med låg spänning kan spänningen behöva transformeras upp för att minimera ledningsförluster. Stora dimensioner på ledningarna kan användas för att nå samma resultat.

4.3.1 Växelströmssystem

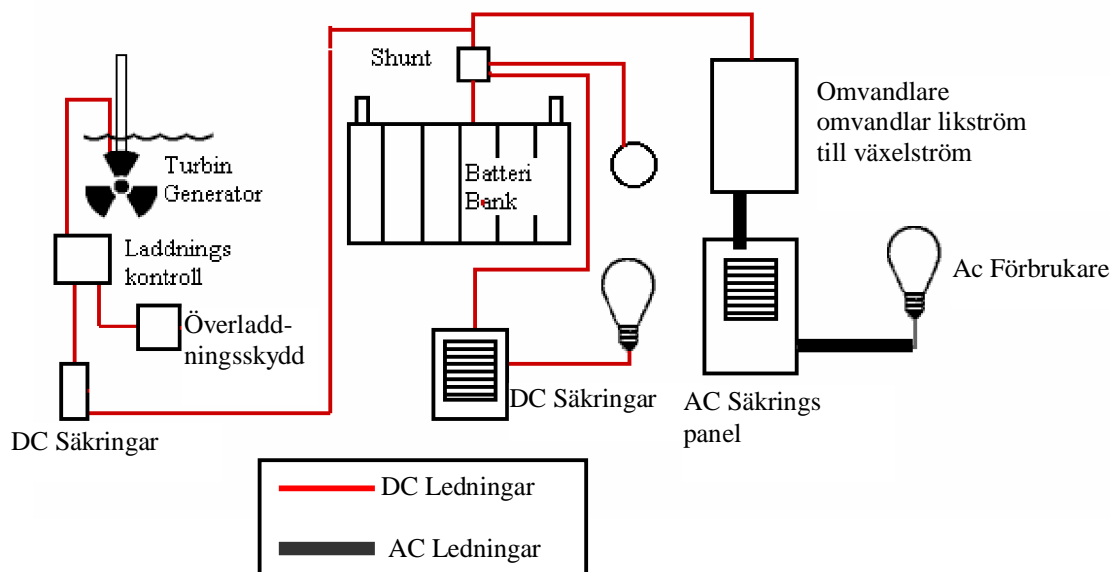
AC system består av en generator som producerar AC ström med den spänning och frekvens som önskas. AC system i Sverige arbetar med en frekvens av 50Hz och en spänning på 230 volt, en variation från detta kommer att påverka funktionen av vissa apparater såsom klockor och tv apparater. För att kunna producera ström med rätt frekvens, krävs att hastigheten på generatormotorn hålls mycket konstant. Reglering av flödet är därför viktigt, regleringen sker med fördel elektroniskt för att uppnå så god noggrannhet som möjligt. För att kunna upprätthålla rätt frekvens och spänning kontrolleras strömproduktionen och det som inte används av förbrukare används av en alternativ strömförbrukare (se figur 10). Detta innebär också att strömförbrukningen aldrig kan vara större än vad generatormotorn producerar.



Figur 10. Kopplingsschema. (ABS Alaska 2000)

4.3.2 Likströmssystem

DC systemet är det vanligaste systemet vid mikrovattenkraftverk idag. I dessa producerar generatormotorn en spänning på mellan 12-48 volt beroende på generatormotorn. Denna ström kan antingen användas som den är eller omvandlas till AC ström genom att använda en omvandlare (se figur 9). Ett DC till AC system har många fördelar gentemot ett AC system, speciellt i mycket små system (< 5 kW). Den överblivna strömmen som produceras i ett DC system kan lätt lagras i batterier, och användas när hög strömförbrukning krävs. DC system är inte hastighetskänsliga och därför krävs ingen styrmekanism för reglering av flödet. Följaktligen, blir ett litet DC system oftast billigare och motsvarar behoven bättre än ett jämförbart AC system, detta beroende på att ett AC system har svårt att klara strömtoppar. Batterisystem fungerar vanligen mycket bra i vattenkraftsystem, detta beroende på att generatormotorn nästan alltid producerar ström till batterierna. Detta innebär att stora urladdningar av batterierna är ovanliga, dessa urladdningar är annars en vanlig orsak till batterifel. Lagringskapaciteten är begränsande för ett DC system då batterierna blir stora och mycket dyra i system över 6 kW.



Figur 11. Kopplingsschema. (ABS Alaska 2000)

4.4 Bestämning av elektriskt system

Det är viktigt att bestämma behovet av ström och hur den skall användas tidigt i ett projekt. Två olika men relaterande storheter skall tas fram, total konsumtion 1 och maximal konsumtion 2. När dessa storheter är framtagna kan ett lämpligt elektriskt system bestämmas.

1. Total konsumtion är mängden av kilowatt timmar över en given period, vanligast är kilowattimmar per månad.

Om du för närvarande får din ström från ett kommersiellt kraftbolag, är ett enkelt sätt att få fram den totala konsumtionen att titta på gamla räkningar. En sak som bör tas hänsyn till är att strömkonsumtionen vanligen varierar beroende på månad, säsong, ovanliga väder situationer, eller vid en förändring av antalet personer i hushållet. Vid nybyggnation eller om du ej får ström från något kommersiellt kraftbolag kan man uppskatta sin strömkonsumtion genom att använda tabeller över genomsnittliga värden på hushållsapparater (se bilaga 6). Dessa beräkningar bör göras så noggrant som möjligt, då ett fel i dimensioneringen av kraftverket medför att kostnaderna blir onödigt höga eller att strömbehovet ej klaras.

2. Med maximal konsumtion menas det maximala behovet av elektrisk energi vid ett vist tillfälle.

Maximal konsumtion kan vidare förklaras, om alla apparater i huset används på samma gång är den strömmängd som då krävs den maximala. Denna maximala strömmängd får inte förväxlas med total konsumtion, då situationer kan inträffa att ett av dessa behov uppfylls men inte det andra. I mikrovattenkraftverk orsakas oftast problemen av den maximala konsumtionen och inte av den totala. Precis som i större kraftverk, är stora strömtoppar förhållande till normalkonsumtionen förödande, effektiviteten blir sämre och priset för anläggningarna blir högre. Det kanske blir fördelaktigt eller nödvändigt att ändra något i din livsstil istället för att bygga ett system som klarar dessa strömtoppar.

När maximal och total konsumtion har tagits fram kan en lämplig elektrisk lösning tas fram. Detta kan ej göras generellt utan bedömning måste göras från fall till fall.

5. Lönsamhetsbedömning

Innan man kan påbörja någon ekonomisk bedömning av ett mikrovattensystem måste systemets totala kostnad bestämmas. Den totala kostnaden skall inte bara innefatta kostnaden för generator och turbin, utan också kostnaden för alla kablar, rör, dammar, byggnader, ingenjörsjobb, bygglov och övrig utrustning som krävs. Alternativen till ett mikrovattenkraftverk bör också utvärderas, detta för att kunna jämföra med dess kostnader.

Utmärkande för många förnyelsebara energiresurser är att de anses relativt dyra att bygga, trots detta är livscykelkostnaderna klart konkurrenskraftiga jämfört med kommersiella energiresurser. Mikrovattenkraftverk är till exempel relativt dyra att bygga, men förutom små underhållskostnader producerar de gratis energi under mycket lång tid. Den ekonomiska analysen av ett sådant vattenkraftsystem måste därför innehålla livscykelkostnader. Om huset ligger långt ifrån ett befintligt kraftnät måste anslutningskostnaderna tas med, när kostnaderna för ett alternativ beaktas.

Om huset har tillgång till ett kommersiellt kraftnät och vattnet inte skall användas till något annat, kan det bli svårt att motivera ett byggande av ett mikrovattenkraftverk på ekonomiska grunder om man inte tittar på kostnaderna över en lång tid. Som synes finns det en rad saker som påverkar den ekonomiska analysen, det är därför svårt att upprätta en generell mall. Här nedan följer några viktiga punkter att tänka på innan beräkningarna påbörjas:

1. Skall du basera beräkningarna på livstiden av systemet, som kan vara 25 år eller längre, eller på en kortare tid?
2. Har du dyra nätavgifter från ditt nuvarande elbolag?
3. Är bidrag möjliga från stat eller kommun?
4. Hur länge kommer systemet att användas, och har anläggningen något andrahandsvärde?
5. Finns det någon möjlighet att sälja el vid behov till grannar eller elbolag?
6. Hur mycket av installationen och underhållet på anläggningen kan du göra själv?

För många människor är möjligheten att vara självförsörjande mycket tilltalande, och de ekonomiska aspekterna tonas ned. Men för de flesta människor är det viktigt att skilja de ideologiska aspekterna från de ekonomiska. Det finns många människor som ser mikrovattenkraftverk som ett ekonomiskt fördelaktigt alternativ och de ekonomiska argumenten är då ofta tillräckliga.

