

Identifiering av parametrar för tillståndsbedömning av en vattenkraftstation

Magnus Carlsson

Referat

Identifiering av parametrar för tillståndsbedömning av en vattenkraftstation

Magnus Carlsson

Rapporten inleds med en övergripande sammanställning av möjliga tekniska fel i en vattenkraftstation och av möjliga felindikerande mätningar. Därefter görs en probleminventering av ett antal olika fel. Baserat på denna inventering väljes sedan tätningsboxkondition och läckvatten som problem för en mer ingående undersökning, vid vilken det konstateras att turbinvattenläckaget är större när turbinen är i drift. Undersökningen utmynnar sedan i ett datalarm för fel relaterade till tätningsboxar. Slutligen nämns något om flödesmätning och tryckmätning i relation till projektet i sin helhet.

Nyckelord: Larm, dynamiskt larm, datorbaserat larm, feldetektering, tillståndsbedömning, tillståndskontroll, vattenkraft, tätningsbox, tätbox, läckvatten.

Abstract

Identification of Parameters for Condition Control in a Hydropower Plant.

Magnus Carlsson

The report begins with a general inventory of possible technical faults in a hydropower plant and of possible fault indicating measurements. Then an investigation is made concerning a few different faults. Based on this investigation a choice on seal box condition and water leakage is made as problem for a more thorough examination, in which it is concluded that the turbine water leakage is larger when the turbine is put into operation. The examination ultimately results in a computer alarm for faults related to the seal box. Finally a few things are mentioned about flow measurement and pressure measurement in relation to the project as a whole.

Keyword: Alarm, dynamic alarm, computer-based alarm, fault detection, condition control, hydropower, seal box, water leakage, leakage water.

*Department of Earth Science, Air and Water Science, Uppsala University, Villavägen
16, 75236 Uppsala
ISSN 1401-5765*

Förord

Projekt: Examensarbete för Vattenfall Utveckling AB, Älvkarleby, och vid Uppsala Tekniska Högskola, Uppsala Universitet.

Handledare: Magnus Eriksson, Vattenfall Utveckling.

Ämnesgranskare: Professor Bengt Carlsson vid avdelningen för Systemteknik, Uppsala Universitet.

Författarens bakgrund: Civilingenjörsutbildningen Miljö- och vattenteknik vid Uppsala Tekniska Högskola, Uppsala Universitet.

En projektplan utarbetades vid Vattenfall Utveckling i Älvkarleby tillsammans med min handledare Magnus Eriksson och med Christian Bernstone, som var den som initierade examensarbetet, samt via kontakt med Bengt Carlsson.

Jag vill rikta ett stort tack till alla som har hjälpt mig i mitt arbete. Jag vill särskilt nämna Magnus Eriksson vid Vattenfall Utveckling, Bengt Carlsson vid Uppsala Universitet samt Dan Björnell och Jan Söderström vid Vattenfall Service Nord. Tack till alla på Vattenfall Utveckling för all hjälp. Tack även till Allan Rodhe vid Uppsala Universitet för hjälp i samband med examinationen.

Innehållsförteckning

Sida

1	INLEDNING	2
1.1	Bakgrund	2
1.2	Syfte och mål	2
1.3	Metoder och genomförande	3
1.4	Läsanvisningar	3
2	ÖVERGRIPANDE OM GIVARE OCH FELTILLSTÅND	4
3	PROBLEMINVENTERING	7
3.1	Underlag för val av problem	7
3.2	Kavitation	7
3.3	Läckage av reglerolja	7
3.4	Minskning av verkningsgrad	8
3.5	Läckvatten och tättningsboxar	9
4	LÄCKVATTEN OCH TÄTNINGSBOXKONDITION	10
4.1	Tättningsbox	10
4.2	Läckvatten	13
4.3	Möjliga fel och larm	13
4.4	Undersökning av funktion	13
4.4.1	Temperaturgivare	13
4.4.2	Läckvattenflöde	14
4.4.3	Mätvärdeshämtning	14
4.4.4	Läckage och pumpens drifttid	16
4.4.5	Analys av mätvärden	23
4.5	Utveckling av larm	26
4.5.1	Modell	26
4.5.2	Feldetektering	26
4.5.3	Pumpkondition	27
4.5.4	Dataprogram	28
4.6	Sammanfattning av felindikerande mätningar	29
5	FLÖDESMÄTNING OCH TRYCKMÄTNING	32
6	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	34
7	REFERENSER	35
8	BILAGOR	36

Bilageförteckning

Sida

BILAGA 1	Utdrag från Bi-cycle, RCM	36
BILAGA 2	Tättningsboxritningar mm.	37
BILAGA 3	Programkod för förbiseende av glappbeteende	42
BILAGA 4	Programkod för bestämning av modellkonstanter	43
BILAGA 5	Programkod för larm	45
BILAGA 6	Läsning av fylltid och adderad pumptid från koncentratorn	50

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Söderfors vattenkraftstation i norra Uppland är Vattenfalls pilotanläggning för utvecklingsarbete inom vattenkraft. På denna anläggning har man installerat mätutrustning bl.a. enligt uppsättningen för ett s.k. standardkraftverk. Standardkraftverket är en tidigare föreslagen standarduppsättning av mätutrustning/givare som lämpligen kan upprättas på en vattenkraftstation. Detta förslag utarbetades vid Vattenfall utifrån tidigare gjorda analyser av möjliga feltillstånd och larmkonstruktioner på vattenkraftverk. I Söderfors finns givaruppsättningen enligt denna standard i stort sett installerad samt även en viss mängd ytterligare givare/mätutrustning.

1.2 Syfte och mål

I föreliggande projekt, som är i form av ett examensarbete, skall nu nya användningsområden hos givaruppsättningen undersökas framförallt inom s.k. tillståndsbedömning. Genom att kombinera olika givarsignaler finns potential för en säkrare och snabbare detektion av fel och onormala driftsituationer. En möjlig del av projektet blir att leta efter samband mellan de uppmätta storheterna. Sådana samband kan man t.ex. utnyttja för att konstruera s.k. dynamiska larm som är mer rättvisande än statiska larmgränser. I ett vidare perspektiv kommer arbetet att handla om frågeställningen vilka parametrar som i allmänhet kan användas för detektion av tekniska fel på vattenkraftstationer, abstraherat från frågan vilken mätutrustning som finns installerad i varje enskilt fall.

I projektet skall således olika användningar hos givaruppsättningen i Söderfors kraftstation identifieras. Förslagsvis ska signalerna ”paketeras” med hänsyn till möjliga feltillstånd och funktioner som behöver följas upp av underhållsskäl. Att signalerna ska paketeras betyder här att konkret utveckling av ett datorbaserat larm i förlängningen kan bli aktuell. Projektet ska enligt projektplanen till att börja med ha en övergripande infallsvinkel med avseende på hela givaruppsättningen. Egna förslag på s.k. underhållsfunktioner och tidigare uppmärksammade behov kommer att gås igenom. Några förslag på sådana funktioner finns redan vid start av projektet, där ett är att beräkna läckvatten från stationen. En annan funktion är att undersöka reglering av trycket i tryckklockan som en fortsättning på tidigare arbeten om detektion av regleroljeläckage. Projektet kommer i nästa fas att begränsas mot ett mer specifikt problem - någon av dessa båda funktioner eller något annat.

Bakgrunden till arbetet är en förhoppning att få ett mervärde ur de sensorer som idag är installerade på Vattenfalls storskaliga vattenkraftstationer, enligt givaruppsättningen för ett s.k. standardkraftverk. Att projektet på anmodan ska

inledas med en överblickande infallsvinkel bottnar förmodligen i en förhoppning att arbetet ska ge uppslag till nya arbetsområden för grundligare undersökning. Vattenfall Vattenkraft har även tidigare drivit ett antal examensarbeten inom närgränsande områden. Dessa har främst handlat om utveckling av dynamiska larm, t.ex. för bärlagertemperatur, samt om det datoriserade tillståndskontrollsystemet Conwide som används på Vattenfalls vattenkraftstationer.

Ur ett allmänt kunskapsperspektiv, då man inte är begränsad av den befintliga mätutrustningen, kan motivet för examensarbetet sägas vara en förhoppning att mätutrustningar i allmänhet ska kunna användas för detektion av fel på vattenkraftstationer.

1.3 Metod och genomförande

Arbetsmetoden blir att läsa in litteratur och tidigare arbeten om Vattenfalls vattenkraftverk och om tillståndskontroll, intervjua personer, göra mätningar och att vid behov läsa in teori inom aktuella vetenskapliga områden som fluidmekanik, programmeringsteknik samt systemteknik eller annan teori bakom larmutveckling. I övrigt kommer genomförandet att framgå i det följande.

1.4 Läsanvisningar

I kapitel 2 görs en övergripande sammanställning av möjliga fel i en vattenkraftstation och av möjliga felindikerande mätningar. I kapitel 3 görs en probleminventering av ett antal olika fel och underhållsfunktioner. Baserat på denna inventering görs en ingående undersökning av en av dessa underhållsfunktioner. Denna undersökning presenteras i kapitel 4. Kapitel 5 lämnas öppet för annat som kan behöva täckas in under arbetets gång. I kapitel 6 förs en avslutande diskussion och slutsatser presenteras.

2 Övergripande om givare och feltillstånd

Examensarbetet ska som nämnts inledas med ha en allmän infallsvinkel rörande möjliga feltillstånd och larm på ett vattenkraftverk och vilka mätningar som i paketerad form kan indikera dessa fel helst i förtid, samt vilka givare i Söderfors kraftstation som är aktuella. Sådana analyser har tidigare gjorts vid Vattenfall i dokumentet 'Underlag för genomförande av UHC-analyser' (Bernstone och Björsell, 2004). En tidigare källa är examensarbetet 'Conwide i Luleälven' (Blom och Masman, 2000), vilket alltså behandlar kraftverken i Luleälven. Dataprogrammet 'Bi-cycle' som används av RCM-gruppen vid Vattenfall är även en bra källa för analyser gjorda på andra kraftstationer än den i Söderfors. En utskrift från Bi-cycle finns i bilaga 1. En rapport som sammanfattar standardkraftverkets givaruppsättning är 'Utredning av processignaler och sensorer för standardkraftverk' (Gustavson och Sjödin, 2003). Ytterligare ett examensarbete har gjorts om stationerna i Luleälven som heter 'Basbehov av sensorer' (Gustafsson och Sundqvist, 2001), vilket går igenom möjliga fel och mätningar, delvis utifrån en enkätundersökning.

I Söderfors har givarna/sensorerna olika identifikationsnummer. I24.5 är ett exempel på en digital givare och 570 (PIW 570) är ett exempel på en analog givare. I tabell 1 nedan ges en sammanställning av olika feltillstånd, samband och möjliga dynamiska larm m.m. För varje feltillstånd har jag angett vilka mätningar som i kombination är aktuella för att indikera på felet, samt de korresponderande givarnumren i Söderfors.

Med dynamiska larm menas larm där larmgränserna inte är statiska. Med hjälp av exempelvis s.k. empirisk modellering och systemidentifiering konstateras ett samband mellan ett antal mätstorheter. Larmet konstrueras sedan så att larm endast ges vid avvikelse hos en storhet om avvikelsen ej korresponderar mot avvikelser hos övriga storheter. Förhoppningen är att undvika falsklarm, som till exempel när en temperaturökning i ett lager inte beror på en friktionsökning utan endast på att kylvattnet är varmare under sommaren. En annan möjlig vinst med noggrant utformade larmsystem är att begynnande fel kan upptäckas i förtid och åtgärdas under ordinarie arbetstid så att kostsamma utryckningar och förlorad produktionstid kan undvikas.

Ovan nämnda dokument av Bernstone och Björsell (2004) har således ungefär samma upplägg som tabell 1 nedan. I tabellen har jag bara tagit med feltillstånd, möjliga larm m.m. som inte nämns i detta dokument (alternativt feltillstånd som finns med i dokumentet men där kompletterande information kan behövas).

Tabell 1. Uppslag på underhållsfunktioner och dynamiska larm

Feltillstånd	Aktuella mätningar	Övrigt	Givare
Transformator-haveri	Oljenivå, oljetemp, last, utetemp, gasmätning, spänningar	Projekt på Vattenfall: Komponentstatus, transformatorpilot	I24.4-I24.7, I25.0-I25.2, 708, 710, 712, 714, 716, 718
Läckage reglerolja	Oljetemperatur, nivå i oljeklocka, nivå i oljetank, tryck, antal pålastningar, kylvattentemperatur, löphjulsvinkel	Signalbehandling för att få rättvisande mätningar, ex-jobb (Wibling, 2004)	570, 574, 576, 598, 586, 666, 670, 672, 682, 694
Totalt oljeläckage	Oljenivå i pumpgrop		520, 616
Kylvatten-försörjningens kondition (is, materia kring intag mm, pumparnas kondition)	Kylvattentryck		I5.1, I17.1, 578, 674
Nedsmutsning i spärrvattenfilter	Differentialtryck		538, 634
Oljepumphaveri	Vibrationer, drifttid		I5.2, I5.3, I17.2, I17.3
Generator-kondition	Vibrationer		558, 560, 566, 654, 656, 662
Bärlagerhaveri	Bärlagertemperatur, kylvattentemperatur, kylvattenflöde	Examensarbete (Fredlund, 2003)	580, 586, 676, 682
Osymmetrisk turbinlast	Temperaturskillnader mellan lagersegment, vibrationer		568, 572, 664, 668
Kavitation turbin	Vattentemperatur, vattentryck, NVY, vibrationer	Se nedan!	584, 586, 680, 682, 540, 542, 636, 638, 568, 572, 664, 668
Minskad verkningsgrad	Effektuttag, flöde, ÖVY, NVY, varvtal	Se nedan!	512, 516, 522, 608, 612, 618
Sugrörs-fluktuationer	Tryckmätare i sugröret	Omnämns av Gustavson och Sjödin (2003)	542, 638

Tabell 1 forts.

Feltillstånd	Aktuella mätningar	Övrigt	Givare
Förändringar i kylvattenledning	Kylvattentryck, kylvattenflöde		578, 580, 674, 676
Intagsgallerhaveri	Vibrationer?		
Ledskovelfel	Flöde, pådrag		516, 612

Några av dessa uppslag till underhållsfunktioner beskrivs översiktligt i nästa avsnitt.

3 Probleminventering

3.1 Underlag för val av problem

Som beslutsunderlag för val av enskild underhållsfunktion att fokusera på undersöktes översiktligt ett antal alternativ, vilka beskrivs i det följande.

3.2 Kavitation

På grund av de höga hastigheterna i en turbin kan trycket lokalt bli så lågt att det understiger vattnets ångbildningstryck. Man kan i princip säga att vattnet börjar koka, men det beror alltså på en trycksänkning snarare än en temperaturökning. Fenomenet brukar kallas kavitation. Detta är ett oönskat fenomen p.g.a. att när luftbubblorna sedan transporteras till områden med högre tryck så kollapsar de i implosioner vilka har skadlig inverkan om de inträffar i närheten av fast material. Kavitation ger utöver materialskadorna även försämrad verkningsgrad, buller och vibrationer. Risken för kavitation är något man tar hänsyn till när man bygger ett vattenkraftverk. För att höja vattentrycket i turbinen och i sugröret efter turbinen så eftersträvar man att sänka turbinens placering en bit under vattenytans läge nedanför kraftverket. Måttet på sänkningen av turbinen under den nedre vattenytan (NVY) kallas även sughöjden H_s . En formel som kan användas vid beräkning av erforderlig sughöjd för undvikande av kavitation är följande där en stationsspecifik beräkningsbar egenskap som kallas Net Positive Suction Head, H_{NPS} , ingår (Brekke, 1997):

$$H_s \geq H_{NPS} - H_a - H_w$$

I denna ekvation är H_a atmosfärstrycket och H_w ångbildningstrycket för vatten uttryckta som tryckhöjder. Ett visst mått av kavitation måste man ofta stå ut med. I själva verket varierar även kavitationsrisken med hur maskinen körs. Ångbildningstrycket som ingår i formeln ovan varierar ju även med vattentemperaturen. I Älvkarleby kraftstation har man mer problem med kavitation på de äldre maskinerna i jämförelse med den nya. Ofta brukar kavitation märkas på så sätt att "kokningen" hörs varvid man eventuellt vidtager åtgärder. En möjlig användning av sensorerna i Söderfors kunde ju vara en mer känslig detektion av kavitation. I Söderfors finns givare för vattentemperatur, sugrörstryck och vibrationer. Givare för NVY finns i dagsläget inte men ingår i standardkraftverket. Möjligen finns det en givare som är kopplad till tillståndskontrollsystemet men som saknar givarförteckning.

