

Dammar och dammteknik

En introduktion





OM SVENSKA KRAFTNÄT

Svenska kraftnät är ett statligt affärsverk med uppgift att förvalta Sveriges stamnät för el, som omfattar ca 17.000 kilometer ledningar för 400 KV och 220 KV med stationer och utlandsförbindelser. Verket har också systemansvaret för el. Svenska kraftnät utvecklar stamnätet och elmarknaden för att möta samhällets behov av en säker, hållbar och ekonomisk elförsörjning. Därmed har Svenska kraftnät också en viktig roll i klimatpolitiken.

Dammar och dammteknik

En introduktion

Förord

Boken har tagits fram av Svenska kraftnät med konsultstöd från HydroTerra Ingenjörer AB. Svenska kraftnät riktar ett stort tack till Fortum Sverige AB, Boliden Mineral AB och branschkollegor som bidragit med bilder till publikationen.

Svenska kraftnät ska främja dammsäkerheten i landet.

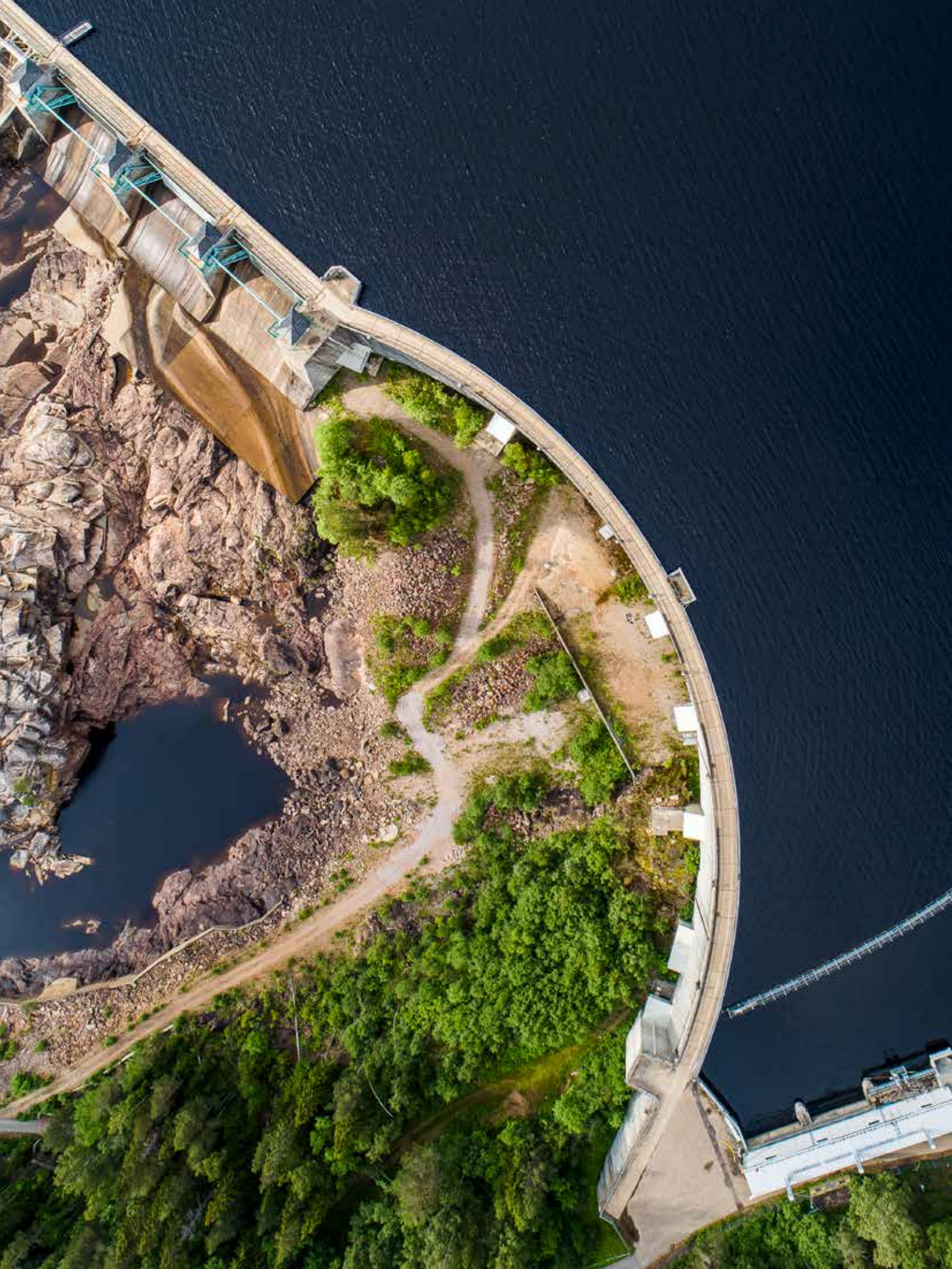
I uppgiften ingår tillsynsvägledning i frågor om dammsäkerhet enligt miljöbalken 11 kap och samverkan med länsstyrelserna för en effektiv tillsyn. En del i detta är att stödja länsstyrelsernas handläggare med kunskap och kompetensutveckling inom dammar, dammteknik och dammsäkerhet.

Den här boken syftar till att ge orienterande kunskap om dammar och dammteknik samt förklara terminologi inom området. Förhoppningen är att den ska ge en grund för såväl länsstyrelserna, som för andra berörda myndigheter, ägare och aktörer som saknar bakgrund inom teknikområdet, att bättre kunna tillgodogöra sig vidareutbildning, riktlinjer och vägledningar inom dammsäkerhetsområdet.

Innehåll

1. Inledning	6
Syfte och målgrupp	8
Terminologi	8
Disposition	8
Historisk återblick på utvecklingen	8
Indelning av dammar	16
2. Laster och säkerhetsbegrepp	22
Hydrauliska laster	24
Övriga laster	25
Säkerhetsbegrepp	26
3. Dämmande funktion	28
Fyllningsdammars	30
Betongdammars	42
Övriga dammar	50
Utskovs- och intagskonstruktioner	54
Grundläggning och anslutningar	55
4. Avbördande funktion	58
Vattenvägar och energiomvandlare	60
Avbördningsförhållanden	64

Avbördningsanordningar	68
Elsystem (kraftförsörjningssystem)	79
Försvårande omständigheter	79
Säker åtkomst till anläggningsdelar	82
Allmänhetens säkerhet	85
5. Kontrollerande funktion	86
Drift av dammanläggningar	88
Övervakning av dammar	94
6. Kanaler och slussar	104
Kanalers dämmande delar	108
7. Gruvdammar	112
Design och drift	114
Avslutning och efterbehandling	121
8. Dammhaveri	122
Hur kan dammhaveri uppkomma?	126
Riskutsättning och dammhaverierstatistik	136
9. Referenser och fördjupning	138
Bildförteckning	142



1. Inledning

Dammbyggnader för olika ändamål har haft stor betydelse för Sveriges utveckling under de senaste seklen. Den här boken syftar till att ge orienterande kunskaper om dammar och dammteknik, med särskilt fokus på vattenkraftdammar och dammsäkerhet.

I detta kapitel ges en historisk återblick om dammbyggnadsteknikens och dammsäkerhetsarbetet utveckling, och olika sätt att dela in dammar beskrivs.

Syfte och målgrupp

Den här boken sammanställer grundläggande teknisk information om svenska dammar och dammteknik. Den vänder sig främst till nya handläggare på länsstyrelser, ägare till mindre dammar och andra aktörer som inte har djupare kunskap om dammteknik, men som har behov av att förstå grundläggande problem- och frågeställningar inom dammsäkerhetsområdet.

Den syftar till att ge orienterande kunskap om dammars uppbyggnad och funktion, utskov och avbördningssystem, övervakning och instrumentering, hur dammar kan haverera m.m. Fokus ligger på vattenkraftens dammanläggningar, men även dammar inom andra verksamheter berörs.

Terminologi

Området dammar och dammteknik har utvecklats under lång tid och kan sägas vara ett "moget" teknikområde. Under årens lopp har ett stort antal begrepp och termer kommit att användas för att beskriva delar, komponenter, användning och skeenden inom området. För personer som inte har långvarig erfarenhet inom området kan dock ord och begrepp vara okända eller uppfattas som oklara i sin betydelse, därför redovisas i många fall innebörden av vedertagna begrepp och termer inom fackområdet.

En förteckning över terminologi finns även i Energiföretagens riktlinjer för dammsäkerhet, RIDAS tillämpningsvägledning 1.

Disposition

Boken har följande disposition.

Kapitel 1 ger en historisk återblick och orientering om dammbyggnadsteknikens och dammsäkerhetsarbetets utveckling i landet. Vidare beskrivs vanligt förekommande indelningar av dammar efter den verksamhet som de möjliggör och vilket huvudsakligt byggnadsmaterial de är uppbyggda av.

Kapitel 2 beskriver olika laster på dammar och några begrepp som används för att uttrycka grad av säkerhet.

Kapitel 3-5 beskriver de tre huvudfunktionerna dämmande funktion, avbördande funktion och kontrollerande funktion. Fokus ligger på vattenkraftdamm. Många olika typer av dammar, avbördningsanordningar med tillhörande utrustning samt system och instrumentering för drift och övervakning beskrivs.

Kapitel 6-7 beskriver dammar vid kanaler och slussar samt inom gruvverksamhet.

Kapitel 8 ger en orientering om konsekvenser av dammhaveri, hur och varför dammhaveri kan utvecklas samt erfarenheter från inträffade dammhaverier.

Kapitel 9 samlar referenser och förslag på källor för den som önskar mer information och fördjupningslitteratur inom ämnesområdet dammar, dammteknik och dammsäkerhet.

Historisk återblick på utvecklingen

Kraften i det strömmande vattnet i ett vattendrag har sedan mycket lång tid tillbaka nyttjats av människan för att utföra tungt arbete som annars krävde muskelkraft. Exempel på sådant arbete är malning av säd och sågning av virke. För att kunna nyttja vattenkraften behövdes på många platser dammar som samlade fallhöjden till en punkt i vattendraget. Dammar användes även för att anpassa vattenflödet och för att kunn magasinera vatten från en tid till en annan.

I Sverige började man bygga dammar under medeltiden. Under 1200- och 1300-talen omtalas dammanläggningar i skrift. Förutom ovan nämnda ändamål var även gruvverksamhet beroende av vattenkraften, för länsupphugning av gruvor och för uppföring av malmen.

Dammbyggnader för olika ändamål har haft stor betydelse för utvecklingen av Sverige under de senaste seklen. Under 1600- och 1700-talen spelade dammbyggnader en stor roll för utvecklingen av järnhanteringen. Under 1800-talet var dammbyggnader en viktig del i omvandlingen till industrisamhället. Dammbyggnadstekniken möjliggjorde utnyttjande av vattnet, dels som kraftkälla för industrin och dels för transporter av råvaror och färdiga produkter, på vattendrag och genom kanaler och slussar.



Rasmus kvarn, Röttle. Kvarndamm från 1650-talet.



Motala ström (till vänster i bild) och Göta kanal (till höger i bild) vid Borensberg sluss.

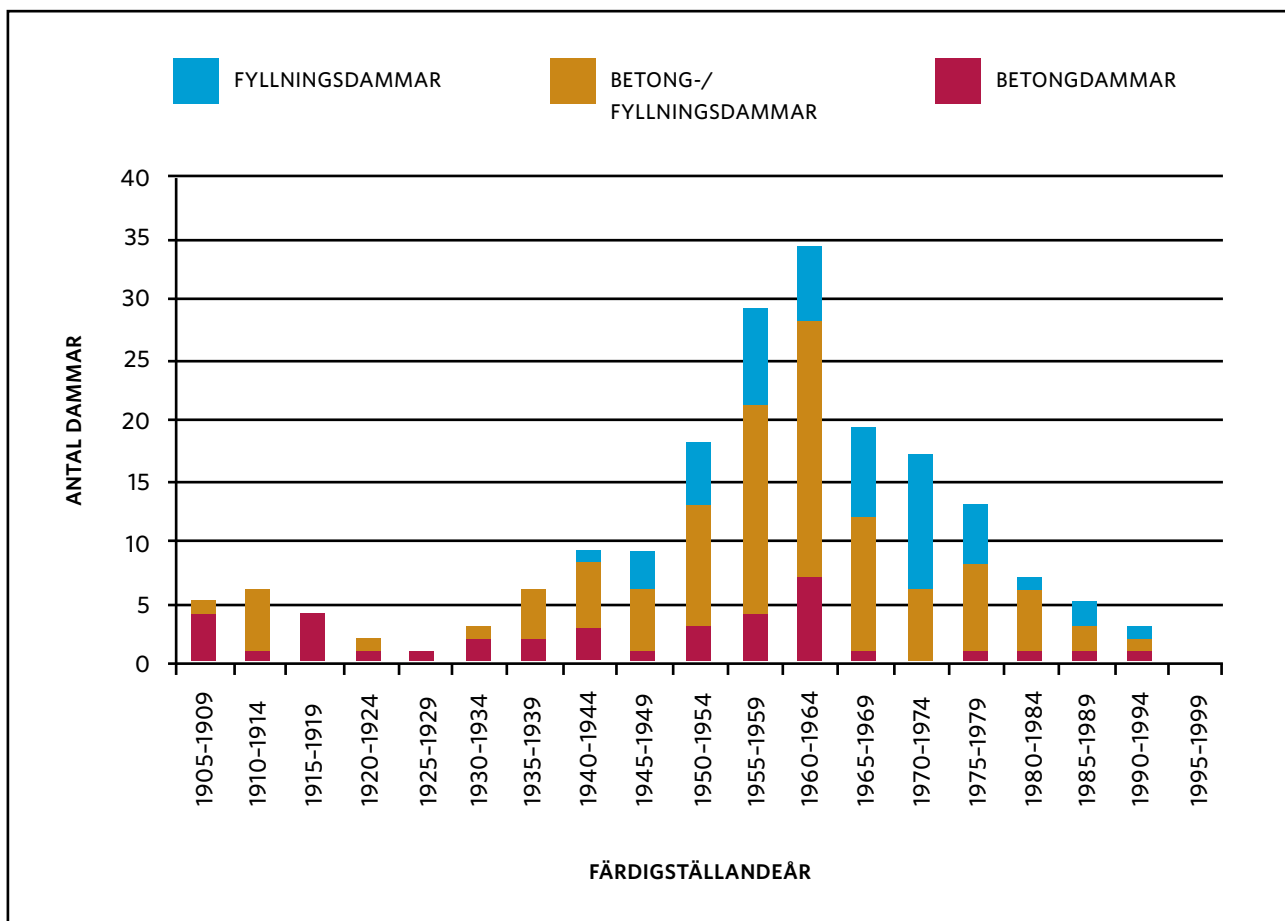
Under 1900-talet var utbyggnaden av vattenkraften för elproduktion en av hörnstenarna i välstånds-utvecklingen. För denna utveckling har bl.a. kunskap och erfarenheter av dammbyggnadsteknik varit helt avgörande.

Sedan ca 1940-talet har dammar även använts inom gruvverksamhet för att skapa s.k. sandmagasin där restprodukter (anrikningssand) från förädlingen av den brutna malmen deponeras.

Under perioden 1880-1950 genomfördes olika former av sjösänkningar för att åstadkomma bättre

brukningsförhållanden på mark som var alltför vattensjuk för odling. Reglerbara dammar byggdes ibland i sjöutlopp för att hindra alltför låga vattennivåer. Invallningsdammar användes också för att vinna mark utan sjösänkningar, och anläggs även idag för att ge skydd mot översvämningar.

Ytterligare ett ändamål för dammar är vattenförsörjning för olika verksamheter, till exempel för dricksvatten, processvatten och tillverkning av konstsnö.



Svenska vattenkraftdammar 15 m och högre, dammtyp och färdigställandeår.

Dambyggnadsteknikens utveckling

I äldre tider byggdes dammar av det material som fanns tillgängligt i närområdet. Byggnadsmaterialen var sten, jord och trä. Som vid all utveckling lär man av sina egna och andras misstag. Skador och dammhaverier gav kunskaper om vad som krävdes för att dammbyggnaderna skulle bli stabila och kunna hantera de vattenflöden som förekom. Grunden för dammbyggnadstekniken kan därför sägas vara erfarenhet.

Så småningom utvecklades teoretiska samband som kunde utgöra dimensioneringsunderlag. Varje plats där en damm anläggs är unik vad gäller de naturliga förutsättningarna i form av topografi, geologi och hydrologi. De teoretiska övervägandena måste därför grundas på och anpassas till resultat från förundersökningar och tidigare erfarenheter.

Ny teknik har successivt förändrat dammbyggnadernas utformning och storlek. Viktiga utvecklingssteg har tagits i och med införandet av betongtekniken i början av 1900-talet och dess vidareutveckling som armerad betong.

För fyllningsdammar har teknikutvecklingen från 1940-talet och framåt beträffande arbetsmaskiner och transportfordon haft en avgörande betydelse. Man har kunnat hantera och transportera allt större mängder av jord- och stenmaterial, och det har blivit möjligt att komprimera (packa) materialen i tillräcklig omfattning för att erhålla önskade egenskaper hos dammbyggnaden.