Lönsamhetsbedömningen kan göras på många olika sätt. De metoder vi har valt att ta upp är Nuvärdesmetoden och Payback metoden. Dessa metoder tycker vi är bra och enkla att använda vid lönsamhetsbedömning av mikrovattenkraftverk. Här nedan följer en enkel förklaring samt två exempel på hur nuvärdesmetoden och Payback metoden kan användas.

5.1 Nuvärdesmetoden

När man beräknar ett nuvärde börjar man med att bestämma sig för vilken period som kalkylen skall omfatta. Nästa steg är att bestämma kalkylräntan. Kalkylräntan är detsamma som den avkastning man vill ha på sina pengar. När man har bestämt dessa parametrar transformeras normalt alla betalningsströmmar till tidpunkten för grundinvesteringen som ofta är den största utbetalningen. Man använder då tabell 4 och tabell 5 i bilaga 6. Om en investering ger positivt nuvärde avkastar den mer än önskat förräntningskrav dvs. mer än kalkylräntan. Vid konkurrens mellan flera investeringsalternativ skall man välja det alternativ som ger högst nuvärde.

Nuvärde:
$$\text{Summa inbetalningar} - \text{Summa utbetalningar}$$

(samtliga diskonterade till nutidpunkten med hjälp av tabell 4 och 5 i bilaga 6.)

5.2 Paybackmetod

Payback metoden som är den enklaste metoden för investeringskalkylering tar ingen hänsyn till att belopp vid olika tidpunkter har olika värde. Metoden har därför inga ränteöverbälganden och inga tabeller behöver därför användas. Den investering som snabbast har återbetalat sig med inbetalningsöverskott är den förmånligaste. De betalningar som inträffar efter Payback tiden beaktas inte.

Om inbetalningsöverskotten är lika stora från år till år erhålls återbetalningstiden genom att grundinvesteringen divideras med inbetalningsöverskottet per år. Exempel en grundinvestering på 10000 kr medför ett årligt inbetalningsöverskott på 2000 kr per år. Återbetalnings tid för denna investering blir då $10000/2000 = 5$ år.

5.3 Statliga bidrag

Statliga bidrag ges av och enligt energimyndighetens förordning (1988:22) till små vattenkraftverk i storleken 100-1500kW. Då dessa vattenkraftverk är större än de som är tänkta att behandlas i denna rapport så kommer endast statliga bidrag att behandlas ytligt.

I princip så är det bara effektivisering, ombyggnad eller återuppbyggnad av befintliga anläggningar som kan komma ifråga för bidrag. Detta för att nya vattendomar vid nyetablering är svåra att få godkända. Dessutom är det ett krav att anläggningen ska vara av typen strömkraftverk det vill säga att ingen magasinering av vatten uppströms får förekomma. Bidrag lämnas, från 2002-01-01, med en nivå om högst 10 % av investeringskostnaden. Till investeringskostnader räknas ny mekanisk- och elektrisk utrustning, kraftstations- och dammbyggnader, kanaler, tub, intag, styr- och reglerutrustning, installationskostnader, nätanslutning och projekteringskostnader.

6. Exempel på projektering av mikrovattenkraftverk

6.1 Beskrivning av exemplet Bollebygd

Vi har studerat ett exempel ca 7km söder om Bollebygd (se karta bilaga 4). Denna bäck startar i Abboresjön, går via Tornsjön och ansluter senare i Sörtan. Två alternativ på turbinplaceringen har jämförts se bild 5 nedan. Fallhöjden som kan användas vid alternativ 1 är 3m. Denna fallhöjd är lodrät och därför behöver ingen rördragning utföras. Allt vatten i bäcken kan användas till att driva turbinen, utan skadlig miljöpåverkan vid denna turbinplacering. Detta beroende på att fisk i bäcken ändå inte kan ta sig upp eller ner för fallet. Bruttofallhöjden kan i alternativ 2 ökas till 12m genom att anlägga ett rör på en sträcka av 85m. I detta alternativ bör dock inte hela flödet användas då fisk och andra växter och djur i bäcken då kommer att försvinna.

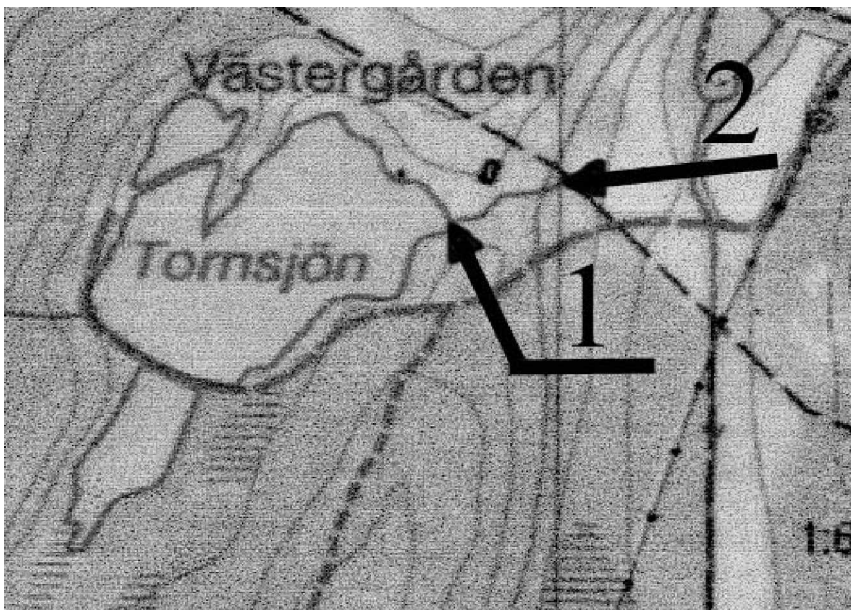


Bild 5. Placering av turbin, alternativ 1 och 2.

Uppströms fallet ligger Tornsjön, en sjö på ca 2 hektar som i viss mån kan användas som vattenmagasin. En damm som kan fungera som inlopp finns redan på platsen. Dammen är en kombinerad ek och betongdamm se bild 7 och 8 nedan och är i gott skick.



Bild 6. Vy över betong/ ekdamm. (Engström, L)



Bild 7. Vertikalt fall 3,0m. (Engström, L)

Flödets variation under året bestämdes genom att flödet mättes 10 gånger under perioden september tom april år 2001-2002 se tabell nedan. Mätmetoden vi använde var mätning med överfallsdamm, som beskrivs i kapitel 2.1.

Datum för mätning	Flöde vid mättillfället
15 September	75 l/s
5 Oktober	80 l/s
25 Oktober	98 l/s
20 November	101 l/s
29 November	105 l/s
21 December	92 l/s
15 Januari	145 l/s
3 Februari	130 l/s
18 Mars	92 l/s
15 April	52 l/s

Medelflödet under dessa tio mätningar blev 97 l/s. Under den resterande delen av året har en visuell bedömning gjorts. Där kom vi fram till att flödet var så litet och varierade så mycket att det inte går att räkna med någon kraftproduktion. För att se om perioden september tom mars 2001-2002 hade normala flöden, jämfördes våra nederbördsdata i Borås med ett medelvärde mellan 1961 och 1990. Se diagram 5 nedan.

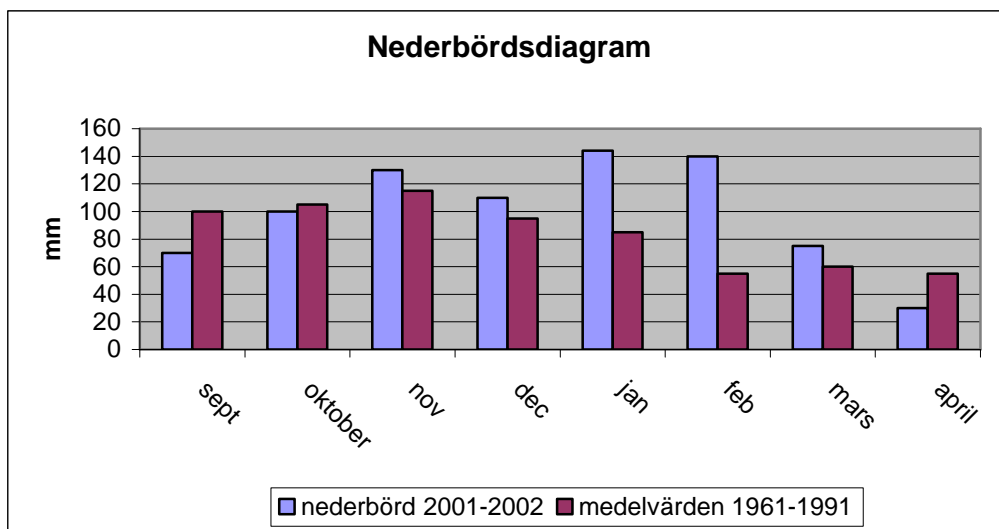


Diagram 5. Nederbördsdiagram.

Resultatet av jämförelsen blev följande. Eftersom det kom ca 19 % mer nederbörd under perioden september tom april 2001- 2002 i Borås, än medelvärdet mellan 1961-1991 minskades det dimensionerande medelflödet från 97 l/s till 80 l/s. Detta nya reglerade medelflöde blev sedan det flöde vi dimensionerade strömkraftverket för.