3.3 Läckage av reglerolja

En annan möjlig problemställning är detektion av regleroljeläckage. Vattenfall har drivit ett antal examensarbeten inom detta område varav det senaste, av Wibling (2004), är nyutkommet, och det är även ett uppmärksammat problem på många håll. Wibling föreslår möjligheten att titta på reglering av trycket i tryckklockan som en fortsättning på hans arbete. En annan aspekt på problemet med detektion av regleroljeläckage är enligt Larsson (2004) frågan om huruvida oljeövervakning för drifhänsyn respektive oljeövervakning för miljöhänsyn är möjligt att kombinera.

3.4 Minskning av verkningsgrad

Ytterligare en möjlig användning av givaruppsättningen i Söderfors kunde vara att söka efter eventuella förändringar i turbinens verkningsgrad. En sådan förändring bör ju eventuellt föranleda grundligare undersökningar av orsaker till densamma. En allmän formel för verkningsgrad på vattenkraftstationer är följande (Kermit m.fl, 1996):

$$\eta = \frac{P_{ut}}{Q\rho g\Delta h}$$

I denna formel är η verkningsgraden, Q flödet, P_{ut} effektuttaget, g tyngdaccelerationen, ρ vattendensiteten och Δh fallhöjden, alltså skillnaden mellan övre och nedre vattenyta (ÖVY och NVY). En minskad verkningsgrad kan hänföras antingen till den mekaniska delen, som ökad friktion eller liknande, eller till den elektriska delen. För att ringa in eventuella förluster så kan man beräkna "effektuttaget" från den mekaniska delen utifrån varvtalet. Det är sannolikt viktigast att detektera förändringar, men det finns även en formel för hur den mekaniska effekten beräknas utifrån varvtalet i en turbin som kallas Eulers turbomaskinekvation. Formeln kan härledas teoretiskt från den s.k. rörelsemängdsmomentekvationen inom mekaniken, om man innesluter turbinrotorn i "kontrollvolymen" för ekvationen och gör vissa förenklingar. Härledningen beskrivs t.ex. i boken 'Introduction to Fluid Mechanics' (Fox och McDonald, 1994).

$$P = \omega T = \omega(r_2 V_{t_2} - r_1 V_{t_1}) Q \rho$$

I formeln ovan är P effekten, ω vinkelhastigheten hos turbinen, T vridmomentet på turbinen, Q vattenflödet och ρ vattendensiteten. V_{t_1} är hastigheten hos vattnet när detta anländer till rotorn/kontrollvolymen på radien r_1 från axeln, varvid hastigheten ska vara beräknad som hastighetskomponenten tangentiellt med rotorn/kontrollvolymen. V_{t_2} är hastigheten hos vattnet - tangentiellt med kontrollvolymen - när vattnet lämnar rotorn på radien r_2 från axeln. Givare i Söderfors som kan vara aktuella att använda för att detektera

minskad verkningsgrad är således NVY, ÖVY, effektuttag, flöde och varvtal. Möjligen bör man kompensera för s.k. hastighetshöjder vid mätningar av fallhöjden, d.v.s att man tar hänsyn inte bara till lägesenergin vid ÖVY och NVY utan också till rörelseenergin. Även sådana beräkningar exemplifieras av Fox och McDonald (1994).

3.5 Läckvatten och tätningsboxar

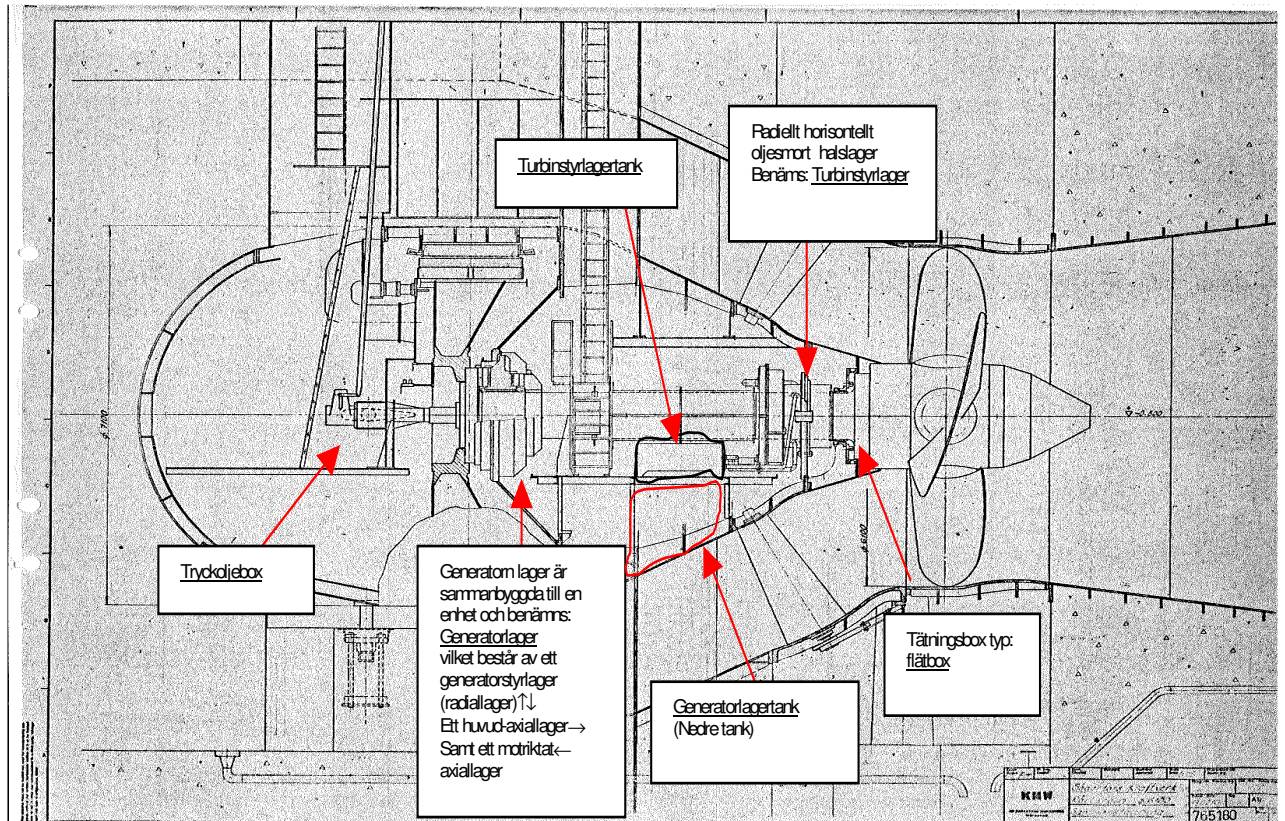
Bernstone och Björzell (2004) beskriver översiktligt de två relaterade underhållsfunktionerna läckvatten respektive tätningsboxar. Valet föll slutligen på dessa funktioner och framförallt tätningsboxar som områden för grundlig undersökning i projektet, och en närmare beskrivning av dessa funktioner följer i nästa avsnitt. Någon sådan undersökning har ej gjorts tidigare och det bedömdes även passa den vattentekniska inriktningen på min utbildning.

4 Läckvatten och tätningsboxkondition

4.1 Tätningsbox

Där turbinens axel sticker ut i vattenvägen finns det ju en risk att det läcker in vatten. Det är inte helt uppenbart att detta skulle vara ett problem eftersom vattnet kunde ha en smörjande effekt i den spalt som krävs för axelns rotation i denna passage. Emellertid vill man inte att det ska komma in smutsigt älvvatten i spalten, så därför ansluter man filtrerat vatten, s.k. friskt vatten, till spalten inifrån turbinhuset med högt tryck. Detta s.k. spärrvatten ska alltså både smörja spalten och förhindra att det läcker in älvvatten. Spärrvattnet kommer dock inte enbart att rinna ut i älven utan man får också ett läckage av spärrvatten i turbinhuset. Eftersom Söderfors är en liggande s.k. bulb-turbin, så rinner turbinläckvattnet av sig själv ner i den stora läckvattengropen. Den nya maskinen G6 i Älvkarleby är däremot en stående turbin, så där måste turbinläckvattnet först pumpas upp ur turbinhuset. Det finns där en ordinarie pump och en annan pump som kopplas in om den ordinarie slutar fungera. I Söderfors görs inga mätningar av läckvattenmängden i turbinen. Om man skulle vilja mäta turbinläckvattnet kontinuerligt, skulle det behöva installeras ytterligare mätutrustning. I Älvkarleby G6 görs mätningar av den sammanlagda drifttiden på turbinläckvattenpumpen. Drifttidsmätare för turbinläckvattenpump ingår även som givare i den föreslagna givaruppsättningen för ett standardkraftverk.

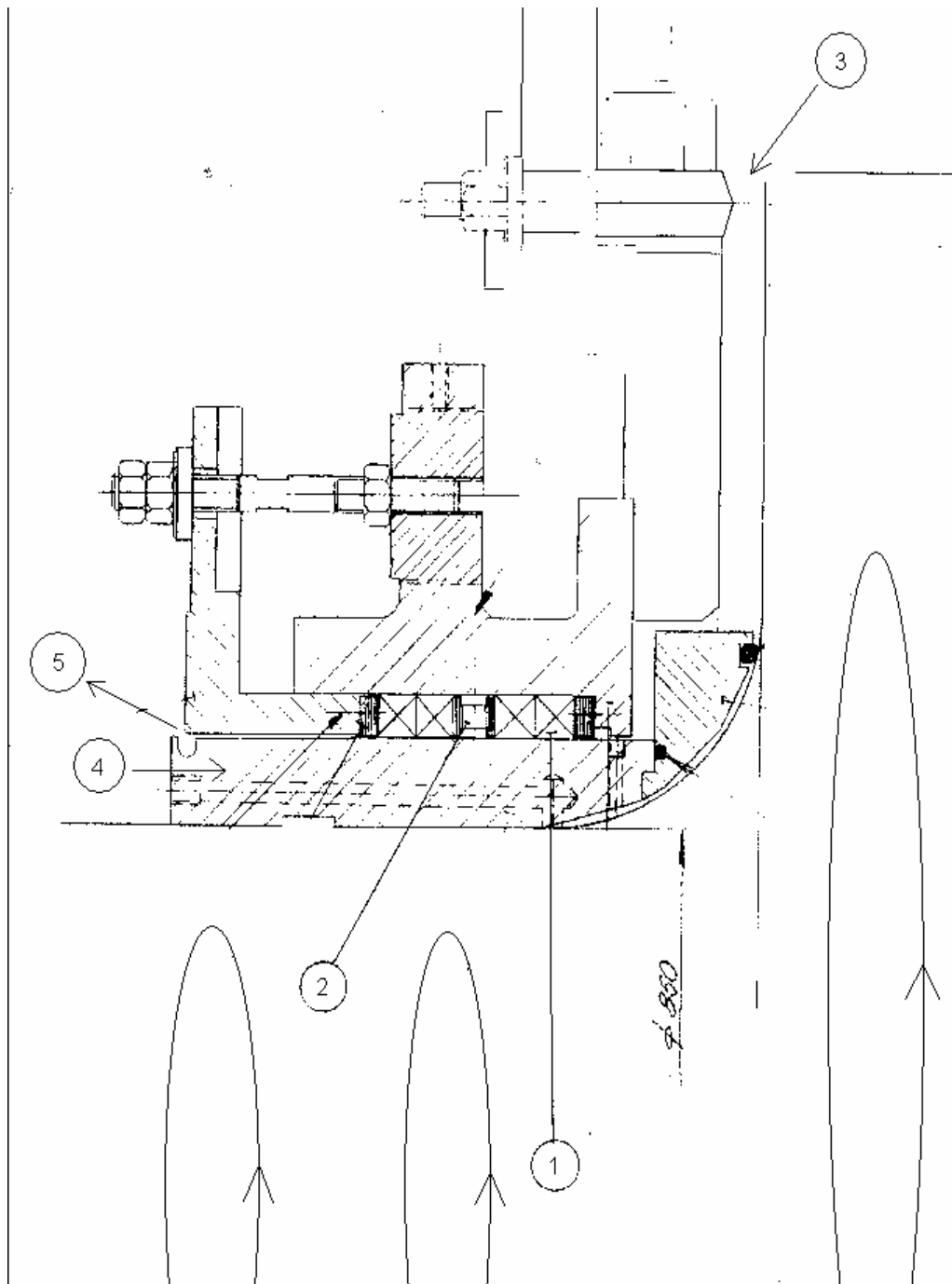
Turbinerna i Söderfors och Älvkarleby G6 är båda av märket Kaplan. En bulb-turbin är samma sak som en liggande Kaplan-turbin. I figur 1 visas en bild av en bulb-turbin. I figur 2 finns en bild av en tätningsbox. Tätningsboxen består av s.k. flätor som ligger an mot axelfodret. Mellan flätorna ansluts spärrvattenledningen. Axeln och därmed axelfodret snurrar alltså under drift och det bildas därvid en vattenfilm mellan axelfodret och flätorna. Pil 1 i figur 2 pekar på en fläta - en av fyra. Pil 2 visar var man ansluter spärrvattenledningen. Pil 3 visar var älvvatten skulle kunna läcka in. Pil 4 visar var axelfodret är beläget. Pil 5 anger var turbinläckvattnet kommer ifrån. Snurr-pilarna visar var den roterande axeln befinner sig. I bilaga 2 finns ritningar mm för tätningsboxen i en Kaplan-turbin.



Figur 1. Turbin med tätningsex.

I Älvkarleby finns möjlighet att använda vatten från det kommunala nätet som spärrvatten. Kranvatten har använts t.ex. vid risk för s.k. kravningsis, isbildningssörja, innan isen lagt sig. Spärrvattnet tas annars från kylvattensystemet. Kommunen har uttryckt rädsla för att det ska rinna åt fel håll i kommunalvattenledningen om man spärrar/smörjer med "kranvatten", p.g.a. det höga trycket.

Spärrvattnet är på som vanligt även när turbinen inte går, men det finns även möjlighet att revisionstäta turbinen mot vattenläckage inför underhållsarbete.



Figur 2. Tätningsex.

4.2 Läckvatten

Läckvattnet på en vattenkraftstation samlas upp i läckvattengropen. Utöver läckvatten från tätningsboxen kan det t.ex. bestå av transformatorgropvatten, vatten från bärlagerkylare och tryckoljekylare, spolvatten mm. I Söderfors görs en digital mätning av antal starter på läckvattenpumpen i läckvattengropen. Om man skulle vilja ha bättre kontroll på delflödenas bidrag så måste man förmodligen mäta dessa var för sig.

4.3 Möjliga fel och larm

De olika fel som kan uppstå vad gäller tätningsboxen och relaterade funktioner är av blandad karaktär. Axelfodret och flätorna kan nötas ner. Spalten skulle också eventuellt kunna slammas igen med smuts. Ett möjligt fel är som sagt om det läcker in älvvatten. Spärrvattenflödet, eller tätningsvattenflödet som det också kallas, skulle kunna hindras t.ex. om spärrvattenfiltret slammar igen. I Söderfors finns det ett larm för låg cirkulation på tätningsvattnet samt en givare för differentialtrycket över tätningsvattenfiltret. Om det finns en turbinläckvattenpump som i Älvkarleby G6, kan denna sluta fungera eller dess verkningsgrad försämrats. I tätningsboxar finns ofta temperaturmätare som är till för att kontrollera att inte friktionen ökar. Dessa temperaturmätare har samma funktion som de som finns i olika typer av lager för att kontrollera att lagren inte är på väg att skära.