Genom utveckling av teori och beräkningsmetoder tillsammans med utvecklingen av material och arbetsmetoder har allt högre och större dammar kunnat byggas. De största dammarna i landet uppfördes under 1950-1970-talen. Därefter har nybyggnad av vattenkraftdammar i Sverige minskat successivt, medan byggande av gruvdammar med i första hand höjning av befintliga gruvdammar pågår fortsatt. Ombyggnad och uppgradering av äldre dammar med hänsyn till åldrande och nya säkerhetsmässiga krav, baserade på ny kunskap och drifterfarenheter, har under de senaste decennierna varit en omfattande verksamhet.



Vattenkraftanläggning i Lule älv.

Dammsäkerhetsarbetets utveckling

Byggande i vatten, t.ex. uppförande av dammbyggnader, reglerades tidigare av den s.k. Äldre vattenlagen, ÄVL (1918:523) som trädde i kraft 1919. Några särskilda regler om dammsäkerhet fanns inte i lagen. Det var dammägaren som i huvudsak avgjorde hur dammen skulle konstrueras, byggas och övervakas. Statens vattenfallsverk (Vattenfall) utarbetade dock tidigt olika anvisningar för utformning och byggande av dammar, vilka även användes av andra företag.

Svenska ingenjörer var tidigt aktiva i internationellt samarbete inom dammområdet, och Sverige blev medlem i ICOLD (International Commission on Large Dams) redan 1931. Under utbyggnadsepoken fanns även teknisk expertis och hydrauliskt laboratorium vid Kungliga Tekniska Högskolan.

Vattenkraftutbyggnaden i Sverige kulminerade under 1950- och 60-talen, och sedan slutet av 1970-talet har inte utbyggnad av ny vattenkraft skett i någon större omfattning. I flera andra delar av världen fortgår däremot byggande av dammar i betydande omfattning.

Med tiden har man allt mer uppmärksammat att

dammar kan haverera på grund av höga flöden, annan väderpåverkan, brister i konstruktion och handhavande med mera, vilket medfört att dammsäkerhet har utvecklats till en egen disciplin. I slutet av 1960-talet började branschgemensamma anvisningar för dammsäkerhet utarbetas för kraftindustrin.

Inom kraftindustrin uppmärksammades dammsäkerhetsfrågan alltmer under 1990-talet och man kom till insikt om behovet av gemensamma och heltäckande dammsäkerhetsriktlinjer. Ett omfattande utrednings- och utvecklingsarbete ledde fram till att kraftindustrin 1997 antog "Kraftföretagens riktlinjer för dammsäkerhet", benämnda RIDAS. Dessa har successivt under årens lopp utvecklats till nu gällande RIDAS 2019 - Energiföretagens riktlinjer för dammsäkerhet [1]. Gruvföretagen har genom sin branschorganisation SveMin utarbetat en anpassad version av riktlinjerna som benämns GruvRIDAS [2].

Den så kallade Flödeskommittén bildades 1985. Flödeskommittén var ett samarbete mellan kraftindustrin och SMHI för att utarbeta riktlinjer för dimensionerande flöden för dammanläggningar.



Invallning för översvämningsskydd med pumpstation i Kristianstad.

Resultatet av kommitténs arbete presenterades i en slutrapport år 1990. Riktlinjerna har föranlett åtgärder för att öka avbördningskapaciteten för många befintliga anläggningar. En ny version av riktlinjerna för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar gavs ut 2015 [3]. Den inkluderar även frågan om riktlinjernas tillämpning i ett förändrigt klimat. Huvudmannskapet för nytugåvan delas av Svenska kraftnät, Svensk Energi (numera Energiföretagen) och SveMin.

Sedan 1998 har Svenska kraftnät en central myndighetsroll inom dammsäkerhetsområdet med uppgift att främja dammsäkerheten i landet. Tillsynsvägledning gentemot länsstyrelserna, att verka för utveckling av samordnad beredskap för dammhaveri samt stöd för kunskapsutveckling och kompetensförsörjning är viktiga områden för Svenska kraftnäts dammsäkerhetsverksamhet.

Vattenlagens bestämmelser överfördes 1999 till miljöbalken (MB) [4]. Miljöbalkens generellt gällande allmänna hänsyn regler och bestämmelserna om egenkontroll, jämte bestämmelser i 11 kap. om bl.a. underhållsskyldighet för vattenanläggningar, utgör sedan dess basen i regelverket för dammsäkerhet. Efter den statliga utredningen "Dammsäkerhet. Tydliga regler och effektiv tillsyn" (SOU 2012:46) tillkom ny lagstiftning om dammsäkerhet som infogades i miljöbalken 2014. Därigenom skapades ett regelverk för klassificering av dammar baserat på hur allvarliga konsekvenserna skulle bli till följd av ett dammhaveri. Dammar som vid ett haveri kan medföra betydande konsekvenser från samhällsynpunkt ska ges en dammsäkerhetsklass (A, B eller C). För klassificerade dammar gäller krav på bl.a. systematiskt säkerhetsarbete och årlig rapportering till tillsynsmyndighet.

Dammsäkerhetsklass	Konsekvensernas allvarlighetsgrad	Konsekvenser av dammhaveri
A	Mycket stor betydelse från samhällsynpunkt	Ett dammhaveri kan leda till en nationell kris som drabbar många människor och stora delar av samhället samt hotar grundläggande värden och funktioner.
B	Stor betydelse från samhällsynpunkt	Ett dammhaveri kan leda till stora regionala och lokala konsekvenser eller störningar men haveriet kan inte leda till en nationell kris. I detta fall handlar det främst om förlust av människoliv och/eller konsekvenser och störningar som är omfattande, har en regional utsträckning samt tar lång tid och blir dyrbara att åtgärda.
C	Måttlig betydelse från samhällsynpunkt	Ett dammhaveri kan leda till betydande lokala konsekvenser eller störningar. Det handlar främst om skador på lokal infrastruktur, skador på egendom eller miljöskador, eller tillfälliga störningar. Risken för förlust av människoliv är försumbar.
U - damm utan dammsäkerhetsklass	Liten betydelse från samhällsynpunkt	Ett dammhaveri kan inte leda till betydande konsekvenser eller störningar.

Källa: Konsekvensutredningar och dammsäkerhetsklassificering. Vägledning avseende Affärsverket svenska kraftnäts föreskrifter och allmänna råd om konsekvensutredning enligt 2 § förordningen (2014:214) om dammsäkerhet. (2016)





Indelning av dammar

Dammar, eller egentligen dammbyggnader, kan indelas på många olika sätt. Vanligt är att dela in dem efter syfte eller den verksamhet som dammen möjliggör, exempelvis:

Vattenkraftdamm - damm som hjälper till att tillvarata vattnets lägesenergi och/eller magasineras vatten för elproduktion.

Gruvdamm - damm som skapar utrymme för lagring av restprodukter, till exempel anrikningssand, från gruvverksamhet.

Kvarndamm - damm som tillvaratar vattnets lägesenergi för direkt drift av kvarn.

Flottningsdamm - damm som magasineras vatten för att under viss tid skapa vattenföring som kan användas för flottning av trästockar.

Vattenförsörjningsdamm - damm som magasineras vatten för att säkra långvarig tillgång på vatten för hushåll eller industriändamål.

Invallningsdamm - damm som syftar till att hindra vatten från att breda ut sig över ett markområde.

Om dammen är temporär och området är en arbetsplats för ett bygnadsverk kallas den fångdamm.

Kanaldamm - långsträckt damm (kanalbank) som möjliggör sjöfart på kanaler där marknivån är lägre än vattenytan. Begreppet används också för damm vid kanal som leder vatten för något ändamål, till exempel intagskanalen vid ett kraftverk.

Spegeldamm - damm som syftar till att skapa en vattenspegel. En grunddamm är en variant där dammens krön överströmmas (dvs. krönet ligger under vattenytan).

Ytterligare indelning av dammar kan göras för att mer tydligt beskriva den nytta eller funktion som är förenad med dammen. Vattenkraftdammar indelas således i till exempel:

Kraftverksdamm - syftar till att genom uppdämning koncentrera fallhöjden i ett vattendrag.

Regleringsdamm - syftar till att skapa ett vattenmagasin och därigenom kunna reglera vattenföringen genom att kunna styra vattentappningen över tid.

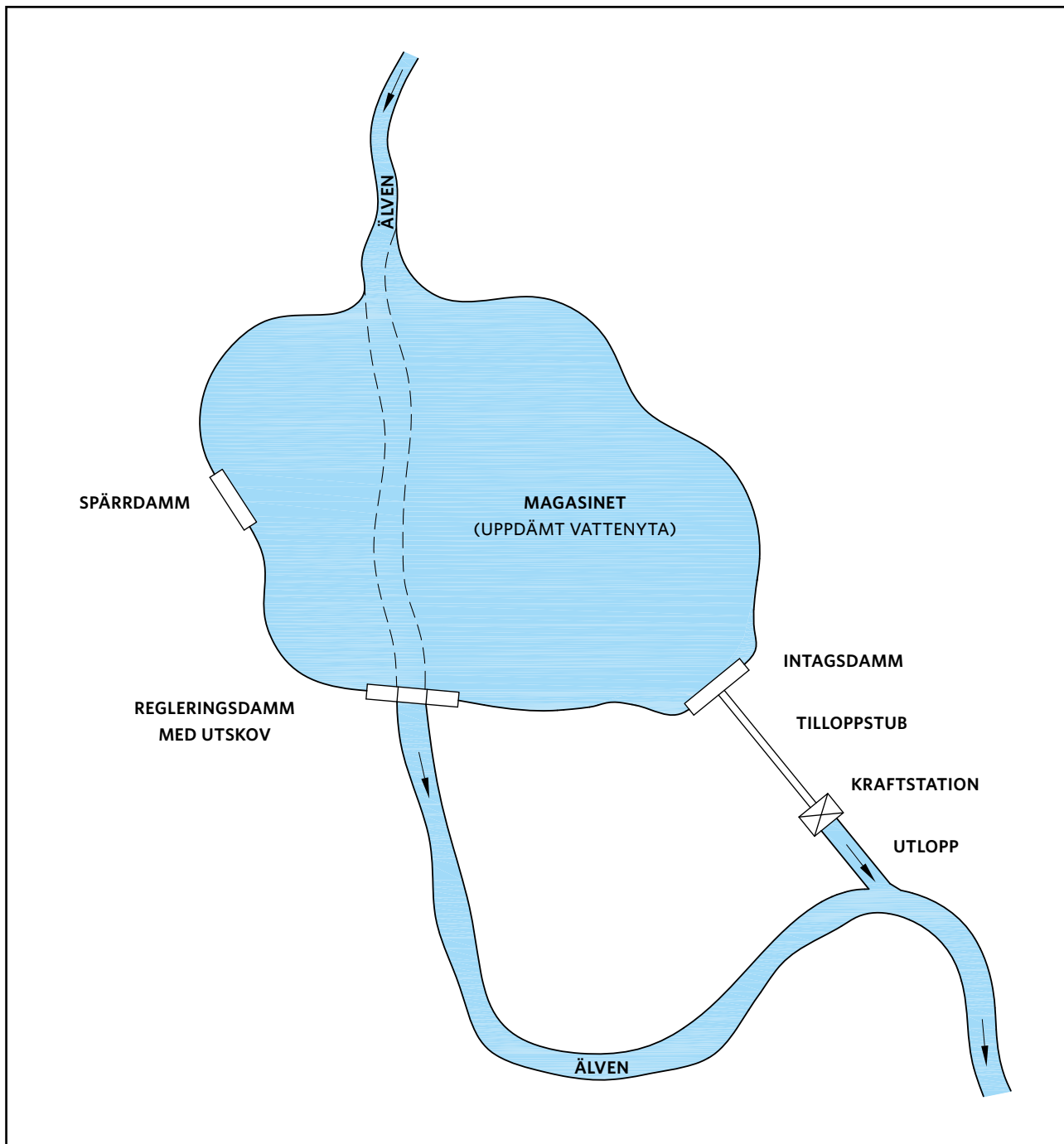


Dammanläggning med en regleringsdamm med utskov och en spärrdamm, Smedjemora, Ljusnan.

Spärrdamm - en sekundärdamm som förhindrar att uppdamt vatten strömmar ut via lågpunkter längs dess det uppdamda områdets stränder.

En **dammanläggning** kan utgöras av en eller flera dammar som tillsammans dämmer upp ett magasin och/eller skyddar lägre liggande områden från

översvämning. Begreppet innefattar även dammar som reglerar vattenytor i anslutning till magasinet. Om anläggningen består av flera dammar är de åtskilda från varandra av naturliga terrängformationer. Damarna kan i dessa fall fylla olika funktioner. Även teknisk utrustning som hör till en damm ingår i dammanläggningen.



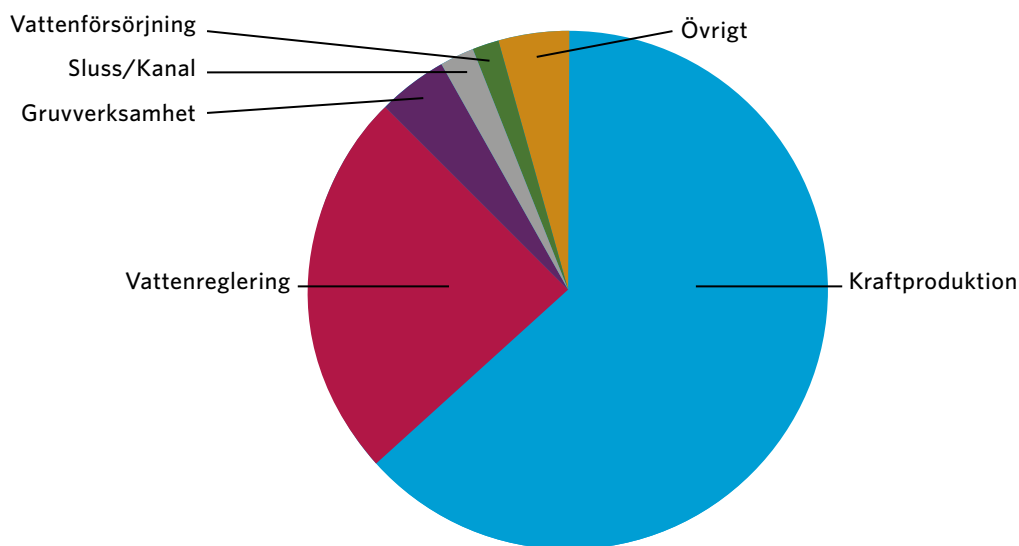
Älvsystem med dammanläggning med flera dammar.

Svenska dammar - ändamål och dammtyp

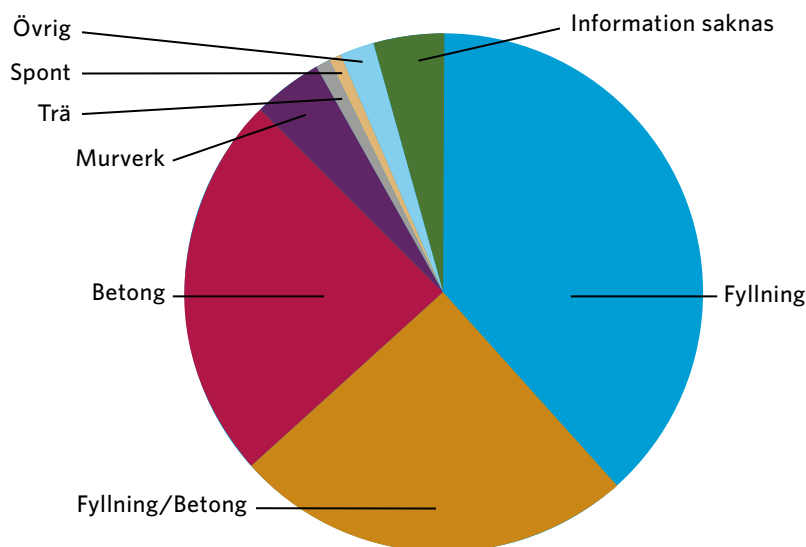
Ca 1.000 svenska dammanläggningar har dammar med en dammhöjd om minst 5 m och/ eller uppdämd magasinvolym om minst 100.000 m³. En stor majoritet, över 90 %, av dessa används för vattenkraftproduktion och vattenreglering. Dammar vid gruvverksamhet, kanaler och slussar samt för vattenförsörjning står endast för några procent var av dammbeståndet.

Inom dessa anläggningar finns sammantaget omkring 2.000 dammar. De klart vanligaste dammtyperna är fyllningsdammar, ca 40 %, fyllningsdammar som även inkluderar betongkonstruktioner, ca 25 %, och betongdammar, ca 25 %. Bland övriga dammtyper är murverksdammar vanligast, ca 4 %, medan andelen dammar av andra material är mycket liten.

FÖRDELNING AV DAMMANLÄGGNINGAR BASERAT PÅ ÄNDAMÅL



FÖRDELNING AV DAMMAR BASERAT PÅ DAMMTYP



Källa: Uppgifter hämtade från konsekvensutredningar som dammägare har inlämnat till länsstyrelserna 2015-2018. (Skyldigheten att upprätta och lämna in konsekvensutredning gäller för ägare till dammanläggningar med dammar med en höjd av minst 5 m och/eller som vid ett dammhaveri skulle kunna frisläppa en volym vatten, eller blandning av vatten och annat material, om minst 100.000 m³.)