6.2 Utformning av fallet i Bollebygd

Fallet i Bollebygd har enligt tidigare beskrivning två alternativ på placering av turbinen. I alternativ 1 har vi valt ett likströmssystem där den producerade strömmen först lagras i batterier. Strömmen i batterierna omformas sedan till växelström med önskad spänning. Turbinen i detta system är en propellerturbin på 150 mm. Detta ansåg vi vara det mest fördelaktiga, då flödet och fallhöjden innebär en strömproduktion av max 2 kW. Detaljer och priser på den utvalda utrustningen finns i bilaga 5. I alternativ 2 valdes ett växelströmssystem från Cargo kraft. Detta beroende på att fallhöjden och flödet i detta alternativ innebär en större strömproduktion av ca 5 kW. Turbinen i systemet är en 235mm stor propellerturbin. Generatoren är en asynkrongenerator. Rödragningen som krävs vid denna turbinplacering är 85 m lång. Materialet i rören är valt till pvc och dimensionen är 300mm. För detaljer och priser på vald utrustning se bilaga 5.

6.3 Lönsamhetsbedömning

Beräkningsexempel 1 Bollebygd

Kostnadsöverslag

Grundförutsättningar	Fallhöjd	3.00 m
	Optimalt flöde genom turbin	0,10 kpm/s
	Turbineffekt	2 kW
	Beräknad årsproduktion	10000kw/h
Övriga förutsättningar	Grundinvestering enligt bilaga 5.1	128440 kr
	Intäkterna blir	10000 kr /år vid ett kWh pris på 1 kr
	Realränta	5%
	Avskrivningstid	25 år
	Restvärdet	25000 kr

Nuvärde: $-128440 + 10000 \cdot d1 + 25000 \cdot d2$
D1= 14,094 enligt tab. C
D2= 0,2953 enligt tab. B
= 19882 kr

Payback tid: $128440 - 10000 \cdot X$

X= antal år till lönsamhet
= 12,8 år

Beräkningsexempel 2 Bollebygd

Kostnadsöverslag

Grundförutsättningar	Fallhöjd	12 m
	Optimalt flöde genom turbin	0,07 kpm/s
	Turbineffekt	5 kW
	Beräknad årsproduktion	25000 kW/h
Övriga förutsättningar	Grundinvestering enligt bilaga 5.2	220 370 kr
	Intäkterna blir	25000 kr /år vid ett kWh pris 1 kr
	Realränta	5%
	Avskrivningstid	25 år
	Restvärdet	25000 kr

Nuvärde: $-220\,370 + 25000 \cdot d_1 + 25000 \cdot d_2$
D1= 14,094 enligt tab. C
D2= 0,2953 enligt tab. B
= 139362 kr

Payback tid: $220\,370 - 25000 \cdot X$

X= antal år till lönsamhet
= 8,8 år

Som framgår enligt ovan så är exempel 2 mer lönsamt, både med hänsyn till nuvärdesmetoden och paybackmetoden. Detta trots att investeringen här är större. Detta ser man både på att nuvärdet blir större och att paybacktiden blir kortare för detta exempel. Detta förutsätter dock att hela strömproduktionen på 25000 KWh användas.

7. Miljöpåverkan, tillstånd och lagar

7.1 Miljöpåverkan

Vattenkraft är en ren och förnyelsebar kraftkälla. Vattnet är lika rent då det rinner in i turbinen som då den lämnar densamma. Det är inte kraftkällan det vill säga vattnets lägesenergi som på något sätt är miljöpåverkande utan vad man gör med den. Det finns fem stycken miljörisker som man bör beakta särskilt.

Ras och skred är överhängande om man ej tänker på vad uppdämning kan medföra. Förändringar av vattennivåer och då särskilt snabba sådana medför ökad rasrisk. Rasrisken omfattar inte bara lerjordar utan även grövre jordarter såsom moräner. Man ska därför noggrant kartera de geologiska och hydrologiska förhållandena. Vid behov skall strandbrinkar förstärkas och släntras av. Vattenflödet ska regleras så att snabba nivåförändringar undviks.

Yt och grundvattenförhållandena kan komma att ändras, detta medför risk för närliggande bostäder som kan få försämrade egenskaper på avloppsanläggningar och dräneringar. Översvämningar av skog och jordbruksmark kan också bli ett problem.

Landskapsbilden ändras vid fördämningar därför är det viktigt att man tänker på estetik när man gräver och schaktar. Ett översvämmat område kan användas för att iordningställa en badplats. Det övergripande intrycket efter åtgärd kan då bli en förbättring om kanter varit bevuxna med sly och högt gräs.

När man tar flöde från vattendraget och leder in den i en turbin så försvårar man den naturliga vandringen för många arter. Det finns cirka 2000 hotade djurarter i Sverige. För cirka 100 av dessa arter så utgör vattenkraftsutbyggnad en del av deras hotbild. Ofta samverkar flera faktorer till exempel försurning, med vattenföringen i ett vattendrag. Om man löser ett av problemen kan det betyda en liten förbättring för arten. Först då alla problemen är lösta så kan hotet mot den utsatta arten vara borta. Eftersom de flesta arter ingår i ett komplicerat ekologiskt system, så kan det bli förödande konsekvenser för systemet om man mister en enda art. Då vattenkraften byggs ut försvinner inte bara arters beroende av strömmande vatten, utan hela biologiska livsmiljöer. Om man dessutom leder hela flödet in i turbinen så gör man det omöjligt för bl a fiskar att ta sig upp, dessutom lämnar man en uttorkad del av vattendraget efter sig (se bild 9).

Byggnationen kommer att medföra risker genom hantering av oljor, kemikalier och cement. Vid drift kommer hanteringen av oljor och kemikalier vara en fortsatt risk om än i en begränsad omfattning. Risken för dammbrott bör också alltid beaktas.



Bild 8. Bild på hur ett mikrokraftverk kan inverka på naturen.(Andersson, N)

Man får väga fördelen med en ren energikälla mot naturvärden som i sig är svåra att mäta. Till detta resonemang hör att man ofta ej använder sig av allt flöde i strömkraftverk och att man inte använder sig av stora dammar. Uppdämning av vatten leder ofta till komplicerade och svåröverskådliga konsekvenser. När man bygger dammen så höjs vattennivån uppströms och en ny kustlinje bildas. Med stor sannolikhet kommer stora områden vara torrlagda under sommaren och på våren kommer de att vara under vatten. En annan effekt av fördämningar är att en högre grundvattenyta skapas ovanför dammen, detta kan leda till att marken undermineras med jordskred som följd.

7.2 Tillstånd och lagar

För att få bygga och driva ett mikrovattenkraftverk så krävs som regel tillstånd av miljödomstolen. Ansökan skall innehålla ritningar, strömfallets läge och beskaffenhet, vem som har rådighet över vattnet, samt uppgifter om hur mycket energi som man tänkt producera. Det sist nämnda behövs för att beräkna en avgift till dem som eventuellt blir drabbade. Eftersom en prövning av vattenverksamhet omfattas av miljöbalkens bestämmelser ska nästan alltid en miljökonsekvensbeskrivning upprättas. I följande fall finns möjlighet till undantag från tillståndsplikten:

Om det är uppenbart att varken allmänna eller enskilda intressen skadas genom vattenverksamhetens inverkan på vattenförhållandena. (De allmänna intressena ska bedömas av länsstyrelsen)

För vattentäckt för en- eller tvåfamiljsfastighet eller jordbruksfastighets husbehovsförbrukning eller värmeförsörjning.

Dessa uppgifter om tillstånd och lagar är hämtat från Länsstyrelsen Dalarnas län.

8. Sammanfattande kommentarer

Vattenkraft bygger på enkla teorier. Flödet och fallhöjden ger energi som omvandlas till elektricitet. Teoretiskt är vattenkraft enkelt att räkna på. Det finns dock ett problem, det är att flödet varierar på grund av klimatet. Denna flödesvariation leder till att om man vill säkerställa elektricitet dygnet runt, året runt så bör en alternativ elektrisk källa finnas.

Den tekniska utrustningen finns i en mängd variationer beroende på förhållandet mellan flödet och fallhöjden. Förenklat kan sägas att fallhöjden bestämmer typ av turbin och effekten bestämmer valet av elektrisk lösning.

Då det är svårt att ackumulera elektrisk energi i längre perioder, så bör ej effekten vara större än vad användaren konsumerar. För ett hushåll så räcker det med effekten som ett mikrovattenkraftverk producerar. Detta innebär att användandet av denna energikälla kan ökas om fler upptäcker denna möjlighet. Ekonomiskt innebär ofta en investering av ett mikrovattenkraftverk ekonomisk lönsamhet efter ca 10 år.

Då man projekterar för ett mikrovattenkraftverk bör man noggrant utreda förhållandena med flöde fallhöjd och klimat. Det sistnämnda är ett mycket svårt kapitel som man måste ta hjälp av experter för att få en rättvis bild på hur flödet kommer att variera. När man projekterar bör man vara medveten om att mycket av lönsamheten ligger i att man själv engagerar sig i energihushållning samt att man bör vara händig så att kostnader för service och underhåll minimeras.

