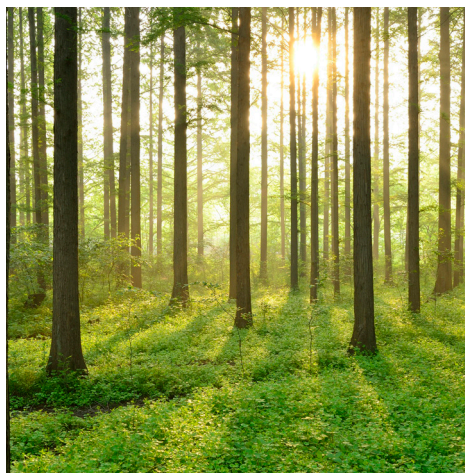


# INVENTERING AV INRE VATTENVÄGSBESIKTNINGAR

RAPPORT 2019:566



 VATTENKRAFT

BETONGTEKNISKT PROGRAM  
VATTENKRAFT





# Inventering av inre vattenvägsbesiktningar

ERIK NORDSTRÖM  
DANIEL ERIKSSON

ISBN 978-91-7673-566-4 | © Energiforsk februari 2018

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se



## Förord

**Vattenkraftens inre vattenvägar är vanligtvis vattenfyllda, vilket medför att de i många fall är svåråtkomliga för inspektion. Dessutom är det sällan ekonomiskt försvarbart att torrlägga de inre vattenvägarna enbart för inspektion till följd av det avbrott i elproduktionen som då uppstår. Dock uppkommer emellanåt möjligheten att få inspektera de inre vattenvägarna i samband med driftstopp för reparation, inspektion eller utbyte av turbinen.**

I detta projekt har professor Erik Nordström vid KTH/Vattenfall samt Daniel Eriksson, doktorand vid KTH, sammanställt erfarenheter från inspektioner av betongkonstruktioner i vattenkraftens inre vattenvägar. Utifrån protokoll och rapporter från genomförda inspektioner har typskador och nedbrytningsförlopp identifierats. Studien visade också att det finns behov av att utarbeta rutiner för förvaltning av inre vattenvägar för att få en mer standardiserad dokumentation av uppkomna skador.

Projektet har genomförts inom ramen för Betongtekniskt program vattenkraft. Intressenterna i programmet är Fortum Sverige AB, Jämtkraft AB, Jönköping Energi AB, Karlstads Energi AB, Skellefteå Kraft AB, Sollefteåforsens AB, Statkraft Sverige AB, Sydkraft Hydropower AB, Umeå Energi AB, Vattenfall AB Vattenkraft och Vattenfall Indalsälven AB.

Monika Adsten, Energiforsk

## Sammanfattning

Det är via vattenvägarna som vatten transporteras från reservoaren, förbi dammen och sedan vidare nedströms i en vattenkraftsanläggning. Vattenvägarna vid en vattenkraftsanläggning kan generellt sett delas upp i yttre och inre konstruktioner. De inre vattenvägarna omfattar ett flertal konstruktioner som intag, tilloppstunnel, tilloppstub, intagssump, spiral, sugrör, svallschakt, svallgalleri och utloppstunnel. Dessa konstruktioner är vanligtvis helt eller delvis vattenfyllda vilket medför att de i många fall är svåråtkomliga för inspektion. Det är sällan ekonomiskt försvarbart att torrlägga de inre vattenvägarna enbart för inspektion till följd av det avbrott i elproduktionen som då uppstår. Dock uppkommer emellanåt möjligheten att få inspektera de inre vattenvägarna i samband med driftstopp för reparation, inspektion eller utbyte av de elgenererande delarna.

På uppdrag av Energiforsk har en genomgång av den rapportering som finns från genomförda inspektioner gjorts i ett försök att förbättra kunskapsläget gällande eventuella typskador och nedbrytningsförlopp i de inre vattenvägarna. Insamlingen av underlag har gjorts genom förfrågningar hos ägarrepresentanterna i styrgruppen för vattenkraftens betongprogram inom Energiforsk. Det erhållna underlaget omfattade både besiktningsrapporter och sammanställningar över observerade skador i de inre vattenvägarna för sammanlagt 53 olika vattenkraftverk.

Utifrån analysen av det erhållna materialet i denna studie kunde det konstateras att erosion var den vanligast förekommande skadetyper då samtliga typer av inre vattenvägar beaktas. Dock blev självklart bilden en liten annan i det fall de olika typerna av vattenvägar studeras enskilt även om erosionsskador oftast återfinns högt upp i listan över observerade skador och brister. Tidigare forskning har dock visat att det ofta är en samverkan mellan olika nedbrytningsmekanismer som resulterar i en observerad skada. Av denna anledning är det därför svårt att isolera en enskild nedbrytningsmekanism som ensam är orsaken till att just erosionsskador är den vanligast förekommande skadetyper. Det kunde också konstateras att dokumentationen av genomförda inspektioner och därmed observerade skador och brister i de inre vattenvägarna generellt sett är bristfällig hos flertalet anläggningsägare. Det bör dock poängteras att samtliga tillfrågade anläggningsägare angivit att de genomfört inspektioner men att just dokumentationen från dessa antingen saknas eller är svår att hitta.

Med ledning av resultaten från inventeringen går det att konstatera ett förbättringsbehov i förvaltningen av de inre vattenvägskonstruktionerna. Särskilt stora brister verkar råda på kännedomen om statusen hos långa tillopps- och utloppstunnlar av berg med olika grad av förstärkning. För anläggningar med gemensamma tunnlar för till- eller utlopp kan konsekvenserna av ett större tunnelras kunna vara betydande ur ekonomisk synvinkel i form av långvariga produktionsbortfall. Det rekommenderas att en strategi för hantering av detta utvecklas.

## Summary

The water is transported by the waterways from the reservoir, past the dam and further downstream in a hydropower station. Generally, the waterways can be categorized to be either of channel-type or tunnel-type. The waterways of tunnel-type include a number of different structures such as intakes, headrace tunnels, penstocks, intake sumps, spirals, draft tubes, surge shafts, surge galleries and tailrace tunnels. These structures are usually either fully or partially filled with water, which means that they in many cases are hard to inspect. Moreover, it is seldom financially justifiable to drain the tunnels solely to perform an inspection due to the loss of energy production that this measure entails. However, in connection to stoppage of the energy production to repair, inspect or replace some of the energy-producing parts, an opportunity to inspect the waterways of tunnel-type is usually given.

In this study, a review of documentation from inspections of waterways of tunnel-types has been performed on behalf of Energiforsk to improve the state of knowledge regarding common damage types and deterioration mechanisms in this type of waterways. The collection of data has been performed by inquiring data from representatives of the utility companies in the steering committee of the research program for concrete in hydropower at Energiforsk. The obtained material includes both reports from inspections as well as compilations of observed damage in the waterways for a total of 53 different hydropower stations in Sweden.

From the analysis of the obtained material in this study, it could be concluded that erosion was the most common type of damage observed in waterways of tunnel-type if all types of such structures are considered. However, the results become a bit different if the different types of structures are studied individually, even though erosion often is observed to be one of the most commonly observed damage types. Previous research has, however, shown that an observed damage often is a consequence of a series of deterioration mechanisms that together cause a degradation of the material. Therefore, it is hard to isolate one single deterioration mechanism that is the only reason why erosion is the most commonly observed damage type in waterways of tunnel-type. Furthermore, it could be concluded that the documentation of performed inspections generally is inadequate at the utility companies and consequently also the documentation of observed damage and defects in the waterways. It should, however, be noticed that all companies stated that they have performed inspections but that the documentation from these is either missing or hard to find.

With results from the study in mind a need for improvement in the management of the inner waterways is obvious. Especially regarding the knowledge on the status of long headrace and tailrace tunnels in rock with different degree of support. For facilities with common head-/tailrace tunnels for several units, the consequences of a larger failure could be substantial in terms of financial losses from no production. It is recommended to develop a strategy for management of inner waterways.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>8</b>
1.1	Bakgrund	8
1.2	Mål och syfte	9
1.3	Arbetsmetoder	9
<b>2</b>	<b>Inre vattenvägar</b>	<b>10</b>
2.1	Vanliga typer av inre vattenvägar	10
2.1.1	Intag	11
2.1.2	Tilloppstunnel	11
2.1.3	Tilloppstub	12
2.1.4	Spiral	12
2.1.5	Sugrör	13
2.1.6	Svallschakt/galleri	13
2.1.7	Utloppstunnel	13
<b>3</b>	<b>Förvaltning av inre vattenvägar</b>	<b>15</b>
3.1	Inspektionsmetoder	15
<b>4</b>	<b>Exponeringsmiljö och laster</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Inventering av genomförda tillståndskontroller</b>	<b>20</b>
5.1	Definition av skadetyper och brister	20
5.2	Resultat	21
5.3	Diskussion	26
<b>6</b>	<b>Internationell utblick</b>	<b>28</b>
6.1	Norge	28
6.2	Finland	29
6.3	Zambia	29
<b>7</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>30</b>
<b>8</b>	<b>Referenser</b>	<b>31</b>



# 1 Inledning

## 1.1 BAKGRUND

Vattenvägarna vid en vattenkraftsanläggning kan generellt sett delas upp i yttre och inre konstruktioner. De inre vattenvägarna omfattar ett flertal konstruktioner som intag, tilloppstunnel, tilloppstub, intagssump, spiral, sugrör, svallschakt, svallgalleri och utloppstunnel. Dessa konstruktioner är vanligtvis helt eller delvis vattenfyllda vilket medför att de i många fall är svåråtkomliga för inspektion. Ibland är också tillopp eller utlopp gemensamt för flera aggregat, vilket ytterligare försämrar möjligheterna. Det är sällan ekonomiskt försvarbart att torrlägga de inre vattenvägarna enbart för inspektion till följd av det avbrott i elproduktionen som då uppstår. Dock uppkommer emellanåt möjligheten att få inspektera de inre vattenvägarna i samband med driftstopp för reparation, inspektion eller utbyte av de genererande delarna. Anläggningar med många aggregat och separerade vattenvägar kan ge större möjligheter till avbrott för inspektion.