En annan vanlig indelning inom dammbyggnadstekniken är efter huvudsakligt byggnadsmaterial, till exempel:

Fyllningsdamm - damm som huvudsakligen är uppförd av jord- och stenmaterial som fyllts ut i lager och därefter behandlats (packats) med olika arbetsmetoder.

Betongdamm - damm som är uppförd med betong som huvudsakligt material.

Stenmurverksdamm - damm som huvudsakligen är uppförd av natursten som ordnats och lagts i förband.

Trädamm - damm där trä är det huvudsakliga materialet.

Ett annat sätt att beskriva en dammanläggning inom vattenkraften är att utgå från de tre huvudfunktionerna:

Dämmande funktion - syftar till att koncentrera fallhöjd och/eller magasinera vatten. Den utgörs av olika typer av dammkonstruktioner och tillhörande grundläggning.

Avbördande funktion - syftar till att leda vatten från dammens uppströmssida till vattendraget nedströms om dammen. Den utgörs av öppningar i dammen med tillhörande avstängningsanordningar.

Kontrollerande funktion - syftar till att kunna styra och kontrollera vattentappningen förbi dammen samt övervaka de dämmande och avbördande funktionerna. Den utgörs av olika tekniska system som ger underlag för beslut och verkställer vattenhanteringen.

En mer detaljerad beskrivning av olika dammtyper och tekniska egenskaper för dammar vid vattenkraftanläggningar görs i kapitel 4-6 med uppdelning enligt nämnda funktioner. Översiktlig information om kanaler och slussar ges i kapitel 7.

Dammanläggningar vid gruvor används för att hantera deponeringen av anrikningssand från förädlingsprocessen. Dessa dammanläggningar kan bestå av sandmagasin och klarningsmagasin i serie och benämns oftast utifrån ändamålet:

Sandmagasin - dammanläggning för sedimentering och deponering av anrikningssand.

Klarningsmagasin - dammanläggning för magasinering/rening av processvatten. (I vissa fall recirkuleras processvattnet och återpumpas till förädlingsprocessen, där överskottsvatten bräddas ut ur systemet. I andra fall där recirkulering saknas sker kontinuerlig bräddning mot recipient.)

Gruvdammar indelas även efter konstruktionsprincip eller byggnadssätt, till exempel:

Täta eller dränerande dammar - i täta dammar används tätjord på motsvarande sätt som i vattendammar medan dränerande dammar saknar tätzon och huvudsakligen byggs upp av anrikningssand och stödfyllning med dränerande egenskaper.

Inåtdamm, utåtdamm, uppåtdamm - begreppen syftar på den riktning i vilken dammens krön förflyttar sig vid höjning av dammkrönet (inåt, utåt respektive rakt uppåt).

Ytterligare beskrivning av konstruktionsprinciper och utförande av gruvdammar finns i kapitel 8.



Gruvdamm i Garpenberg.
Klarningsmagasin, sandmagasin och utskovskanal.



2. Laster och säkerhetsbegrepp

För att fylla sin funktion måste en damm med viss marginal kunna motstå och ta upp de laster (belastningar) som den kan utsättas för, såsom vattentryck, istryck, portryck mm.

Den marginal som man kräver benämns ofta grad av säkerhet och kan definieras på olika sätt, vilket beskrivs i följande kapitel.

Hydrauliska laster

Hydrauliska laster för en dammanläggning hänförs till den vätska eller det material som upp-dämningen syftar till att kontrollera och innehålla. I det följande förutsätts att vätskan är vatten. De fall då dammen magasineras annat än vatten ses som ett specialfall och beskrivs under kapitlet om gruvdammar.

Den last som alla dammbyggnader dimensioneras för är **vattentryck** från det upp-dämda vattnet. Vattentrycket ökar rätlinjigt med vattendjupet och är för större dammar den dominerade belastningen.

I kallt klimat, som i Sverige, kan det uppstå ett

istryck när is täcker vattenytan. Istrycket kan under vissa betingelser komma att utgöra en betydande last för betongdammar och andra oeftergivliga konstruktioner. För mindre dammar kan istrycket vara dominerade.

Andra yttre laster eller påkänningar är de som uppkommer till följd av vattnets rörelseenergi när det träffar dammen eller strömmar genom och förbi dammen. Man talar då om erosion orsakad av olika förhållanden, till exempel friktions- och stötkrafter vid vattentappning, ytvattenavrinning vid intensiv nederbörd, vågbildning vid stark vind, etc.



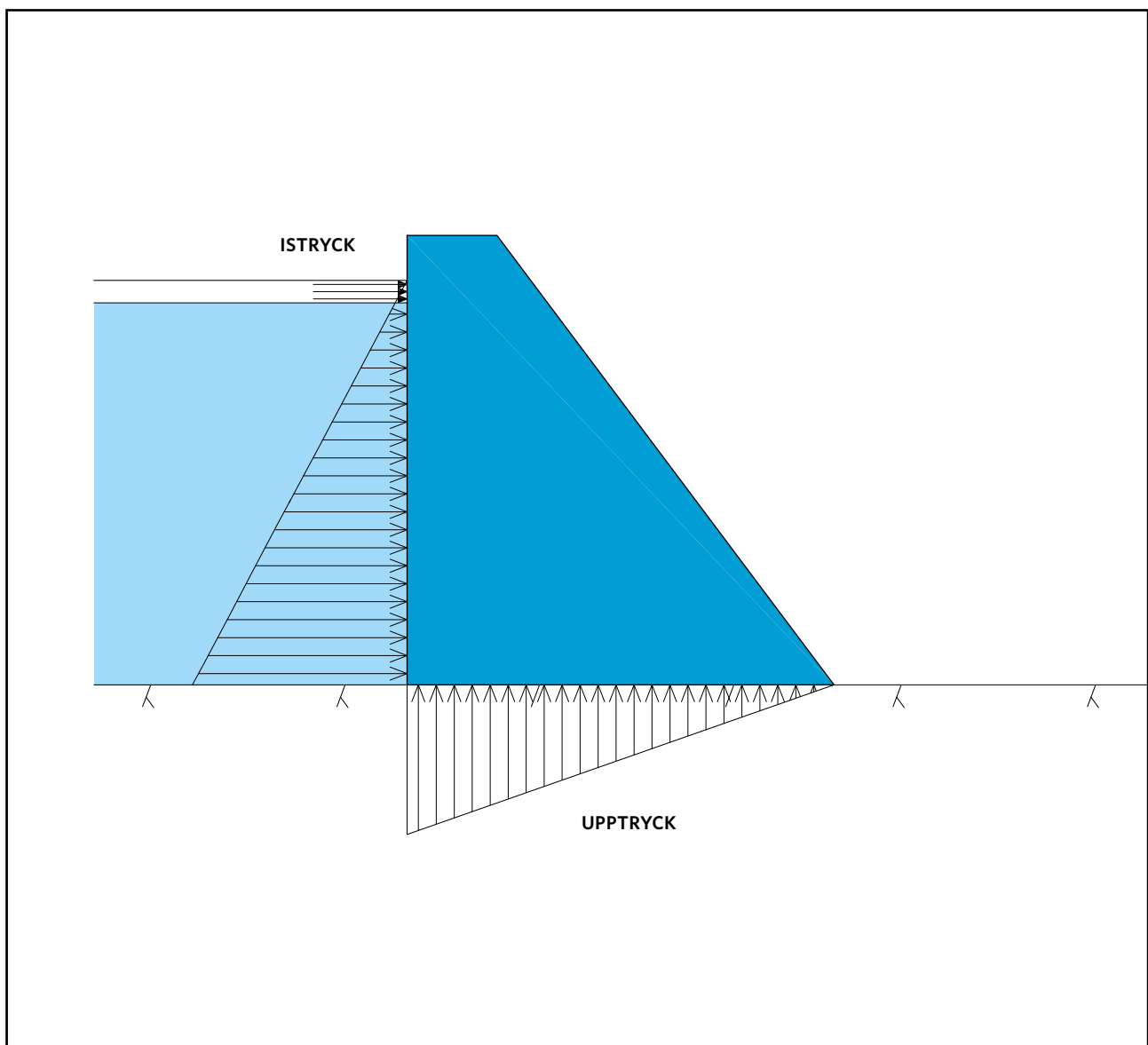
Utskovstappning i Krokströmmen, Ljusnan.

Övriga laster

Övriga laster kan ha sin grund i dammanläggningens uppbyggnad och funktion, men också uppkomma till följd av de hydrauliska laster som redovisas ovan.

Till följd av den yttre lasten i form av tryck från det uppdämda vattnet uppstår ett inre vattentryck i dammkroppen eller i undergrunden som benämns **portryck** eller **upptryck**. För fyllningsdammar använder man oftast begreppet portryck medan för övriga dammar används begreppet upptryck. Portryck och upptryck utgör ett invändigt vattentryck som bl. a. reducerar tyngden hos dammbyggnaden och därför påverkar dess stabilitet negativt.

Andra laster som inte har sin utgångspunkt i dammens dämmande eller avbördande funktion är tryck från en anläggningsdel mot en annan, till exempel jordtryck från en fyllning mot en betongkonstruktion och krafter från manövrering av luckor. Andra exempel är laster från trafik på dammen och olyckslaster till följd av antagonism eller annan mänsklig aktivitet.



Laster på betongdamm.

Säkerhetsbegrepp

Vid dimensionering eller kontroll av dammars säkerhet används olika begrepp för att värdera säkerheten; exempelvis säkerhetsfaktor och partialkoefficient. Oavsett vilket säkerhetsbegrepp som används, brukar man beakta och utföra beräkningar för olika lastfall.

Ett **lastfall** beskriver en viss kombination av belastningar i en given situation. I dammtekniska sammanhang används begreppen normalt lastfall, exceptionellt lastfall och olyckslastfall. För en damm kan ett **normalt lastfall** innebära till exempel att vattennivån uppströms är i nivå med dämningegräns och att karakteristiskt istryck baserat på det geografiska läget förekommer. Ett **exceptionellt lastfall** kan exempelvis vara en högflödessituation med uppströms vattennivå högre än normal eller tillåten nivå (dämningegräns). Ett exempel på ett **olyckslastfall** är de laster som uppkommer som en följd av dammhaveri hos en uppströms belägen anläggning.

Begreppet säkerhetsfaktor har använts under lång tid och är ett tal som utgör kvoten mellan de mothållande krafter som konstruktionen kan mobilisera och de krafter som lasterna på konstruktionen ger upphov till. För normala lastfall är ofta en säkerhetsfaktor 1,5 ett godtagbart värde. Det betyder att de mothållande krafterna, baserade på till exempel brottvärdet för hållfastheten hos materialen, är 1,5 gånger större än de pådrivande krafterna som belastningar på konstruktionen ger upphov till. Man kan också säga att säkerhetsfaktor 1,5 betyder att säkerhetsmarginalen är 50%. Acceptabelt eller godtagbart värde på säkerhetsfaktorn för olika konstruktioner och lastfall kan återfinnas i publikationer som t.ex. bestämmelser, normer och riktlinjer utgivna av myndigheter och organisationer.

Ett exempel där säkerhetsfaktor används är vid värdering av stabilitet för dammar enligt RIDAS. Storleken på krävd säkerhetsfaktor speglar graden av osäkerheter i belastningar och beträffande kännedom om materialens egenskaper, samt hur sannolikt aktuellt lastfall är. För exceptionella lastfall krävs lägre säkerhetsfaktor än för normala lastfall. För olyckslastfall med låg sannolikhet är kravet ännu lägre, ofta till exempel endast något större än 1.

Under senare tid har ett annat synsätt benämnt **partialkoefficientmetoden** börjat användas även inom det dammbyggnadstekniska området. Denna metod utgår också från karakteristiska hållfasthetsvärden hos materialen och laster på konstruktionen.

Dessa enskilda värden multipliceras med en koefficient som baseras på osäkerheten hos respektive värde. En hållfasthetsparameter reduceras med hjälp av koefficienten medan en belastning ökas på motsvarande sätt. Storleken på koefficienten för reduktion respektive ökning baseras på vilken kunskap som finns om de olika parametrarna och baseras på undersökning och provning. Ett ingenjörsmässigt bedömt värde av hållfastheten har till exempel mindre vikt (är behäftade med större osäkerhet) än ett värde som uppmätts vid provning av materialet. Med denna metod beaktas således med vilken noggrannhet de olika parametrarna som ingår i beräkningen har fastställts.

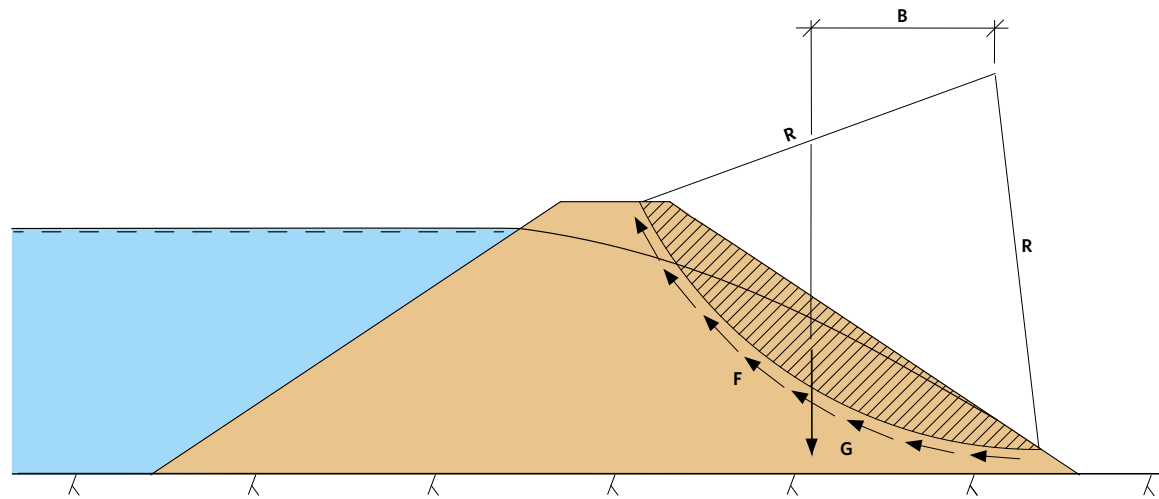
s SÄKERHETSFAKTOR

G RESULTERANDE KRAFT AV SKREDVOLYMNENS TYNGD (PÅDRIVANDE KRAFT)

F FRIKTIONSKRAFT I GLIDYTAN (MOTHÅLLANDE KRAFT)

R RADIE FRÅN DEN CIRKULÄRCYLINDRISKA GLIDYTAN TILL ROTATIONSCENTRUM

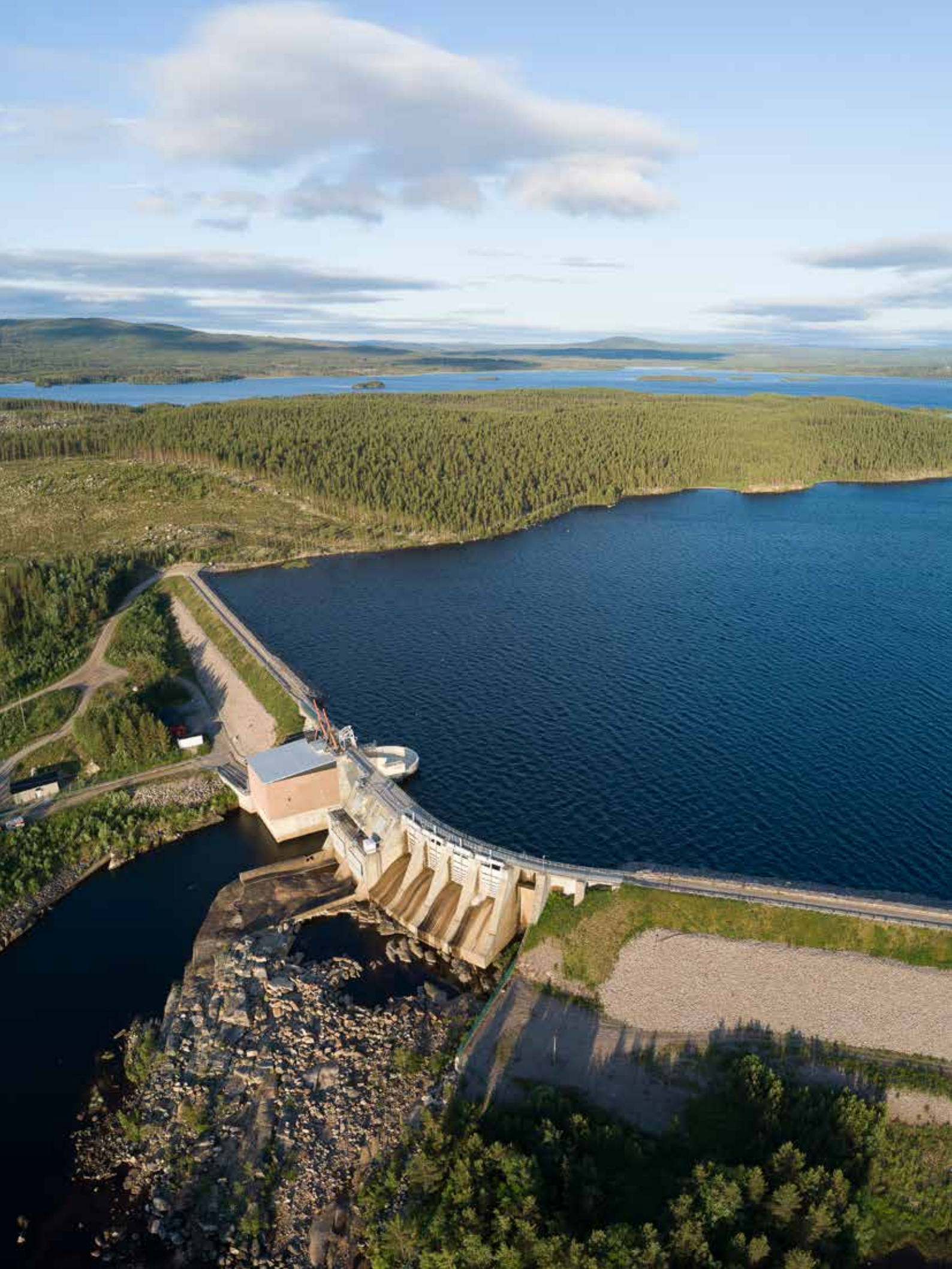
B SKREDVOLYMNENS HÅVARM TILL ROTATIONSCENTRUM



$$s = \frac{\sum F \cdot R}{G \cdot B}$$

SÄKERHETSFAKTOR

Princip för beräkning av säkerhetsfaktor för glidyta i fyllningsdamm.