Miljöpåverkan med byggandet av ett mikrovattenkraftverk är subjektivt. Som energiråvara är vatten utmärkt att exploatera. Det största miljöproblemet som vi ser är den åverkan som damm och intag gör. Denna åverkan kan minimeras om man tidigt i projekteringsstadiet tänker på dessa problem och utreder olika alternativa lösningar. Vi tror också att om energiproduktionen sker lokalt så ökar också förståelsen och medvetenheten om energihushållning.

Litteraturförteckning

Beng, M (1978), *Hallstorpsfallet projektering av ett minikraftverk*, Chalmers tekniska högskola, Göteborg

Brandel, M (2000), *Miljökonsekvensbeskrivning m.m. för små vattenkraftverk*, Energimyndigheten, Eskilstuna

Häggström, S (1999), *Hydraulik för teknologer*, Chalmers tekniska högskola, Göteborg

Nordström, B (1987), *Flödesmätning- vatten*, Naturvårdsverket, Stockholm

Noyes, R (1980), *Small and micro hydroelectric power plants*, Noyes data corporation, New Jersey

Statens energiverk (1984), *Små vattenkraftverk*, Statens energiverk, Stockholm

Bergdahl, L (2000), *Vattenkraft*, Vatten miljö transport Chalmers, Göteborg

Raab, B (1995) *Klimat, sjöar och vattendrag*

Internet källor

Energy systems and design (2001) *Hemsida* [www] Hämtat från <http://www.microhydropower.com/index2.htm> Publicerat 2001. Hämtat 5 Maj 2002.

Kargo och kraft (200?) *Småskalig vattenkraft* [www] Hämtat från <http://www.cargo-kraft.se/> Publicerat 200?. Hämtat 1 Maj 2002

Rami Poli (2000) *Vattenkraft –jordens oändliga energi* [www] Hämtat från http://www.e.kth.se/~e99_rpo/frames/frames.html Publicerat 2000. Hämtat 27 April 2002

Småkraftverkens riksorganisation (200?) *Hemsida* [www] Hämtat från <http://www.se.ro.se/> Publicerat 200?. Hämtat 27 April 2002

Legoelektronik AB (200?) *Hemsida* [www] Hämtat från <http://www.legoelektronik.se/> Publicerat 200?. Hämtat 20 April 2002

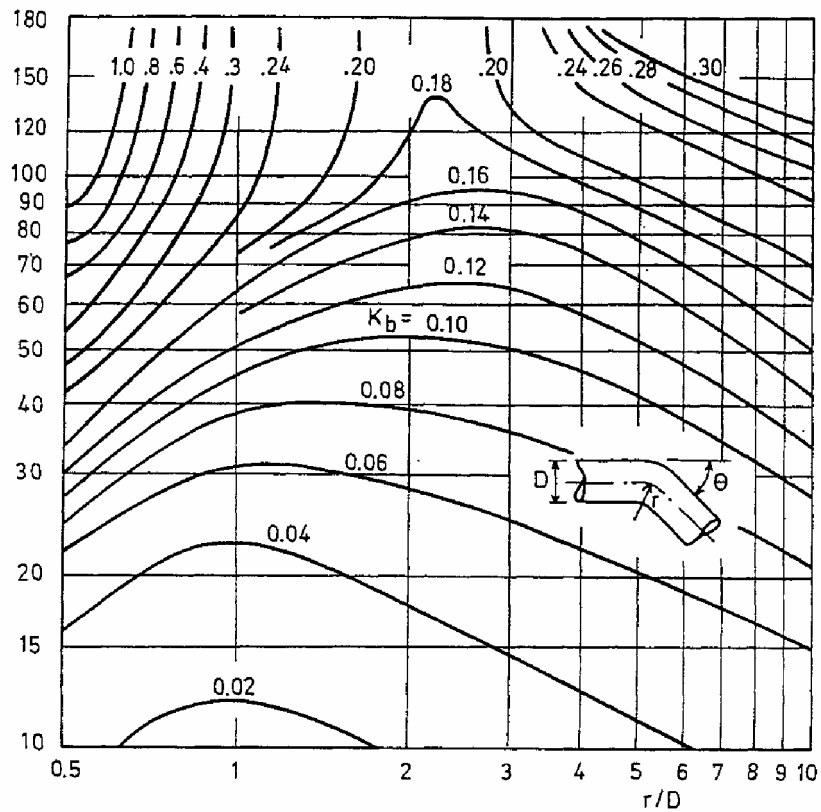
Morehead valley hydro Inc (2002) *Hemsida* [www] Hämtat från <http://www.smallhydropower.com/> Publicerat 2002. Hämtat 25 April 2002

ABS Alaska (2000) *Hemsida* [www] Hämtat från <http://www.absak.com/> Publicerat 2000-02 Hämtat 20 April 2002

Länsstyrelsen Dalarnas län (200?) *Hemsida* [www] Hämtat från <http://www.w.lst.se/org/moljo/Balken/vatten.htm> Hämtat 20 Maj 2003

Svensk energi (2003) *Hemsida* [www] Hämtat från <http://www.svenskenergi.se/energifakta/tillverkas.htm> Hämtat 20 April 2003

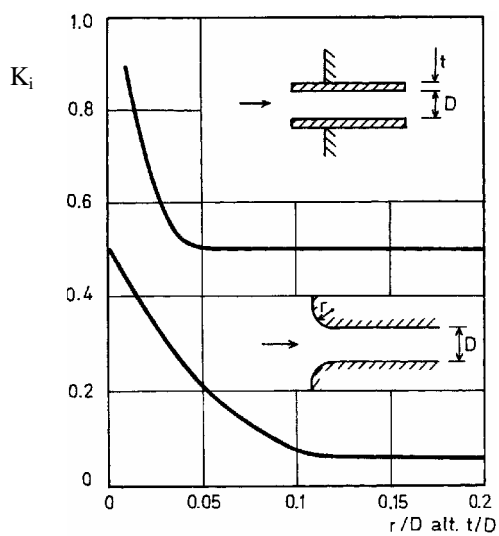
Krökförlust



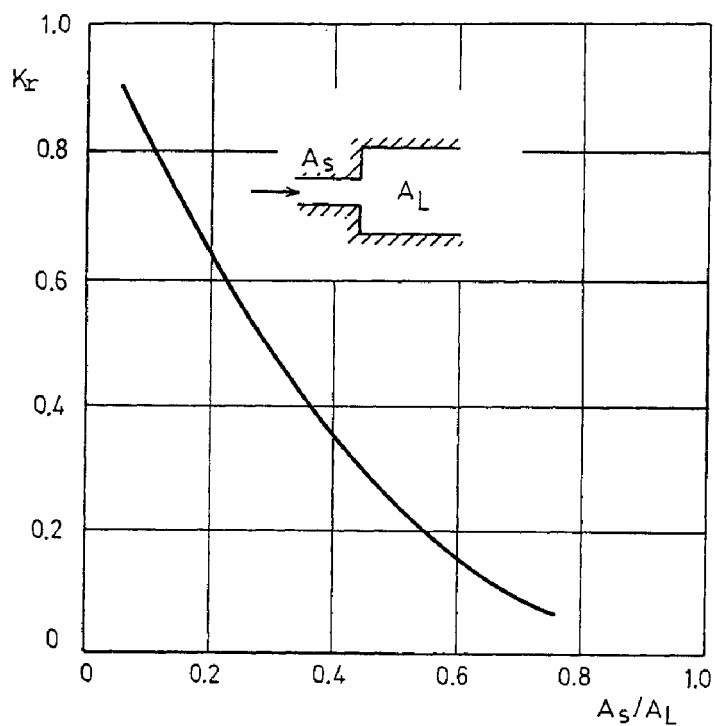
Rörtyp	Tillstånd	k (mm)
Gjutjärn	Nya huvudledningar	0,1
	Nya övriga ledningar	0,2-0,5
	I bruk något rostangripna	1,0
Stålrör	Nya sömlösa el svetsade	0,1-0,2
	I bruk något rostangripna	0,5
	I bruk starkt rostangripna	1-5
Kopparrör	D<200 mm	0,01
Betongrör	Nya ledningar	0,2-0,5
	Äldre ledningar	1
Lerrör	Nya ledningar	0,2
PE, PVC	D<200 mm	0,01
	D>200 mm	0,05
AP (glas-fiberarmerad Polyester)		0,1

Bilaga 1. Krökförlust, Relativ råhet.