Andra fel som kan inverka på det sammanlagda vattenläckaget är t.ex. om kylarsystemet skulle gå sönder. Olja i läckvattnet ger miljöfarligt läckage när vattnet pumpas ut i älven.

4.4 Undersökning av funktion

4.4.1 Temperaturgivare

Tätningsboxen nämns sålunda som underhållsfunktion m.m. i ett dokument av Bernstone och Björsell (2004). De parametrar som omnämns där som lämpliga att övervaka är turbinläckvattenmängd, temperatur i tätningsboxen, spärrvattentemperatur, turbinstyrlagertemperatur samt huruvida turbinen är i drift eller inte. Tanken bakom att mäta spärrvattentemperaturen och temperaturen hos turbinstyrlagret, vilket ligger intill tätningsboxen, är förstås att kunna utröna tänkbara orsaker till en temperaturökning i tätningsboxen.

Ett statiskt temperaturlarm för tätningsboxen finns redan på vattenkraftstationer. En möjlighet att tidigt kunna upptäcka fel i tätboxen skulle kunna vara att utnyttja dessa temperaturgivare. Enligt Björsell och Ljung (2004) är det dock tveksamt om problemen kan ses i tid med ett sådant larm. När ett temperaturlarm går har ett allvarligt fel oftast redan inträffat. Man

skulle kunna tänka sig ett dynamiskt larm med tätningsvattentemperatur men när larmet går är det förmodligen oftast redan för sent enligt Björsell och Ljung.

Temperaturlarmet i tätningsboxen brukar även gå vid s.k. synkron drift. Synkron drift används inte i Söderfors. Larmet kan förmodligen även gå vid anslutning av nya flätor om dessa ansluts för hårt. Enligt Söderström (2004) bör man börja med att ställa in flätorna så att läckvattnet är ganska stort från början, och sedan minska försiktigt.

4.4.2 Läckvattenflöde

Enda möjligheten enligt Björsell och Ljung att eventuellt se förändringar på tätningsboxen är att mäta läckvattenflödet. Frågor som uppstår om man vill göra sådana mätningar är om det har någon inverkan på läckaget om turbinen står stilla eller ej samt om spärrvattenflödet och spärrvattentrycket inverkar. Älvkarleby G6 konstaterades vara en bättre undersökningsplats än Söderfors för mätningar på detta eftersom det där finns möjlighet att mäta drifttiden hos turbinläckvattenpump och på så sätt räkna ut läckaget. Pumpens drift styrs av vattenniåvakter. Kontroller av sammanlagd drifttid för turbinläckvattenpumpen samt av spärrvattentryck och spärrvattenflöde är något som normalt bara görs på rondningarna som äger rum ungefär en gång i veckan i Älvkarleby. Inga sekundsamplade mätningar via det datoriserade tillståndskontrollsystemet Conwide görs på drifttid för turbinläckvattenpumpen. Driftidsmätaren är dock trådbar och skulle om man vill kunna kopplas in till Conwide.

Enligt Ljung och Olsson (2004) gäller beträffande frågan om nötning m.m. på tätningsboxen att förändringar på tätningsboxen är långsamma skeenden. Utifrån detta fattades beslutet att inga sekundsamplade mätningar skulle göras på spärrvattentryck och spärrvattenflöde utan att rondningsvärdena skulle anses tillräckliga. Kontakten med älvvattnet försvårar förmodligen även möjligheten att konstatera ett samband mellan trycket och flödet. Att införskaffa och installera nya trådbara givare för tryck och flöde kunde också ha blivit kostsamt, och det bedömdes även osäkert hur lång tid detta skulle ta. Värden på turbinens pådrag, ur vilka man kunde avläsa när turbinen står stilla, är möjliga att hämta med datakommunikation via den s.k. koncentratorn som ingår i Conwidesystemet.

4.4.3 Mätvärdeshämtning

Istället för att tråda in driftidsmätaren till Conwide föll valet på att hämta data direkt genom att ställa en egen dator på kraftstationen. På rekommendation användes ett mätkort, vilket visade sig kunna bidra med en egen mätspänning. Hjälp inhämtades med installation av en reläkoppling på den ledning från pumpen vars ström driver driftidsmätaren framåt. Denna reläkoppling kan man senare använda om man vill ha driftidsmätning via Conwide.

```
Public Voltage As Decimal
Public LastVoltage As Decimal
Public Seconds As Long
Public int1 As Integer
Public int2 As Integer

Private Sub Form1_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal
e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
    int1 = 1
    int2 = 2
    FileOpen(int1, "C:\data.txt", OpenMode.Output)
    FileOpen(int2, "C:\dataSecond.txt", OpenMode.Output)
    AxDAQAI1.DeviceNumber = 0
    AxDAQAI1.OpenDevice()
    Seconds = 0
    LastVoltage = AxDAQAI1.RealInput(0)
    Timer1.Enabled = True
End Sub

Private Sub Button1_Click(ByVal sender As Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles Button1.Click
    Timer1.Enabled = False
    FileClose(int1)
    FileClose(int2)
    AxDAQAI1.CloseDevice()
End Sub

Private Sub Timer1_Tick(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Timer1.Tick
    Seconds = Seconds + 1
    Voltage = AxDAQAI1.RealInput(0)
    If (Voltage <> 0) And (LastVoltage = 0) Then
        PrintLine(int1, "Stopp" & Chr(9) & DateTime.Now)
        PrintLine(int2, Seconds)
    End If
    If (Voltage = 0) And (LastVoltage <> 0) Then
        PrintLine(int1, "Start" & Chr(9) & DateTime.Now)
        PrintLine(int2, Seconds)
    End If
    LastVoltage = Voltage
End Sub
```

Figur 3. Programkod för mätvärdeshämtning.

Utvecklingsarbetet av programmet för datahämtning gjordes vid en dator kopplad till Vattenfall Utvecklings egna nätverk för utveckling och testning. Med mätkortet följde drivrutiner och så kallade ActiveX-komponenter på cd-skiva tänkta att användas vid programmering av mätkortet. ActiveX-komponenter är i allmänhet kopplade till användandet av ett antal olika programmeringsspråk i Windows-miljö. Visual Studio installerades därvid på utvecklingsdatorn som var en Windows 2000, och valet föll på användning av Visual Basic som programmeringsspråk. Visual-Basic-paketet är utformat så att man kan lägga upp komponenter på ett s.k. formulär varvid man kan välja

olika händelser för de valda komponenterna. Programmeringen är alltså händelsestyrd och den är även objektorienterad. I figur 3 finns koden som jag skrev för att programmet skulle kommunicera med mätkortet och samla data för när pumpen startar och skriva detta till en textfil. Därefter användes en annan funktion i Visual-Basic-paketet, nämligen den att man utifrån en applikation som man gjort för Windows kan skapa en installerbar enhet så att applikationen sedan kan flyttas till en annan dator. Som dator att ha stående på kraftverket valdes en Windows-98-maskin. På denna behövde man alltså installera drivrutinerna och ActiveX-komponenterna för mätkortet. Däremot behövdes alltså inte Visual Studio och Visual Basic.

4.4.4 Läckage och pumpens drifttid

För att pumpens drifttid ska kunna omsättas i ett läckage måste det vara känt hur mycket vatten den pumpar per tidsenhet. I pumpspecifikationen angavs pumpens prestanda som funktion av den s.k. uppfodringshöjden. I figur 4 visas ett utdrag ur pumpspecifikationen. Av ritningar över kraftverket framgår hur högt turbinläckvattnet måste pumpas på sin väg till läckvattenschacket. Enligt figur 5 är sträckan från pumpens munstycke upp till den s.k. ledkransen ungefär 175+840 mm. Motsvarande sträcka för reservpumpen anges i ritningen till 1240 mm och denna angivelse visar tydligare i figuren var ledkransen är belägen. Enligt figur 6 går turbinläckvattenledningen som högst upp till turbinplanet. Enligt figur 7 är sträckan mellan ledkransen och turbinplanet 2,000+3,156 m. Uppfodringshöjden skulle alltså vara cirka 6,2 meter. Om man går tillbaka till figur 4 så kan man se att detta skulle innebära en pumpkapacitet på ungefär 10,5 liter/sekund, eftersom pumpen är av medeltrycksutförande. Denna siffra kan ju vara något osäker, t.ex. eftersom pumpens kapacitet skulle kunna försämrats med tiden. Ett sätt att kontrollera pumpens kapacitet kunde eventuellt vara att placera en flödesmätare på turbinläckvattenledningen och kontrollera flödet när pumpen är i drift. Ett annat sätt kunde eventuellt vara att beräkna volymen på området mellan nivåvakterna för pumpen.

Via Vattenfalls intranät kan rondningsvärden för flera år tillbaka hämtas från Conwides centrala databas i Råcksta i Stockholm. Turbinläckvattenumpen, som heter "dränage-pump 1" i databasen, gick enligt avläsningar av drifttidsmätaren 192 timmar under 2003 och alltså i genomsnitt lite mindre än 4 timmar per vecka. Detta skulle med den ovan beräknade kapaciteten på pumpen innebära ett turbinvattenläckage på i genomsnitt 13,8 liter/minut. Under 2003 låg spärrvattenflödet enligt avläsningar på omkring 9 liter/minut. Om detta värde skulle stämma, skulle det alltså läcka in nästan 5 liter älvvatten per minut, vilket dock inte är troligt. Den viktigaste felkällan är förmodligen att flödesregulatorn på spärrvattenledningen i Älvkarleby G6 är öppen så mycket att flödesmätaren har nått slutet på skalan varför dess angivelser är felaktiga. Man har vridit på spärrvattnet så mycket av det skälet att det automatrensande spärrvattenfiltret har visat sig fungera bättre under dessa flöden.

BS 2071 Dränkbar länspump för trånga schakt

BS 2071 är den dränkbara pumpen som klarar att pumpa bort förorenat vatten från mycket trånga utrymmen.

BS 2071 är särskilt lämplig för grundvattensänkning med rörbrunnar. Andra användningsområden är inom bygg- och anläggningsindustrin och inom gruvindustrin.

Pumpen flyttas lätt mellan olika pumpplatser och får plats i trånga schakt, i gjutformor och liknande.

BS 2071 har en ytterdiameter på 184 mm och väger omkring 30 kg.

BS 2071 finns i två varianter:

LT = lågtrycksutförandet med kapacitet upp till 20 l/s.

MT = medeltrycksutförandet som klarar uppföringshöjder på upp till 39 m.

ANVÄNDNINGSMÅL

BS 2071 är avsedd att användas för: pumpning av vatten som kan innehålla slitande partiklar

Pumpen finns i följande utföranden:

LT = Lågtrycksutförande

MT = Medeltrycksutförande

Vätsketemperatur: max 40°C.

Pumpen finns också i en variant för vätsketemperatur upp till 90°C. Denna variant, med modellbeteckningen W2071, har vissa drifts begränsningar. Kontakta Flygt för vidare information.

Vätskedensitet: max 1100 kg/m³.

Vätskans pH-värde: 5—8

Fasta föroreningar upp till en storlek som motsvarar hålen i silen (8 x 50 mm) kan passera genom pumpen.

Nedsänkingsdjup: max 20 m.

BS 2071 skall inte användas i explosiv miljö eller för brännbara vätskor.

Vid andra tillämpningar kontakta närmaste Flygt-representant för information.

MOTORDATA

Motortyp: Kortsloten 3-fas växelströmsmotor, isolationsklass F

Frekvens: 50 Hz

Uteffekt: 3,0 kW

Varvtal: 2810 r/min

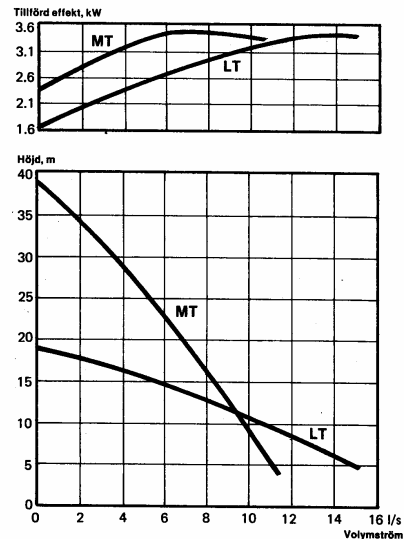
Spänning	Märkström
220 V	9,8 A
380 V	5,7 A
500 V	4,3 A

MATERIAL

	SIS	DIN
Gjutna delar:	Aluminium 14 41 63	G-AlMg5SI1
Axel:	Rostfritt stål 14 23 24	1.44 60
Pumphjul:	1) Härdat fjäderstål 14 22 30	1.8159
	2) Rostfritt stål 14 23 50	1.4571
Hydrauldelar:	Nitrilgummibelagda	
Tätningssytor:		
inre tätning	Hårdmetall—Kol	
yttre tätning	Hårdmetall—Hårdmetall	

PRESTANDAKURVOR

50 Hz LT = Lågtrycksutförande, kurva 211
MT = Medeltrycksutförande, kurva 231

**MÅTT OCH VIKT**

Samtliga mått i mm.

A = 184

B = LT: 700

MT: 665

Vikter i kg utan motorsladd:

LT version = 28 kg.

MT version = 30,5 kg

Tryckanslutning

LT: 3"

R3"

NPSM 3—8

MT: 2"

R2"

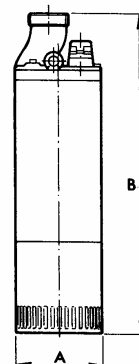
NPSM 2—11½"

adapter från R2"

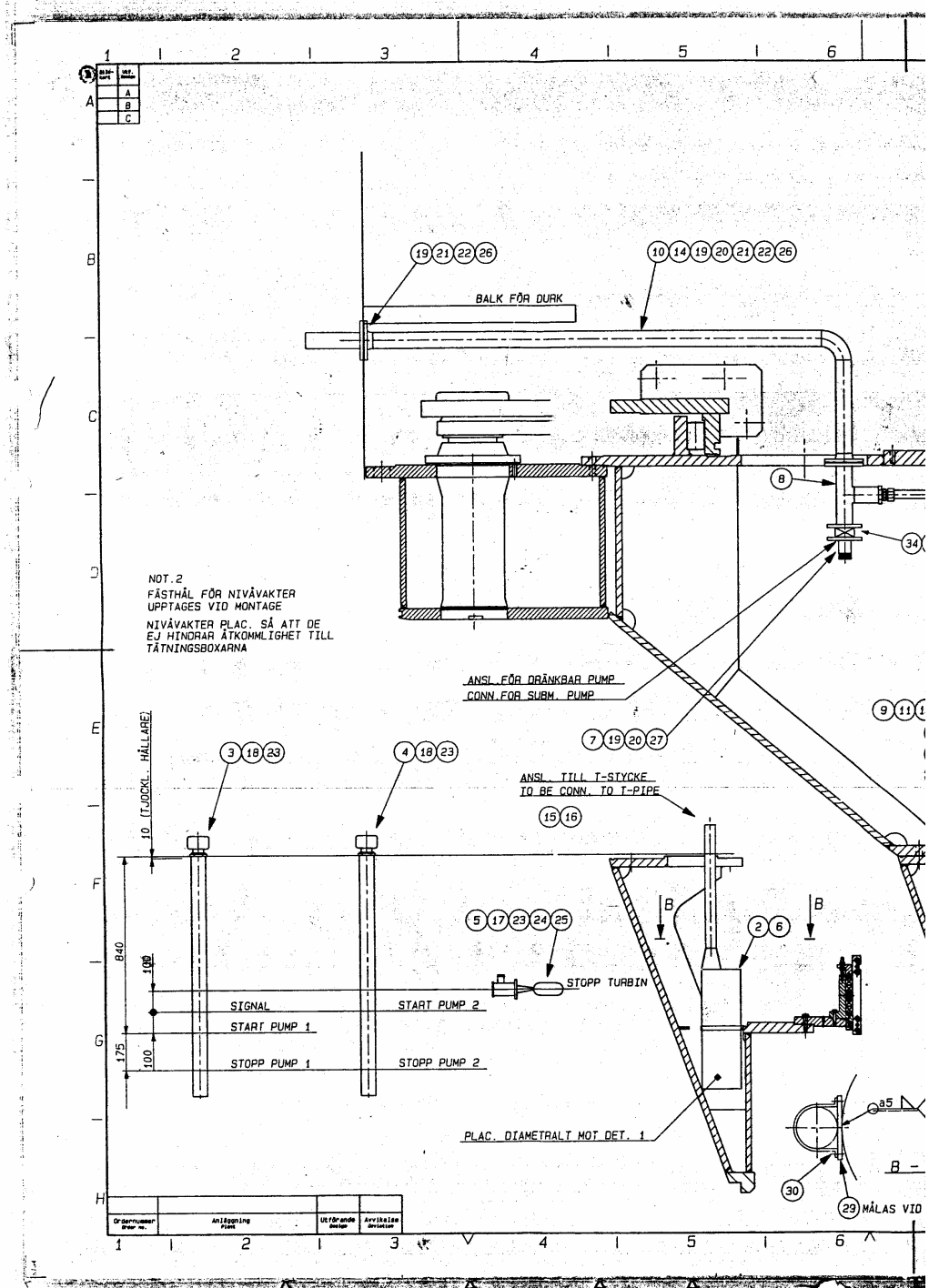
till R1½"

adapter från NPSM 2—11½"