Vid inspektion torrläggs de inre vattenvägarna vanligtvis mellan intagslucka och sugrörslucka vilket är lättast att åstadkomma. I vissa fall saknas intagsluckor och då uppstår en kostnad för att montera sättar med mobilkran. Detta kan i vilket fall möjliggöra inspektion av intag/intagssump, tilloppstub, spiral och sugrör. Dessa konstruktioner är ofta helt eller delvis uppförda i betong ibland med inklädnad av stål. Inspektionerna dokumenteras ibland skriftligt och/eller med fotografering men variationer mellan företag och regioner finns.

De delar som finns i utrymmet utanför intagslucka till sugrörslucka blir vanligtvis nästan aldrig torrlagda för inspektion. Långa bergtunnlar som inte tömts på vatten under decennier behöver vanligtvis skyddsskrotas för att göra det möjligt att inspektera vid en torrläggning. Torrläggningen i sig betraktas också som en risk då den hydrauliska gradienten mellan berget och den torrlagda tunneln riskerar bli en orsak till ras i samband med tömningen.

Till följd av de ovan beskrivna omständigheterna är kunskapsläget otillfredsställande gällande åldring av betongkonstruktioner i de inre vattenvägarna. Bergförstärkning av typen bultar, sprutbetong eller armerade betongbågar som installerats som bergförstärkning vid uppförandet har i många fall okänd status efter många decenniers kraftproduktion. Konsekvenserna av större ras får dock vanligtvis betraktas som stora med produktionsförluster och kostnader för återställning/reparation. Det finns dokumenterade ras i tunnlar i Sverige (Gidböle [1], Norränge [2]) där raset ofta skett i samband med svaghetszoner, nedbrytning av förstärkning eller hydrostatiskt tryck. Ett ras i kraftverkstunneln i TorpsHAMMAR har också skett, men offentligt tillgänglig information kring detta saknas. Ett norskt tunnelras beskrivs övergripande i avsnitt 6.1. En sammanställning av ras och grundläggande teorier kring nedbrytning av förstärkning samt konsekvenser av ras går att se i Håkansson (2013) [15].

## 1.2 MÅL OCH SYFTE

På uppdrag av Energiforsk har en genomgång av den rapportering som finns från genomförda inspektioner gjorts i ett försök att förbättra nämnda kunskapsläge gällande eventuella typskador och nedbrytningsförlopp i de inre vattenvägarna.

## 1.3 ARBETSMETODER

Insamlingen av underlag har gjorts genom förfrågningar hos ägarrepresentanterna i styrgruppen för vattenkraftens betongprogram vilka utgjorts av:

Mats Persson, Vattenfall  
Andreas Karlstedt, Jämtkraft  
Marcus Hautakoski, Vattenregleringsföretagen  
Martin Eriksson, Fortum  
Martin Hansson, Statkraft  
Johanna Feldtman, Uniper  
Per Fektenberg, Fortum  
Åsa Burman, Skelleftekraft  
Anna Pettersson, SKB

Det har visat sig att de olika företagen har väldigt olika sätt att hantera tillståndskontrollen på de inre vattenvägarna. Skalan sträcker sig från i princip ingen dokumenterad tillsyn alls till tidsstyrda intervall med protokollförd inspektion i förutbestämd mall. Det vanligaste är dock att ingen systematisk tillsyn genomförs och därför har det varit mycket svårt att få fram underlag till studien.

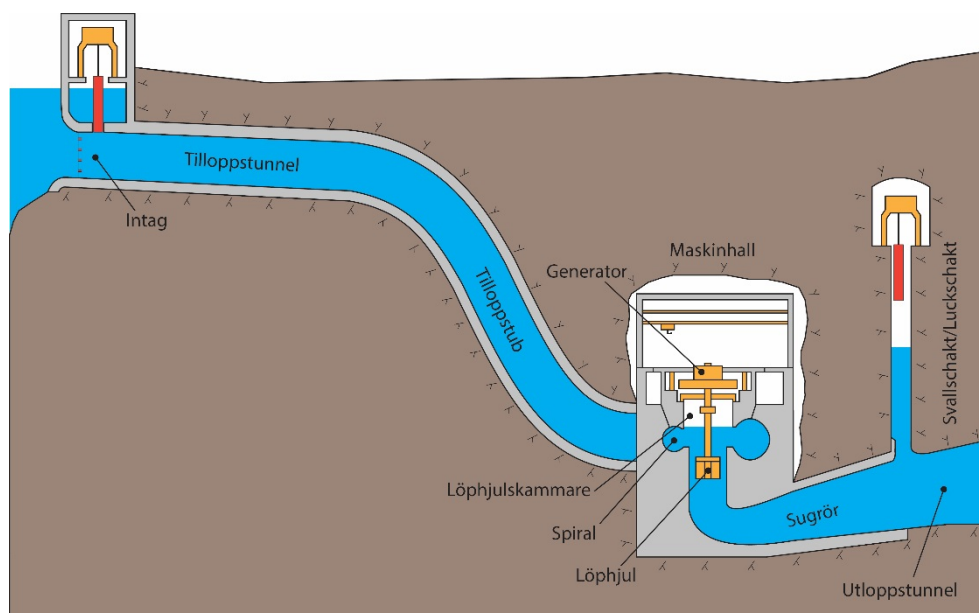
Det erhållna underlaget omfattade både besiktningsrapporter och sammanställningar över observerade skador i de inre vattenvägarna för sammanlagt 53 olika vattenkraftverk. Anläggningarnas ålder varierade och anläggningar uppförda under hela 1900-talet finns representerade även om tyngdpunkten ligger på 50- och 60-talet då flest anläggningar uppfördes. Samtliga observerade skador från dessa dokument sammanställdes i ett och samma dokument där varje skadetyper och lägen för skador gavs standardiserade benämningar för att kunna göra en statistisk analys av materialet.

## 2 Inre vattenvägar

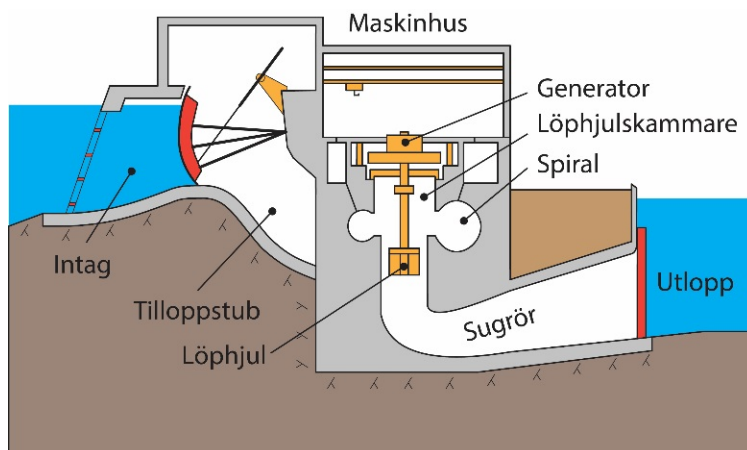
Det är via vattenvägarna som vatten transporteras från reservoaren, förbi dammen och sedan vidare nedströms i en vattenkraftsanläggning. Hur dessa vägar är konstruerade beror på området där vattenkraftverket är beläget samt om vattnet, via en specifik vattenväg, ska ledas till kraftstationen för att producera el eller till ett utskov i syfte att reglera vattennivån i reservoaren. Generellt kan vattenvägarna delas in i yttre och inre vattenvägar där den förstnämnda är av kanaltyp med en fri vattenyta i direkt kontakt med omgivande luft. Exempel på denna typ av vattenvägar är tilloppskanaler som leder vatten till intaget samt utloppskanaler som leder vattnet från kraftstationens utlopp. De inre vattenvägarna är av tunneltyp men kan vara både delvis eller helt fyllda med vatten. Inom ramen för denna studie kommer primärt de inre vattenvägar som leder vatten via en kraftstation att beaktas. Generellt finns dock många paralleller till bottenutskov som ibland är sammanlänkade med tunnlar.

### 2.1 VANLIGA TYPER AV INRE VATTENVÄGAR

Utformningen av de inre vattenvägarna till och från kraftstationen beror till största del av förhållandena i det område där vattenkraftverket är beläget [3]. Figur 1 och Figur 2 visar schematiskt de vattenvägar som normalt återfinns i anslutning till en kraftstation belägen under respektive ovan marknivå. I efterföljande avsnitt beskrivs dessa vattenvägars funktion och generella utformning mer i detalj samt den exponeringsmiljö och laster som vanligen förekommer i de respektive delarna.