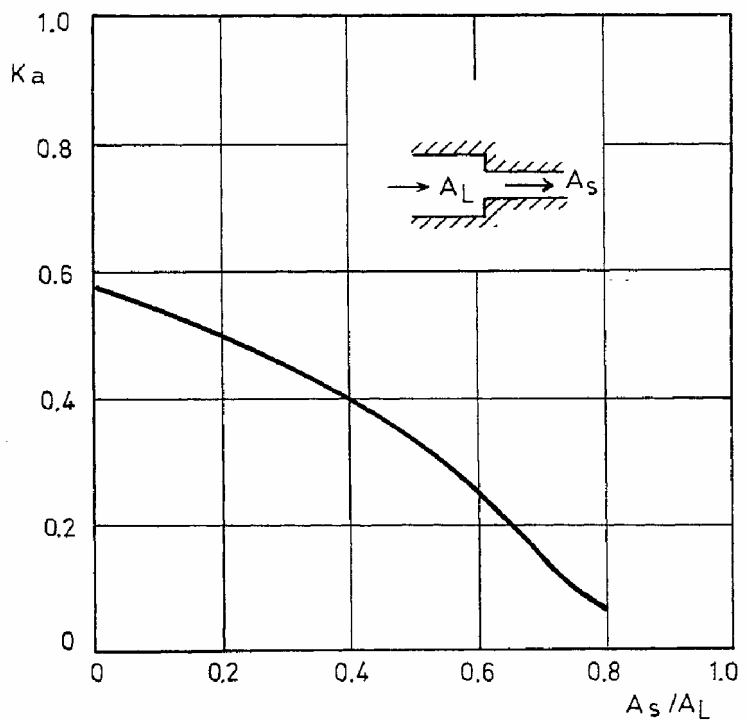
Förlust vid inströmning



Retardationsförlust

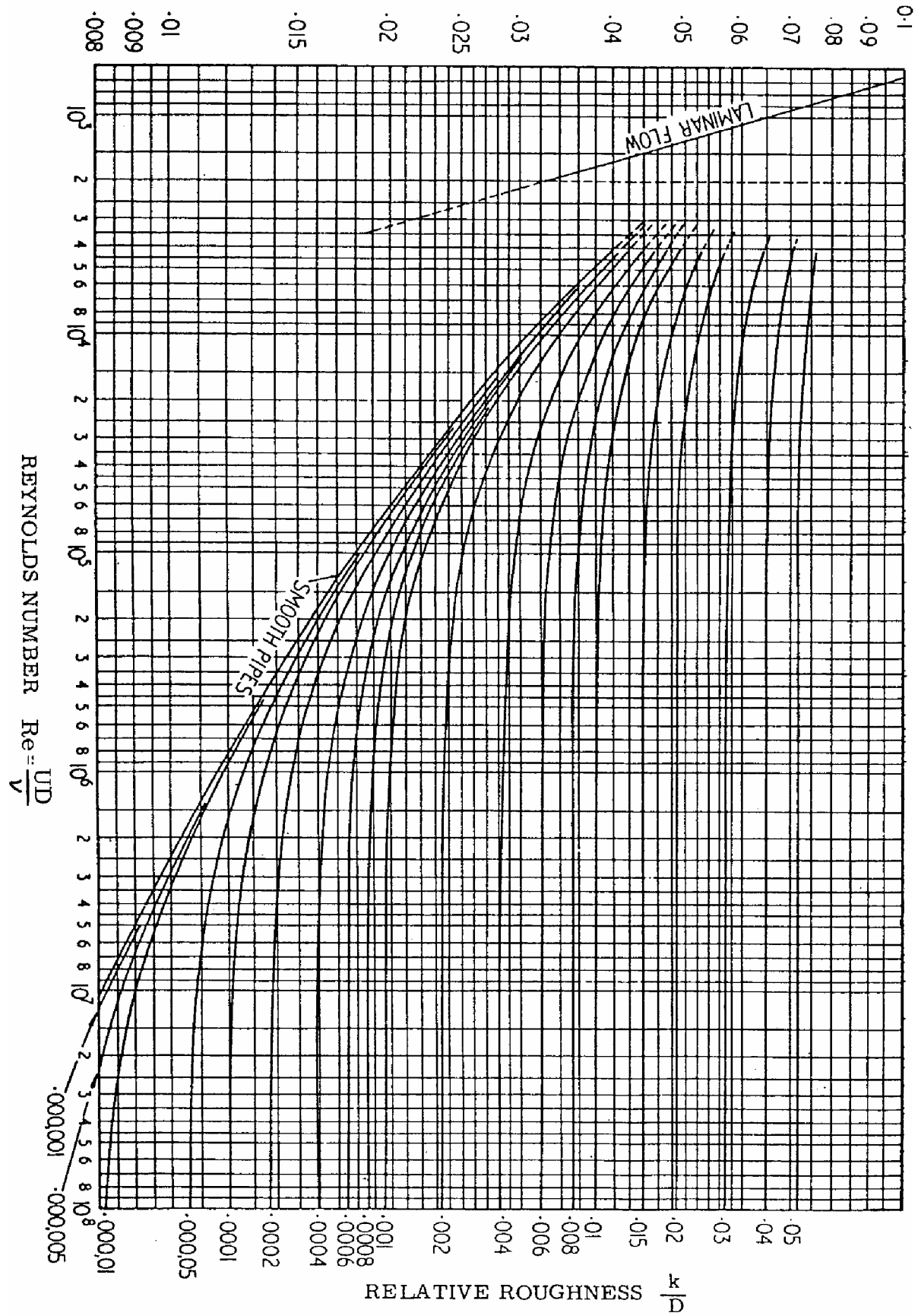


Accelerationsförlust



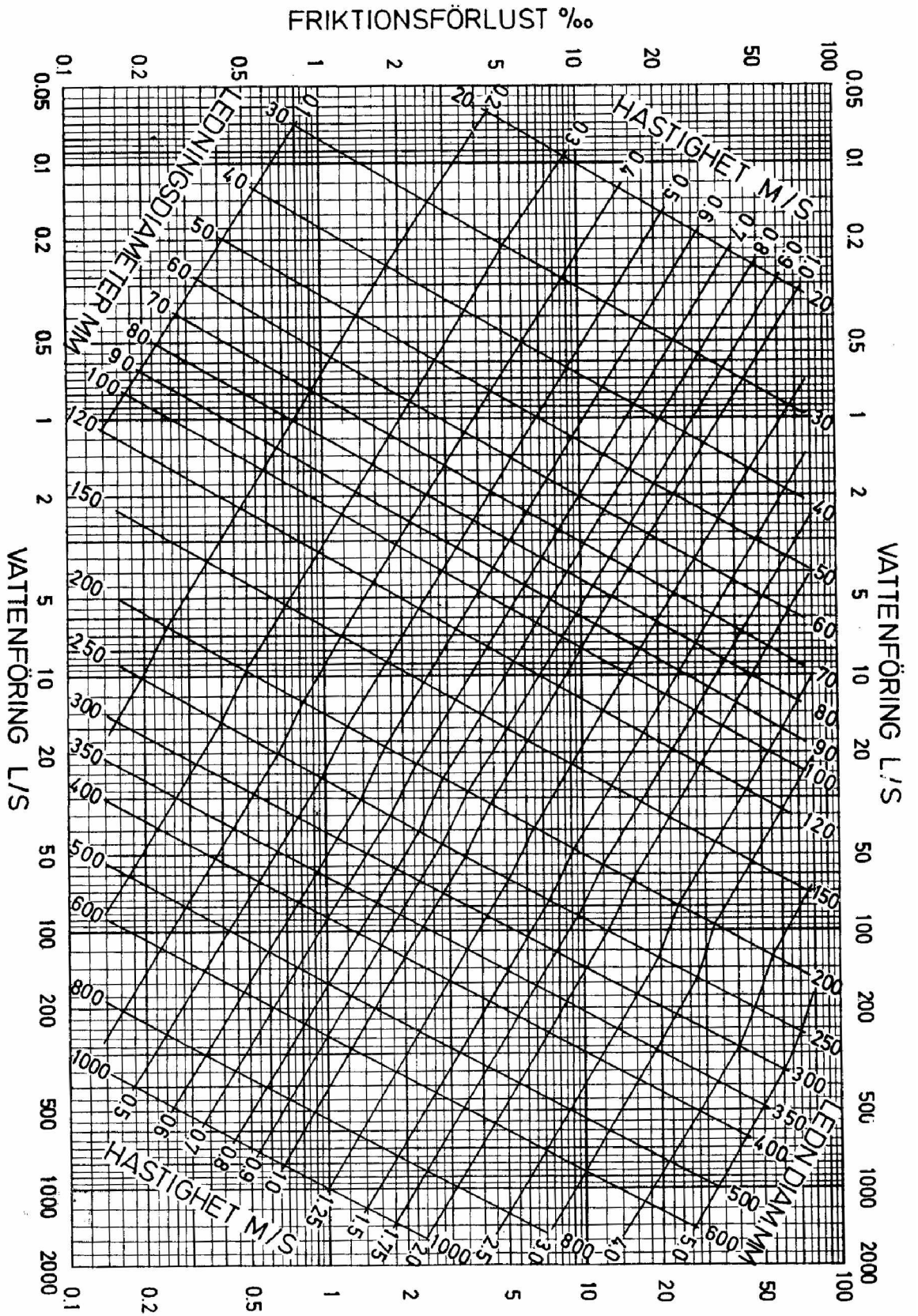
Bilaga 1.1. Förlust vid inströmning, Retardationsförlust, Accelerationsförlust.