3. Dämmande funktion

Den dämmande funktionen syftar till att skapa vattenmagasin och/eller fallhöjd för vattnet.

I följande kapitel redovisas dammbyggnadstekniken huvudsakligen utifrån byggnadsmaterial hos dammen. Material, utformning och viktiga designaspekter beskrivs för olika typer av fyllningsdammar och betongdammar, några övriga dammtyper samt deras grundläggning och anslutningar.

Vid anläggandet av en damm har topografiska och geologiska förhållanden stor påverkan på val av dammtyp och dess lokalisering. Om grundläggningen ska ske på naturliga jordlager väljs förmodligen en fyllningsdamm medan en smal dalgång med branta dalsidor är en förutsättning för en valvdamm i betong. Frågor om grundläggning och anslutningar beskrivs sista i kapitlet.

Fyllningsdammar

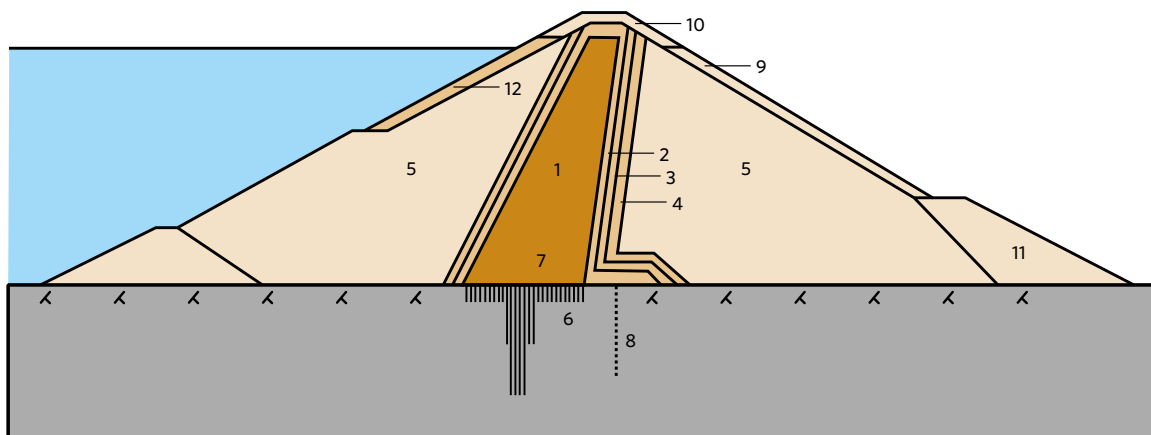
En fyllningsdamm består i huvudsak av komprimerad fyllning av jord och/eller sprängsten. De indelas i jordfyllningsdammar och stenfyllningsdammar beroende på om huvuddelen av stödfyllningen består av jord (naturlig sand och grus) eller sten (sprängsten i olika fraktioner). Fyllningsdammar är i huvudsak uppförda av sådana jord- och stenmassor som det funnits god tillgång till i närheten av byggnadsplatsen.

Modern utformning

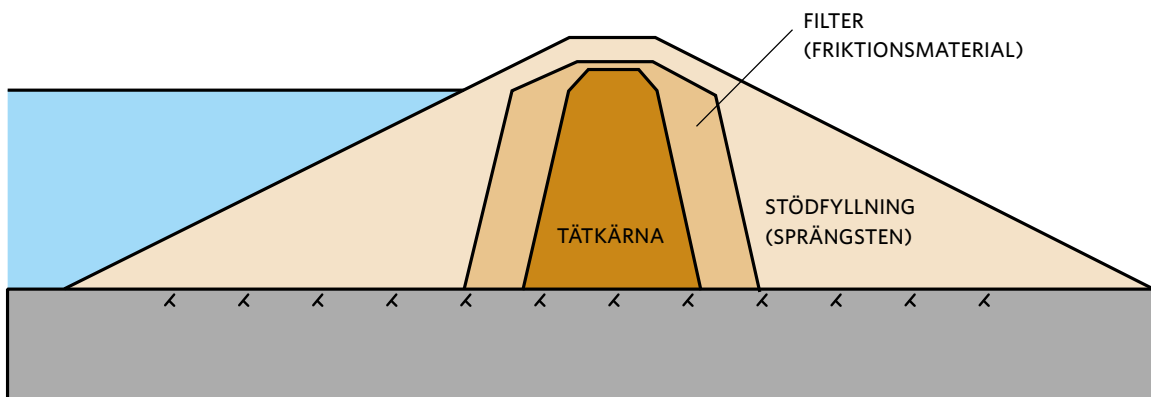
Tvårsnittet hos den vanligaste typen av fyllningsdamm består av ett antal zoner som har olika funktioner, se figur på nästa sida. Centralt finns en tätande zon, tätkärnan (1), som består av morän som lagts ut i lager och komprimerats så att vatten-genomsläppligheten är låg. På ömse sidor om tätkärnan finns skyddande zoner, filter (2,3,4), av sand och grusmaterial som håller tätkärnan på plats och som skall hindra att tätjorden transporteras bort av vattnet om ett läckage skulle uppstå. Utanför filterzonerna finns stödfyllning (5) som stödjer den tätande zonen och på nedströmssidan för ner vattenlasten till grunden. På ytan skyddas fyllningsdammen mot påverkan av vågor och ytvatten genom erosionsskydd och släntskydd (9,10) som utgörs av stenmaterial. Filterzoner kan behövas även på andra platser i en fyllningsdamm än mellan tätjord och stödfyllning, t.ex. mellan stödfyllning och erosionsskydd eller mellan undergrund och stödfyllning om stödfyllningen är grundlagd på jord. Dessa filterzoner kallas ofta övergångslager.

Flertalet svenska fyllningsdammar byggdes på 1950-, 60- och 70-talet. Vissa av dem utfördes med en enklare utformning, t.ex. med endast ett filter mellan tätjorden av morän och stödfyllningen av sprängsten.

- | | |
|-----------------|------------------|
| 1. TÄTKÄRNA | 7. BETONGPLATTA |
| 2. FINFILTER | 8. FILTERBRUNN |
| 3. MELLANFILTER | 9. SLÄNTSKYDD |
| 4. GROVFILTER | 10. KRÖNSKYDD |
| 5. STÖDFILTER | 11. DAMMTÅSKYDD |
| 6. INJEKTERING | 12. EROSIONSKYDD |



ZONINDELAD FYLLNINGSDAMM BASERAD PÅ ILLUSTRATION I VATTENFALL HANDBOK FÖR JORD- OCH STENFYLLNINGSDAMMAR, 1988.



TYPISK DAMMSEKTION FÖR STENFYLLNINGSDAMM BYGGD PÅ 1970-TALET.

Äldre utformning

Fyllningsdammar har inte alltid den zonindelning som nämnts ovan. Främst mindre och äldre dammar kan vara uppförda av endast ett jordmaterial och då oftast morän för att erhålla tillfredsställande täthet. För att skydda sådana dammar mot erosion av vågor och nederbörd är det vanligt att slänterna är försedda med ett lager av grus och sten. En del av denna typ av "homogena" dammar är också försedda med någon form av dränage i nedströmsdelen av fyllningen vilket är gynnsamt ur stabilitetssynpunkt.

Hos äldre fyllningsdammar kan också tätning i

form av en skärm förekomma, en så kallad spont, centralt i dammen. Sponten som oftast är av trä kan vara placerad i en tät kärna av morän eller vara kringfylld av annat jordmaterial som det funnits tillgång till på platsen. Vissa fyllningsdammar från decennierna runt förra seklets mitt har en central tätning av stålspont eller en betongskiva eller kombinationer av materialen stål, betong och trä.

På platser i Sverige där morän inte är vanligt förekommande har andra jordarter, till exempel lera eller kiselgur, använts som tätande jordmaterial.



Hästberga några dagar efter haveriet november 2010.



Spontrester och tvärsnitt för havererad fyllningsdamm (Hästberga).
 Dammen höjdes två meter efter ursprungligt färdigställande.
 Sponten utgörs överst av betongspont, därunder av den ursprungliga träsponten.

Dammtyper i andra länder

Även andra typer av fyllningsdammar förekommer. En typ som är vanlig utomlands men ovanlig i Sverige har en tätning i form av en betongplatta på uppströmssidan och fyllning som i huvudsak består av sprängsten. Benämningen för dessa dammar är **CFRD (Concrete Faced Rockfill Dam)**. En annan teknik använd utomlands är att använda bitumen (asfalt) som material i en smal centralt placerad tätzon i fyllningsdammar.



Veiguinhas dam, en 37 m hög CFRD-damm för vattenförsörjningsändamål i Saborfloden, Portugal, idrifttagen 2016.

En annan dammbyggnadsteknik som används utomlands är vältbetongmetoden. Man använder då en betong med lågt cementsinnehåll som närmast är att betrakta som ett jordmaterial ur hanterings- och utläggningssynpunkt. Tekniken har stora likheter med den komprimering av material i lager som sker vid vägbyggen med tunga vältar. Benämningen på dessa dammar internationellt är **RCC (Roller Compacted Concrete)**.

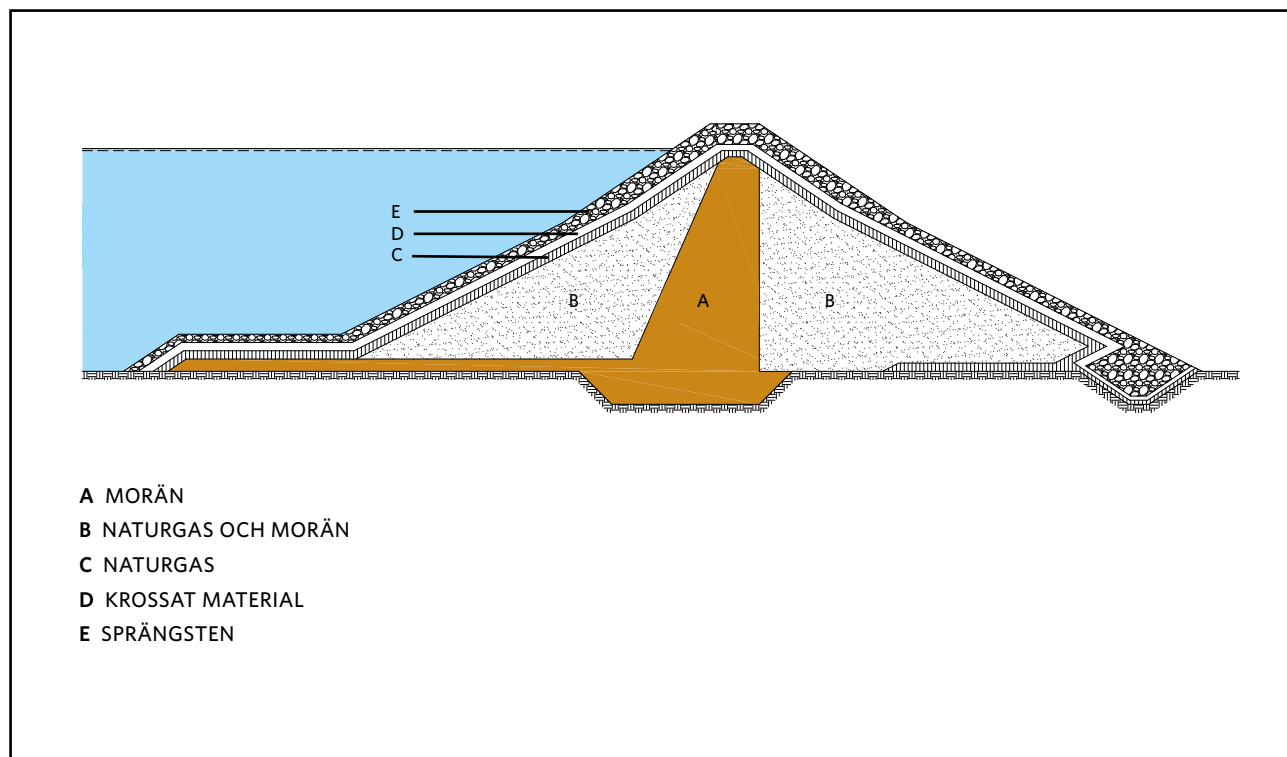


Ralco Dam, en 155 m hög RCC-damm för vattenkraftändamål i Biobiofloden, Chile, under byggnation 2003.

Dokumentation av utformning

Det är i princip omöjligt att utläsa hur en fyllningsdamm är konstruerad och utförd genom att i fält studera utseendet hos en befintlig dammkropp. Det är därför av största vikt att dokumentation från konstruktion och byggande bevaras och arkiveras på ett betryggande sätt. För dammar som saknar sådan dokumentation kan kunskap erhållas i begränsad

omfattning genom att utföra undersökningar, till exempel provgrovar, borrhning, etc. I provgrovar kan packningsgrad bestämmas och insamlade materialprover kan analyseras på laboratorium med avseende på olika egenskaper. Det finns också oförstörande provningsmetoder som kan ge kunskaper om en fyllningsdamms uppbyggnad, till exempel georadar och andra geofysiska metoder.



Sektion genom fyllningsdamm med sprängsten på ytan och jordfyllning invändigt, samt foto över samma damm.

Läckage och inre erosion

Förekomsten av stora läckage genom dammen eller grunden är ett hot då de kan medföra inre erosion och materialtransport vilket kan leda till dammhaveri. Känsligheten för att inre erosion ska kunna utvecklas till ett haveri är främst beroende på filterfunktionen och materialet i stödfyllningen. Vid utformning av fyllningsdammar har de olika delmaterialens egenskaper och arbetsutförandet avgörande betydelse för möjligheten att konstruera och bygga en säker damm med lång livslängd.

Den viktigaste materialegenskapen är kornstorleksfördelningen som ofta redovisas som siktkurvor i ett diagram.

För jordmaterial som används till **tätkärnan** (tätjord) ställs krav på låg vattengenomsläpplighet. För de **stödjande zonerna** är kraven att materialen ska vara vattengenomsläppliga eller dränerande som det ofta uttrycks. **Filterzonernas** utformning och kraven på de material som används som filter baseras på tätjordens och stödfyllningens egenskaper.

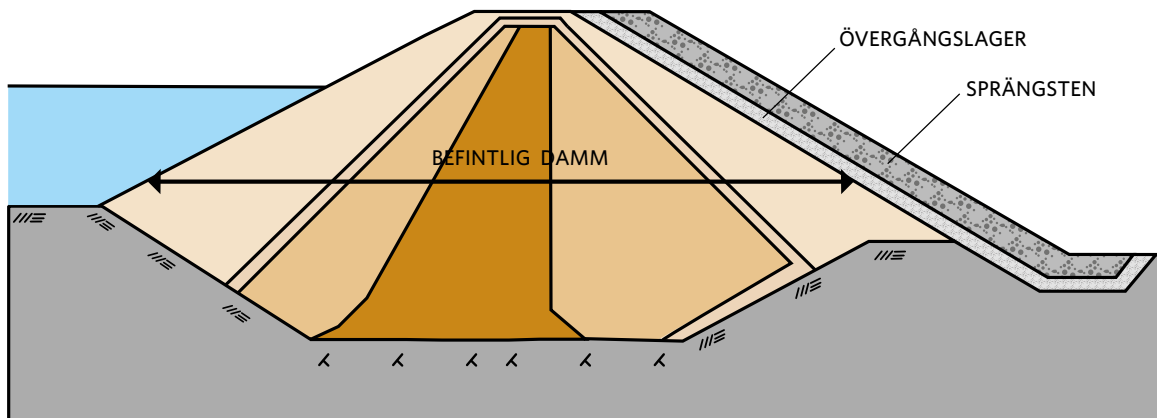
Sambanden mellan de olika materialens egenskaper brukar kallas **filterregler**. Syftet med filter är att förhindra att finmaterial följer med vattenströmningen från tätjorden och in i den grövre materialzonen. Filterreglerna används också för att dimensionera övergångslager mellan olika material, till exempel mellan uppströms erosionsskydd och stödfyllning.