Figur 1 Schematisk illustration av inre vattenvägar från reservoaren till nedströmssidan för en kraftstation belägen under mark.



Figur 2 Schematisk illustration av inre vattenvägar i anslutningen till en kraftstation belägen ovan marknivå.

### 2.1.1 Intag

Det är vid intaget som vattnet i reservoaren leds in till de inre vattenvägarna för vidare transport nedströms. Ytterst finns vanligen ett intagsgaller som förhindrar att större lösa föremål och is tar sig in i vattenvägarna och vidare ner till turbinen som annars riskerar att skadas. Vid intaget finns också oftast en intagslucka för att kunna stänga av flödet av vatten vid behov. Denna är ofta konstruerad av stål och har vanligtvis någon form av tätning, t.ex. av gummi, längs sina ränder för att minimera läckage av vatten.

Intagsgallret fångar enbart större lösa föremål i det flödande vattnet. Detta innebär att sediment som passerar gallret kan orsaka erosionskador i konstruktionerna samt nöta bort det rostskydd som normalt appliceras på ståldelarna. Detta innebär också att stålkonstruktioner med tiden rostas om inte rostskyddet av dessa underhålls. Eftersom intaget normalt är i direkt kontakt med den yttre miljön exponeras konstruktionerna också för de yttre temperaturvariationerna vilket t.ex. kan resultera i temperaturinducerade sprickor eller frostsador i betongen [5].

### 2.1.2 Tilloppstunnel

I de fall avståndet mellan intaget och kraftstationen är långt kan en tilloppstunnel anläggas för att transportera vattnet, se Figur 1. Flödet av vatten kan antingen ha en fri vattenyta likt det flöde som återfinns i öppna kanaler eller vara svagt trycksatt. Tunnelarna är antingen rena bergtunnlar eller inklädda med betong eller sprutbetong. Bergets kvalitet på den aktuella platsen avgör vilken typ som är mest lämplig. Målet är dock att minimera flödesförlusterna så mycket som möjligt varför också strömningshastigheten bör hållas relativt låg i tunnelarna. Hastigheten bör dock inte vara allt för låg eftersom det då finns risk att sediment avsätts på tunnelbotten [6]. I de fall tilloppstunneln har en inklädnad finns i regel också dränagehål i denna för att förhindra att ett för stort yttre tryck från vattnet i berget uppkommer på beklädnaden. Det är också vanligt att det finns en stenficka i början eller slutet av tunneln vars uppgift är att samla upp grus och större stenblock som passerat intagsgallret innan de når kraftstationen där de kan göra stor skada.

På grund av sediment i det strömmande vattnet finns risk att tunnelytorna utsätts för erosion. Som nämndes ovan är dock vattenhastigheten i en tillloppstunnel generellt relativt låg vilket minskar risken för kraftig erosion. Å andra sidan kan fraktionerna av det material som flödar med vattnet vara förhållandevis stora vilket påskyndar erosionen. Den låga flödes hastigheten innebär också att vattentrycket kan förväntas vara förhållandevis lågt i tunnarna. Den största mekaniska last som påverkar en eventuell inklädnad är det yttre hydrostatiska trycket från vatten i berget [5]. Som nämndes ovan kan dock denna last reduceras genom att göra dränagehål i inklädnaden. Vad det gäller klimatet i en delvis vattenfylld tunnel finns risk att frystemperaturer uppstår eftersom kall luft kan leta sig in via intaget [5]. Dock torde denna effekt avta med avståndet från intaget.

### 2.1.3 Tillloppstub

Det är primärt i tillloppstuben som vattnets potentiella energi omvandlas till kinetisk energi. Denna har därför en större lutning ner mot kraftstationen än en eventuell tillloppstunnel, vilket kan ses i Figur 1. Lutningen varierar mellan olika kraftverk och kan till och med vara vertikal, det är de lokala förhållandena som avgör utformningen. I de fall kraftstationen är lokaliserad i direkt anslutning till intaget finns normalt ingen tillloppstunnel och intaget övergår då istället direkt till en tillloppstub, se Figur 2. Det är viktigt att försöka minimera ytans råhet för på så sätt erhålla så små strömningsförluster som möjligt i tuben. Därför är tillloppstuberna ofta gjutna i betong och ibland inklädda med stål alternativt enbart byggda av stål.

Vattenhastigheten i tillloppstuber är som redan nämnts signifikant högre än i tillloppstunnlar vilket innebär att vattentrycket kan bli högt, framförallt i tunnelkrökar. Den högre vattenhastigheten medför också att det finns en risk för ökad erosion även om de största fraktionerna av grus och större stenblock fångats upp i en stenficka. Dessutom medför detta att rostskyddet på stålklädda delar med tiden nöts ner med risk för efterföljande korrosion. Beroende på kraftverkets utformning kan också tillloppstuben utsättas för ett yttre hydrostatiskt tryck från vatten i omkringliggande berg [5]. I det fall intaget är lokaliserat i direkt anslutning till tillloppstuben kan luft leta sig in i tunneln och därmed påverka temperaturen med temperaturinducerade deformationer och frostsador som eventuella följer.

### 2.1.4 Spiral

I kraftstationer där turbiner av Francis-, Kaplan eller propellertyp används övergår tillloppstuben i en spiral. Denna används för att leda vattnet till turbinen samtidigt som den bidrar till att på ett optimalt sätt fördela flödet av vatten över turbinen. Spirallerna är vanligen konstruerade av betong eller stål. I fallet med en stålspiral så är det förhållandevis vanligt att den kringgjutts med betong även om den dimensionerats så att stålet kan ta upp samtliga laster [7]. I dessa fall är kringgjutningens primära uppgift att verka som ljudisolering.

Vattenhastigheten i spiralen är generellt hög vilket innebär att vattentrycket mot spirallväggarna också är högt. Sediment i vattnet bidrar till erosion av bulkmaterial samt att rostskyddet på stålklädda delar bryts ner med risk för efterföljande korrosion. Den höga vattenhastigheten kan också bidra till att

jetstrålar, orsakad av kavitation, uppkommer i vattnet. Dessa belastar konstruktionerna med ett mycket höga lokala tryck och kan bidra till att signifikanta skador uppstår. Beroende på utformningen av anläggningen kan spiralen också vara belastad av yttre jordtryck från fyllnadsmaterial eller hydrostatiska vattentryck.

### 2.1.5 Sugrör

Efter att vattnet lämnat turbinen leds det vidare ner i sugröret i vilket vattenhastigheten reduceras succesivt genom att sugrörets tvärsnittsarea kontinuerligt ökar från turbinens utlopp. Detta skapar ett undertryck närmast turbinen vilket bidrar till att maximera den effektiva tryckskillnaden över turbinen och därmed mängden energi som kan utvinnas. Det är denna sugeffekt av vatten som gett sugröret dess namn. Sugrören är vanligtvis byggda av betong och ibland inklädda med stål, men det förekommer även sugrör där det rena berget istället utgör väggar, tak och golv. Det är också vanligt att det finns dränagehål i betongen för att minimera det yttre hydrostatiska trycket från vatten i berget på inklädda delar av sugröret. Detta tryck är naturligtvis som störst i de fall sugröret töms på vatten i samband med avställningar.

Vattenhastigheten ut ur turbinen är relativt hög, och medföljande sediment bidrar till erosion av konstruktionerna samt nedbrytning av rotskydd på stålklädda delar. Vad det gäller mekanisk belastning av vattentryck så är som redan nämnts sugrören utformade för att skapa ett undertryck vid turbinen. Detta innebär att konstruktionerna är belastade av både under- och övertryck längs med sugrörets längd.

### 2.1.6 Svallschakt/galleri

Då produktionen av el stoppas eller startas kan stora vattentryck uppstå om vattnet snabbt behöver stängas av eller släppas på. Dessa tryck kan bli så stora att de inre vattenvägarna riskerar att skadas av dessa tryckslag. För att minimera dessa vattentryck utformas vattenkraftverk där detta kan vara ett problem med svallschakt i vilka uppkomna svallvågor i vattnet kan dämpas ut. Beroende på de geologiska förhållandena på platsen kan dessa schakt antingen vara rena bergschakt alternativt vara inklädda med betong eller sprutbetong. För att förhindra tryckslag är det också viktigt att kontrollera hastigheten med vilken vattenflödet stängs av eller släpps på.

### 2.1.7 Utloppstunnel

Efter sugröret förs vattnet antingen vidare i en utloppstunnel eller direkt ut i vattendraget, det första alternativet visas i Figur 1 medan det andra visas i Figur 2. Utloppstunnlarna kan precis som tillloppstunnlarna antingen utgöras av rena bergtunnlar men kan också vara inklädda med betong eller sprutbetong.

Vattenhastigheten i utloppstunnlarna är relativt låg eftersom hastigheten reducerats kraftigt i sugröret för att erhålla sugeffekten efter turbinen. Eftersom sediment finns i vattnet kan dock ytorna utsättas för erosion. Den låga flödes hastigheten innebär också att det interna vattentrycket kan förväntas vara

förhållandevis lågt i tunnlarna. I delvis vattenfyllda tunnlar kan luft leta sig in i närheten av tunnelmynningen varför temperaturen kan variera med årstiderna i hela eller bara en mindre del av en utloppstunnel [5].