$$\text{FRICTION COEFFICIENT } f = \frac{h_f}{\left(\frac{L}{D}\right) \frac{U^2}{2g}}$$



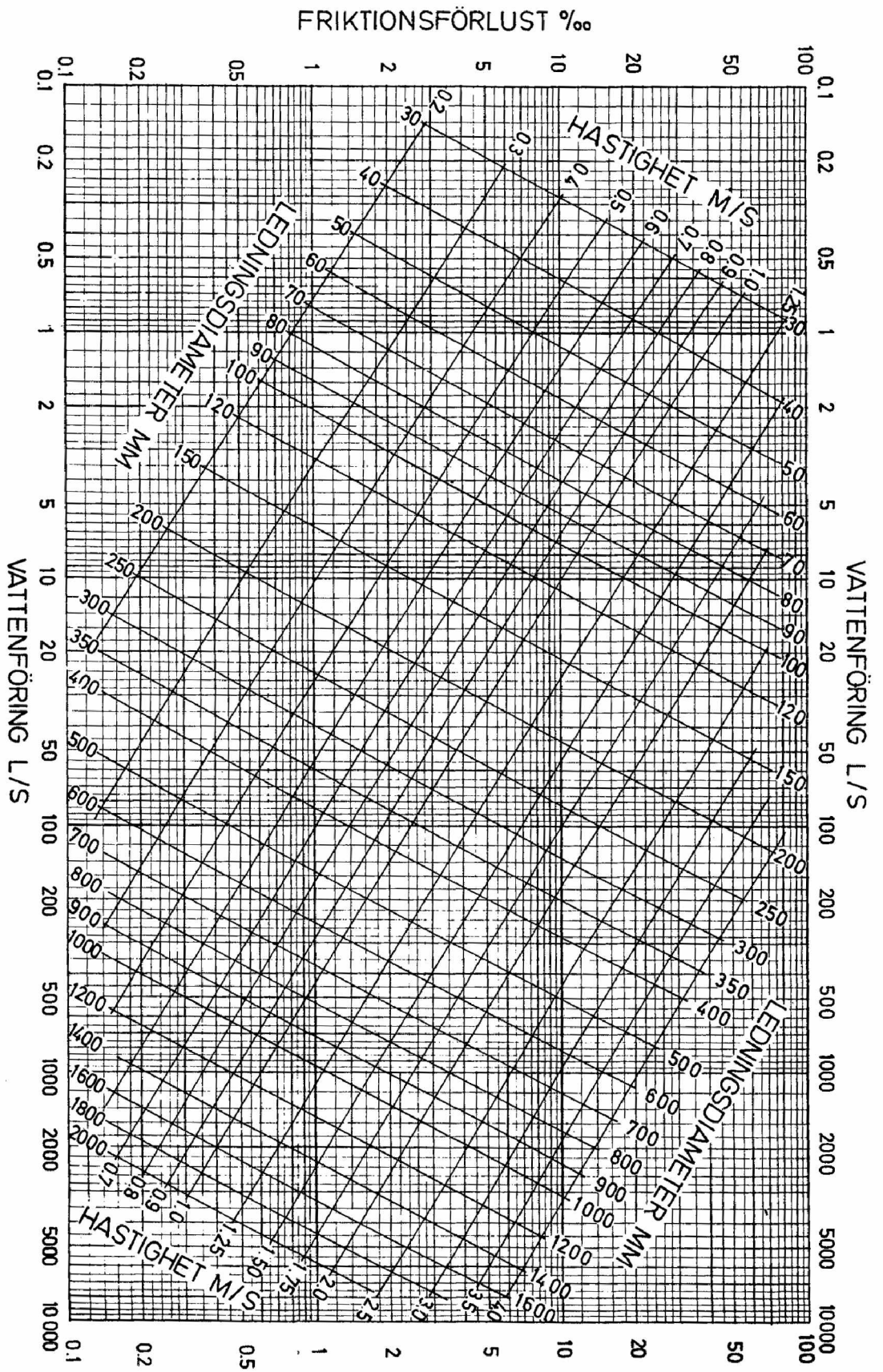
Bilaga 2. Moodys diagram.

Friktionsförlustdiagram, $k = 0,01$ mm för diametern ≤ 200 mm och $k = 0,05$ mm för diametern > 200 mm.



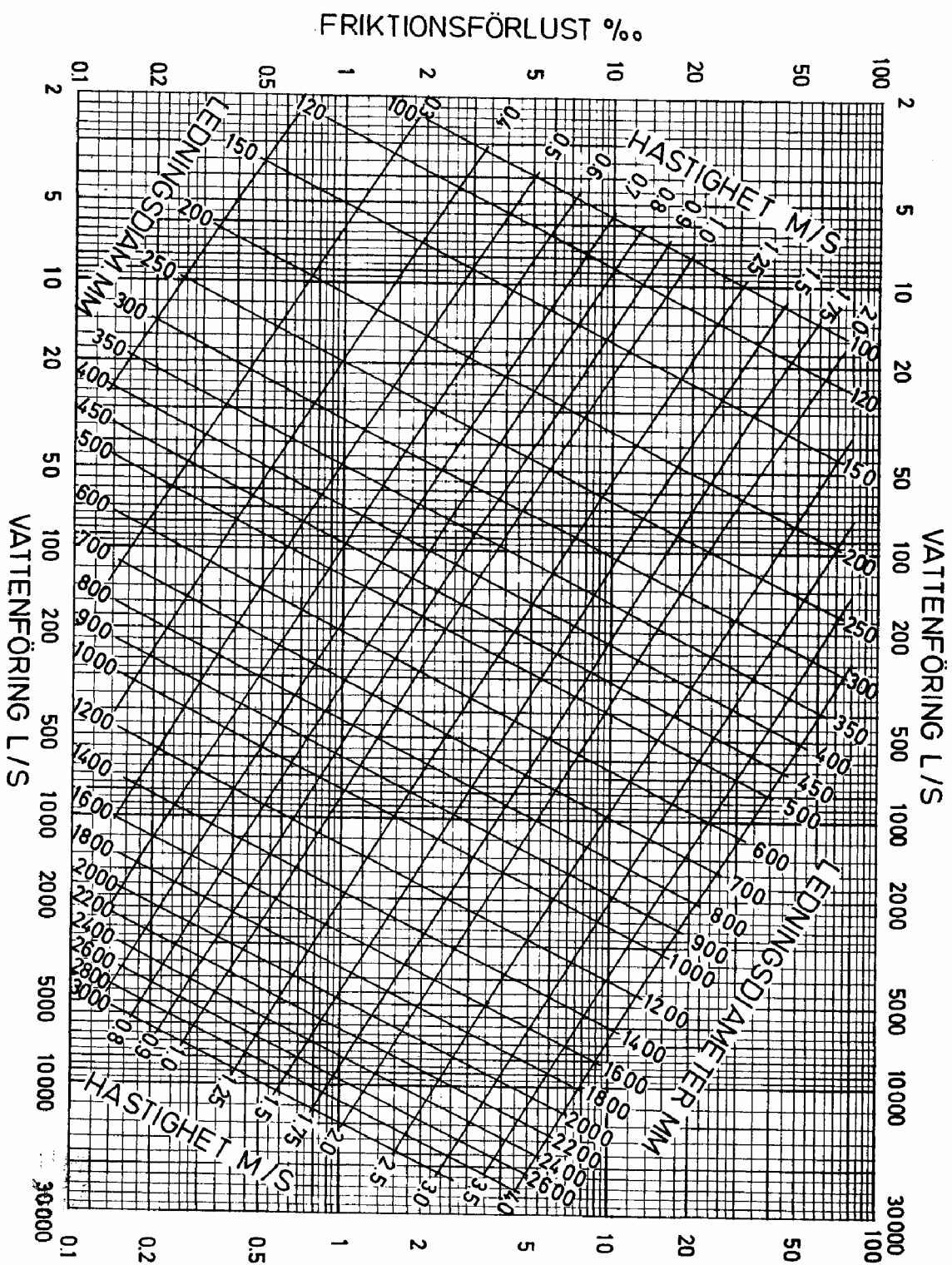
Bilaga 3.1. Colebrooks diagram, $k = 0,01$.

Friktionsförlustdiagram, $k = 0,1 \text{ mm}$.