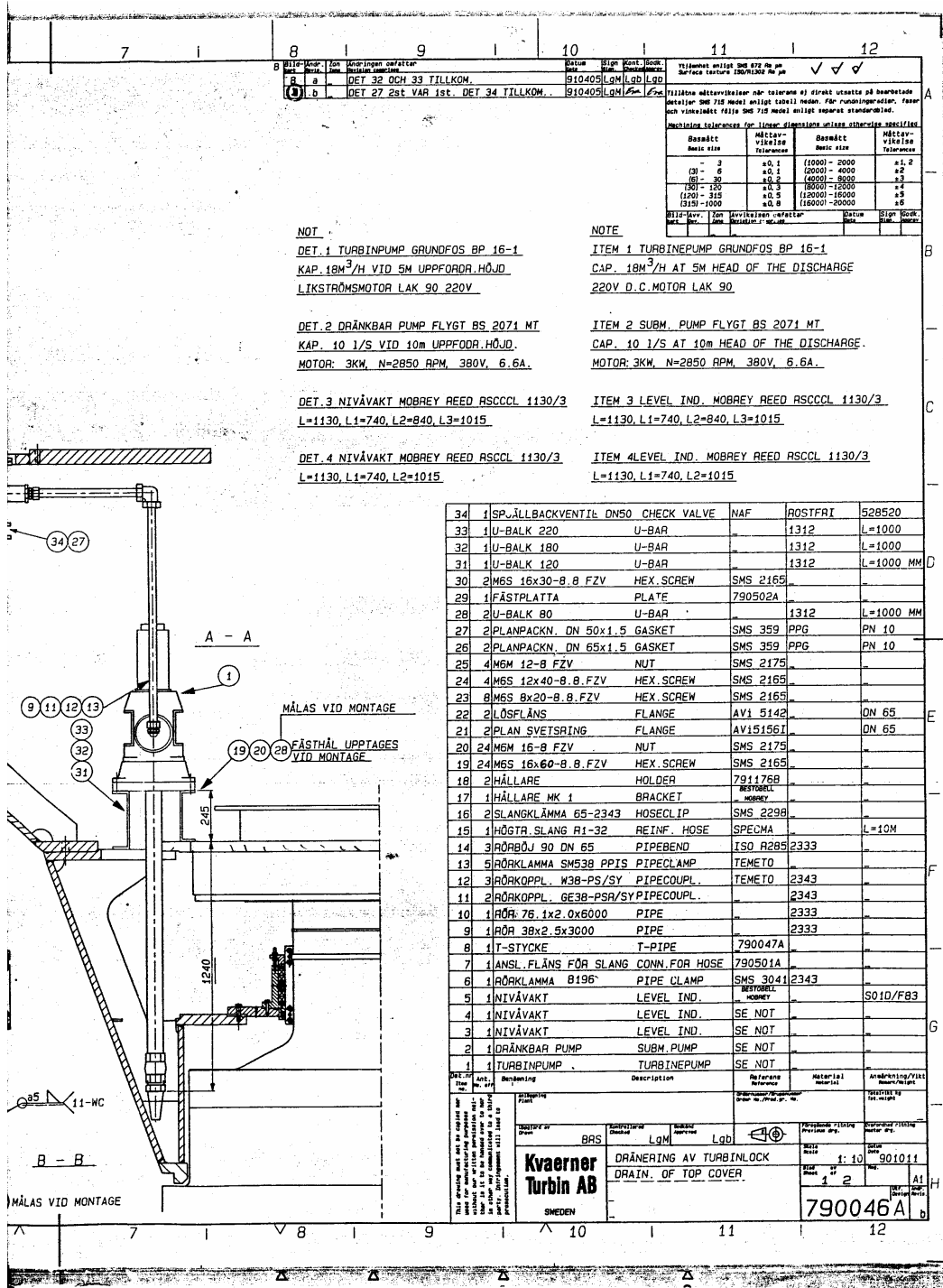
till NPSM 1½—11½"



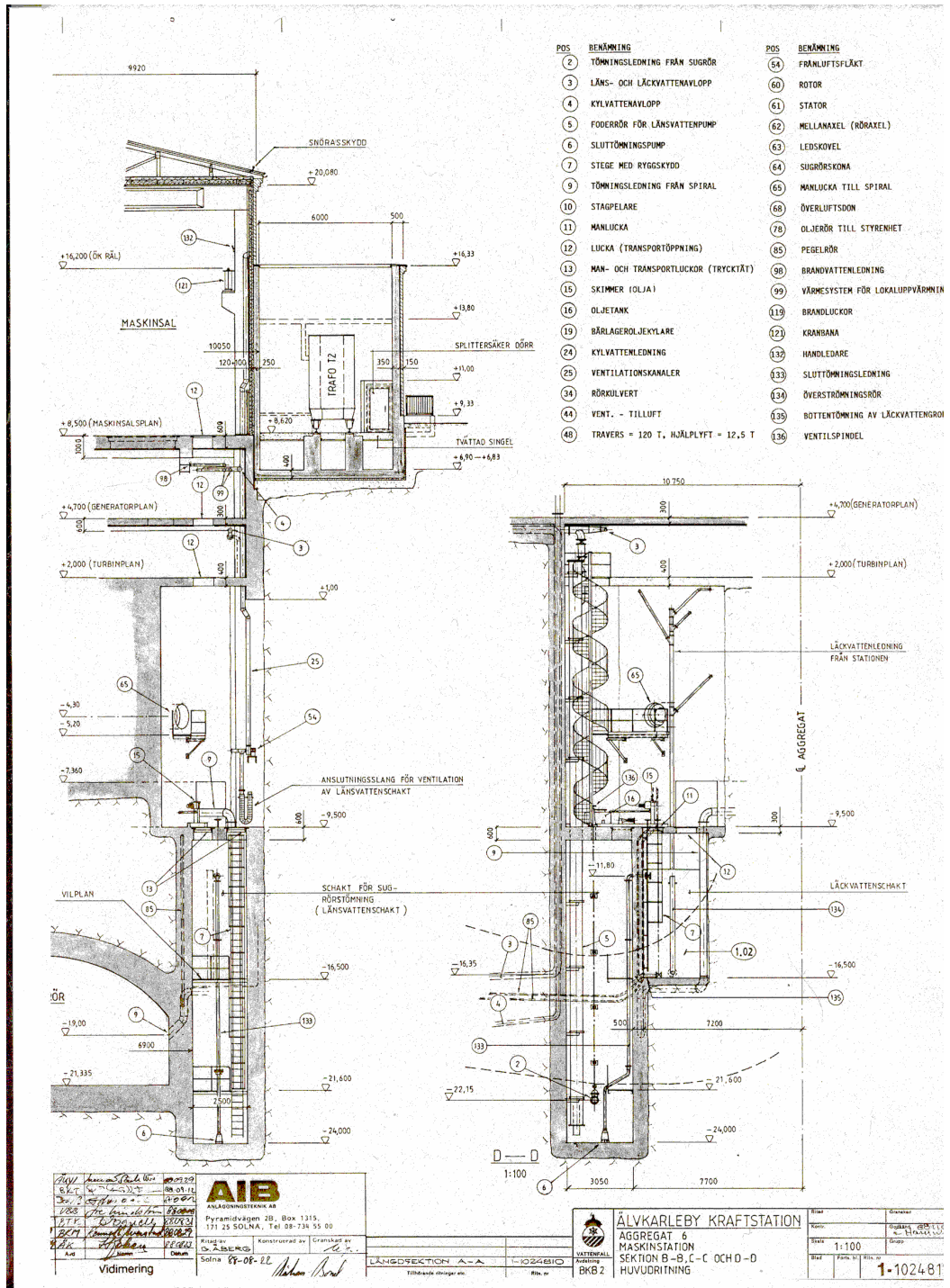
Figur 4. Pumpspecifikation för turbinläckvattenpump: medeltrycksutförande.



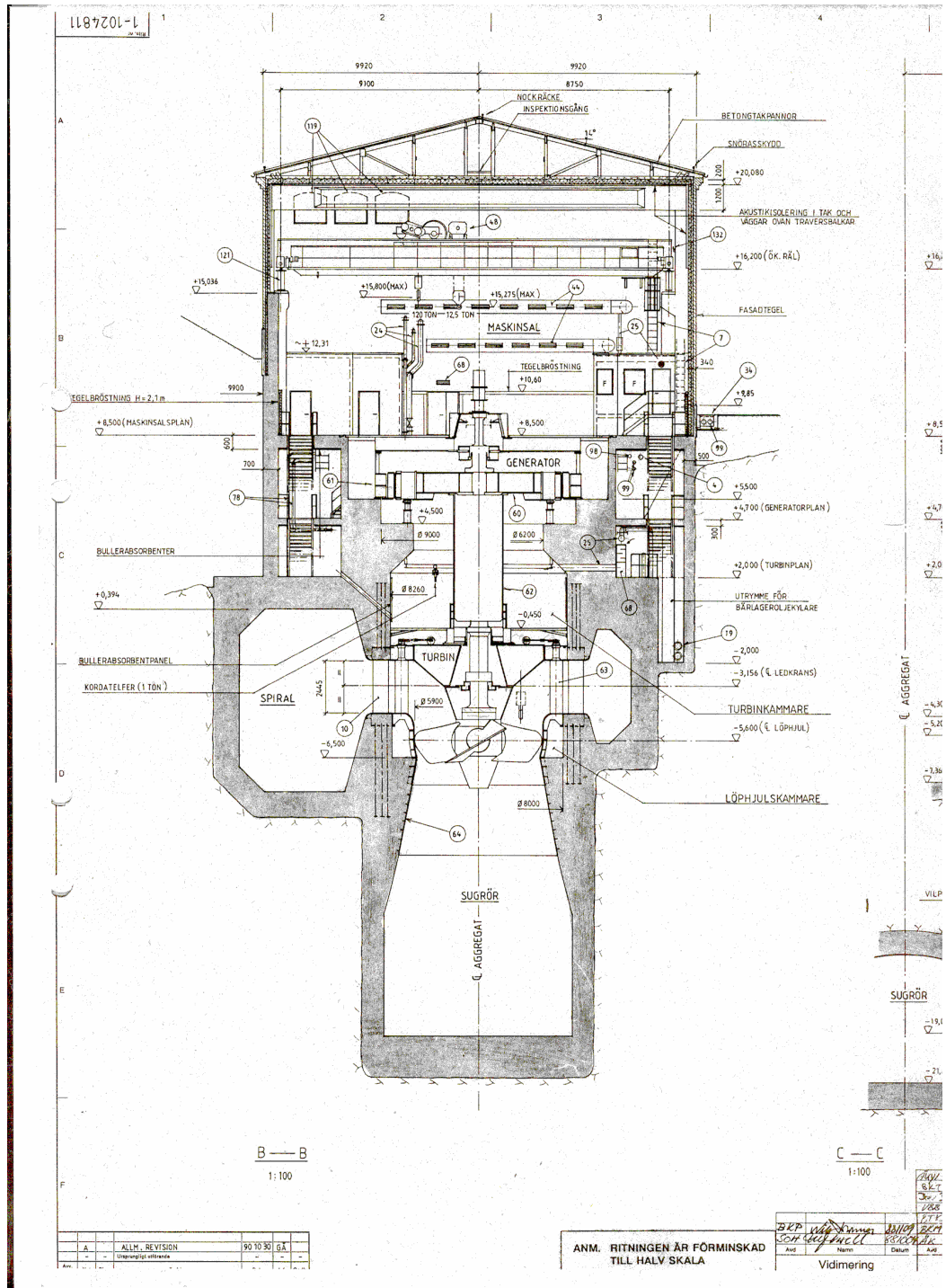
Figur 5. Dränering av turbinhus med dränkbar pump.



Figur 5 forts.



Figur 6. Läckvattenschakt med läckvattenledning från stationen.



Figur 7. Turbinhus med ledkrans och turbinplan.

kubikmeter mellan den 9:e september och den 4:e oktober, vilket innebär ett spärrvattenflöde på 20,0 liter/minut. Med turbinläckvattenflöde enligt ovan skulle det då läcka ut ungefär 6 liter spärrvatten i älven per minut, vilket är en mer trolig siffra.

På vattenkraftstationer i allmänhet byts nednötta flätor och axelfoder ut när man gör en översyn. Det har ofta konstaterats att nötningen är som störst närmast älven, vilket möjligen kunde tyda på att smutsigt älvvatten har läckt in på de aktuella stationerna. Att den första flätan mot älven har nötts ner är ett fel som förmodligen är svårt att upptäcka i form av ett ökat turbinvattenläckage.