### 3 Förvaltning av inre vattenvägar

Syftet med en systematisk förvaltning av de inre vattenvägarna kopplade till kraftverken är att säkerställa en fullgod anläggningssäkerhet och avbrottsfri elproduktion. Med anläggningssäkerhet avses säkerheten mot brott i bärande konstruktioner eller nedfall av material som kan medföra skador på personer eller leda till produktionsbortfall. Dessutom bidrar tillgänglighet i de inre vattenvägarna till en extra säkerhetsmarginal vad gäller avbördningsförmågan sett ur dammsäkerhetssynpunkt.

Förvaltningsarbetet bör för att nå ovanstående leda till att en ägare har god kunskap om anläggningarnas status. Med vägledning av anläggningarnas betydelse för elproduktionen, deras konfiguration på vattenvägarna och konstruktiva utformning kan lämpliga intervall och en rangordning för inspektionen av vattenvägarna tas fram. I planeringen bör också hänsyn tas till komplexiteten och riskerna vid en torrläggning av vattenvägarna så att lämpliga intervall kan sättas. Tunnlrar som är långa, komplicerade att torrlägga, och kräver skyddsskrotning före inspektion kanske enbart inspekteras i samband med större projekt eller ombyggnationer och kan ha så långa intervall som 50 år om inte noterade avvikelser ger anledning till kortare intervall. Intervallet för lättare åtkomliga delar kan istället vanligen ligga på 6 - 12 år mellan inspektionerna om inte allvarliga eller potentiellt allvarliga skador noteras.

Med dokumenterade rutiner för att planera, genomföra, utvärdera och dokumentera tillståndskontrollen på de inre vattenvägarna skapas också förutsättningar för att vidta reparations- och förstärkningsarbeten där så bedöms nödvändigt för att bibehålla anläggningssäkerhet och produktionsförmåga på en god nivå.

#### 3.1 INSPEKTIONSMETODER

Inspektion av inre vattenvägar genomförs normalt som okulär inspektion genom att dessa töms på vatten i samband med att underhållsarbete genomförs på en turbin. För de delar av vattenvägarna som går i konstruktioner av betong görs synen från botten av vattenvägen eller via mankorg hängande i t.ex. tilloppstuben alt. från en vagn som rullas ner genom en lutande tub. På handnära avstånd kan sprickviddsmätning och bomknackning genomföras.





Figur 3 Inspektionsvagn för inspektion av lutande tilloppstub.

Eftersom det kan vara en kostsam åtgärd att tömma vattenvägen kan vattenvägarna ibland inspekteras med hjälp av en dykare som då fotograferar och filmar observerade skador, detta är dock en relativt ovanlig inspektionsmetod. Anledningen är att många av utrymmena inte tillåter fri uppstigning till en vattenyta vilket är besvärande ur säkerhetssynpunkt.

Ytterligare ett inspektionsalternativ är att använda undervattensrobotar där sonar och/eller kameror används för att detektera och dokumentera skador i vattenvägarna. I en studie presenterad i [4] visades genom försök att denna metod även kan användas för att detektera små skador i betong. Det finns också rapporterade försök av Fortum i Gävunda [12] med scanning av vattenfyllda tunnlar med undervattensrobot som utrustats med grön laser. Syftet är främst att skapa en bild av en tunnelprofil i berg och inte i första hand detektera små skador eller sprickor i betongkonstruktioner.



Figur 4 Exempel på olika undervattensrobotar/ROV (Remotely Operated Vehicles) [4].

## 4 Exponeringsmiljö och laster

Exponeringsmiljön för de olika delarna i de inre vattenvägarna har delvis redan beskrivits i avsnitt 2, men nedan ges en kortare sammanfattning av de olika exponeringsmiljöerna och lasterna som konstruktionen utsätts för.

### *Intag*

Yttre delarna exponeras för utomhusklimat med frostpåverkan och samtidig hög fuktbelastning. I vattenlinjeområdet förekommer erosion av t.ex. is och samtidig yturlakning. Under vattenytan är det främst yturlakning som förekommer. Invändigt i en ovanjordsstation kan det istället vara mycket varmt och stora gradienter mellan inomhus och utomhus kan därför uppstå.

### *Tilloppstunnel*

Vanligtvis går tilloppstunneln efter öppningen helt vattenfylld och därför påverkas den i de fallen inte av utomhustemperaturer. Istället är det främst nötning av konstruktionernas ytor och i förekommande fall korrosionsangrepp på t.ex. oskyddade bergbultar. Vissa tunnlar går dock delvis vattenfyllda och i de fallen tillkommer utöver ovanstående även frostpåverkan i de delar av tunneln som är ovanför vattenytan.

Många tilloppstunnlar är oförstärkta eller har väldigt lite förstärkning och kan vid en torrläggning utgöra en beaktansvärd last p.g.a. den hydrauliska gradienten som uppstår. Kvarvarande vattentryck i berget kan t.ex. ge bergutfall mot den trycklösa tömda tunneln. I övrigt utsätts konstruktionerna i tilloppstunneln för last från omgivande berg och ev. grundvattentryck som överstiger det hydrostatiska vattentrycket i tunneln.

### *Tilloppstüb*

Tilloppstüben är vanligtvis skyddad från omgivningsklimat i undermarksstationer och exponeras främst invändigt för nötning av betong eller behandlade stålytor. Det förekommer även friliggande tuber ovan jord (stål eller plast) som då exponeras för väder och vind med korrosionsrisk som följd om de är utomhus eller enbart höga fuktnivåer då de är fria i bergschakt. Även ståltuber som är förlagda i jord är exponerade för korrosionsrisk och även sura angrepp om jorden är sulfathaltig. Betongtuber inne i kraftverk kan ha stora temperaturgradienter mellan det kalla vattnet inne i tuben och den varma luften som används för uppvärmning i ovanjordsstationer.

Tuberna är trycksatta och utsätts för hydrostatiskt tryck och i de fall de inte är gjutna mot berg finns risk för vibrationer. Vid stora fallhöjder kan kavitation vara ett problem i tilloppstüben som ger stora laster på tubens invändiga ytor.

### *Spiral*

Spiraler av stål är det vanligast förekommande och där är exponering för höga vattenhastigheter med nötning invändigt vanligt. Utvändigt är det ofta fuktigt med kondens och korrosionsrisk även om spiralplåten ofta är mycket tjock. Det är relativt vanligt att spiralen kringgjutits med betong utvändigt för att ge bullerdämpning i stationen och ett visst korrosionsskydd. Stålspiralen är vanligtvis konstruerad för att bära sina laster utan kringgjutningen av betong. Betongspiraler utsätts främst för erosions- och nötningsbelastning. I de fall spiralens överkant ligger nära generatorkammaren kan också temperaturgradienten mellan den varma generatorkammaren och den kalla vattenvägen i spiralen vara stor.

Lasterna som spiralen utsätts för är främst de hydrostatiska lasterna och ev. dynamiska laster från körningen. Vibrationer från löphjulet vid körning utanför optimal verkningsgrad kan vara betydande särskilt för propeller- och Francislöphjul men även till viss grad hos kaplanlöphjul. Lasterna uppkommer främst vid start och stopp.

### *Löphjulskammaren*

Exponering och laster är huvudsakligen densamma som för spiraler av stål.

I betongen under stagringen som omger löphjulskammarens överkant kommer ofta lasten från stora delar av aggregatet ner vertikalt. Lasterna kan vara betydande.

De laster som i tillägg till lasterna på spiralen kan uppträda är dock också mekaniskt islag i kammarväggen av löphjulsblad på propeller- och kaplanlöphjul. Kammarkringgjutningen kan ibland glappa utvändigt mot stålet vilket kan ge upphov till rörelser eller ovalitet av hela kammaren. I händelse av s.k. lavinstängningar (av ledskenor) finns en risk för vattenhammare från den återvändande svallvägen som tar stopp emot ledskenorna. Förloppet kan vara våldsamt och ge upphov till omfattande strukturella skador i konstruktionerna ovan löphjulskammaren.

### *Sugrör*

Den miljö som sugröret exponeras för är främst mekanisk nötning och ev. risk för kavitation med skador och ev. korrosion som följd. Vid bompartier bakom sugrörslåten kan även dynamiska laster förväntas vilket måste beaktas. Vattenhastigheten sjunker succesivt med ökande area och skador är vanligast i den krökta delen av sugröret där sådan förekommer. Även området där sugröret vanligtvis övergår från stålplåt till betong är nötningen betydande. I betongdelen är exponeringen främst nötning.

Vattenlasten är turbulent efter löphjulet och i de sugrör där den nedre delen före utloppet har så stor spännvidd att mellanvägg uppförts måste även sidolasterna på mellanväggen beaktas. Stora sugrör med mellanvägg som har ett mellanrum mellan betongtaket och det utsprängda berget kan förväntas bli exponerade för hydrauliska upptryck om fyllningen går så snabbt att trycket mellan vattenvägen och utrymmet ovanför taket ej hinner utjämnas. Har i flera fall lett till sprickbildning i kontakten mellan vägg och tak.

På samma sätt som i tilloppstunneln är tryckgradienten vid tömning något som vanligtvis måste beaktas vilket brukar ske genom installerade dränage i sugrörets botten.