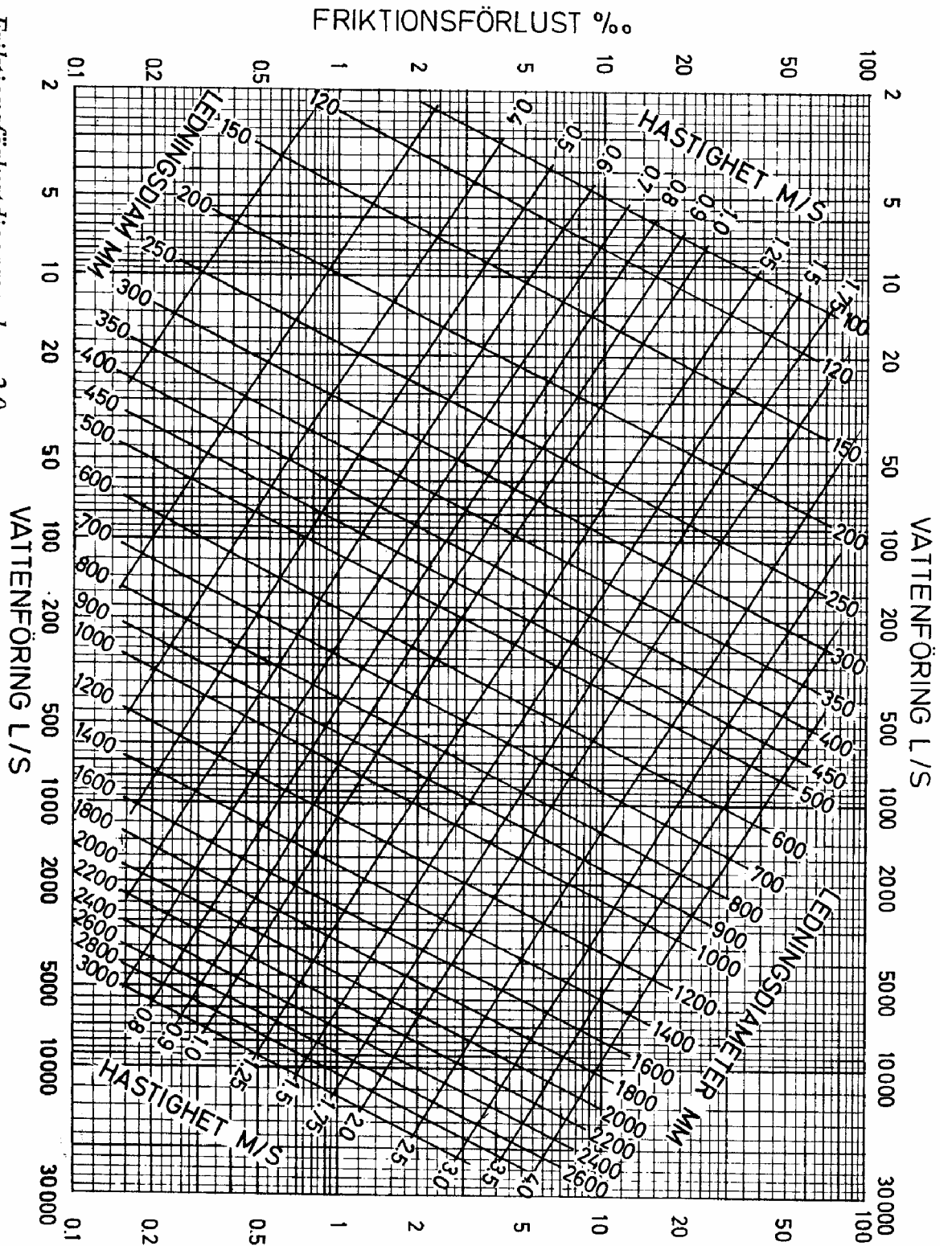
Bilaga 3.2. Colebrooks diagram, $k = 0,1$.

Friktionsförhållningsdiagram, $k = 1,0 \text{ mm}$



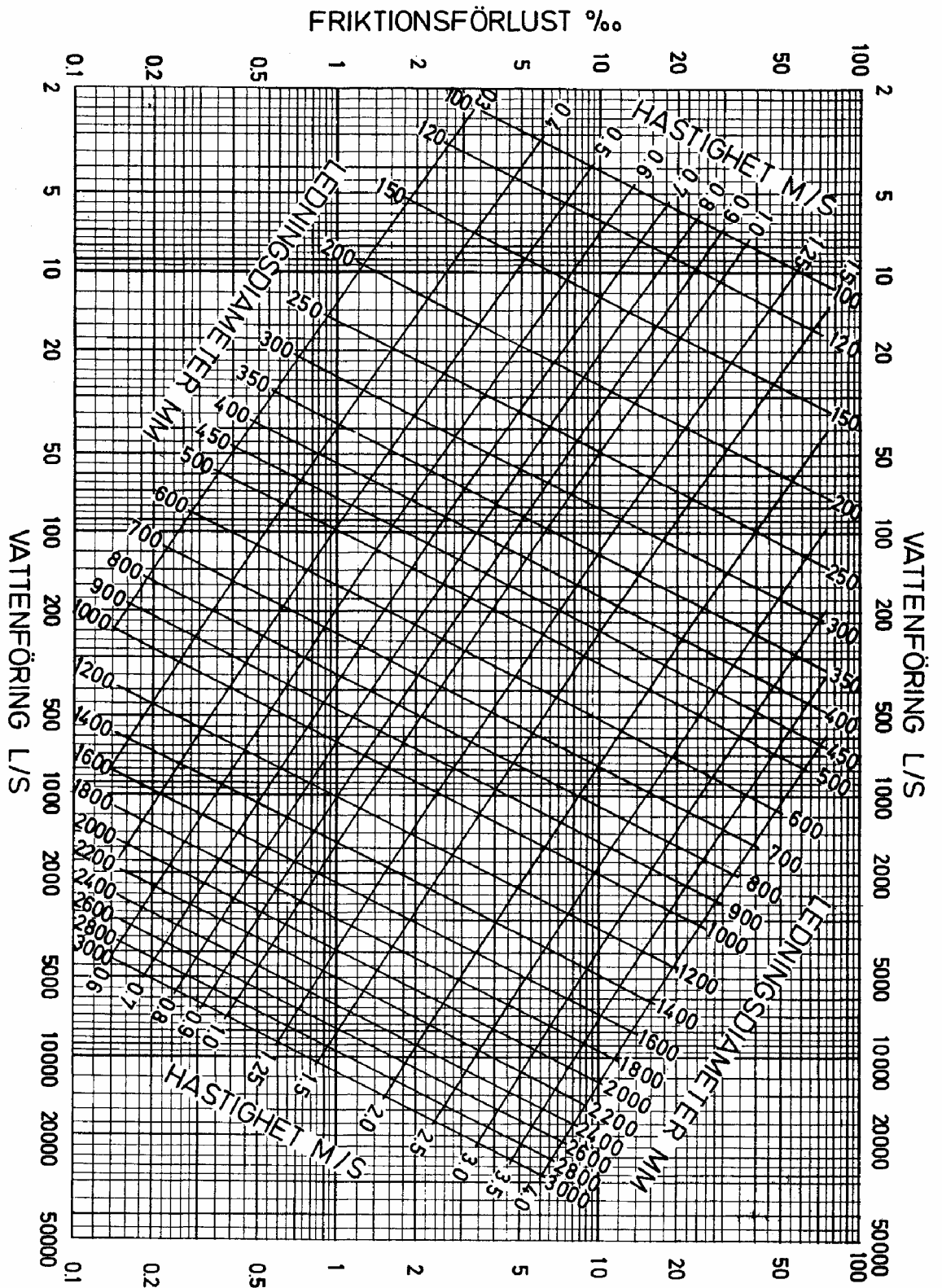
Bilaga 3.3. Colebrooks diagram, $k = 1,0$.