Under de senaste decennierna har dammägare efter att ha utvärderat egenskaperna vid sina dammar funnit att filterzonens utformning inte alltid är tillfredsställande i förhållande till tätkärnan och att de så kallade filterreglerna inte är uppfyllda. Det kan medföra förhöjd risk för inre erosion med materialtransport från den tätande zonen. Särskilt känsliga områden är tätkärnans anslutning mot betongkonstruktioner och mot undergrunden.

I flera fall har det funnits behov av att genomföra förstärkningar för att öka säkerheten mot haveri till följd av inre erosion och ett större läckage. Det är i de flesta fall inte möjligt att åtgärda filterzonen hos en befintlig damm utan att avsänka vattennivån uppströms och i princip bygga om dammen. Som alternativ finns möjlighet att undvika att en tänkbar inre erosion utvecklas till ett dammhaveri genom att förse dammen med ett skydd av erosionsstabil material längs dammtån, så kallad **tåstödbank**, som förbättrar dammens stabilitet och ökar dess förmåga att tåla stora läckage.

Vid dimensionering av en tåbank beräknas hur högt upp på nedströmsslänten som ett **källsprång**, dvs. läckagets utströmningsspunkt, kan uppkomma. Tåbanken ska med marginal täcka eventuella källsprång. Ibland förlängs tåskyddet högt upp på nedströmsslänten och i vissa fall ända upp till dammkrönet. En tåstödbank i kombination med övervakning av dammens syftar till att ge tidsutrymme för att vidta åtgärder om ett för dammen skadligt läckage skulle uppstå. Bilderna på nästa sida visar en förstärkning för att dammen skall tåla stora läckage utan att rasa.

I de fall dammen är grundlagd på jord kan liknande förhållanden med inre erosion, materialtransport och läckage förekomma hos de naturliga jordlagren. Fenomenet kallas **bakåtgripande erosion** (eng. **piping**) eftersom materialtransporten börjar nedströms och fortskrider i uppströmsriktningen. För att förhindra detta anordnas ofta en tätning av tätjord på magasinsbotten uppströms. En sådan tätning kallas panur (eng. blanket), se avsnitt Grundläggning och anslutningar nedan. På detta sätt förlängs läckvägen och risken för inre erosion i grunden minskas.



EXEMPEL PÅ NEDSTRÖMS SLÄNTFÖRSTÄRKNING FÖR ATT ÖKA MOTSTÅNDET MOT LÄCKAGE.



Dammtåförstärkning med sprängsten på nedströmsslänten.

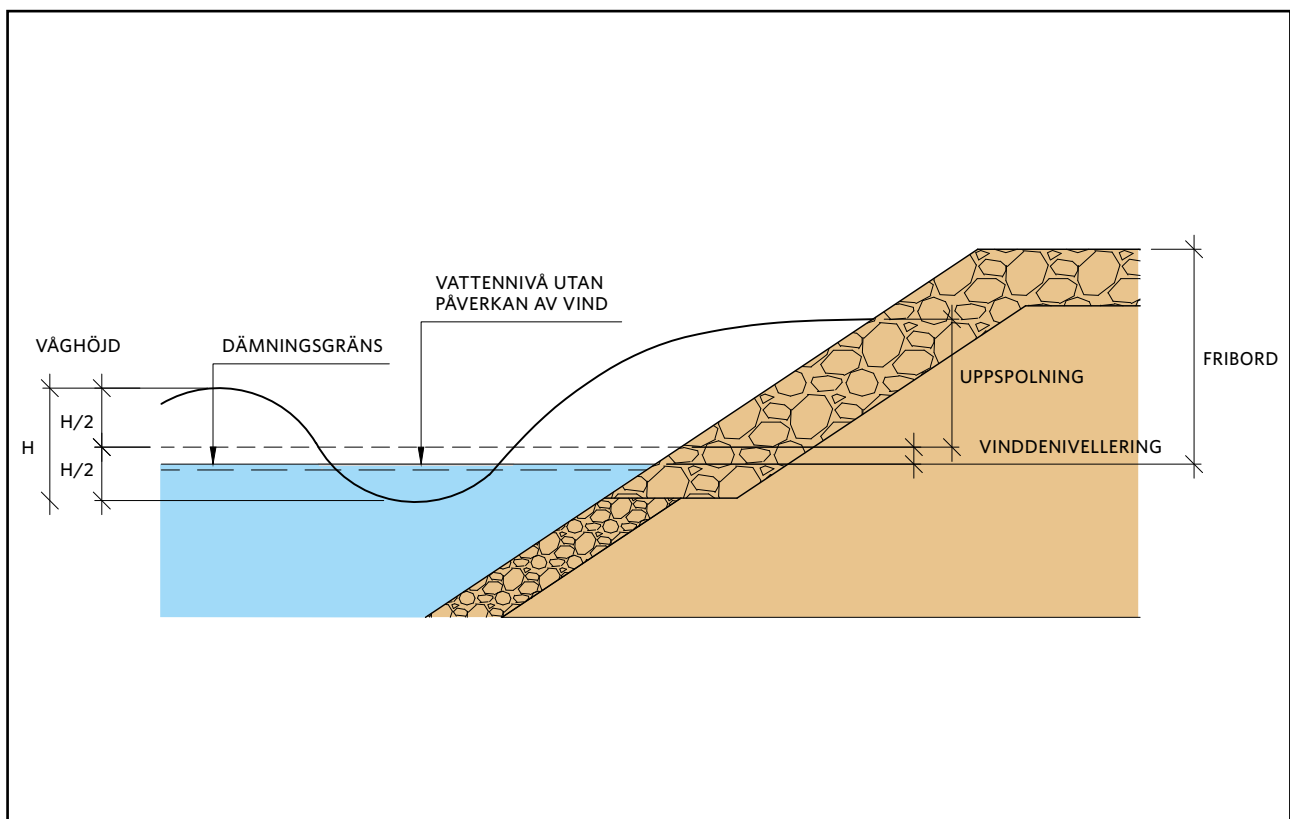
Yttre erosion

De material som används på en fyllningsdamms ytor ska klara att motstå de yttre påfrestningar som kan uppstå. Det kan gälla erosion från vågor, vattenströmning och nederbörd samt trafiklast. Oftast består materialet på dessa ytor, så kallat **erosions-skydd**, av sprängsten i lämpliga storleksfraktioner. På äldre dammar förekommer även erosionsskydd av natursten och grus.

I vissa tillämpningar används **glacis** vilket är sprängsten som läggs som en ordnad stenbeklädnad med en slät sida på stenarna synlig och god inpassning av stenarna mot varandra. Genom att stenarna ordnas i förband har glacisen en bättre stabilitet som släntskydd och släntlutningen kan göras brantare vilket ibland är önskvärd vid anslutning till utskovs- och intagskonstruktioner.

En fyllningsdamm tål inte överströmning av vatten eller våguppspolning över krönet i någon större omfattning. En stenfyllningsdamm klarar dock överströmning bättre än en jordfyllningsdamm. Överdämningsförmågan, dvs. möjligheten att höja magasinet över dämmningsgränsen beror på ett flertal faktorer, t.ex. tät kärnans och dammkrönets nivå, lokala lågpunkter, egenskaper hos material över tät kärnan, materialet i utläckningspunkter längs dammtån, vågornas höjd och uppspolningshöjd på uppströmsslänten.

Den vertikala nivåskillnaden mellan högsta vattennivå och dammkrönets lägsta nivå benämns fribord. Erforderlig storlek på fribordet behöver utredas för den enskilda dammen om man bedömer att vattennivå eller våguppspolning kan bli högre än vad dammen konstruerats för.



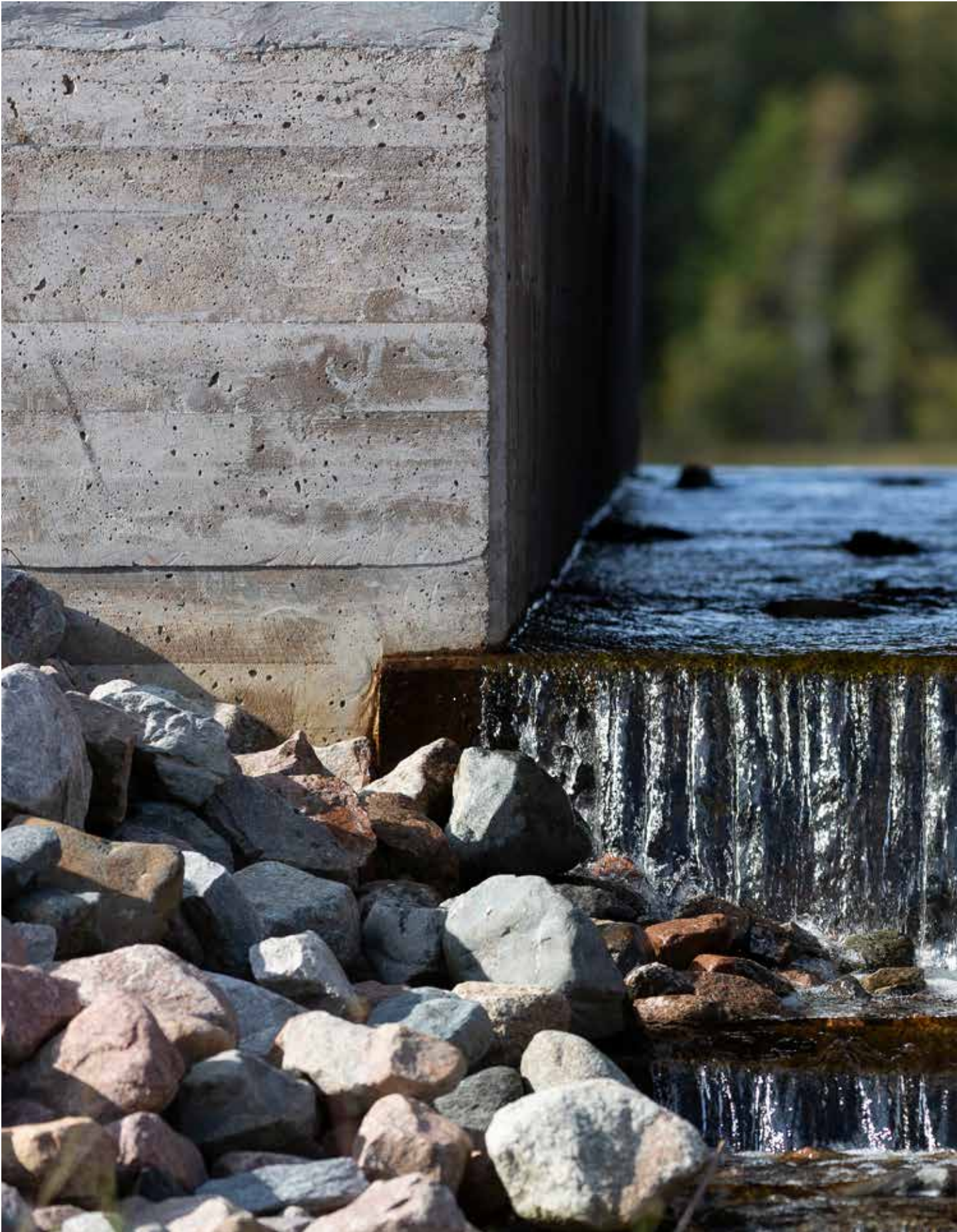
Sektion genom fyllningsdamm, fribord och våguppspolning mot dammkrön.



Oordnat erosionskydd och glacis.



Utläggning av ordnat erosionskydd vid Grundsjöarna, Ljusnan.





Betongdammar

En betongdamm är en damm som i huvudsak består av betong. För att minimera betongåtgången har olika typer av betongdammar utvecklats, där massivdammar, lamelldammar och valvdammar är de vanligaste. Även utskovs- och intagsparti/kraftstationen utförs normalt i betong och utgör en del av dammens dämmande funktion. För betongdammar är grundläggning på berg normalt en förutsättning. Det förekommer dock att äldre betongdammar är grundlagda på naturliga jordlager.

Materialet betong

Materialet betong kombinerar funktionen täthet med stor egentyngd, vilket gör att man kan uppföra en damm med endast ett byggnadsmaterial. Huvudbeståndsdelarna i betong är cement, ballast och vatten. Ballast är en samlingsbeteckning för sand, grus och stenmaterial som tillsätts i olika proportioner beroende på vilka egenskaper som önskas. Ballast kan utgöras av både naturmaterial (naturgrus) och krossat bergmaterial som sorteras till önskad storleksfraktion. Det finns flera typer av cement med olika egenskaper. För dammbyggnadsändamål används idag oftast så kallat anläggningscement som har gynnsammare värmeutveckling vid härdningen och även andra positiva egenskaper. Vissa tillsatsmedel används också i betong. För dammbyggnader är det närmast regel att tillsätta luftporbildande medel vilket ökar frostbeständigheten hos den färdiga konstruktionen.



Klumpdamm, Blixbol, Lillälven, Värmland.

Dammtyper

Den äldsta dammtypen är **massivdammen** eller **klumpdammen** som är en **gravitationsdamm** med homogent tvärsnitt. Denna dammtyp stabiliseras i huvudsak av sin egenvikt. Genom det stora tvärsnittet och den stora grundläggningsytan blir materialpåkänningarna och grundtrycken låga vilket gör att även betong med låg hållfasthet och helt utan armering fungerar för denna dammtyp. En nackdel är dock att den stora grundläggningsytan medför betydande upptryck vilket är negativt ur stabilitetssynpunkt.

En utveckling av gravitationsdammen är **lamelldammen** som innehåller en mindre mängd betong och där armering måste användas. En lamelldamm består av en frontplatta som stöds av stående skivor (lameller). Ofta har lamelldammen en lutande frontplatta vilket gör att vattnets vikt hjälper till att stabilisera dammen. Grundläggningsarean är begränsad vilket medför att upptrycket inte blir så stort. För att undvika genomfrysning av frontplattan bör lamelldammar förses med en isolervägg som med fördel placeras nedströms om lamellerna för att undvika skadliga temperaturspanningar.

En annan betongdammtyp är **valvdammen** som utgörs av en mot vattnet välvd betongvägg. Valvdammen överför vattenlasten till dalgångens sidor och till grunden under dammen, och kan göras förhållandevis slank. Valvdammen ställer krav på topografi och geologi i dammläget för fullgod funktion. Dammtypen är därför ovanlig i Sverige men vanlig i till exempel alpländerna.



Lamelldamm, Storfinnforsen, Faxälven.

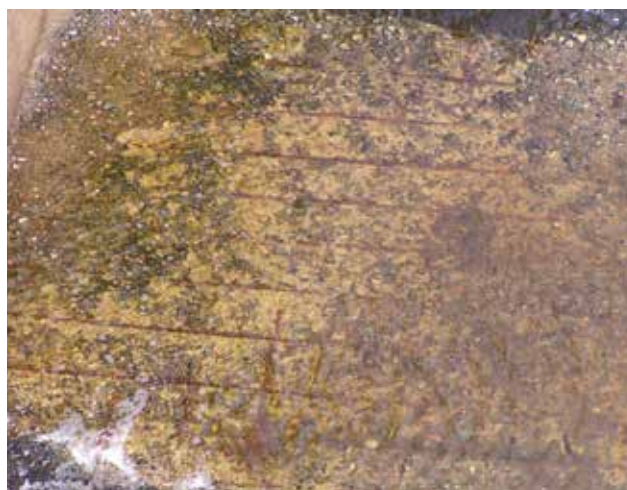


Valvdamm, Krokströmmen, Ljusnan.

Nedbrytning och beständighet

En rätt sammansatt betong i kombination med ett gott arbetsutförande vid byggandet ger en mycket tät och beständig dammbyggnad. Äldre betongdammar, och även enstaka nyare, är dock inte alltid uppförda med en lämplig betongsammansättning, vilket resulterar i en åldersrelaterad nedbrytning av materialet. De vanligaste nedbrytningsmekanismerna i vårt land är **frostpåverkan** som kan ge både ytliga och inre skador samt **urlakning** som försämrar täthet och hållfasthet. Dessutom förekommer kemiska reaktioner, bland annat **ASR (Alkali-Silika-Reaktion)**, hos betong med viss sammansättning vilket medför nedbrytning och hållfasthetsförlust.

Ytliga skador i form av **sprickor** och materialförstörelse är naturligtvis möjliga att upptäcka genom inspektion. De inre skadorna till följd av urlakning, frysning eller reaktioner är svårare att upptäcka. I en del fall kan dock sprickor och system av sprickor indikera att inre nedbrytning av betongen pågår. Vid sådana misstankar kan provtagning och laboratorieanalys av provkroppar ge kunskap om materialnedbrytningen. I många fall sker nedbrytningen långsamt vilket gör det möjligt att följa skadeutvecklingen och vidta åtgärder innan skadorna blivit ett reellt dammsäkerhetsproblem.