4.4.5 Analys av mätvärden

Start	2004-06-23 10:57:20	Start	2004-06-24 11:48:34
Stopp	2004-06-23 10:57:49	Stopp	2004-06-24 11:48:35
Start	2004-06-23 10:57:50	Start	2004-06-24 11:49:31
Stopp	2004-06-23 10:57:56	Stopp	2004-06-24 11:49:32
Start	2004-06-23 10:57:57	Start	2004-06-24 11:50:54
Stopp	2004-06-23 10:58:04	Stopp	2004-06-24 11:50:55
Start	2004-06-23 11:44:32	Start	2004-06-24 11:51:13
Stopp	2004-06-23 11:44:56	Stopp	2004-06-24 11:51:14
Start	2004-06-23 12:10:26	Start	2004-06-24 11:51:25
Stopp	2004-06-23 12:11:10	Stopp	2004-06-24 11:51:26
Start	2004-06-23 12:11:11	Start	2004-06-24 11:51:56
Stopp	2004-06-23 12:11:12	Stopp	2004-06-24 11:51:57
Start	2004-06-23 12:58:22	Start	2004-06-24 11:53:07
Stopp	2004-06-23 12:58:46	Stopp	2004-06-24 11:53:08
Start	2004-06-23 13:25:24	Start	2004-06-24 11:56:11
Stopp	2004-06-23 13:26:01	Stopp	2004-06-24 11:56:16
Start	2004-06-23 13:26:02	Start	2004-06-24 11:56:17
Stopp	2004-06-23 13:26:08	Stopp	2004-06-24 11:56:35
Start	2004-06-23 14:14:58	Start	2004-06-24 11:58:53
Stopp	2004-06-23 14:15:42	Stopp	2004-06-24 11:58:54

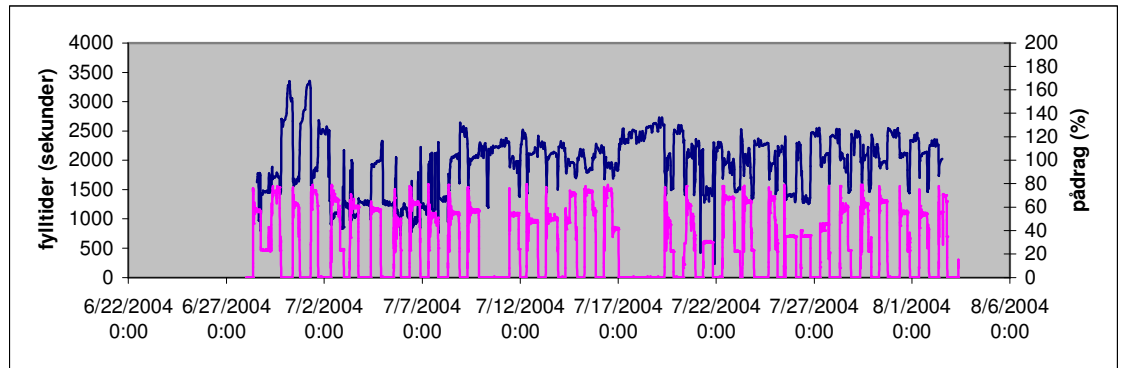
Figur 9. Utdrag från målfil för datahämtningsprogram

I figur 9 visas två korta utdrag av den textfil som datahämtningsprogrammet skrev till när datorn stod på kraftstationen. I dataserien kunde man utläsa ett något oväntat beteende, nämligen att det ser ut som om pumpen emellanåt bara startar en kort ögonblick åt gången och ibland ser det även ut som att pumpen stannar ett ögonblick då och då under en period när den är igång. Om man bortser från detta ”glappbeteende”, som ibland var ganska frekvent, så är det övergripande intrycket att det tar ungefär en halvtimme för området mellan nivåvakterna att fyllas och att det tar cirka 30 sekunder för pumpen att pumpa bort detta vatten. Om glappbeteendet finns hos pumpen eller beror på

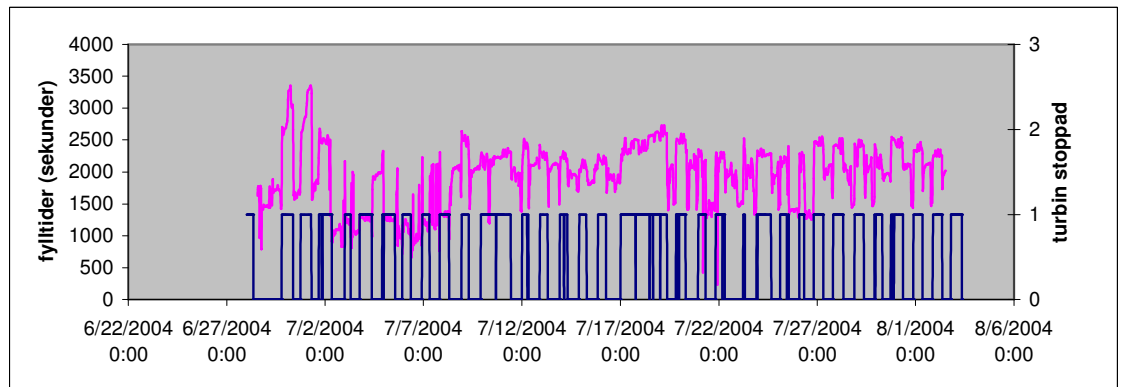
ledningarna till drifttidmätaren, ledningarna till mätkortet eller spänningen över mätkortet bedömdes efter den första datahämtningen från stationen som osäkert. Utifrån dataseriens utseende vid en senare datahämtning finns det i alla fall ingenting som tyder på att beteendet beror på en turbulent vattenyta i turbinhuset, eftersom det fortgick även under en period när spärrvattnet var avstängt och vattenvägen tömd. I standardkraftverket föreslås antal starter per tidsenhet på turbinläckvattenpumpen som en felindikerande mätning, och utifrån våra mätningar hade alltså ett larm i så fall redan gått för pumpen i Älvkarleby G6. Om man ej bortsåg från glappbeteendet och beräknade den sammanlagda drifttiden för pumpen så visade sig denna drifttid dock vara avsevärt större än vad den befintliga drifttidmätaren angav, vilket kanske istället tyder på att ”glappet” finns över mätkortet och att de plötsliga sekundkorta ögonblicken av pumpning som skrivs till textfilen inte är verkliga.

Jag gjorde en dataserie för pumptiderna och en dataserie för tiderna det tar för området mellan nivåvakterna att fyllas och databehandlade dessa serier för att bortse från glappbeteendet, vilket visade sig gå allra bäst för ”fylltiderna”. På grund av tidsbrist gjordes ingen närmare undersökning av orsakerna till glappbeteendet. I bilaga 3 finns dataprogramet som skrevs för förbiseende av glappet.

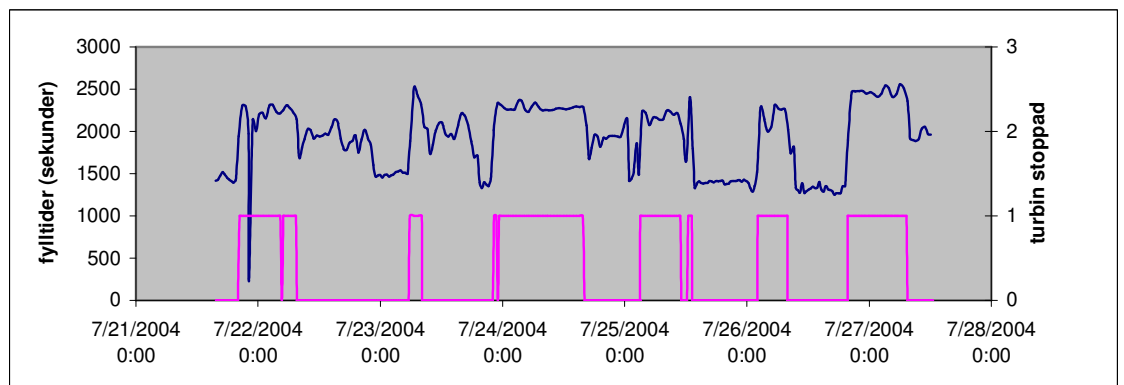
I figur 10 visas i samma diagram dels dataserien över fylltiderna, dels dataserien över värdena för turbinens pådrag som hämtades via Conwide-koncentratoren. Klockslaget för en fylltid definierades vara tidpunkten för när pumpen startar igen efter att området mellan nivåvakterna fyllts med vatten. I figur 11 visas i samma diagram dels dataserien över fylltiderna och dels en dataserie över när turbinen är stoppad, d.v.s när pådraget är 0 %. I figur 12 visas över ett kortare tidsintervall dels fylltiderna och dels när turbinen är stoppad. Tiden det tar att fylla området mellan nivåvakterna är omvänt proportionell mot läckaget. Ju mer det läcker desto kortare tid tar det för området mellan nivåvakterna att vattenfyllas. Jämförelsen mellan serierna tycks visa att det finns ett visst samband mellan å den ena sidan om turbinen är stoppad eller inte och å den andra sidan läckaget. Det verkar läcka något mindre när turbinen är stoppad. En tänkbar förklaring till detta samband är att det inte bildas någon heltäckande vattenfilm mellan fodret och flätorna när turbinen står stilla.



Figur 10. Fylltider och pådrag: pådrag ibland 0 %.



Figur 11. Fylltider och turbindrift.



Figur 12. Fylltider och turbindrift över ett kortare intervall.

4.5 Utveckling av larm

4.5.1 Modell

För att kunna göra ett dynamiskt larm för en mätstorhet så behöver man ha tillgång till en modell som beskriver den normala variationen hos storheten - beroende på olika parametrar - under de tidsintervall när ingenting är fel. I vårt fall vill vi alltså ha en modell som beskriver hur läckaget, alternativt fylltiderna, förändras beroende på om turbinen är stoppad eller inte. Eftersom det enligt mätserien tycks läcka mindre - och fylltiderna därför blir längre - när turbinen står stilla, så verkar följande "intuitiva modell" rimlig:

$$\tau_f = k_1 + k_2 T_{off}$$

I denna ekvation är τ_f fylltiderna och T_{off} är antingen 1 eller 0 beroende på om turbinen är stoppad eller inte. Konstanten k_1 är väntevärdet för fylltiderna under tiden när turbinen är i drift och k_2 är skillnaden mellan detta väntevärde och väntevärdet för fylltiderna när turbinen står stilla. Ansatsen blir således att använda en sådan enkel modell samt att vid behov angripa eventuella problem med tidsförskjutningar eller liknande senare vid larmutformningen, som alternativ till att inledningsvis göra en grundligare systemidentifierande utredning.

Utifrån denna modell kan således ett larm för onormala förändringar i turbinvattenläckaget konstrueras. Ett för litet läckage skulle kunna tyda på att älvvatten läcker in eftersom spärrvattentrycket är för lågt, att flätorna dragits åt för hårt, att spalten har slammat igen eller på något mer allvarligt fel. Ett för stort läckage kan tyda på att flätor eller axelfoder är nednötta eller på något mer allvarligt fel.

För att bestämma konstanterna i modellen så skrev jag ett program som beräknade medelvärdet av fylltiderna dels när turbinen snurrade och dels när den var stoppad. Programmet finns i bilaga 4. Konstanten k_1 bestämdes till 1660 sekunder och k_2 till 389 sekunder (2049-1660). Dessa beräkningar kan således sägas ha gjorts över ett "kalibreringsintervall", vilket varade mellan 28:e juni och 2:e augusti. Som jämförelse bestämdes k_1 och k_2 till 1759 sekunder respektive 615 sekunder över ett "valideringsintervall" mellan den 13:e och 23:e augusti. Möjligen borde konstanterna bestämmas över längre intervall. Inga tidsförskjutningar kunde upptäckas mellan å ena sidan start respektive stopp av turbin och å andra sidan minskning respektive ökning av fylltider. Mellan den 9:e september och 4:e oktober stoppades turbinen endast en gång. Konstanterna k_1 och k_2 bestämdes mellan dessa datum till 1744 sekunder respektive 592 sekunder.

4.5.2 Feldetektering

Genom att jämföra värdet på en fylltid med det värde som modellen förutsäger för samma tidpunkt, så får man en indikation på om det har skett någon onormal förändring i läckaget. Man kunde ju tänka sig ett intervall kring modellvärdet inom vilket man förväntar sig att fylltiden normalt ska ligga. Emellertid är det kanske inte befogat att ett larm ska gå vid en enskild avvikelse. Det finns en algoritm för feldetektering som behandlats i tidigare examensarbeten vid Vattenfall Utveckling, t.ex. av Fredlund (2003), vilken kallas för CUSUM-algoritmen (CUMulative SUM) och som tar hänsyn till just detta. Tanken med algoritmen är alltså att det ska krävas en mer systematisk avvikelse från modellvärdena innan det ska gå ett larm. Algoritmen ser ut så här:

$$\begin{aligned}g(t) &= g(t-1) + \langle e(t) \rangle - v \\g(t) &= 0 \quad \text{om } g(t) < 0 \\g(t) &= 0 \quad \text{och larm om } g(t) > h\end{aligned}$$

I denna formel är $e(t)$ skillnaden mellan det av modellen förutsagda värdet och det verkliga värdet. Man adderar alltså dessa s.k. residualer samt drar ifrån en konstant v för att inte summan ska stiga kontinuerligt. Ett larm ges om testvariabeln $g(t)$ överstiger en konstant h . Variabeln $g(t)$ nollställs om den understiger 0. Om denna feldetekteringsalgoritm används med rimliga värden på konstanterna, så krävs det alltså flera avvikande värden i följd för att det ska gå ett larm.

En modell framtagen med systemidentifieringsmetoder skulle förmodligen kunna ge bättre prediktion än modellen ovan, t.ex. eftersom tidigare uppmätta värden fram till och med det senaste värdet kan ingå bland modellparametrarna. En modell där stor tonvikt ges åt närmast föregående mätvärde kunde ju ge bra prediktion om skillnaden mellan i tiden näraliggande mätvärden sällan är stor. Ett möjligt problem med en sådan modell kan dock vara att den även skulle följa med vid en felutveckling och därför är riskabelt att använda till feldetektering. Denna möjlighet påpekas även av Fredlund (2003).

4.5.3 Pumpkondition

Genom att studera fylltiderna så eliminerar man all inverkan av pumpens verkningsgrad när man gör bedömningar av förändringar i läckaget. Att pumpens verkningsgrad försämras är ju dock också ett fel man vill upptäcka. De enskilda pumptiderna är p.g.a. ovan nämnda glappbeteende svåra att få en bra mätserie över utifrån mätningarna via datahämtningsprogrammet. Inför utsikten att behöva konstruera ett pumplarm som ej kan jämföras mot någon mätserie föredrog jag att använda serien över avlästa rondningsvärden på sammanlagd drifttid på pumpen i Älvkarleby G6. Denna serie består alltså av ungefär ett värde i veckan. Den adderade pumptiden, som också kan ses som

graf via Conwidesystemet, kan ge en fingervisning om det sker förändringar antingen i vattenläckaget eller i kapaciteten hos pumpen, utan att man har någon direkt möjlighet att veta vad som är fel. Om man å andra sidan har tillgång till information både om den sammanlagda drifttiden och om läckaget alternativt fylltiderna, så kan man ju sluta sig till om det är fel på pumpen eller ej. Det verkar rimligt att kontinuerligt göra en numerisk derivering av den adderade pumptiden för att se om förändringar sker, t.ex. enligt följande, vilket även föreslås som möjlig larmkonstruktion i (Glemme, 2001):

$$f'(t_n) \approx (f(t_n) - f(t_{n-1})) / (t_n - t_{n-1})$$

Enligt ovan gick pumpen 192 timmar under år 2003, vilket innebär i genomsnitt 3,68 timmar/vecka - eller 0.022 (ingen enhet) vilket kan användas som uppskattning av väntevärdet på derivatan av den adderade pumptiden. Möjligen bör CUSUM-algoritmen användas även här för detektion av systematiska avvikelser.

4.5.4 Dataprogram

Det finns alltså ej möjlighet att tillgå värden i realtid på pumptider och fylltider idag, så det är ej möjligt att konstruera ett larm som kan kopplas in redan nu. För detta skulle det krävas att drifttidsmätaren trådades in till koncentratorn som ingår i Conwidesystemet. Via koncentratorn kan man nämligen med hjälp av databas-programmering hämta nya mätvärden direkt när dessa kommer in. Målet blir i stället att göra ett program som för det första fungerar i dagsläget för att läsa in mätvärden från textfiler och skriva färdigberäknade värden till en databas. För det andra ska programmet kunna fungera som ett larm i realtid längre fram om man ändrar i programkoden på markerade ställen. I databasen ska det finnas värden m.m. som är lämpliga att förevisa grafiskt. Det grafiska gränssnittet skall, om programmet i förlängningen blir realiserat med realtidsdata, vara tillgängligt över "webben", d.v.s. intranätet på Vattenfall.

I figur 13 visas ett kort utdrag ur den färdiga programkoden. Hela larmkoden finns i bilaga 5. Vill man använda larmet på andra vattenkraftstationer, så måste man göra motsvarande modellkalibrering där. Programmet för skattning av konstanter finns i bilaga 4. Om mätning görs av läckaget i stället för av fylltiderna så blir modellen alltså så här, där Q_l är läckaget:

$$Q_l = k_1 + k_2 T_{on}$$

Möjligen bör en ny kalibrering göras även för Älvkarleby G6 om datahämtningen sker på annat sätt.