#### *Utfloppstunnel*

I utfloppstunneln är exponeringsmiljö och laster likvärdiga som i tilloppstunneln.

## 5 Inventering av genomförda tillståndskontroller

I detta avsnitt presenteras den inventering som gjorts av besiktningsrapporter och sammanställningar över observerade skador och brister i inre vattenvägar. Det analyserade materialet kommer från 53 svenska vattenkraftverk och inkluderar totalt 1708 observerade skador och brister. Alla dessa observationer har sammanställts i ett och samma dokument med standardiserade benämningar på skador och lägen för att kunna presentera resultaten i lättöverskådliga tårtdiagram.

### 5.1 DEFINITION AV SKADETYPER OCH BRISTER

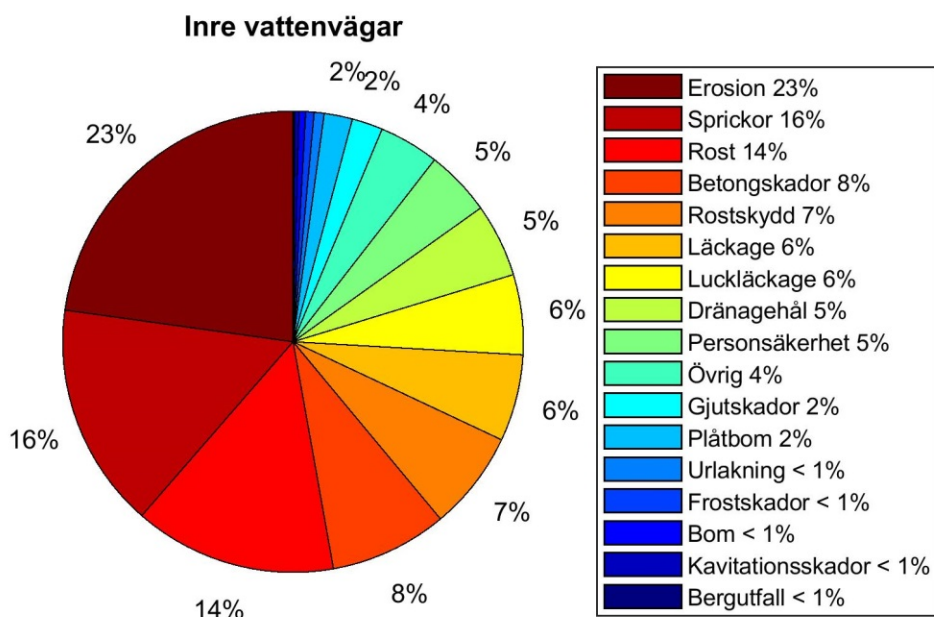
I de sammanställningar och rapporter som erhöles avseende observerade skador och brister användes olika benämningar för samma skadetyper och lägen på skador. För att kunna göra en statistisk analys av materialet var det därför nödvändigt att gå igenom alla skador och definiera standardiserade benämningar för de olika skadetyperna och dess lägen. Dessutom var det i vissa fall svårt att avgöra vilken skadetyper som avsågs samt var denna observerats. I dessa fall har därför en tolkning gjorts av eventuella kommentarer samt bifogade bilder på skadorna. I Tabell 1 redovisas och kommenteras de standardiserade benämningar på brister och skador som använts i denna studie.

**Tabell 1 Standardbenämningar av skador och brister i den statistiska analysen av det erhållna materialet**

Skadetyper	Kommentar
Erosion	Erosion av bulkmaterial. Storleken av skadorna varierar från punktskador till stora områden med eroderat material
Betongskador	Blandade typer av betongskador där skadeorsaken antingen är unik eller oklar, t.ex. spjälkning, krympskador, etc.
Sprickor	Sprickor i betong
Rost	Korrosionsangrepp på stålanklädnader, luckor samt övriga stålkonstruktioner
Rostskydd	Skador på rostskydd
Läckage	Läckage genom annat än sprickor och lucktätningar
Luckläckage	Läckage i luckor och lucktätningar
Dränagehål	Igensatta dränagehål
Plåtbom	Bomparti under stålanklädnad
Bom	Bomparti där det inte specificerats i vilken del bompartiet observerats, dvs kan både vara bakom stålanklädnad samt i betong
Gjutsador	Skador i betong som uppkommit till följd av bristfälligt arbetsutförande vid gjutning
Urlakning	Urlakning av betong i form av kalkutfällningar
Frostskador	Frostskador i betong
Kavitationsskador	Kavitationsskador i både betong och stål
Bergutfall	Bergblock som fallit ut från väggar eller tak
Personsäkerhet	Bristande personsäkerhet i form av bristfälliga eller saknade skyddsanordningar
Övrig	Övriga skador och brister som inte täcks av övriga skadetyper

## 5.2 RESULTAT

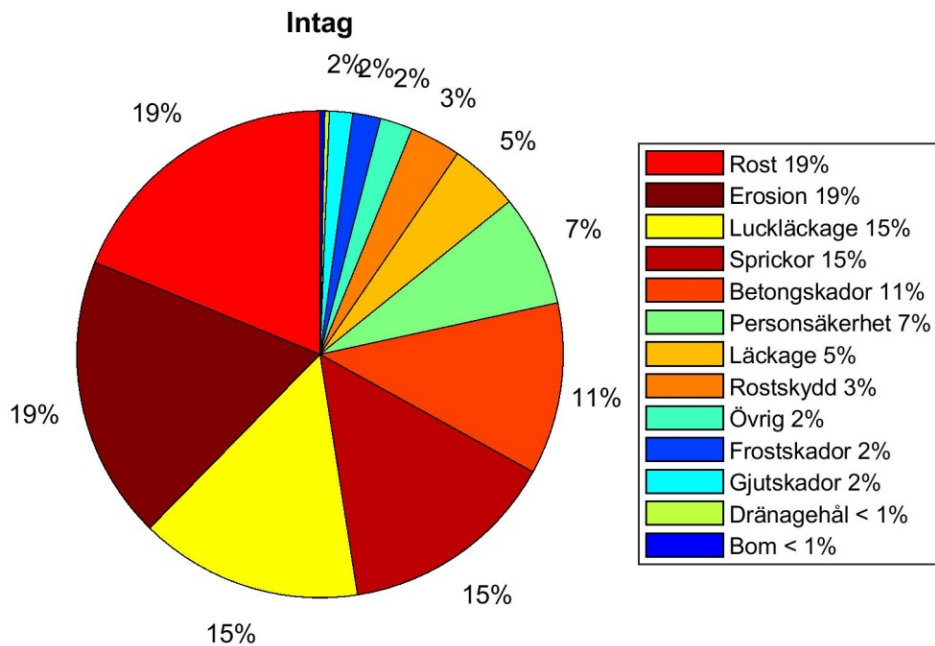
Nedan redovisas resultatet från inventeringen av observerade skador och brister i de inre vattenvägarna i form av tårtdiagram. I Figur 5 visas den totala skadefördelningen för samtliga typer av inre vattenvägar som ingick i det erhållna grundmaterialet.



Figur 5 Sammanställning av skador för samtliga typer av inre vattenvägar. Antal observationer är 1708.

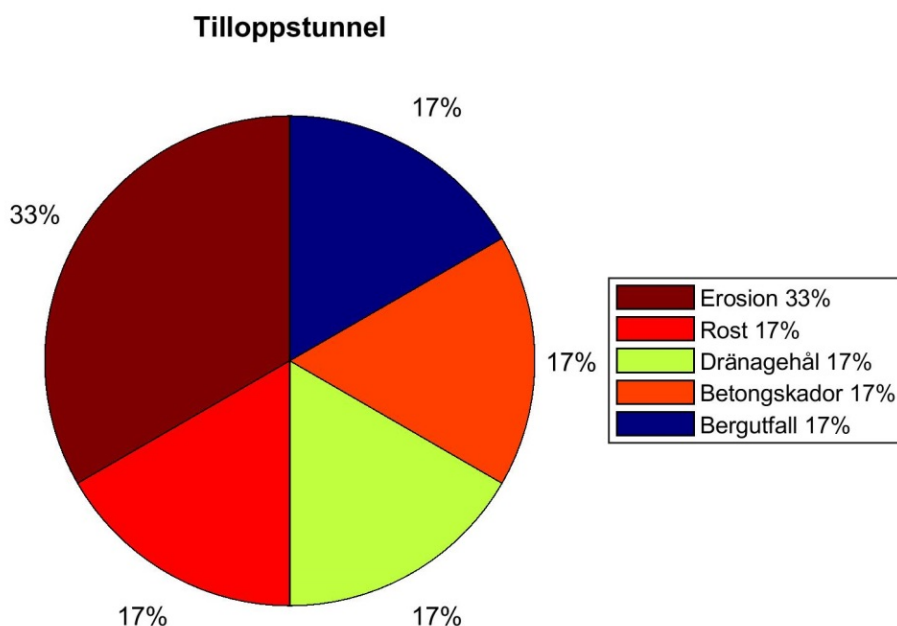
Sett till den totala skadefördelningen för samtliga typer av vattenvägar visar resultaten att erosionsskador är vanligast följt av sprickor i betong samt korrosionsangrepp på stålklädnader eller andra stålkonstruktioner. Det bör dock noteras att också den fjärde största kategorin betongskador troligen delvis inkluderar skador relaterade till erosion eftersom denna omfattar skador där en specifik skadeorsak ej angivits i grundmaterialet.