Betongskador

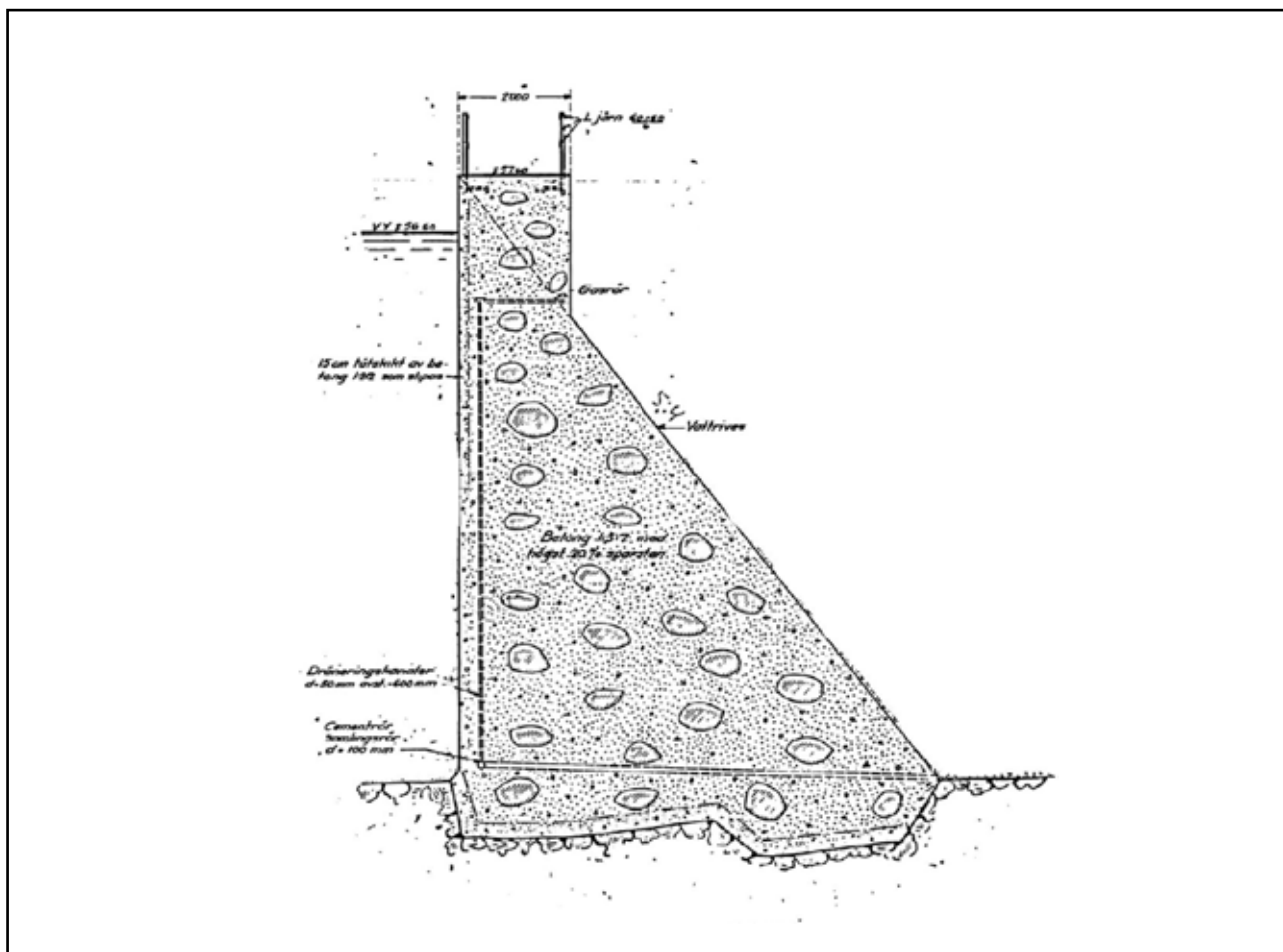


Utskovspelare skadad av Alkali-Silika-Reaktion (ASR).

Äldre betongdammar kan vara klädda på ytan med block av natursten. Det är inte ovanligt att sådana dammar kallas stenmurverksdammar vilket dock är felaktigt eftersom de är och fungerar som en betongdamm. En fördel med stenbeklädning är dess goda resistens mot frostpåverkan i t.ex. vattenlinjen.

Ofta utgjorde stenmurverket på uppströmssidan den egentliga tätningen av dammen eftersom äldre betong inte var vattentät. Hos sådana dammar är fogarna mellan stenblocken mycket väsentliga för tätheten och därmed för dammens livslängd. Om materialet i fogarna bryts ner förloras den egentliga tätningsfunktionen hos dammen vilket leder till urlakning av övriga delar av dammkonstruktionen.

Äldre dammar utan stenbeklädning på uppströmssidan är ofta också konstruerade enligt samma princip, dvs. betongen mot vattenmagasinet utfördes av högre kvalitet med större cementinnehåll för att skapa goda täthetsegenskaper medan övrig betong var av lägre kvalitet eftersom dess funktion var att skapa tyngd för konstruktionens stabilitet. För sådana dammar gäller samma förhållande som beskrivits ovan, dvs. skadas betongen som utgör tätningsfunktionen kommer dammen att brytas ner genom urlakning.



Sektion genom äldre klumpdamm uppförd 1919-1920, Blixbol. (jämför bild sid 42)

Dokumentation av utformning

Det är även för betongdammar av stor vikt att dokumentation från konstruktion och byggande bevaras och arkiveras på ett betryggande sätt. Om ritningar och annan dokumentation saknas är det dock ofta möjligt att få en viss förståelse för hur en betongdamm är konstruerad och utförd. Detta kan ske genom uppmätning av dammens dimensioner samt provtagning och analys av betongmaterialet. Det finns också oförstörande provningsmetoder som kan ge kunskaper om betongdammars uppbyggnad och materialegenskaper.

Förekomst av armering samt dess dimensioner och läge i konstruktionen är dock mycket svårt att fastställa utan dokumentation från konstruktions-

och byggnadsskedet. Detta gäller även **bergförankringar** som finns installerade i många dammar.

Normalt räknar man inte med förankringar vid bedömning av stabiliteten eftersom man inte känner till deras kondition, och att de fordrar en viss rörelse i dammen för att mobilisera någon mothållande kraft.

För dammar med otillräcklig stabilitet finns olika möjligheter att förbättra situationen. Det vanligaste är att installera s.k. **förspända förankringar** som spänner fast dammkonstruktionen mot berggrunden. Ett annat alternativ är ökning av dammkonstruktionens egenvikt, vilket medför förbättrad stabilitet.

Bergförankringar

Bergförankringar används bland annat för att överföra krafter som verkar på dammkonstruktioner av betong till berggrunden. Förankringar monteras i borrarade hål i berget och fastsättningsmetoden är oftast injutning med cementbruk, men det förekommer också härdande kemiska produkter, oftast av tvåkomponenttyp.

Man skiljer på **spända** och **ospända** (slaka) förankringar.

- Spända förankringar har sin förankringszon i berggrunden och löper sedan fritt i betongkonstruktionen. De spänns med en förutbestämd kraft som anbringas mot dammkrönet eller annan yta så att dammkonstruktionen pressas mot grunden. Spända förankringar kan bestå av t.ex. massivstång eller lina (vajer) av stål.
- Ospända förankringar består av massivstång av stål, ofta armeringsstång, som monteras i borrarade hål i berggrunden och gjuts fast med cementbruk. Den uppstickande delen gjuts in i betongkonstruktionen.

Spända förankringar får medräknas som stabilitetshöjande åtgärd under förutsättning att de utförts så att det går att kontrollera funktionen i framtiden. Kontroll sker genom provdragning av förankringen upp till den bestämda spännkraften.

Ospända förankringar får normalt inte medräknas som en stabilitetshöjande åtgärd, dels eftersom de inte är kontrollerbara och dels eftersom de inte tar upp någon last förrän en viss deformation(förlängning) skett. För vissa tillämpningar hos dammar med begränsade konsekvenser i händelse av dammhaveri kan dock ospända förankringar accepteras.



Slaka bergförankringar, Moglice under byggande, Albanien.



Förspända bergförankringar, Storfinnsforsen.

Övriga dammar

Stenmurverksdammar

Stenmurverksdammen är en föregångare till betongdammen och är i allmänhet uppförd av homogena stenblock. De utfördes i allmänhet som gravitationsdammar. Ett antal mindre stenmurverksdammar finns ännu i drift. Stenmurverksdammens största svaghet är fogarna som utförts av cementbruk. Bruket bryts ner vilket leder till läckage. Dåliga fogar och sättningar orsakar ofta läckage som leder till förskjutningar i murverket och försämrad stabilitet.

Det finns varianter där stenmurverk byggs på upp- och nedströmssidan medan utrymmet mellan murverken utgörs av jordfyllning, så kallade **skalmurssdammar**. Sådana hybrider mellan stenmurverksdammar och fyllningsdammar finns i flera olika varianter. Vissa har stenmurverk som utförts som **kallmurar**, dvs. de saknar fogbruk. För sådana dammar utgör då jordfyllningen, och eventuell spont i fyllningen, den tätande zonen medan stenmurverken

utgör de stödjande zonerna. En annan variant är där enbart uppströmsdelen är ett stenmurverk medan övrig del av dammen består av jordfyllning. Sådana dammar kan också betraktas som fyllningsdammar med uppströmsstöd och vågskydd i form av ett stenmurverk.

Trädammar

Förr var trä ett vanligt material för mindre dammar. För att erhålla stabilitet var det vanligt att trädammarna belastades med sten som fylldes i s.k. **stenkistor** som ofta är timrade av rundvirke eller sparrar (fyrkanter). Tätningen mot vattensidan utgörs av en träskärm av spontplank. Eftersom trä är ett material som bryts ner med tiden finns endast ett fåtal trädammar av betydelse i drift. Det är ovanligt att nya dammar byggs i trä.

En annan typ av trädamms som använts är den så kallade **träbockdammen**. Den består av en lutande träskärm av spontplank och stöttor av rundvirke eller sparrar som överför vattenlasten till grunden.



Stenmurverksdamm



Träddamm med spontplank mot uppströmssidan och stödjande stenkistor.

Spontdammar

Spontdammar består av en vattentät skärm som stöds av en fyllning eller av strävor och benämns då enkelspontdamm. Om fyllningen omsluts av en spont även på nedströmssidan används benämningen dubbelspont.

Fångdammar

Fångdammar är temporära dammar uppförda för att torrlägga ett arbetsområde och möjliggöra uppförandet av en permanent konstruktion eller vidta andra åtgärder. Fångdammar utförs vanligtvis som en fyllningsdamm, spontdamm eller kombinationer av dessa.

För en fångdamm som (tillfälligt) ersätter ordinarie damm medför ett haveri konsekvenser likartade de som uppkommer vid ett haveri av den ordinarie dammen. För en sådan fångdamm gäller att dimensionering, arbetsutförande och kontroll under byggtiden utförs likvärdigt med en permanent dammbyggnad.

För en fångdamm som inte ersätter ordinarie damm medför ett haveri att arbetsområdet översvämmas, men några konsekvenser utanför detta uppkommer inte. Kraven på en sådan fångdamm baseras i första hand på bedömningar av arbetsmiljörisker och risk för ekonomisk skada.



Spegeldamm av spont.



Fångdammar för torrläggning av arbetsområde.

Utskovs- och intagskonstruktioner

Utskov benämns de delar av en dammbyggnad där man släpper ut vatten som inte utnyttjas vid anläggningen. I de flesta fall kommer utskovet i huvudsak till användning vid perioder med stor vattentillgång, s.k. flödesperioder.

Intag benämns de delar av en dammbyggnad där man tar in vatten som nyttiggörs. Vattnet kan användas t.ex. för energiproduktion, som process-

vatten, kylvatten, dricksvatten eller för en fiskväg.

Intag och utskov utgör dämmande konstruktioner och utformas enligt samma principer som gäller för andra dämmande delar av en dammbyggnad. Eftersom de vanligen är byggda av betong är det konstruktionsprinciper och regelverk för betongdammar som styr utformningen.

Hos äldre dammar förekommer det dock att utskov och intag är byggda av stenmurverk eller trä.



Anläggning med intagsdamm med tubintag fristående från regleringsdamm.

Avstängningsanordningar

För att kunna reglera och stänga av vattenföringen är intag och utskov i allmänhet utrustade med någon form av avstängningsanordningar, till exempel luckor. Avstängningsanordningarna kan vara utformade på olika sätt. Deras funktion i vattenregleringsavseende beskrivs i kapitel 4 Avbördande funktion. Gemensamt för dem är att de i stängt eller delvis öppet läge har en dämmande funktion.

Avstängningsanordningarna dimensioneras i sin egenskap som dämmande funktion enligt samma principer som gäller för andra dämmande anläggningsdelar.

Grundläggning och anslutningar

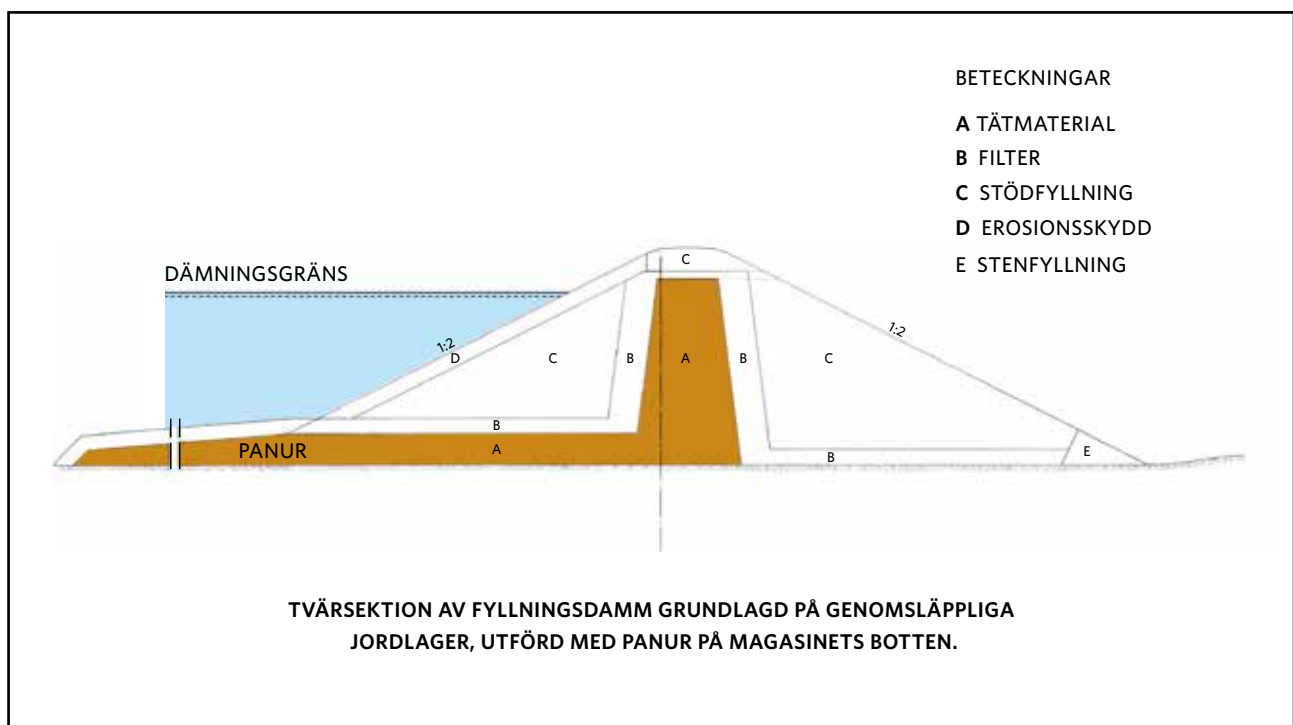
Grundläggning av dammbyggnader är ofta komplicerad eftersom den kräver anpassning till de naturliga geotekniska och geohydrologiska förutsättningarna i och kring dammläget.

Fyllningsdammar kan normalt grundläggas på såväl berg som jord. För grundläggning av betongdammar är det önskvärt med berggrundläggning och för höga betongdammar helt nödvändigt. Särskilt lamell- och valvdammar kräver en goda grundläggningsförhållanden. Om grundläggningsförhållandena i dammläget består av jord är det naturligt att välja att uppföra en fyllningsdamm.

Grundläggning av utskov och intag bör dock göras på berg. Om detta inte är möjligt får dessa delar göras låga och speciella anslutningsåtgärder vidtas, se nedan.

Grunden behöver med tillräcklig säkerhetsmarginal klara den belastning som dammbyggnaden medför, och dessutom vara så tät att inte skadliga läckage eller oacceptabla upptryck uppstår. Det krävs normalt omfattande undersökningar, i form av sondering, provtagning och analys, av berg och jordlager som grundläggningen ska ske på.

I det fall att grunden inte uppfyller ställda krav måste schaktnings-, avjämnings-, förstärknings- och tätningsåtgärder genomföras. Det kan vara till exempel injektering med cement av sprickor och håligheter i bergmassan för att uppnå större bärförmåga och täthet, eller nedslagning av en spontskärm i jorden för att nå tillräcklig täthet. Om undergrunden består av genomsläppliga material och inte uppfyller ställda krav på täthet kan ett alternativ vara att anordna en så kallad **panur** (eng. **blanket**) uppströms om dammen. Den består av ett lager tätjord som läggs ut på botten uppströms och ansluts till dammens tåtkärna eller motsvarande. För att undvika skadlig erosion av tätjorden skyddas panuren genom övertäckning av grövre material med tillräcklig stenstorlek.