Koden i figur 13 innehåller även fraser i databasspråket SQL för kommunikation med databasen. Larmprogrammet kördes också upprepade gånger mot textfilerna med olika inställningar på CUSUM-parametrarna h och

v för att bestämma dessa med vissa marginaler så att inga larm gick under mätintervallet.

```
If datum = datumPadrag Then 'Kollar om det kommit in ett nytt
pådrag
  'Obs! Formuleras på annat sätt när larmet används i realtid
  GetPadrag()
  If padrag = 0 Then
    turbinStoppad = 1
  Else
    turbinStoppad = 0
  End If
End If
If datum = datumFylltid Then 'Kollar om det kommit in en ny
fylltid
  'Obs! Formuleras på annat sätt när larmet används i realtid
  GetFylltid()
  modellFylltid = 1660 + (389 * turbinStoppad)
  cusum = cusum + Math.Abs(fylltid - modellFylltid) - v
  If cusum < 0 Then
    cusum = 0
  End If
  If cusum > h Then
    larmFylltid = 1
    cusum = 0
  Else
    larmFylltid = 0
  End If

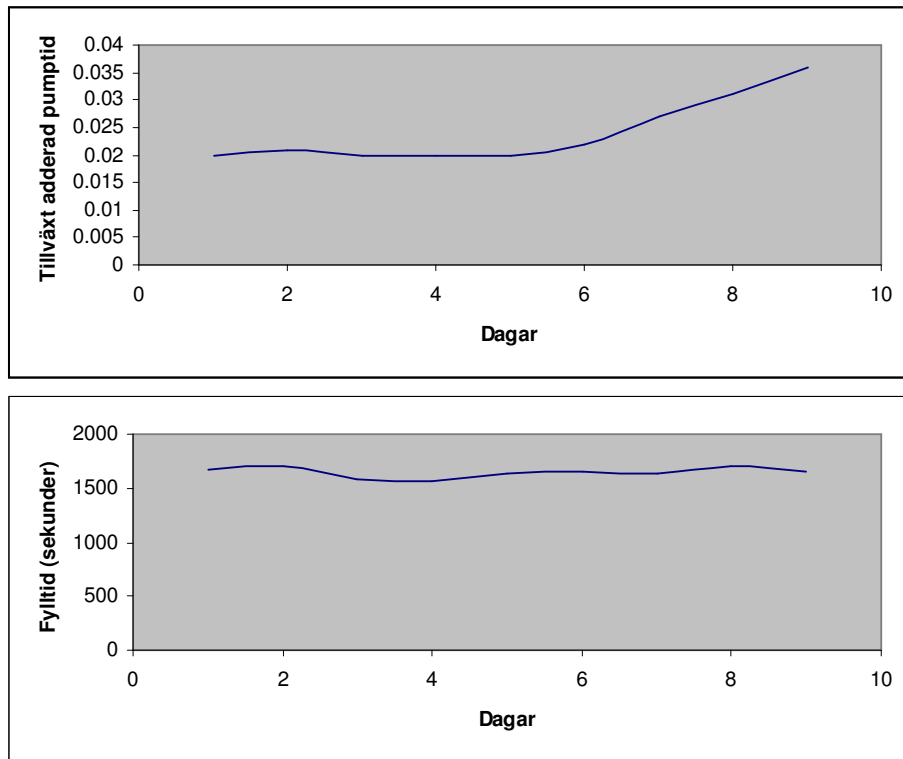
  Try 'skriv till databas 'Obs! Skriv här "datumFylltid"
istället för "datum" när larmet används i realtid
    StrSQL = "INSERT INTO FyllTid (FyllTid, TurbinStatus,
ModellFyllTid, FyllTidLarm, Tid)" & _
" VALUES (" & fylltid & ", " & turbinStoppad & ", " &
modellFylltid & ", " & larmFylltid & ", '" & datum & "'"
    ExecuteStatement(StrSQL)
  Catch ex As Exception

  End Try
End If
```

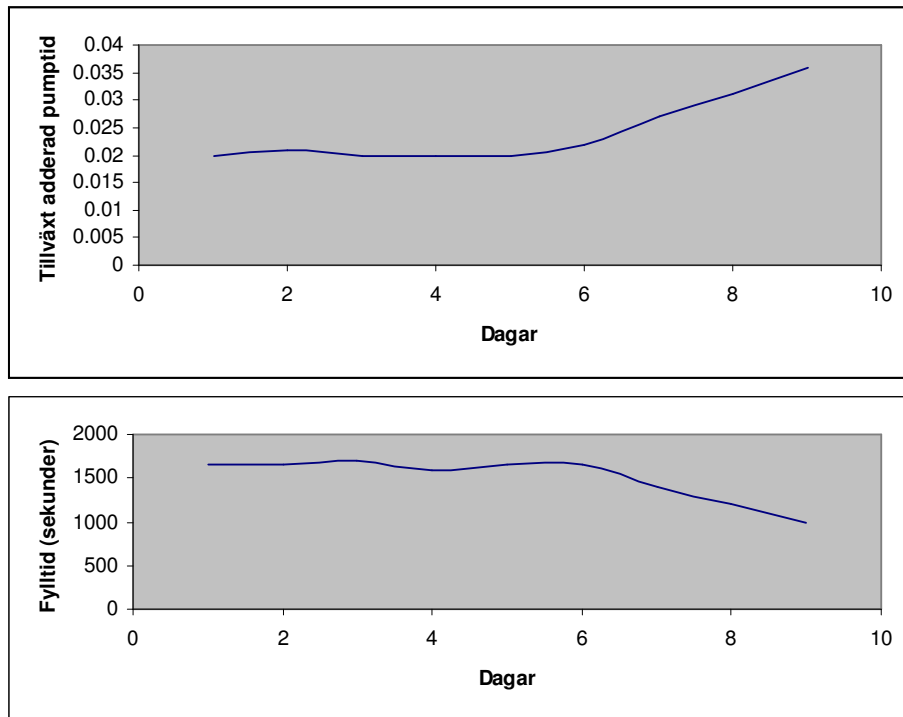
Figur 13. Utdrag ur larmkoden.

4.6 Sammanfattning av felindikerande mätningar

I databasen ska det alltså finnas värden som är lämpliga att visa grafiskt. Om fylltiderna och tillväxten hos den adderade pumptiden ser ut som de gör i figur 14 (förenklat) så har det skett en försämring av pumpens verkningsgrad. Om fylltiderna och tillväxten hos den adderade pumptiden ser ut som de gör i figur 15 (förenklat) så har läckaget ökat.



Figur 14. Fylltider & tillväxt adderad pumptid: försämrad pumpverkan.



Figur 15. Fylltider & tillväxt adderad pumptid: ökat läckage.

I tabell 2 nedan finns en sammanfattning av möjliga fel relaterade till tätningssboxen och av felindikerande mätningar samt information om hur det datorbaserade larmet kan användas.

Tabell 2. Tätboxfel och felindikerande mätningar och larm.

Feltillstånd	Mätningar, indikationer
In-läckage av älvvatten, spärrvattentryck för lågt	Spärrvattentryck mindre än tryck under tätbox, smutsigt turbinläckvatten fastän ej smutsigt spärrvatten, litet spärrvattenflöde och (larm för) litet turbinläckvattenflöde, lågt spärrvattentryck
Flätor eller axelfoder nednötta	(Larm för) stort turbinläckvattenflöde
Filter igensatt	Högt diff-tryck över filtret
Turbinläckvattenpump fungerar dåligt	(Larm för) ökad tillväxt hos adderad pumptid fastän ingen förändring i läckaget
För hårt ansatta flätor	(Larm för) litet turbinläckvattenflöde, hög temperatur
Igenslammad spalt	(Larm för) litet turbinläckvattenflöde
Igensatt rör	Högt diff-tryck över rör
Allvarligt fel	(Larm för) förändring i turbinvattenläckage, hög temperatur

En liknande sammanfattning finns i bilaga 1, som är en utskrift från dataprogrammet Bi-cycle vilket används av RCM-gruppen vid Vattenfall. Pumpen som omnämns i RCM:s sammanfattning är antingen pumpen i kylvattensystemet, från vilket spärrvattnet brukar tas eller möjligtvis en tryckförhöjningspump från sugröret om spärrvattnet tas därifrån.

5 Flödesmätning och tryckmätning

Under projektet har det framkommit ett antal exempel på ställen där mätning av flöde och tryck eventuellt kunde vara av intresse. För mätning av läckvattenmängden från turbinen i Söderfors skulle det krävas installation av särskild mätutrustning. För mätningar av spärrvatten på vattenkraftstationer i allmänhet så behöver man en givartyp som passar för mätningar på ledningar och rör. Mätningar av älvflöde och flöde genom vattenvägen i stationen kräver en annan sorts mätningar, och är aktuellt t.ex. om man vill arbeta vidare med verkningsgrader, som nämnts ovan. Här följer några allmänna korta kommentarer kring flödesmätning och tryckmätning.

Flödesmätningar i vattenvägen finns det flera stycken av både i Söderfors och Älvkarleby och dessa mätningar finns med i Conwide och är kopplade via koncentratorerna. Dock är dessa mätningar ej upptagna i de givarförteckningar som fanns tillgängliga och givarna verkar sakna givarnummer andra än de som finns i Conwide.

Faktorer som gör tryck och flödesmätningar komplicerat och som gör det svårt att hitta fysikaliska samband är t.ex. förekomsten av både laminärt och turbulent flöde. Definitionen av tryck som kraft per areaenhet påminner om ytterligare en försvårande omständighet. Eftersom kraft är en vektor och eftersom ett areaelement även kan karakteriseras som en vektor, d.v.s. av en storlek och av riktningen hos normalvektorn till areaelementet, så får man att tryck blir en tensor, alltså en 3×3 -matris, snarare än ett skalärt värde. Tryckmätare ger ju dock ett skalärt värde, så man måste tänka på att mätaren är av rätt sort och att den placeras så att den verkligen mäter det man vill ha. Att hastighetsprofilen kan variera inom t.ex. en vattenledning är en annan sak som försvårar flödesmätningar.

Vill man hitta samband mellan flöde och tryck så kan man resonera fluidmekaniskt eller angripa problemet med systemidentifiering, eller en kombination. Inkompressibel fluidmekanik heter den del av fluidmekaniken som är aktuell för vattenfysikaliska frågor.

För flödesmätning finns det ett antal olika givartyper. Under projektet diskuterades användning av ett s.k. triangulärt mätöverfall för bestämning av turbinläckvatten i Söderfors. Formeln för ett triangulärt överfall, eller ett V-format överfall, är följande:

$$Q = 0,44 \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{g} (\Delta h)^{5/2}$$

I denna formel är Q flödet, θ vinkeln i V:et och Δh höjdskillnaden mellan vattenytan innan överfallet och spetsen i V:et. Ett antal typer av flödesmätare som är lämpliga för mätning i vattenvägen i stationen nämns i (Kermit m.fl.,

1996). En annan typ av flödesgivare utnyttjar det elektromagnetiska sambandet $U=Bvl$, som beskriver förhållandet att det induceras en spänning U i en ledare med längd l som rör sig genom ett magnetfält B med hastigheten v . Om man mäter innerdiametern i en vattenledning och sedan lägger ett magnetfält över ledningen, så ger den inducerade uppmätbara spänningen ett mått på vattenhastigheten. En del flödesgivare mäter varvtalet hos en propeller i vattnet. Ytterligare andra bygger på tryckmätning. Man mäter tryckförändringen över ett "munstycke", vilket ger ett mått på flödet. Tryckmätare finns också i en mängd olika utföranden.

6 Diskussion och slutsatser

Projektet inleddes med en allmän infallsvinkel vad gäller tillståndskontroll på en vattenkraftstation. En probleminventering gjordes sedan över ett antal problem. Därefter fokuserade jag på läckvatten och tätningsboxkondition. Undersökningar visade att turbinläckvattnet var mindre när turbinen står stilla. En tänkbar förklaring till detta samband, vilket ej dokumenterats tidigare, är att det inte bildas någon heltäckande vattenfilm mellan axelfodret och tätningsboxflätorna när turbinen står stilla. Utifrån denna normalvariation i läckaget konstruerades sedan ett dynamiskt datorbaserat larm för olika fel som kan uppstå runt tätningsboxen. Projektet har således varit en del av ett fortlöpande arbete som bedrivits på Vattenfall med noggrann utformning av larmsystem. I förlängningen är förhoppningen med detta fortlöpande arbete ett undvikande av falsklarm och av kostsamma produktionsstopp.

Frågan om vilka parametrar som kan användas för tillståndsbedömning av en vattenkraftstation har besvarats främst med tanke på givaruppsättningen i stationen i Söderfors samt den i Älvkarleby G6. Eftersom mätutrustningen i Söderfors bl.a. har upprättats utifrån den föreslagna givaruppsättningen för ett s.k. standardkraftverk så är resultaten tillämpbara för Vattenfalls kraftstationer i allmänhet. Ur ett ännu vidare kunskapsperspektiv så är resultaten även ett bidrag till att besvara den mer generella frågeställningen om hur tekniska fel i allmänhet kan detekteras på vattenkraftstationer med hjälp av mätutrustningar.

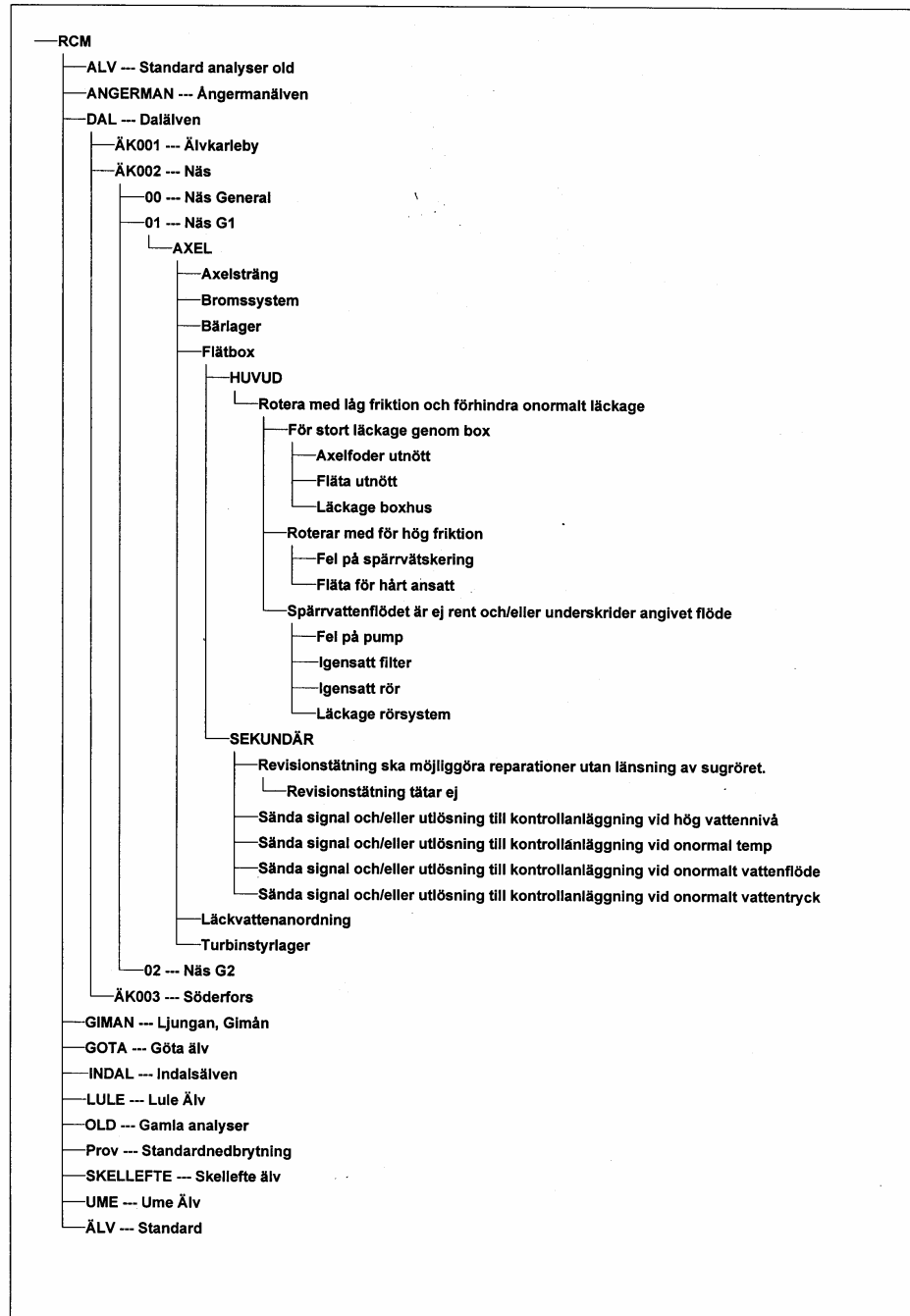
Vill man arbeta vidare utifrån detta examensarbete, så kan man fortsätta t.ex. med de möjliga specifika problem för tillståndskontroll som nämndes i kapitel 3, alltså kavitation eller minskade verkningsgrader. Dessa båda tänkbara områden för tillståndskontroll är alltså möjliga användningar för givaruppsättningen i Söderfors. I mitt tycke verkar det mest lovande att arbeta med detektion av minskning av verkningsgrader. En annan möjlighet för fortsatt arbete är att försöka identifiera samband mellan tryck och flöde vad gäller spärrvatten och turbinläckvatten, vilket dock som nämnts kan försvåras av kontakten med älven, samt även av den begränsade möjligheten att variera dessa mätstorheter i experimentsyfte.