I Figur 6-Figur 12 redovisas skadefördelningen separat för olika typer av inre vattenvägar. Majoriteten av dessa är schematiskt illustrerade i Figur 1 och Figur 2 samt beskrivna i avsnitt 2.1.



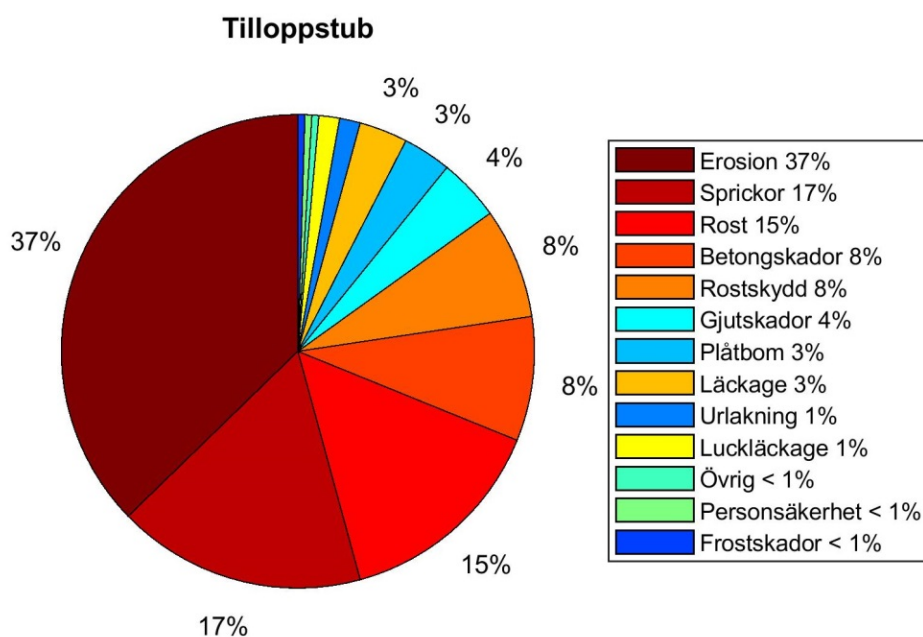
Figur 6 Sammanställning av skador vid intag. Antal observationer är 324.

Vid intaget skiljer sig fördelningen av skador en aning från den totala skadefördelningen. Här är istället frekvensen av rost och erosionsskador densamma, vilket troligen beror på att det finns många stålkonstruktioner i anknytning till luckorna i detta område. Det är ej heller föga förvånande att andelen observerade luckläckage är den högsta av samtliga studerade typer av vattenvägar. Det bör dock återigen poängteras att kategorin betongskador kan inkludera en del skador relaterade till erosion. Även om andelen frostskador är låg så är det vid intaget som den största andelen av dessa erhålls. Detta är troligen en följd av den direkta kontakten med det omgivande klimatet som innebär att kall luft kan leta sig in.



Figur 7 Sammanställning av skador i tilloopstunnel. Antal observationer är 6.

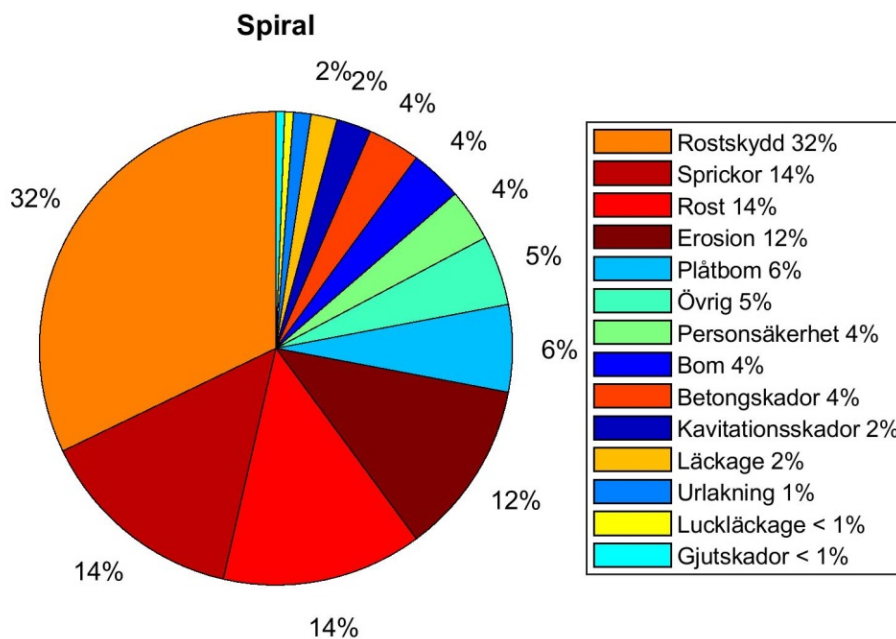
I tilloopstunnlarna är erosionsskador den vanligaste skadetyper. Något som skiljer ut sig här i förhållande till övriga vattenvägar är dock andelen igensatta dränagehål samt bergutfall. Anledningen till att den första kategorin är högre kan beror på flertalet olika aspekter men en möjlig förklaring kan vara att det finns mer sediment i vattnet i närheten av intaget. Att andelen bergutfall är större kan vara ett resultat av att tilloopstunnlarna i större utsträckning än övriga vattenvägar är renodlade bergtunnlar utan någon inklädnad. Vid tolkning av resultaten bör det dock hållas i åtanke att diagrammet enbart är baserat på 6 observerade skador.



Figur 8 Sammanställning av skador i tilloopstub. Antal observationer är 212.

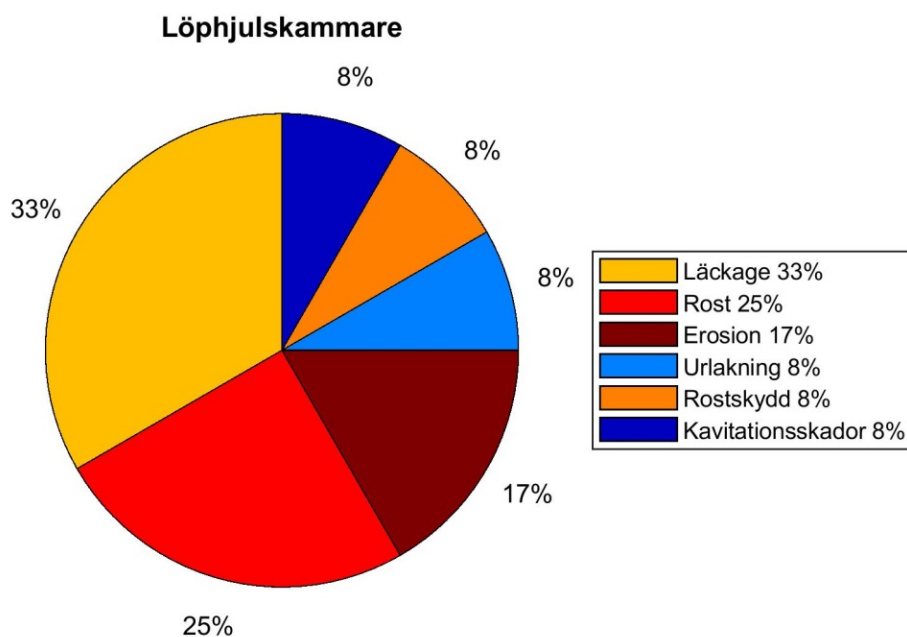


Fördelningen av brister och skador i tilloppstuber är väldigt lik den totala skadefördelningen, där ordningen på de fem mest frekventa skadetyperna är densamma. Den större andelen av plåtbom är ett resultat av tilloppstuber ofta är inklädda med stål. Det bör också noteras att visst luckläckage observerats, vilket primärt kan härledas till de vattenkraftverk där tilloppstunnlar saknas.



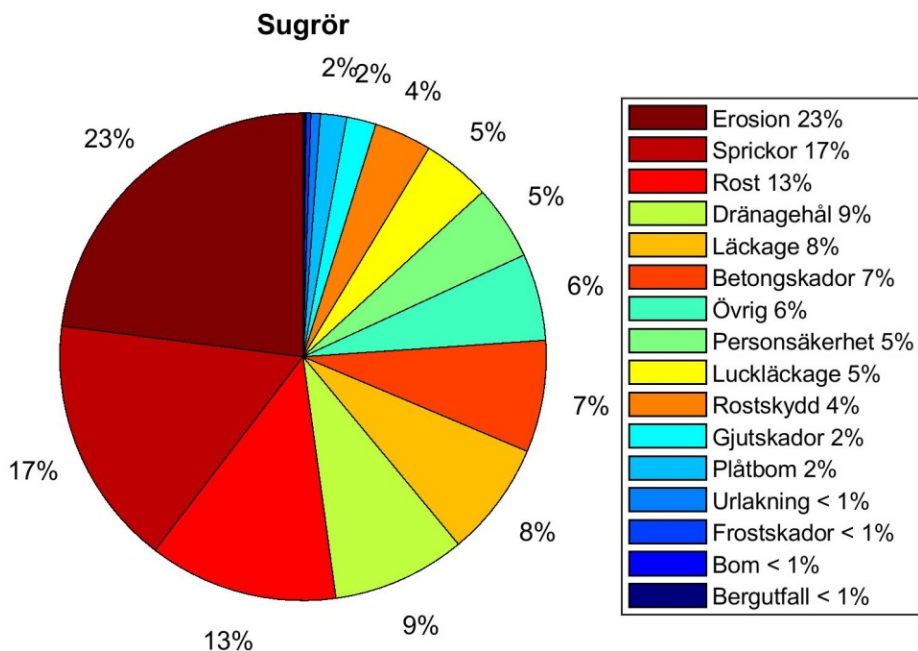
Figur 9 Sammanställning av skador i spiral. Antal observationer är 168.