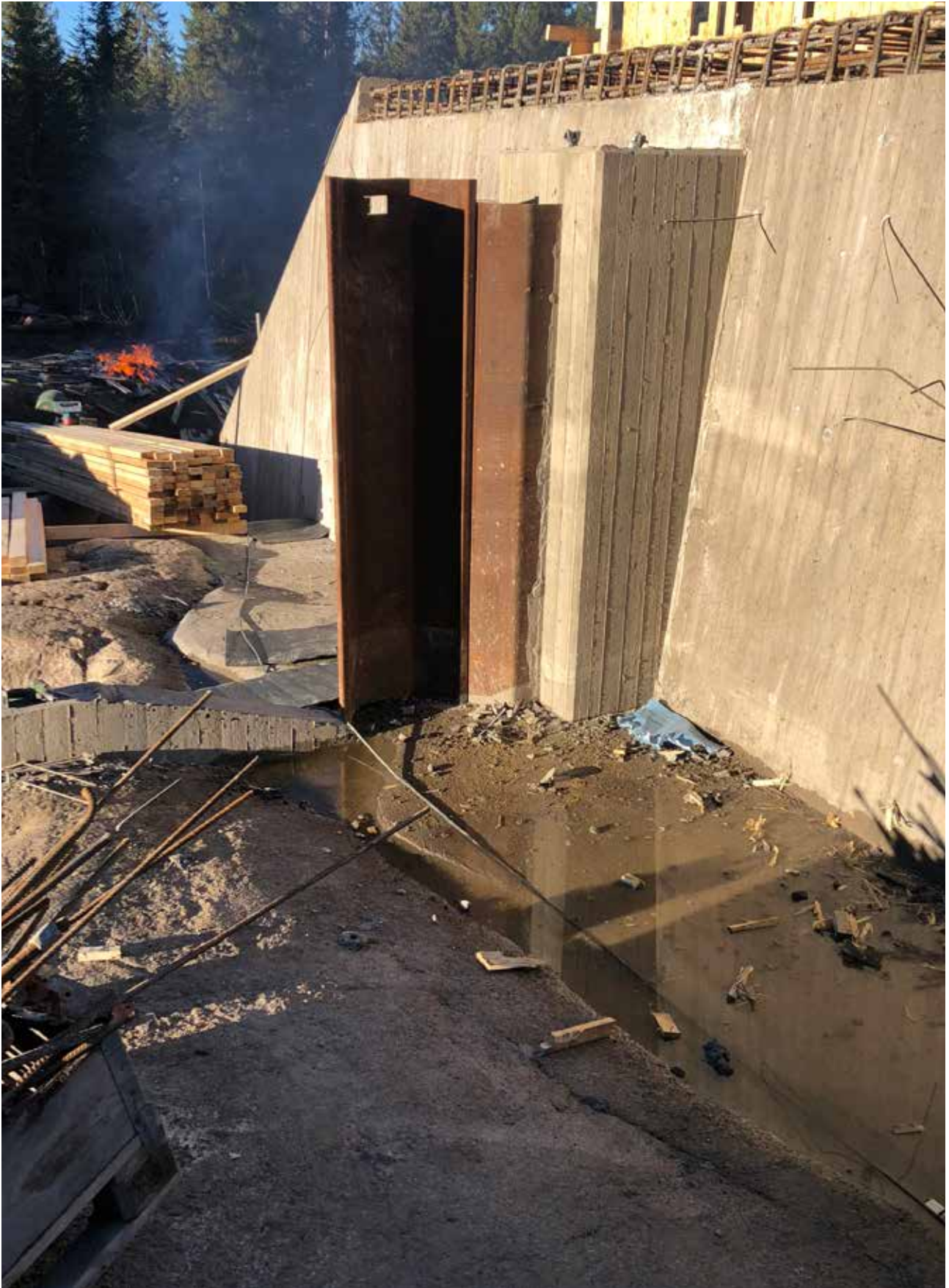
Anslutningar mellan olika typer av dammbyggnader samt mellan dammbyggnad och grund kan ofta utgöra ett problem. Det är därför viktigt att dessa anslutningar utförs omsorgsfullt. Anslutningen mellan en betongdamm och en fyllningsdamm har därför ofta utförts med en övergångskonstruktion bestående av en kort spontskärm som gjuts in i betongen och sedan kringfylls med tätjord som komprimeras omsorgsfullt. Numera utförs

anslutande betongyta med en viss lutning för att underlätta en fullgod komprimering och undvika läckageproblematik.

Vid grundläggning av en betongdamm på berg krävs ofta cementinjektering i kontakzonen (mellan berg och betong) för fullgod täthet. Vid grundläggning på jord krävs speciella åtgärder som till exempel en tätskärm av spont som slås ner i jorden och gjuts in i betongkonstruktionen.



Spår av läckageproblematik vid spont, en rörformig öppen läckväg har bildats i tätkärnan.



Spont vid anslutning betongkonstruktion-fyllningsdamm.



4. Avbördande funktion

Den avbördande funktionen syftar till att leda vatten, is och drivgods från magasinet uppströms till vattendraget eller magasinet nedströms om dammanläggningen.

I detta kapitel fokuseras på avbördning av vatten medan problemställningarna med is och drivgods nämns där det är av särskilt intresse samt i ett eget avsnitt.

Den avbördande funktionen omfattar ett system av byggnadsverk, avstängningsanordningar och annan utrustning som kan användas för att släppa ut vatten i önskad omfattning. Man skiljer på aktiv reglering och passiv reglering. Aktiv reglering innebär att vatten avbördas i sådan omfattning att önskad vattennivå uppströms kan hållas eller uppnås. Aktiv reglering kräver att det finns någon form av rörlig anordning, till exempel en lucka, som används för att reglera vattenflödets storlek. Passiv reglering innebär att vattennivån uppströms bestämmer det avbördade flödets storlek, till exempel vid överströmning av en fast tröskel i ett överfall.

Begreppet utskov betecknar en anläggningsdel som används för att släppa vatten genom eller förbi en anläggning. **Ytutskov** är sådana där man har en fri vattenyta medan **bottenutskov** kännetecknas av en övre begränsning i höjddled.

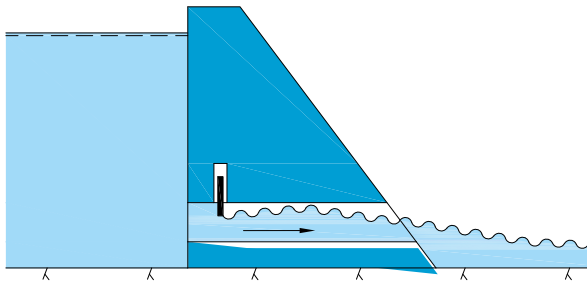
Vattenvägar och energiomvandlare

Med vattenvägar menas de byggnadskonstruktioner som leder vattnet fram till, genom eller förbi dammen och åter till vattendraget. Begreppet vattenvägar används generellt för anläggningsdelar som leder vatten och är således en samlingsbeteckning för tunnlar, kanaler, rännor, rör och kulvertar, även när de används för den vattenföring som nyttiggörs i anläggningar, till exempel i ett vattenkraftverk. I det följande beskrivs vattenvägar för avbördning av vatten som inte nyttiggörs i anläggningen.

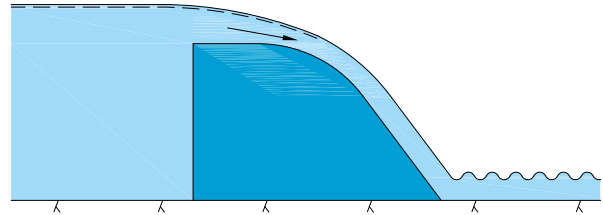
Storleken på den vattenmängd som avbördas beror bland annat på storleken hos den s.k. **bestämmande sektionen**, se även avsnitt Avbördningskapacitet nedan. Den bestämmande sektionen är i allmänhet öppningen där regleringsanordningen är placerad eller tröskeln hos en överfallsdamm. Uppströms om den bestämmande sektionen utgörs vattenvägen av betongkonstruktioner, till exempel ledmurar, eller av slänter som skyddas mot erosion av det strömmande vattnet. Dessa anläggningsdelar utformas så att de utan skador tål de vattenhastigheter som uppkommer vid maximalt vattenflöde.

I den bestämmande sektionen och omedelbart nedströms består konstruktionen av betong i form av ett tråg med botten och väggar. Bottenplattan nedströms kallas ofta **skibord** om den är lutande. Om den är istället är i stort sett horisontell är beteckningen ofta utskovsbotten.

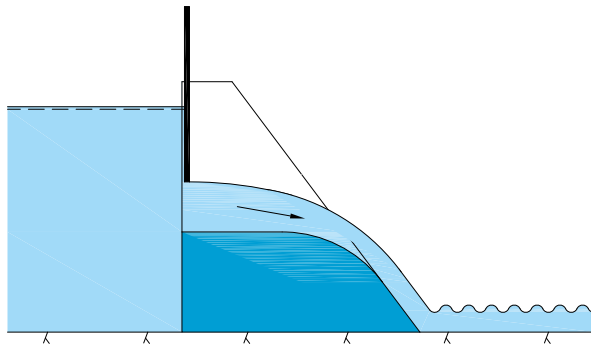
BOTTENUTSKOV



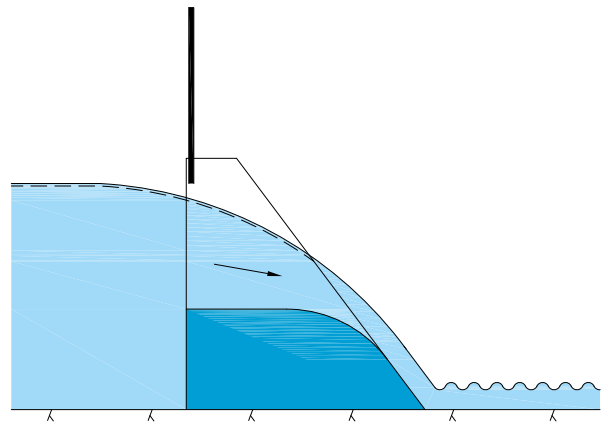
**YTUTSKOV
ÖVERFALL**



**YTUTSKOV
DELVIS ÖPPEN LUCKA**



**YTUTSKOV
HELT ÖPPEN LUCKA**



Tvärsektioner för bottenutskov och olika typer av ytutskov.

Vid vattentappning omvandlas vattnets lägesenergi i magasinet till rörelseenergi i form av strömmande vatten. Vattenvägen nedströms måste tåla påverkan av det strömmande vattnets hastighet som i många fall kan vara betydande.

Vid många anläggningar behöver vattnets hastighet minskas innan det tillåts flöda ut i vattendraget nedströms för att undvika skadlig erosion. För detta ändamål anläggs då så kallade **energiomvandlare** som omvandlar vattnets rörelseenergi till friktionsvärme genom att bromsa upp vattenflödet. Det kan ske på olika sätt genom till exempel en bassäng nedströms eller genom hinder i form av klackar i vattenvägen.

För anläggningar med begränsad fallhöjd och med erosionstål berggrund nedströms kan energiomvandlingen ofta ske utan en anlagd energiomvandlare. Vid energiomvandlingen och längs vattenvägen på nedströmssidan kan olika typer av strömningsfenomen uppstå, till exempel virvlar och **vattensprång** (se figur nästa uppslag), som måste beaktas vid utformningen så att inte skadlig överströmning eller överspolning av ledmurar längs vattenvägen nedströms uppstår.

Området omedelbart nedströms den anlagda vattenvägen är ofta utsatt för erosion som om den utvecklas kan bli bakåtgripande och leda till underminering av konstruktioner och andra skador.



Energiomvandlare. Klackar i vattenvägen.



Energiomvandlare. Bassäng nedströms skibord.



Anläggning utan energiomvandlare med ledmurar nedströms.

Avbördningsförhållanden

Avbördningskapacitet

Avbördningskapaciteten hos ett utskov, dvs. vilket flöde som kan ledas genom utskovet, beror i huvudsak på tre parametrar

- Utskovets bredd
- Vattenytans höjd över tröskeln
- Strömningsförhållandena

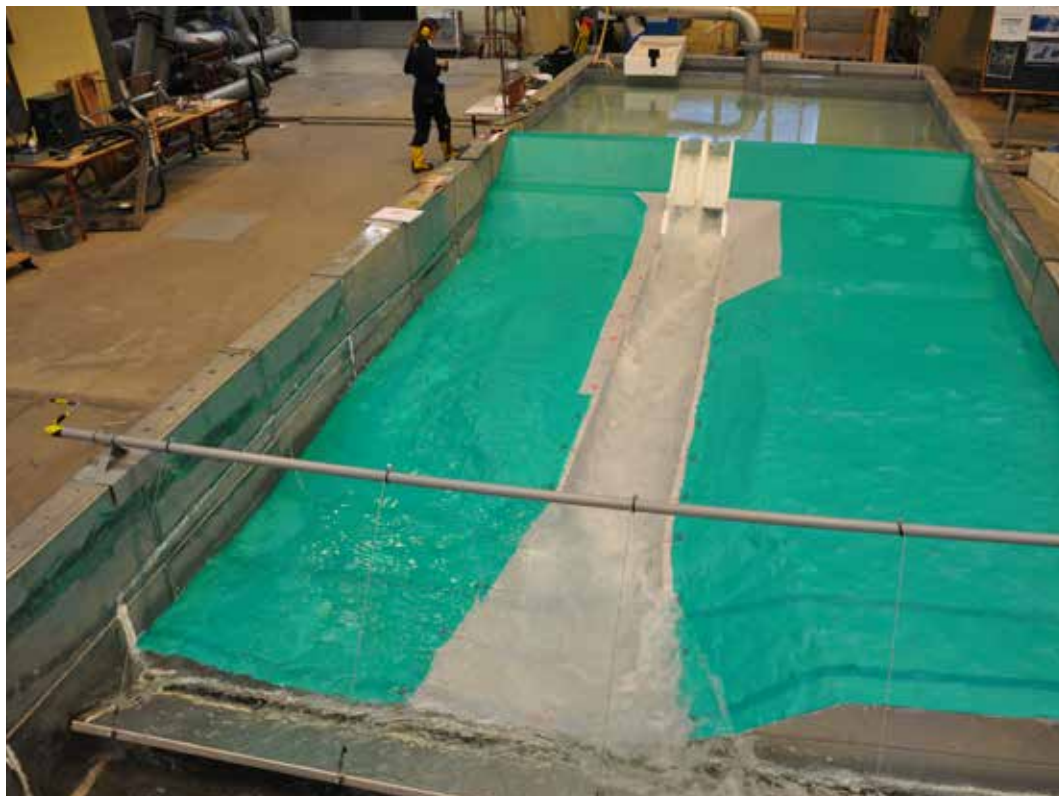
Kapaciteten är direkt proportionell mot utskovets bredd men ökar exponentiellt med vattenytans höjd över tröskeln. Ett djupare och smalare utskov har således större kapacitet än ett bredare och grundare. Av denna anledning blir kapaciteten hos s.k. överfallsutskov mycket begränsad vid låg överströmningshöjd.

Strömningsförhållanden är i hög grad beroende på utskovets utformning. Rundad form hos pelare,

tröskel och skibord istället för skarpa kanter ger ökad avbördningskapacitet.

Vid nybyggnad av en dammanläggning bestäms erforderlig avbördningskapacitet med hjälp av "Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar" [3]. För att säkerställa att verklig kapacitet motsvarar kravet utförs noggranna beräkningar för den föreslagna utformningen. För större anläggningar eller komplicerade strömningsförhållanden är det vanligt att utgöra s.k. modellprov genom att bygga upp en skalenlig **modell i ett hydrauliskt laboratorium**. Med denna kan strömningsförhållanden studeras och avbördningskapaciteten bestämmas med god noggrannhet. Det finns numera också datorverktyg som kan användas för simulering.

Vid projektering för ombyggnad av en anläggning kan samma metoder användas. Datormodeller kan i dessa fall dessutom kalibreras mot verkliga befintliga förhållanden vilket är en fördel.



Modellförsök i Älvkarlebylaboratoriet.