7 Referenser

- Bernstone C. och Björnell D., 2004. "Underlag för genomförande av UHC-analyser", Vattenfall Utveckling AB, Älvkarleby.
- Björnell D. och Ljung P., 2004. Personlig kommunikation, Vattenfall Service Nord (VSN), Älvkarleby.
- Blom D. och Masman F., 2000. "Conwide i Luleälven", examensarbete vid Vattenfall Utveckling AB.
- Brekke H., 1997. "Grunnkurs i Hydrauliske strømningsmaskiner", Vannkraftlaboratoriet NTNU.
- Fox R. W. och McDonald A. T., 1994. "Introduction to Fluid Mechanics", John Wiley and Sons Inc., New York.
- Fredlund H., 2003. "Ett flervariabelt feldetekteringssystem för övervakning av bärlagertemperaturen i vattenkraftturbiner", examensarbete vid Vattenfall Utveckling AB, Älvkarleby, och Uppsala Tekniska Högskola, Uppsala.
- Glemme M., 2001. "Utveckling av larm för tekniska system i vattenkraftstationer", examensarbete vid Vattenfall Utveckling AB, Älvkarleby, och Uppsala Tekniska Högskola, Uppsala.
- Gustafsson H. och Sundqvist H., 2001. "Basbehov av sensorer", examensarbete vid Vattenfall Utveckling AB.
- Gustavson B-G. och Sjödin T., 2003. "Utredning av processignaler och sensorer för standardkraftverk", Vattenfall.
- Larsson L., 2004. Personlig kommunikation, Vattenfall.
- Ljung P. och Olsson L., 2004. Personlig kommunikation, VSN i Älvkarleby, via Eriksson M.
- Kermit P. m.fl., 1996. "Hydropower Mechanical Design", HCI Publications, Kansas City.
- Söderström J., 2004. Personlig kommunikation, VSN i Älvkarleby.
- Wibling J., 2004. "Oljevolymövervakning för reglersystemet i en Kaplanturbin", examensarbete vid Vattenfall Utveckling AB, Älvkarleby.

8 Bilagor

Bilaga 1: Utdrag från Bi-cycle, RCM



Bilaga 2: Tätningsboxritningar m.m.

Kvaerner Turbin AB

3.15 Tätningsbox

Se ritningar 777 990 A och 790 050 A

Axeltätningen mot vattenvägen är utförd som en packbox med 4 st PTFE-impregnerade kolfiberflätor och en ansättbar glandring. Flätorna är placerade två och två på ömse sidor om en smörj- och spärrvattenfördelande mellanring.

Tättningsflätorna hindras från rotation medels rostfria stift fästa i motstående glandring, stödring respektive distansring. En lås skruv i tättningshuset hindrar distansringen från att rotera.

Fodret, mot vilket flätorna glider, är monterat på turbinaxeln. Fodret är av rostfritt stål och utbytbart.

För temperaturövervakning är boxen utrustad med 2 st motståndselement och en distanstermometer.

Spärrvatten tages vid drift från anläggningens kylvattensystem och filtreras i ett självrensande dubbelfilter. Filterinsatserna lyfts automatiskt för spolning med hjälp av tryckluft. Spärrvattenflödet övervakas av en vätskevakt.

För avläsning av spärrvattentryck och tryck i vattenvägen omedelbart under tättningsboxen finns 2 st manometrar placerade på turbinkammarväggen.

Tättningsboxen är försedd med en statisk tätning, som kan ansättas manuellt vid stillestånd. För att förhindra att aggregatet startas med tätningen till är tryckluftledningen försedd med en tryckvakt.

3.16 Tryckolja-box. rör i axel

....

KVAERNER

ANVISNINGAR FÖR MONTERING AV TÄTNINGSFLÄTAN I TÄTNINGSBOX
IFÖR TÄTNINGSBOX MED REVISIONSTÄMTNING

1. ANOJLA AXELFODRET MED TEFLONFETT
2. BOTTENPLÄTTA, TÄTNINGSRING, HUS OCH NEDRE STÖRRING MONTERAS PÅ INRE TURBINLOCK. VID REVISION ANSLUTES TRYCKLUFT TILL BOTTENPLÄTTAN.
3. FÖRSTA TÄTNINGSFLÄTAN LÄGGS I Huset OCH TILLPASSAS MED EN ÖVERLÄNGD PÅ CIRKA 40mm. MÄRK UPP OCH TEJPA FLÄTAN DÄR DEN SKALL KÄPAS. LÄGG SKÄRSNITTET MITT I TEJPEN OCH LÅT TEJPEN SITTÄ KVAR. FLÄTAN SYS ENLIGT BILD 1. FLÄTAN PÅCKAS I Huset M.H.A EN TRÅSTICKA. PINNARNA I NEDRE STÖRRINGEN HINDRAR FLÄTAN FRÅN ATT ROTERA.
4. FLÄTAN NR. 2 MONTERAS ENLIGT Pkt. 3 OCH SKARVEN FÖRSKJUTS 90° I FÖRHÅLLANDE TILL FLÄTAN NR. 1.
5. DISTANSRINGEN MONTERAS. PINNARNA I DISTANSRINGENS ÖVER- OCH UNDERSIDA HINDRAR FLÄTAN FRÅN ATT ROTERA.
6. TREDJE OCH FJÄRDE FLÄTAN MONTERAS LIKT DE FÖREGÅENDE. SKARVEN FÖRSKJUTS 90° I FÖRHÅLLANDE TILL UNDERLIGGANDE FLÄTA.
7. ÖVRE STÖRRING OCH GLÄNDRING MONTERAS. PINNARNA I ÖVRE STÖRRINGEN HINDRAR DEN FJÄRDE FLÄTAN FRÅN ATT ROTERA.
8. JUSTERSKRUVARNA FÖR GLÄNDRINGEN ÅTDRAGES LÅTT. MAXIMAL INBÖRDES AVVINKELSE FÖR STÄLLSKRUVARNA: 40.5mm.
9. VID UPPSTARTNING AV TURBINEN KONTROLLERAS TEMPERATUR OCH LÄCKAGE REGBUNDET DE FÖRSTA 10 TIMMARNÄ. GLÄNDRINGEN EFTERDRAGS VID FÖR STORT LÄCKAGE.

PROCEDURES FOR ASSEMBLY OF SEALING BRAIDS IN SHAFT SEAL
FOR SHAFT SEAL WITH STATIC SEAL

1. LUBRICATE THE SURFACE OF THE SHAFT LINER WITH TEFLON GREASE.
2. ASSEMBLE BOTTOM PLATE, STATIC SEAL, HOUSING AND LOWER RING AT INNER COVER. AT REVISION CONNECT COMPRESSED AIR TO BOTTOM PLATE.
3. FIT THE FIRST BRAID AROUND THE SLEEVE WITH AN OVERLENGTH OF ABOUT 2 INCH. MARK THE BRAID AND TAPE AROUND THE CUTTING AREA. CUT THROUGH THE BRAID AND LEAVE THE TAPE. SEW THE BRAID, SEE SKETCH 1. SLIDE THE BRAID INTO POSITION WITH WOOD STICK AND THE PINS IN THE LOWER RING WILL PREVENT THE BRAID FROM ROTATION.
4. ASSEMBLE THE SECOND BRAID ACC. TO Pkt. 3 AND MOVE THE SLIT 90° IN RELATION TO BRAID NO. 1.
5. ASSEMBLE THE DISTANCE RING. THE PINS AT THE BOTTOM AND THE TOP OF THE DISTANCE RING WILL PREVENT THE BRAIDS FROM ROTATION.
6. ASSEMBLE THE THIRD AND FOURTH BRAIDS AS ABOVE. THE SLIT TO BE MOVED 90° IN RELATION TO PREVIOUS SLIT.
7. ASSEMBLE UPPER RING AND GLAND RING. THE PINS IN THE UPPER RING WILL PREVENT THE FOURTH BRAID FROM ROTATION.
8. TIGHTEN THE ADJUSTMENT SCREWS FOR THE GLAND RING WITHOUT FORCE. MAXIMUM DEVIATION OF THE ADJUSTMENT SCREWS IS 40.5mm.
9. AT COMMISSIONING, CHECK TEMPERATURE AND LEAKAGE REGULARLY THE FIRST 10 HOURS. TIGHTEN THE ADJUSTMENT SCREWS IF THE LEAKAGE IS TOO HIGH.

ANVISNINGAR FÖR MONTERING AV TÄTNINGSFLÄTAN I TÄTNINGSBOX
IFÖR TÄTNINGSBOX MED REVISIONSTÄMTNING

1. ANOJLA AXELFODRET MED TEFLONFETT
2. BOTTENPLÄTTA, TÄTNINGSRING, HUS OCH NEDRE STÖRRING MONTERAS PÅ INRE TURBINLOCK. VID REVISION ANSLUTES TRYCKLUFT TILL BOTTENPLÄTTAN.
3. FÖRSTA TÄTNINGSFLÄTAN LÄGGS I Huset OCH TILLPASSAS MED EN ÖVERLÄNGD PÅ CIRKA 40mm. MÄRK UPP OCH TEJPA FLÄTAN DÄR DEN SKALL KÄPAS. LÄGG SKÄRSNITTET MITT I TEJPEN OCH LÅT TEJPEN SITTÄ KVAR. FLÄTAN SYS ENLIGT BILD 1. FLÄTAN PÅCKAS I Huset M.H.A EN TRÅSTICKA. PINNARNA I NEDRE STÖRRINGEN HINDRAR FLÄTAN FRÅN ATT ROTERA.
4. FLÄTAN NR. 2 MONTERAS ENLIGT Pkt. 3 OCH SKARVEN FÖRSKJUTS 90° I FÖRHÅLLANDE TILL FLÄTAN NR. 1.
5. DISTANSRINGEN MONTERAS. PINNARNA I DISTANSRINGENS ÖVER- OCH UNDERSIDA HINDRAR FLÄTAN FRÅN ATT ROTERA.
6. TREDJE OCH FJÄRDE FLÄTAN MONTERAS LIKT DE FÖREGÅENDE. SKARVEN FÖRSKJUTS 90° I FÖRHÅLLANDE TILL UNDERLIGGANDE FLÄTA.
7. ÖVRE STÖRRING OCH GLÄNDRING MONTERAS. PINNARNA I ÖVRE STÖRRINGEN HINDRAR DEN FJÄRDE FLÄTAN FRÅN ATT ROTERA.
8. JUSTERSKRUVARNA FÖR GLÄNDRINGEN ÅTDRAGES LÅTT. MAXIMAL INBÖRDES AVVINKELSE FÖR STÄLLSKRUVARNA: 40.5mm.
9. VID UPPSTARTNING AV TURBINEN KONTROLLERAS TEMPERATUR OCH LÄCKAGE REGBUNDET DE FÖRSTA 10 TIMMARNÄ. GLÄNDRINGEN EFTERDRAGS VID FÖR STORT LÄCKAGE.

SKETCH/BILD 1. ROTATION

APPROVED BY: **Onk**

DESIGNED BY: **Onk**

DATE: **890912**

SCALE: **1:1**

NO. OF SHEETS: **1** OF **1**

PROJECT NO.: **788706 A**

APPROVED BY: **Onk**

DESIGNED BY: **Onk**

DATE: **890912**

SCALE: **1:1**

NO. OF SHEETS: **1** OF **1**

PROJECT NO.: **788706 A**

APPROVED BY: **Onk**

DESIGNED BY: **Onk**

DATE: **890912**

SCALE: **1:1**

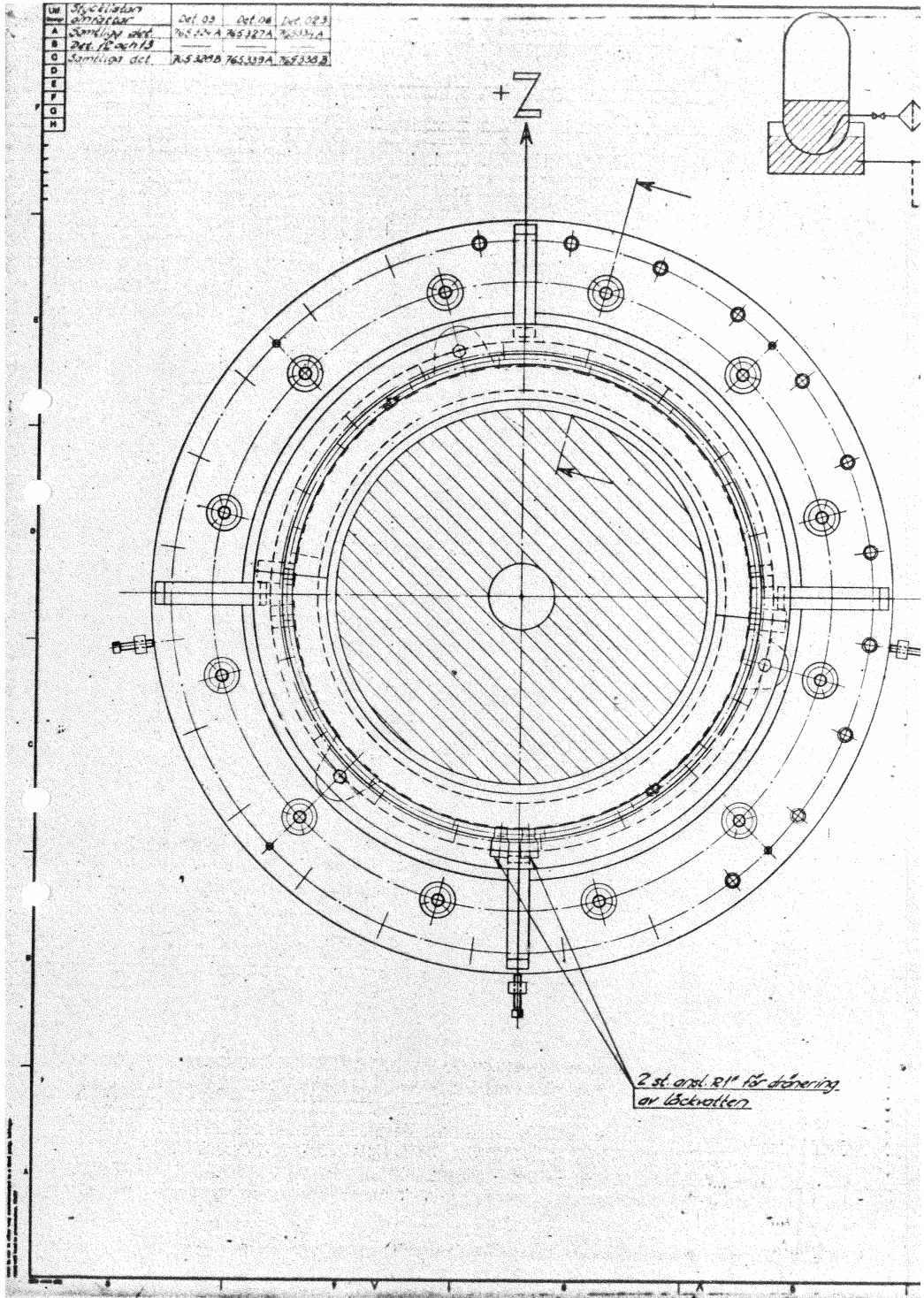
NO. OF SHEETS: **1** OF **1**

PROJECT NO.: **788706 A**

Kvaerner Turbin AB

MONTAGEANVISNING FÖR TÄTNINGSFLÄTAN

INSTRUCTIONS FOR ASSEMBLING



Anteckningar som gjordes när jag tittade på, skrev av och kopierade ritningar m.m. hos Vattenfall Service Nord i Älvkarleby:

Kontroll av tätningssats:
Motståndselementfunktion
Temperaturvakt, larm = 25 °C, utlösning = 30 °C
Revisionstätning
Smörjvattenförsörjning 10-20 liter/minut

Revision av tätningssats utföres när stort läckage förekommer och glandringen är helt nedskruvad. Under förutsättning att dräneringsutrustningen förmår att avleda vattnet kan revisionen anstå till en ur driftsynpunkt lämplig tidpunkt.