I spiralen är fördelningen av skador aningen annorlunda från den totala skadefördelningen och den största andelen av brister återfinns i rotskyddet. Detta är ett resultat av att spiralerna ofta är inklädda med stål. Detta återspeglas också i att andelen plåtbom är förhållandevis stor. Det bör också noteras att andelen skador som klassificerats som bom är relativt stor och inkluderar sannolikt huvudsakligen bom bakom stålplåtar. Kategorin har dock använts där det i flera fall inte specificerats i vilken konstruktionsdel som denna observerats. En ytterligare intressant observation är att andelen kavitationsskador är relativt stor, vilket kan hänföras till att vattenhastigheten vanligtvis är hög i denna del.



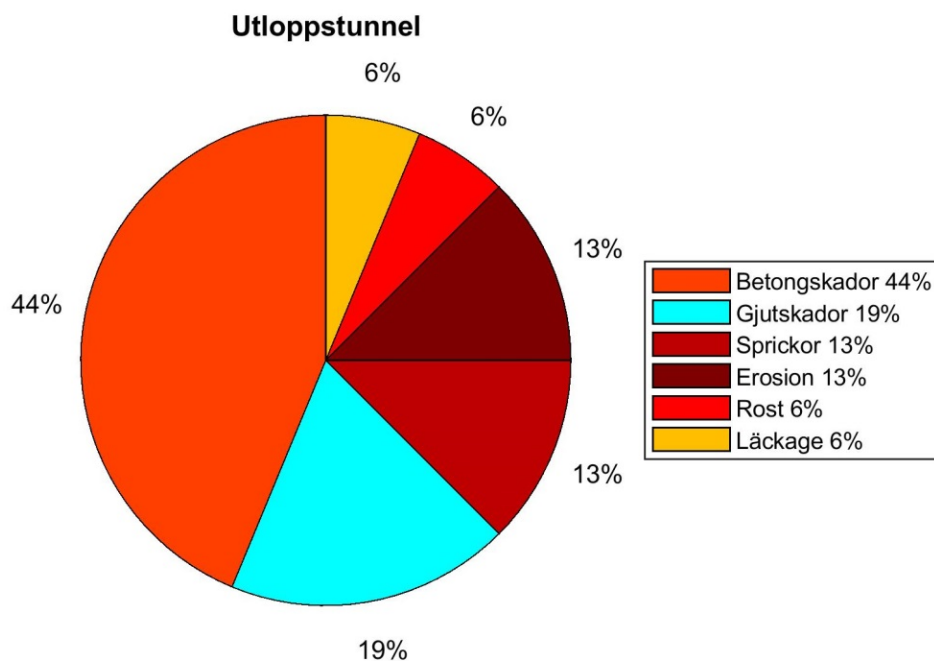
Figur 10 Sammanställning av skador i löphjulskammare. Antal observationer är 12.

I löphjulskammarna förkommer en hel del läckage av vatten men här är också andelen kavitationsskador som störst. Detta beror återigen på att vattnet vanligtvis har hög hastighet i denna del. Det bör dock noteras att diagrammet enbart är baserat på 12 observerade skador.



Figur 11 Sammanställning av skador i sugrör. Antal observationer är 970.

Fördelningen av skador i sugrör är ganska lik den totala skadefördelningen men andelen igensatta dränagehål är något högre.



Figur 12 Sammanställning av skador i utloppstunnel. Antal observationer är 16.

Antalet observationer av brister och skador i utloppstunnlar var förhållandevis lågt vilket bör hållas i åtanke då ovan diagram studeras. Det är troligen av denna anledning som andelen gjutskador i detta fall är signifikant större än i övriga presenterade diagram. Som tidigare nämnts har klassificeringen betongskador använts för de skador då skadeorsaken inte specificerats. Det är därför rimligt att anta att en viss del av dessa skador troligen är orsakade av erosion, varför andelen av denna skadetyper i realiteten kan vara något högre för utloppstunnlarna.

### 5.3 DISKUSSION

Utifrån resultaten av inventeringen som presenterades ovan kan det konstateras att erosions-skador generellt sett är den vanligast förekommande skadan i de inre vattenvägarna. Dock finns vissa avvikelser såsom i spiraler och löphjulskammare där skador i rostskydd respektive läckage stod för den största andelen skador. Det bör dock nämnas att observerade skador i betong sällan är ett resultat av en enskild nedbrytningsmekanism [8], [9]. Som ett exempel kan nämnas att Rosenqvist [10] förklarade skador uppkomna i vattenlinjen på dammar som ett resultat av samverkan mellan urlakning, frysning och mekanisk nötning av is. Ett liknande scenario med urlakning och mekanisk nötning kan också tänkas frekvent förekomma i de inre vattenvägarna. Således är det troligt att en observerad erosions-skada i dessa är slutresultatet av flera samverkande nedbrytningsmekanismer i dessa betongkonstruktioner.

Som nämndes redan i inledningen har det varit svårt att få fram underlag till studien då anläggningsägarna har väldigt olika sätt att hantera tillståndskontrollen av de inre vattenvägarna. Den sträcker sig från i princip ingen tillsyn alls till regelbundet återkommande inspektioner med dokumentation och klassificering av skador enligt förutbestämd mall. I flertalet kontakter med representanter från anläggningsägare har det framkommit att inspektioner genomförts i samband med avställningar. Dock har dessa ofta antingen inte dokumenterats på ändamålsenligt sätt alternativt inte lagts in i diverse dokumenthaneringssystem vilket gör det väldigt svårt att hitta materialet i efterhand. En brist i de presenterade resultaten är följaktligen att materialet primärt kommit från ett fåtal svenska anläggningsägare. I det grundmaterial som vi trots allt lyckades erhålla från respektive anläggningsägare saknades också konsekventa benämningar på olika skadetyper samt lägen där dessa observerats. Detta gör att det blir svårt för dessa att kunna sammanställa en helhetsbild över vanligt förekommande brister och skador i beståndet, och det blir än svårare om data från flera anläggningsägare ska samanalyseras. I de fall orsaken till en skada ej går att fastställa är det också viktigt att explicit uttrycka att så är fallet eftersom senare arbete med dokumentationen då förenklas. Att införa ett digitalt förvaltningssystem där resultaten från genomförda inspektioner dokumenteras på ett standardiserat och överskådligt sätt skulle definitivt öka anläggningsägarnas möjligheter att få en bättre övergripande bild över skicket i sina anläggningar.

En ytterligare anmärkningsvärd observation som kan göras i de presenterade resultaten är att en tämligen stor andel av de observerade bristerna avser personsäkerhet. Även om brister och skador i de inre vattenvägarna oftast inte innebär någon direkt risk för allmänheten så kan det anses tillräckligt att mer konsekvent genomföra inspektioner i de inre vattenvägarna för att säkerställa säkerheten för den personal som av någon anledning behöver genomföra arbete i dessa delar av anläggningarna. Självklart torde återkommande och mer konsekvent genomförda inspektioner av de inre vattenvägarna också bidra till att framtida driftstopp kan avhjälpas redan i ett tidigt skede.

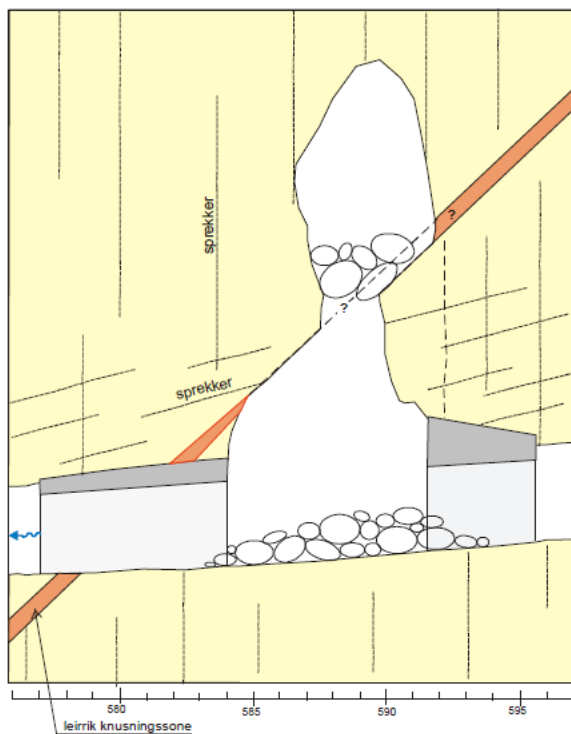
## 6 Internationell utblick

### 6.1 NORGE

I Norge regleras dammsäkerhetsfrågor genom NVEs föreskrifter (Norges Vassdrags- og Energidirektorat) [16]. Dammar och vattenvägar dammsäkerhetsklassas i alla delar som har betydelse för anläggningens konstruktion och funktion. I första hand avses avstängningsanordningar i vattenvägar (typ intagsluckor). Om intagslucka finns så klassas vanligtvis inte avstängningsanordningar nedströms om det (t.ex. ledskenor eller ventiler). Tunnlar omfattas vanligtvis inte av klassningen. I de delar som är dammsäkerhetsklassade (typiskt intag och intagsluckor) genomförs tillståndskontroll på samma sätt som för dammar och rapporteras därefter. NVE godkänner dock att inspektion av dessa delar inspekteras vid annat tillfälle då anläggningen är avställd.