Friktionsförlustdiagram, $k = 2,0 \text{ mm}$

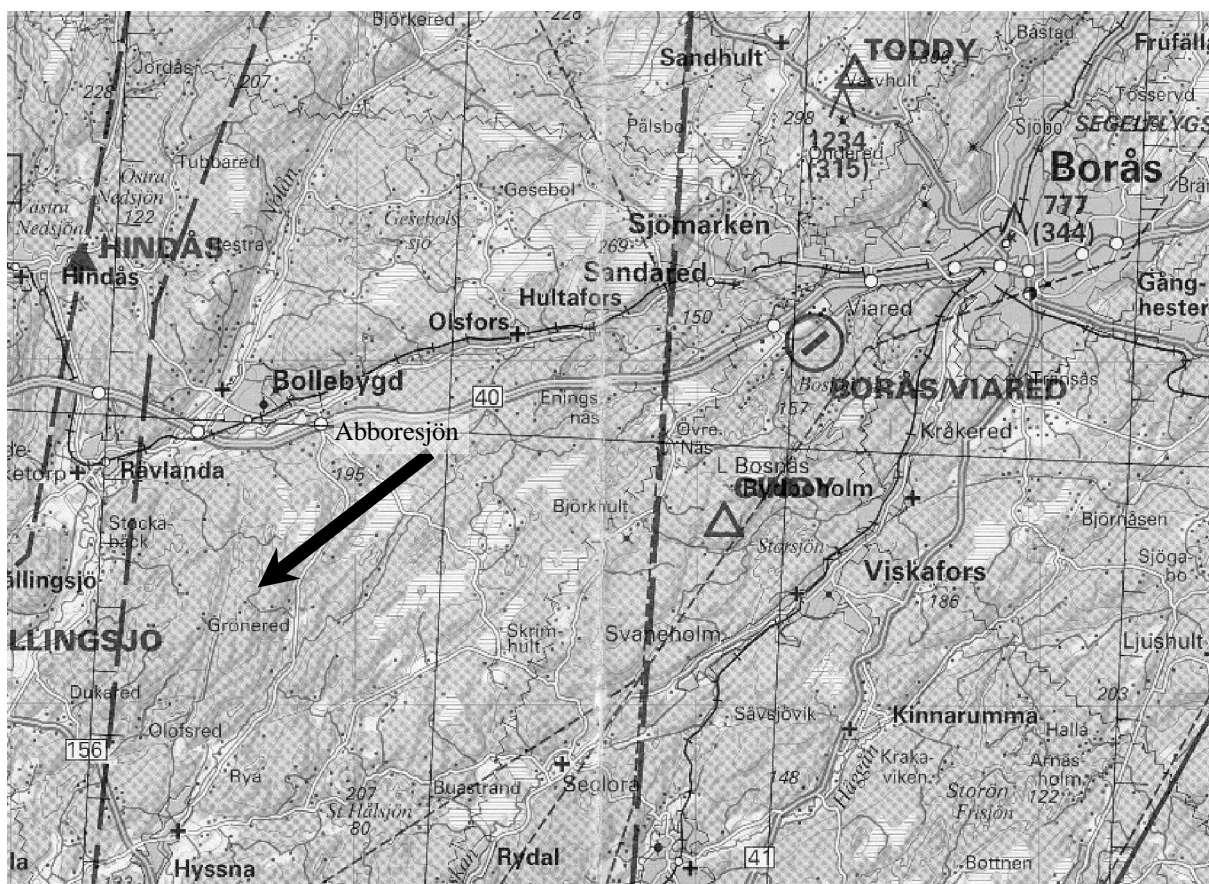


Bilaga 3.4. Colebrooks diagram, $k = 2,0$.

Friktionsförstadiagram, $k = 5,0 \text{ mm}$.



Bilaga 3.5. Colebrooks diagram, $k = 5,0$.



Bilaga 4. Översiktskarta Bollebygd.

Kostnadsöverslag för Bollebygd 1

Grundförutsättningar	Fallhöjd Optimalt flöde genom turbin Turbin effekt	3,00 m 0,10 kbm/s 2 kW
Damm	Bygge/ Upprustning av damm Intag Grind	- kr 2 000 kr 5 000 kr
Drivvatten	Tub läng 1m	1 000 kr
Turbin	Propellerturbin + likströmgenerator Styrning	50 000 kr 5 000 kr
Batteri	12v/1015 Ah	18 500 kr
Omformare	DC-AC 5 kW	15 000 kr
Byggnad	Stationshus	25 000 kr
Elarbeten	Inkoppling	2 000 kr
Delsumma 1		123 500 kr
Oförutsedda utgifter	2% av delsumma 1	2 470 kr
Projektering	2% av delsumma 1	2 470 kr
Totalsumma		128 440 kr

Kostnadsöverslag för Bollebygd 2

Grundförutsättningar	Fallhöjd Optimalt flöde genom turbin Turbineffekt	12.0 m 0,070 kbm/s 5 kW
Damm	Bygge/ Upprustning av damm Intag Grind	- kr 2 000 kr 5 000 kr
Drivvatten	Tab läng 85m inkl schakt	35 000 kr
Turbin	C&k-235 turbin med generator	87 000 kr
Byggnad	Stationshus	25 000 kr
Elarbeten	Anslutning till nätet	2 000 kr
Delsumma 1		213 240 kr
Oförutsedda utgifter	2% av delsumma 1	3 565 kr
Projektering	2% av delsumma 1	3 565 kr
Totalsumma		220 370 kr

Tabell 4. Nuvärdet av 1 kr som förfaller till betalning efter n år.

$$\text{Nuvärdesfaktorn } 1/(1+r)^n$$

År (n)	Räntesats (r)								
	3%	4%	5%	6%	8%	10%	12%	15%	20%
1	0,9709	0,9615	0,9524	0,9434	0,9259	0,9091	0,8929	0,8696	0,8333
2	0,9426	0,9246	0,9070	0,8900	0,8573	0,8264	0,7972	0,7561	0,6944
3	0,9151	0,8890	0,8638	0,8396	0,7938	0,7513	0,7118	0,6575	0,5787
4	0,8885	0,8548	0,8227	0,7921	0,7350	0,6830	0,6355	0,5718	0,4823
5	0,8626	0,8219	0,7835	0,7473	0,6806	0,6209	0,5674	0,4972	0,4019
6	0,8375	0,7903	0,7462	0,7050	0,6302	0,5645	0,5066	0,4323	0,3349
7	0,8131	0,7599	0,7107	0,6651	0,5835	0,5132	0,4523	0,3759	0,2791
8	0,7894	0,7307	0,6768	0,6274	0,5403	0,4665	0,4039	0,3269	0,2326
9	0,7664	0,7026	0,6446	0,5919	0,5002	0,4241	0,3606	0,2843	0,1938
10	0,7441	0,6756	0,6139	0,5584	0,4632	0,3855	0,3220	0,2472	0,1615
11	0,7224	0,6496	0,5847	0,5268	0,4289	0,3505	0,2875	0,2149	0,1346
12	0,7014	0,6246	0,5568	0,4970	0,3971	0,3186	0,2567	0,1869	0,1122
13	0,6810	0,6006	0,5303	0,4688	0,3677	0,2897	0,2292	0,1625	0,0935
14	0,6611	0,5775	0,5051	0,4423	0,3405	0,2633	0,2046	0,1413	0,0779
15	0,6419	0,5553	0,4810	0,4173	0,3152	0,2394	0,1827	0,1229	0,0649
16	0,6232	0,5339	0,4581	0,3936	0,2919	0,2176	0,1631	0,1069	0,0541
17	0,6050	0,5134	0,4363	0,3714	0,2703	0,1978	0,1456	0,0929	0,0451
18	0,5874	0,4936	0,4155	0,3503	0,2502	0,1799	0,1300	0,0808	0,0376
19	0,5703	0,4746	0,3957	0,3305	0,2317	0,1635	0,1161	0,0703	0,0313
20	0,5537	0,4564	0,3769	0,3118	0,2145	0,1486	0,1037	0,0611	0,0261
25	0,4776	0,3751	0,2953	0,2330	0,1460	0,0923	0,0588	0,0304	0,0105
30	0,4120	0,3083	0,2314	0,1741	0,0994	0,0573	0,0334	0,0151	0,0042
40	0,3066	0,2083	0,1420	0,0972	0,0460	0,0221	0,0107	0,0037	0,0007
50	0,2281	0,1407	0,0872	0,0543	0,0213	0,0085	0,0035	0,0009	0,0001

Tabell 5. Summa nuvärde av 1 kr som utfaller vid varje årsskifte under vardera av följande 1-50 år.

$$\text{Nuvärdesumma } (1-(1+r)^n)/r$$

År (n)	Räntesats (r)								
	3%	4%	5%	6%	8%	10%	12%	15%	20%
1	1,030	1,040	1,050	1,060	1,080	1,100	1,120	1,150	1,200
2	1,061	1,082	1,103	1,124	1,166	1,210	1,254	1,323	1,440
3	1,093	1,125	1,158	1,191	1,260	1,331	1,405	1,521	1,728
4	1,126	1,170	1,216	1,262	1,360	1,464	1,574	1,749	2,074
5	1,159	1,217	1,276	1,338	1,469	1,611	1,762	2,011	2,488
6	1,194	1,265	1,340	1,419	1,587	1,772	1,974	2,313	2,986
7	1,230	1,316	1,407	1,504	1,714	1,949	2,211	2,660	3,583
8	1,267	1,369	1,477	1,594	1,851	2,144	2,476	3,059	4,300
9	1,305	1,423	1,551	1,689	1,999	2,358	2,773	3,518	5,160
10	1,344	1,480	1,629	1,791	2,159	2,594	3,106	4,046	6,192
11	1,384	1,539	1,710	1,898	2,332	2,853	3,479	4,652	7,430
12	1,426	1,601	1,796	2,012	2,518	3,138	3,896	5,350	8,916
13	1,469	1,665	1,886	2,133	2,720	3,452	4,363	6,153	10,699
14	1,513	1,732	1,980	2,261	2,937	3,797	4,887	7,076	12,839
15	1,558	1,801	2,079	2,397	3,172	4,177	5,474	8,137	15,407
16	1,605	1,873	2,183	2,540	3,426	4,595	6,130	9,358	18,488
17	1,653	1,948	2,292	2,693	3,700	5,054	6,866	10,761	22,186
18	1,702	2,026	2,407	2,854	3,996	5,560	7,690	12,375	26,623
19	1,754	2,107	2,527	3,026	4,316	6,116	8,613	14,232	31,948
20	1,806	2,191	2,653	3,207	4,661	6,727	9,646	16,367	38,338
25	2,094	2,666	3,386	4,292	6,848	10,835	17,000	32,919	95,396
30	2,427	3,243	4,322	5,743	10,063	17,449	29,960	66,212	237,376
40	3,262	4,801	7,040	10,286	21,725	45,259	93,051	267,864	1469,772
50	4,384	7,107	11,467	18,420	46,902	117,391	289,002	1083,657	9100,438