Byte av tätningssats: Revisionstätningen trycksättes, glandringen demonteras, använd tätningssats bort tages, axelfodret rengöres och inspekteras och infettas med teflonfett, nya flätor monteras. Glandringen åtdrages vid för stort läckage.

Andra anteckningar:

Kolflätor som används i Älvkarleby gamla station slits mycket fortare än de kolfiberflätor som används i Älvkarleby G6 och i Söderfors.

Bilaga 3: Programkod för förbiseende av glappbeteende

```
Private Sub Form1_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal
e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
    Dim int1 As Integer
    Dim int2 As Integer
    Dim int3 As Integer
    Dim pumptid As Integer
    Dim fylltid As Integer
    Dim savepumptid As Integer
    Dim savefylltid As Integer
    Dim stopp As String
    Dim start As String
    Dim nextstart As String
    Dim read As String
    int1 = 1
    int2 = 2
    int3 = 3
    FileOpen(int1, "C:\dataSecond2.txt", OpenMode.Input)
    FileOpen(int2, "C:\pumpl.txt", OpenMode.Output)
    FileOpen(int3, "C:\data2.txt", OpenMode.Input)
    start = LineInput(int1)
    savepumptid = 0
    savefylltid = 0
    While Not EOF(int1)
        read = LineInput(int3)
        read = LineInput(int3)
        stopp = LineInput(int1)
        nextstart = LineInput(int1)
        pumptid = CInt(stopp) - CInt(start)
        fylltid = CInt(nextstart) - CInt(stopp)
        If pumptid = 1 Or pumptid = 2 Then
            pumptid = pumptid + savepumptid
            fylltid = fylltid + savefylltid
        Else
            If savefylltid <> 0 And savefylltid <> 1 And
savefylltid <> 2 Then
                PrintLine(int2, read & Chr(9) &
savefylltid)
            End If
        End If
        savepumptid = pumptid
        savefylltid = fylltid
        start = nextstart
    End While
    FileClose(int1)
    FileClose(int2)
End Sub
```

Bilaga 4: Programkod för bestämning av modellkonstanter

```
Private Sub Form1_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
    Dim datel As DateTime
    Dim str1 As String
    Dim str2 As String
    Dim datefylltid As String
    Dim fylltid As String
    Dim datepadrag As String
    Dim padrag As String
    Dim int1 As Integer
    Dim int2 As Integer
    Dim stoppad As Integer
    Dim stoppadfylltidsumma As Integer
    Dim ejstoppadfylltidsumma As Integer
    Dim stoppadcounter As Integer
    Dim ejstoppadcounter As Integer
    stoppadfylltidsumma = 0
    ejstoppadfylltidsumma = 0
    stoppadcounter = 0
    ejstoppadcounter = 0
    int1 = 1
    int2 = 2
    datel = "2004-06-28 00:00:10"
    FileOpen(int1, "C:\fylltider2text.txt", OpenMode.Input)
    str1 = LineInput(int1)
    datefylltid = str1.Remove(0, 6)
    datefylltid = datefylltid.Remove(19, datefylltid.Length
- 19)
    FileOpen(int2, "C:\padragdatum2.txt", OpenMode.Input)
    str2 = LineInput(int2)
    datepadrag = str2.Remove(19, str2.Length - 19)
    While datel <> "2004-08-03 00:00:30"
        If datel = datefylltid Then
            fylltid = str1.Remove(0, 26)
            stoppadfylltidsumma = stoppadfylltidsumma +
(stoppad * CInt(fylltid))
            ejstoppadfylltidsumma = ejstoppadfylltidsumma +
((1 - stoppad) * CInt(fylltid))
            stoppadcounter = stoppadcounter + stoppad
            ejstoppadcounter = ejstoppadcounter + (1 -
stoppad)

            str1 = LineInput(int1)
            datefylltid = str1.Remove(0, 6)
            datefylltid = datefylltid.Remove(19,
datefylltid.Length - 19)
        End If
        If datel = datepadrag Then
            padrag = str2.Remove(0, 20)
            If CInt(padrag) = 0 Then
                stoppad = 1
            End If
        End If
    End While
End Sub
```

```
        Else
            stoppad = 0
        End If
        str2 = LineInput(int2)
        datepadrag = str2.Remove(19, str2.Length - 19)
    End If
    date1 = date1.AddSeconds(1)
End While
FileClose(int1)
FileClose(int2)
MsgBox(stoppadfylltidsumma / stoppadcounter)
MsgBox(ejstoppadfylltidsumma / ejstoppadcounter)
End Sub
```


Bilaga 5: Programkod för larm

```
Imports System.Data.Odbc
Imports System.Data.OleDb
Imports System.Data.SqlClient
Imports System.Data
Imports System.IO
Imports System
Imports System.Math

Public Class Form1
    Inherits System.Windows.Forms.Form

#Region " Windows Form Designer generated code "
#End Region

    Public stoppaProgram As Boolean
    Public padrag As Double
    Public fylltid As Double 'Enhet: sekunder
    Public datumFylltid As DateTime
    Public adderadPumptid As Double 'Enhet: sekunder
    Public datumAdderadPumptid As DateTime
    Public lastAdderadPumptid As Double
    Public lastDatumAdderadPumptid As DateTime
    Public d As Double
    Public int1 As Integer 'Behövs ej när larmet används i
    realtid
    Public int2 As Integer 'Behövs ej när larmet används i
    realtid
    Public int3 As Integer 'Behövs ej när larmet används i
    realtid
    Public str1 As String 'Behövs ej när larmet används i
    realtid
    Public str2 As String 'Behövs ej när larmet används i
    realtid
    Public str3 As String 'Behövs ej när larmet används i
    realtid
    Public datum As DateTime 'Behövs ej när larmet används i
    realtid
    Public datumPadrag As DateTime 'Behövs ej när larmet
    används i realtid
    Public objConn As New
    OleDbConnection("Provider=Microsoft.Jet.OLEDB.4.0; Data
    Source=C:\Magnus_Exjobb\Data\Data_TurbinLarm.mdb")
    Public objAdapter As OleDbDataAdapter
    Public objDataset As New System.Data.DataSet
    Public OilView As DataView

    Public Sub StartVarden() 'Funktionen behövs ej när larmet
    används i realtid
        int1 = 1
        int2 = 2
```

```
        int3 = 3
        datum = "2004-06-28 00:00:10"
        FileOpen(int1, "C:\Magnus_exjobb\fylloitider2text.txt",
OpenMode.Input)
        str1 = LineInput(int1)
        str1 = str1.Remove(0, 6)
        datumFylltid = str1.Remove(19, str1.Length - 19)
        FileOpen(int2, "C:\Magnus_exjobb\padragdatum2.txt",
OpenMode.Input)
        str2 = LineInput(int2)
        datumPadrag = str2.Remove(19, str2.Length - 19)
        FileOpen(int3, "C:\Magnus_exjobb\pumptidrond.txt",
OpenMode.Input)
        str3 = LineInput(int3)
        datumAdderadPumptid = str3.Remove(19, 9)
    End Sub

    Public Sub StegaFram() 'Funktionen behövs ej när larmet
används i realtid
        datum = datum.AddSeconds(1)
        If datum = "2004-08-02 13:00:10" Then
            stoppaProgram = True
        End If
    End Sub

    Public Sub GetPadrag() 'Ändras när larmet används i realtid
'Datum och klockslag behöver ej hämtas
        padrag = CDb1(str2.Remove(0, 20))
        str2 = LineInput(int2)
        datumPadrag = str2.Remove(19, str2.Length - 19)
    End Sub

    Public Sub GetFylltid() 'Ändras när larmet används i
realtid
        'Obs! Fylltiden kan avläsas när pumpen börjar pumpa
igen efter fyllning
        'Obs! Datum och klockslag är när pumpen börjar pumpa
och läggs i variabeln datumFylltid
        fylltid = CDb1(str1.Remove(0, 20))
        str1 = LineInput(int1)
        str1 = str1.Remove(0, 6)
        datumFylltid = str1.Remove(19, str1.Length - 19)
    End Sub

    Public Sub GetAdderadPumptid() 'Ändras när larmet används i
realtid
        'Datum och klockslag läggs i variabeln
datumAdderadPumptid
        adderadPumptid = CDb1(str3.Remove(0, 21))
        str3 = LineInput(int3)
        datumAdderadPumptid = str3.Remove(19, 9)
    End Sub

    Public Sub DeriveraAdderadPumptid(ByVal datumTid As
DateTime)
        Dim derivata As Double
```

```

        Dim tidsdiff As TimeSpan
        Dim larmPumptid As Byte
        Dim StrSQL As String

        If lastAdderadPumptid <> 0 Then
            tidsdiff =
datumTid.Subtract(lastDatumAdderadPumptid)
            derivata = (adderadPumptid - lastAdderadPumptid) /
tidsdiff.TotalSeconds
            If derivata > d Then
                larmPumptid = 1
            Else
                larmPumptid = 0
            End If
            Try 'skriv till databas
                StrSQL = "INSERT INTO DriftTid (SumDriftTid,
DriftDerivata, DriftTidsLarm, Tid)" & _
                    " VALUES (" & adderadPumptid & ", '" & derivata
& "', " & larmPumptid & ", '" & datumTid & "')"
                ExecuteStatement(StrSQL)
            Catch ex As Exception
            End Try

        End If
        lastDatumAdderadPumptid = datumTid
    End Sub

    Public Sub Avsluta() 'Funktionen behövs ej när larmet
används i realtid
        FileClose(int1)
        FileClose(int2)
        FileClose(int3)
    End Sub

    Private Sub Form1_Load(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles MyBase.Load
        Dim turbinStoppad As Integer
        Dim modellFylltid As Double
        Dim cusum As Double
        Dim v As Double
        Dim h As Double
        Dim StrSQL As String
        Dim larmFylltid As Byte
        lastAdderadPumptid = 0 'Startvärde
        cusum = 0 'Startvärde

        StrSQL = "Select * from LarmSetup"
        objAdapter = New OleDbDataAdapter(StrSQL, objConn)
        objAdapter.Fill(objDataset, "data")
        OilView = objDataset.Tables("data").DefaultView
        'Hämta värden på konstanter från databasen
        h = OilView(0) ("H")
        v = OilView(0) ("V")
        d = OilView(0) ("MaxDerivata")

        stoppaProgram = False

```

```

        StartVarden() 'Behövs ej när larmet används i realtid
    While Not stoppaProgram
        If datum = datumPadrag Then 'Kollar om det kommit
in ett nytt pådrag
            'Obs! Formuleras på annat sätt när larmet
används i realtid
                GetPadrag()
                If padrag = 0 Then
                    turbinStoppad = 1
                Else
                    turbinStoppad = 0
                End If
            End If
            If datum = datumFylltid Then 'Kollar om det kommit
in en ny fylltid
                'Obs! Formuleras på annat sätt när larmet
används i realtid
                    GetFylltid()
                    modellFylltid = 1660 + (389 * turbinStoppad)
                    cusum = cusum + Math.Abs(fylltid -
modellFylltid) - v
                    If cusum < 0 Then
                        cusum = 0
                    End If
                    If cusum > h Then
                        larmFylltid = 1
                        cusum = 0
                    Else
                        larmFylltid = 0
                    End If

                    Try 'skriv till databas 'Obs! Skriv här
"datumFylltid" istället för "datum" när larmet används i
realtid
                        strSQL = "INSERT INTO FyllTid (FyllTid,
TurbinStatus, ModellFyllTid, FyllTidLarm, Tid)" & _
                            " VALUES (" & fylltid & ", " &
turbinStoppad & ", " & modellFylltid & ", " & larmFylltid & ",
" & datum & ")"
                        ExecuteStatement(StrSQL)
                    Catch ex As Exception

                    End Try
                End If
            If datum = datumAdderadPumptid Then 'Kollar om det
kommit in en ny adderad pumptid
                'Obs! Formuleras på annat sätt när larmet
används i realtid
                    GetAdderadPumptid()
                    DeriveraAdderadPumptid(datum) 'Obs! Skriv här
"datumAdderadPumptid" istället för "datum" när larmet används i
realtid
                        lastAdderadPumptid = adderadPumptid
                    End If
                StegaFram() 'Behövs ej när larmet används i realtid
            End While

```

```
        Avsluta() 'Behövs ej när larmet används i realtid
    End Sub

    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles Button1.Click
        stoppaProgram = True
    End Sub

    Public Function ExecuteStatement(ByVal StrSQL)

        Dim ObjCmd As New OleDbCommand(StrSQL, objConn)
        Try
            ObjCmd.Connection.Open()
            ObjCmd.ExecuteNonQuery()
            ObjCmd.Connection.Close()
            ObjCmd.Dispose()
        Catch ex As Exception
            'Fel vid uppkoppling mot databasen
        End Try
    End Function

End Class
```

Bilaga 6: Programskiss för läsning av fylltid och adderad pumptid från koncentratorn

Här följer en skiss på ett program som läser in fylltider och adderade pumptider från koncentratorn. Samplingshastigheten för koncentratorn är ett värde per sekund. De flesta drifttidsmätningar som är inkopplade till koncentratorn noteras i form av en räknare som tickar fram med samma hastighet som koncentratorns klocka, så länge det aktuella systemet är i drift. När systemet står stilla så står räknaren också stilla. Jag kommer här att anta att turbinläckvattenpumpen kommer att kopplas in på samma sätt. Vidare antar jag att funktionen GetCounter() som används i programskissen nedan fungerar så att den väntar med att returnera ett värde tills ett nytt ”sampel” har förflutit. Programmet kan arbetas ihop med larmprogrammet, eller så kan det fungera för sig självt och skriva fylltider och adderade pumptider till en databas.

Programskiss:

```
adderadPumptid = 0 // Startvärde
starttid = -1 // Startvärde
stopptid = -1 // Startvärde
counter = GetCounter()
lastCounter = GetCounter() // Startvärde
If lastCounter <> counter Then
    pumpSnurrar = 1 // Startvärde
Else
    pumpSnurrar = 0 // Startvärde
End If
While Not StoppaProgram Do
    counter = GetCounter()
    If counter <> lastCounter And pumpSnurrar = 0 Then
        starttid = counter
        If stopptid <> -1 Then
            fylltid = starttid – stopptid
            NoteraFylltid()
        End If
        pumpSnurrar = 1
    End If
    If counter = lastCounter And pumpSnurrar = 1 Then
        stopptid = counter
        If starttid <> -1 Then
            adderadPumptid = adderadPumptid + stopptid – starttid
            NoteraAderradPumptid()
        End If
        pumpSnurrar = 0
    End If
```

```
    lastCounter = counter  
End While
```