Tidigare genomfördes mest okulär inspektion av vattenvägarna efter torrläggning, men det blir allt vanligare med ROV-undersökningar främst av arbetsmiljöskäl [16]. Statkraft har tillgång till ROV-utrustning med 6 km räckvidd in i tunnlar. För klassade delar godkänner NVE idag inspektioner med ROV. Rapporteringen sker in i företagets affärssystem.

Från Statkraft Norge har ett tunnelras rapporterats [11] i överföringstunneln mellan Fonndøla och Nystøselva vid Leirdøla kraftverk. På samma sätt som de rapporterade rasen i Gidböle och Norränge uppstod en 15 hög s.k. kyrka i läget för en förvagningszon som korsade tunneln.



Figur 13 Figur över rasområdet [11].

## 6.2 FINLAND

Enligt Fortum i Finland [13] så inspekteras de inre vattenvägarna främst när det är planerade arbeten på aggregatet. Vanligtvis inspekteras enbart intagstuben/schaktet eftersom spiralen och sugröret vanligtvis inte töms på vatten.

Inspektionen görs okulärt och genom bomknackning. Ev. bompartier t.ex. bakom plåtar åtgärdas med injektering om accesstiden tillåter det. Sprickor och skador karteras och dokumenteras på ritningar samt fotograferas. Ibland kompletteras med betongprovtagning om dålig betong misstänks.

Användning av ROVer sker ibland.

Fortum Finland har inget standardiserat format för rapportering av inspektioner utan ett skrivet PM med foton och ritningar tas fram för varje inspektion.

## 6.3 ZAMBIA

För det statliga kraftbolaget ZESCO i Zambia har information inkommit [14] gällande deras förvaltning av inre vattenvägar. I dagsläget görs inspektioner av tuber, spiral och sugrör när tillfälle ges p.g.a. andra arbeten som ger stopp i produktionen för alla kraftverk utom Kafue Gorge längs Kafue river som har gemensam inloppstunnel för alla sex aggregat. Kafue Gorge är dessutom helt avgörande för elförsörjningen till huvudstaden Lusaka och därför stannar man helt enkelt inte produktionen där. Deras långsiktiga plan är dock att göra årliga inspektioner själva och att göra oberoende inspektioner med internationella experter med ett intervall om ca. 5-10 år.

## 7 Slutsatser

Dokumentationen av genomförda inspektioner och därmed observerade skador och brister i de inre vattenvägarna kan generellt sett konstateras vara bristfällig hos anläggningsägarna. Det finns dock vissa undantag där regelbundna inspektioner och dokumentering av dessa regleras av företagsinterna förvaltningsplaner. Det bör dock poängteras att samtliga tillfrågade anläggningsägare angivit att de genomfört inspektioner men att just dokumentationen från dessa antingen saknas eller är svår att hitta. Intrycket av svaren från anläggningsägarna är att man har relativt god kännedom om de inre vattenvägarnas tillstånd lokalt vid respektive anläggning men att en övergripande bild saknas centralt på företagen. Detta är med största sannolikhet ett resultat av att de inspektioner som trots allt görs inte dokumenteras på ett standardiserat och konsekvent sätt inom företagen. Man får dock anta att de delar som inte med lätthet torrläggs för inspektion också vanligtvis förblir oinspekterade hos de flesta av anläggningsägarna. Frågeställningen blir då hur länge de kan förbli oinspekterade utan att en stor anläggningsrisk uppstår med potentiella ras och produktionsförluster som hot.

Vid sammanställning av det erhållna materialet kunde det också konstateras att skadorna sällan klassificeras med standardiserade benämningar inom ett och samma företag vilket försvårar användandet av dokumentationen för att sammanställa en helhetsbild över tillståndet i de inre vattenvägarna. Någon egentlig värdering av identifierade skadors allvarlighetsgrad görs normalt inte.

Utifrån analysen av det erhållna materialet i denna studie kunde det konstateras att erosion var den vanligast förekommande skadetyper då samtliga typer av inre vattenvägar beaktas. Dock blir självklart bilden en liten annan i det fall de olika typerna av vattenvägar studeras enskilt även om erosionsskador oftast återfinns högt upp i listan över observerade skador och brister. Som nämndes i diskussionen i avsnitt 5.3 har dock forskning visat att det ofta är en samverkan mellan olika nedbrytningsmekanismer som resulterar i en observerad skada. Av denna anledning är det därför svårt att isolera en enskild nedbrytningsmekanism som ensam är orsaken till att just erosionsskador är den vanligast förekommande skadetyper. Detta betyder också att fortsatta forskningsinsatser behöver fokusera på att studera hur denna interaktion mellan nedbrytningsmekanismer fungerar.

Det rekommenderas slutligen att en strategi för förvaltning av inre vattenvägar utvecklas där resonemang förs om vilken hantering som ska gälla för olika delar av de inre vattenvägarna och vilka parametrar som ska styra inspektionsgrad och intervall. Underlaget kan sedan användas för att ta informerade beslut om förvaltningen av de inre vattenvägarna hos respektive kraftbolag.

## 8 Referenser

- [1] Hultman, R., Stille, H., Söder, P-E. (1993). Ras i kraftverkstunnel, Gidböle. BeFo, rapport nr. 471:1/93.
- [2] Heiner, A., Stille, H., (1990). Ras i kraftverkstunnel, Norränge. BeFo, rapport nr. 245:1/90.
- [3] Edvardsson S., Broch E. (2002) Underground powerhouses and high pressure tunnels. Hydropower development vol 14, Norwegian Univeristy of Science and Technology.
- [4] Sundberg, S., Amsköld, T. (2015) Inspektionsmetoder för inre vattenvägar i vattenkraftverk. KTH, ISRN KTH/BKN/EX—447—SE.
- [5] Kleivan E., Kummeneje G., Lyngra A. (1994) Concrete in hydropower structures. Hydropower development vol 11, Norwegian Institute of Technology.
- [6] Malovic D., Engelmann P. H., Arsenijevic N., Gassner K. B., Merle-Beral E., Monti G., Pooley J., Inouye L. K., Levin J., Kellenberg J. (2015) Hydroelectric power: A guide for developers and investors. International Finance Corporation - World Bank Group.
- [7] Ausekle M. (2016) Beräkning av snittstorheter för betongspiral i ett vattenkraftverk – Jämförelse mellan handberäkningar och FEM-modellering. KTH, BD 2016:01.
- [8] Rosenqvist, M., Pham, L.-W., Terzic, A., Fridh, K., Hassanzadeh, M. (2017) Effects of interactions between leaching, frost action and abrasion on the surface deterioration of concrete. Construction and Building Materials, 149:849-860.
- [9] Ferreira, M., Kuosa, H., Leivo, M., Holt, E. (2017) Concrete performance subject to coupled deterioration in cold environments. Nuclear Engineering and Design, 323:228-234.
- [10] Rosenqvist, M., Bertron, A., Fridh, K., Hassanzadeh, M. (2017) Concrete alteration due to 55years of exposure to river water: Chemical and mineralogical characterisation. Cement and Concrete Research, 92:110-120.
- [11] Tuften, T. (2018). Diverse information kring tunnelraset i Leidøla kraftverk i Sogn.
- [12] Svensson, M. (2018). Personlig kommunikation.
- [13] Laasonen, J. (2018). Personlig kommunikation.
- [14] Kamanga, R. (2018). Personlig kommunikation
- [15] Håkansson, W. (2013) Kraftverkstunnlars beständighet – En studie om åldringsfenomen och nedbrytningsprocesser. Examensarbete, Teknisk geologi, Lunds Tekniska Högskola.
- [16] Molle, G. (2018) Personlig kommunikation





# INVENTERING AV INRE VATTEN- VÄGGSBESIKTNINGAR

Vattenkraftens inre vattenvägar är vanligtvis vattenfyllda, vilket medför att de i många fall är svåråtkomliga för inspektion. Dock uppkommer emellanåt möjligheten att kunna inspektera de inre vattenvägarna i samband med driftstopp för reparation, inspektion eller byte av turbinen.

Här har erfarenheter från inspektioner av betongkonstruktioner i vattenkraftens inre vattenvägar sammanställts. Utifrån protokoll och rapporter från genomförda inspektioner har typskador och nedbrytningsförlopp identifierats.

Resultaten visar att erosionsskador är den vanligast förekommande skadan, men att det är svårt att isolera en enskild nedbrytningsmekanism som ensam orsak. Det finns också behov av att utveckla förvaltningen av inre vattenvägar, för att få bättre rutiner och en mall för standardiserad dokumentation av de skador som uppkommer.

## Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. [www.energiforsk.se](http://www.energiforsk.se)