En generell formel för avbördningskapaciteten hos ett utskov är

$$Q = B * H^{1,5} * K$$

där

Q = Avbördning (m³/s)

B = Utskovsöppningens bredd (m)

H = Vattenytans höjd över utskovsöppningens tröskel (m)

K = Konstant som är beroende av utskovets utformning

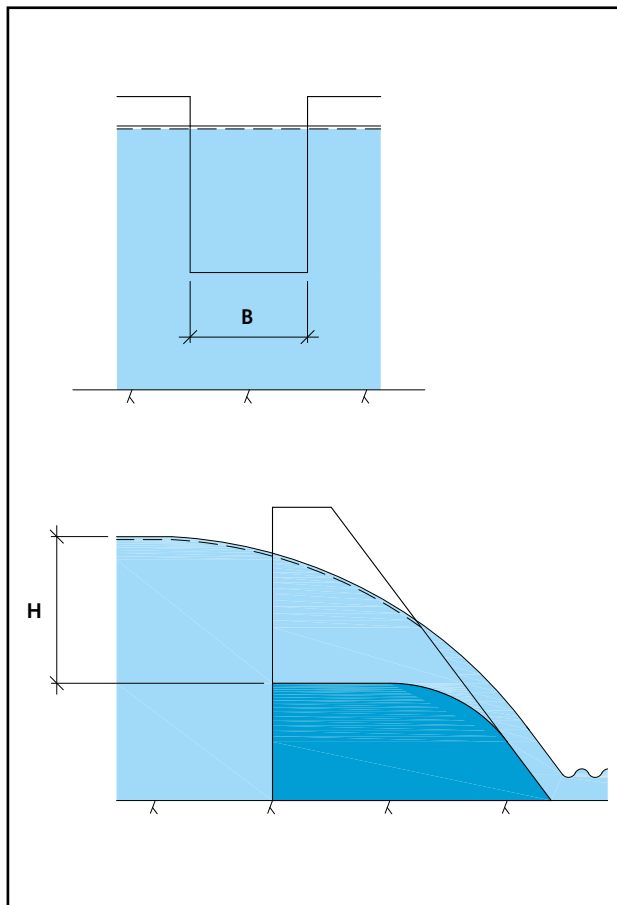
För en enkel överslagsberäkning kan K ofta anges till 1,5.

Notera att en hög nedströmsvattenyta eller andra speciella förhållanden kan medföra att nämnda formel inte är giltig. I sådana fall finns andra handboksformler som kan användas för överslagsberäkning.

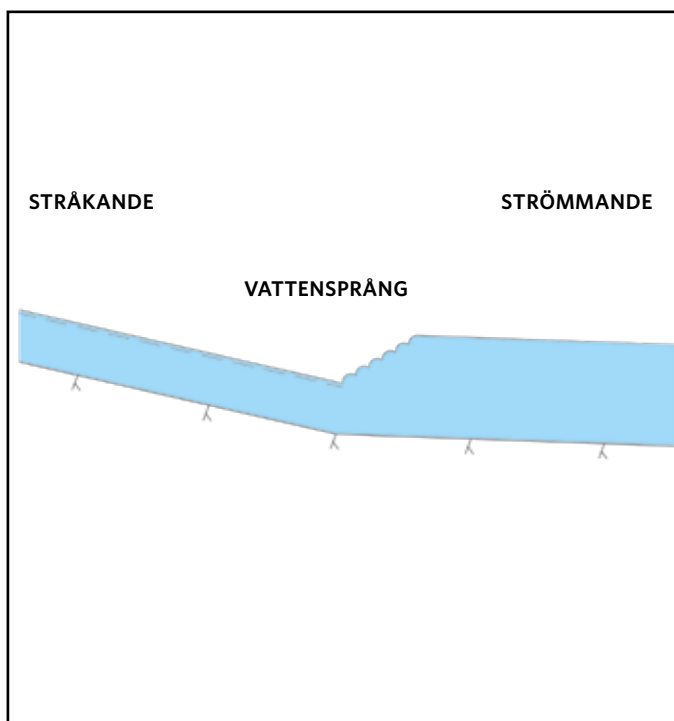
Exempel

För ett utskov med fri bredd på 1,2 m och där lugnvattenytans höjd över tröskeln är 2 m blir avbördningen överslagsmässigt beräknad

$$Q = 1,2 * 2^{1,5} * 1,5 = 5 \text{ m}^3/\text{s}$$



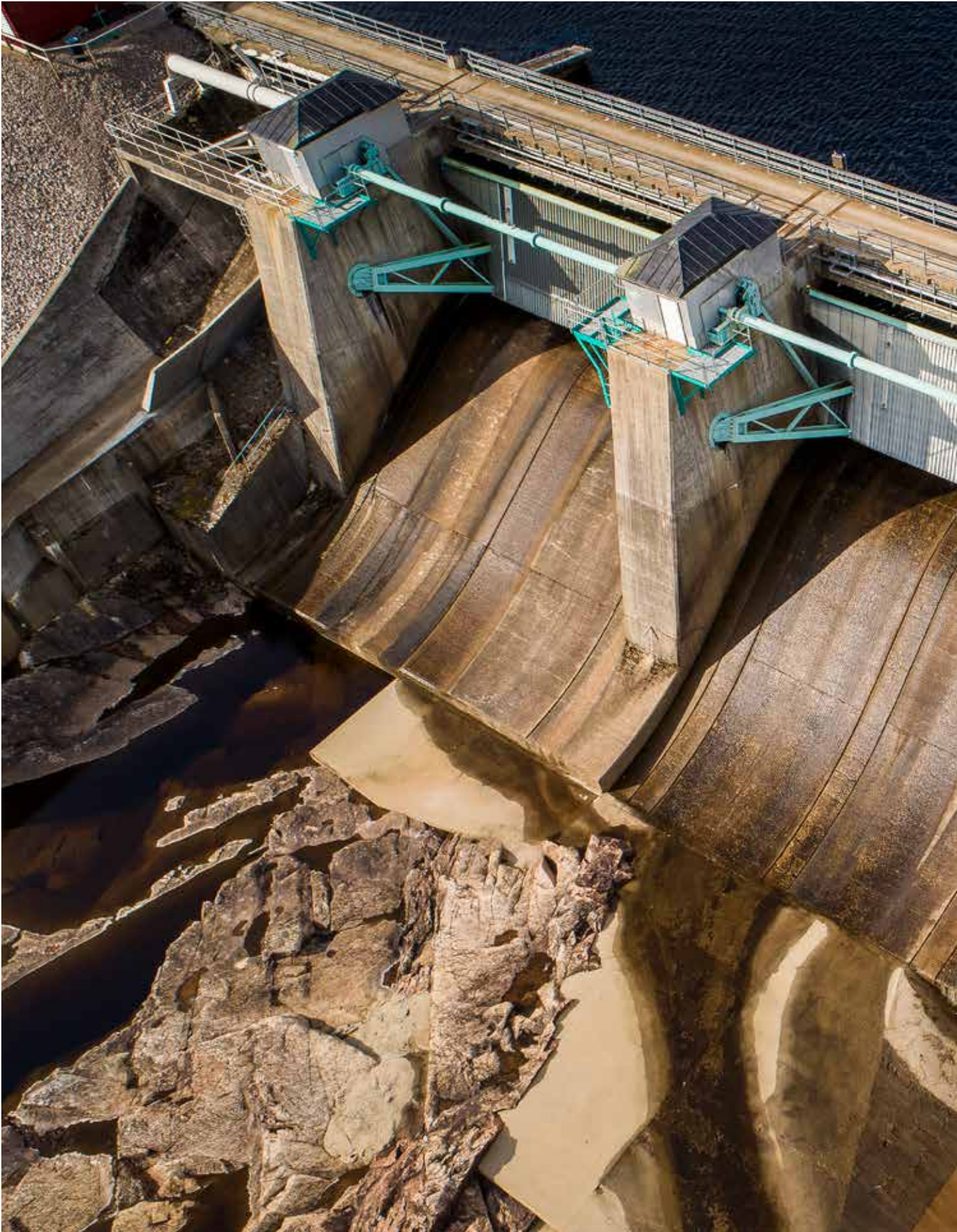
Utskov med fri bredd B och lugnvattenytans höjd H över utskovströskeln.



Vattensprång

Vattnets rörelse kan vara strömmande eller stråkande beroende på vattenhastighet och vattendjup. Begreppet strömmande benämns numera subkritisk strömning medan stråkande benämns superkritisk strömning. Ofta används dock fortfarande de äldre begreppen.

Omedelbart nedströms ett utskov är ofta vattnets rörelse **stråkande** om utskovsbotten lutar. När vattnet nedströms om utskovet bromsas upp övergår vattnets rörelse till att bli **strömmande** till följd av att vattenhastigheten minskar. Samtidigt höjs vattenytan. Övergången mellan stråkande och strömmande rörelse benämns vattensprång. Vid övergången uppstår virvlar och oregelbunden vattenströmning som kan orsaka erosion.





Avbördningsanordningar

Avbördningsanordningar är ett samlingsnamn för de rörliga avstängningsanordningar i en damm med vilka det går att reglera vattenflödet från ett vattenmagasin. Motsvarande anordningar finns också för att stänga av vattenflödet till en kraftstation eller liknande, de kallas då ofta intagsluckor eller intagsavstängningar. Detta avsnitt behandlar avbördningsanordningar i dammar. Anordningar för intag belyses inte.

Lucktyper

Som avbördningsanordning används oftast någon typ av lucka. Det finns även anordningar som inte är luckor, till exempel sättar, nålar och ventiler.

Den i Sverige vanligast förekommande luckan hos stora utskov är segmentluckan och hos mindre utskov planluckan.

Segmentluckan är en mot vattnet välvd stålkonstruktion med stödben som överför vattenlasten till de i dammpelarna lagrade axeltapparna. Vid öppning lyfts luckan och roterar kring axellagringen. Vattnet avbördas under luckan. Segmentluckan är en robust konstruktion som om den underhålls på rätt sätt inte har några egentliga nackdelar. Den har

tätningsslistor av gummi på sidorna och i underkant som tätar mot i betongen ingjutna anslag i form av plåtar. Den kan användas i ytutskov, och, om den förses med överkantstättning, även i bottenutskov.

Planluckan finns i ett stort spann av storlekar, från små tillverkade av trä till stora som då är stålkonstruktioner. Planluckor överför vattenlasten till vertikala falsar i dammpelarna eller till stående stål-balkar, så kallade gåtar, om utskovets bredd fördelats på mer än en lucka.

Små planluckor överför vattenlasten via glidlistor som monteras på luckans vertikala kanter. Glidlisterna bör utföras av material med låg friktionskoefficient för att begränsa den kraft som fordras för att manövrera luckan.

Större luckor har ett bärverk av balkar som överför vattenlasten till falsarna. Breda planluckor kan vara välvda mot vattnet för att få tillräckligt stor konstruktionshöjd hos bärverket. För stora luckor används hjul som löper i falsarna. Hjulen har smorda lagringar för att inte manövreringskrafterna ska bli för stora. Små luckor av trä har ofta inga särskilda tätningar medan större luckor har tätningsslistor av gummi på motsvarande sätt som segmentluckan.



Segmentluckor



Mindre planluckor.



Stora planluckor.



Sektorlucka

Sektorluckan är en mot vattnet välvd stålkonstruktion som överför vattenlasten till en nedströms om luckan belägen betongkonstruktion vars överkant utgör tröskelnivå. Vid öppning sänks luckan så att vattnet strömmar över densamma. Dammdelen där luckan finns har en grop under luckan som den kan sänkas ner i. Vattenlasten förs över till betongkonstruktionen via lagrade infästningar i tröskelnivå runt vilka luckan roterar vid manövrering. Luckan har sin största fördel i att den kan användas för att avbörda drivgods och is på vattenytan. Luckan användes ursprungligen för lösflottning av rundvirke. Sektorluckan är dock mer underhållskrävande än övriga luckor genom att dess bärverk av invändiga balkar och strävor finns i en fuktig miljö samt att lagringar och tätning mot tröskel är komplicerade och svåråtkomliga.

Vaggluckan är en variant av sektorluckan som är möjlig att både sänka ner och lyfta upp. Den kan således avbörda vatten antingen över eller under luckan. Med hänsyn till kostnaden är varken sektorluckan eller vaggluckan något alternativ för nyinstallation i Sverige, nu när flottning inte längre förekommer.

Valsluckan är en lucka som består av en liggande stålcylander, med invändigt bärverk i form av ett balksystem, som överför vattenlasten till dammpelare på båda sidor. Stålcylindern kan vara försedd med en skärm på över- eller undersidan beroende på utskovets djup och bredd. Valsluckan har stor bredd men är en ålderdomlig konstruktion som inte installerats efter 1930-talet i Sverige. Vid öppning roterar luckan och klättrar på en fast kuggbana i dammpelarna med hjälp av kuggar på luckan. Öppning sker med ensidig lyftkraft och avbördning av vatten sker under luckan. Luckan stängs av sin egenvikt. Valsluckan är inte något alternativ för nyinstallation i Sverige.

Klaffluckan är en plan lucka som är lagrad vid tröskelnivån på motsvarande sätt som sektorluckan. Skillnaden är att den roterar åt nedströmshållet kring lagringarna vid öppning, och att vattnet avbördas över luckan. Det är en lucka som kan utformas med stor bredd. Den kan öppnas av vattentrycket utan tillgång till kraft. Vid stängning fordras dock förhållandevis stor kraft för att lyfta luckan och den vattenvolym som strömmar över densamma. Klaffluckan finns med begränsad bredd hos en del äldre dammar. På senare tid har nyinstallation av klaffluckor med stor bredd utförts i anläggningar där det finns behov av avbördning av drivgods samt avbördning utan tillgång till elkraft i en nödsituation.

Andra lucktyper än de som nämnts ovan förekommer på enstaka anläggningar i Sverige. En typ som används i bottenutskov, till exempel hos utskovstorn, är **cylinderluckan**. Den består av en stålcylander som lyfts så att vattnet avbördas under luckan och ner i ett schakt och vidare i en kulvert/tunnel som mynnar nedströms om dammen.

En annan typ är **gummiluckan** som används för ytavbördning. Den består av en liggande cylinderformad gummiduk som är fast monterad på en betongtröskel och fylld med luft. Vid avbördning släpps luften ut, gummiluckans krön sjunker och vatten strömmar över den.



Valslucka



Klafflucka



Utskovstorn



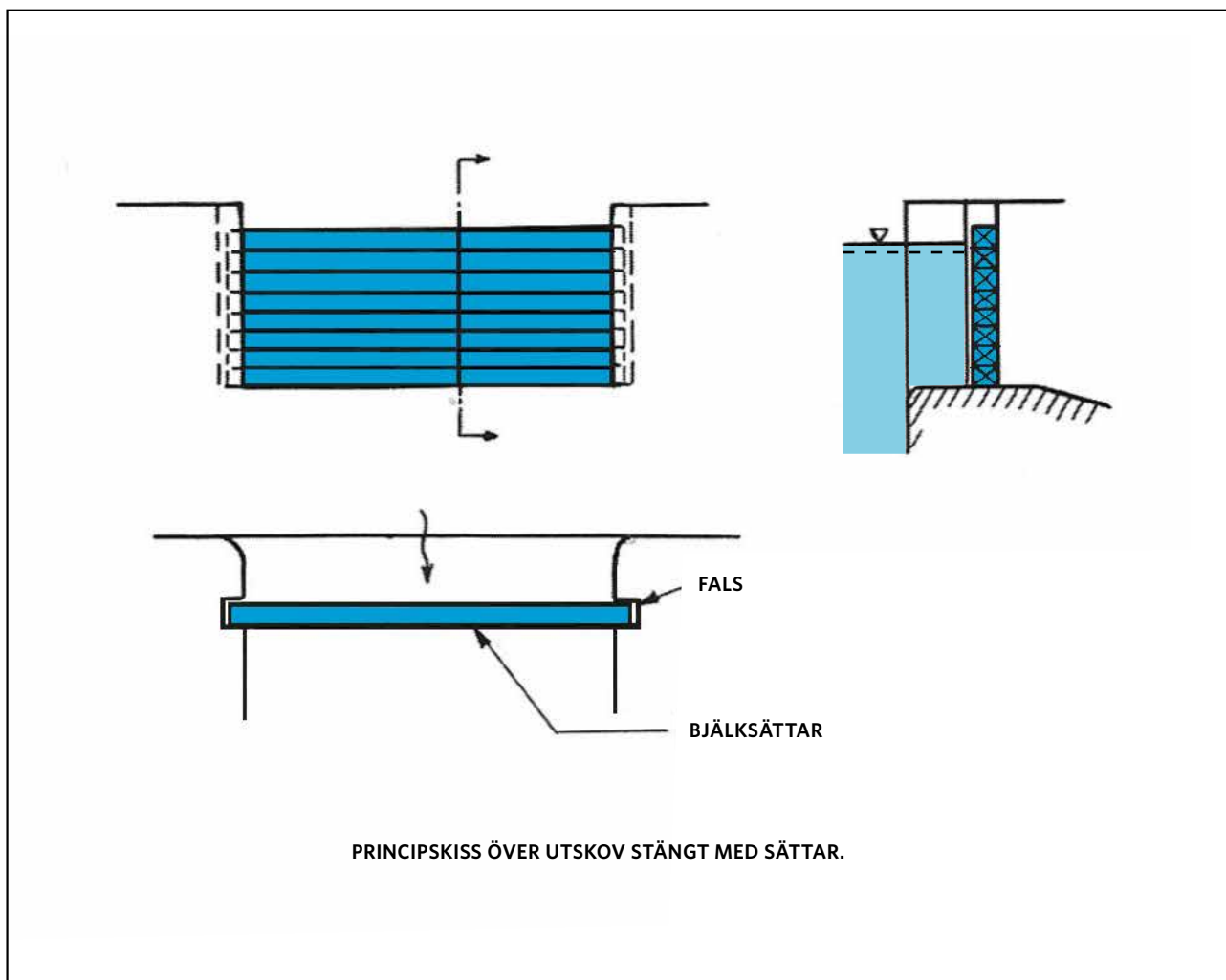
Gummilucka

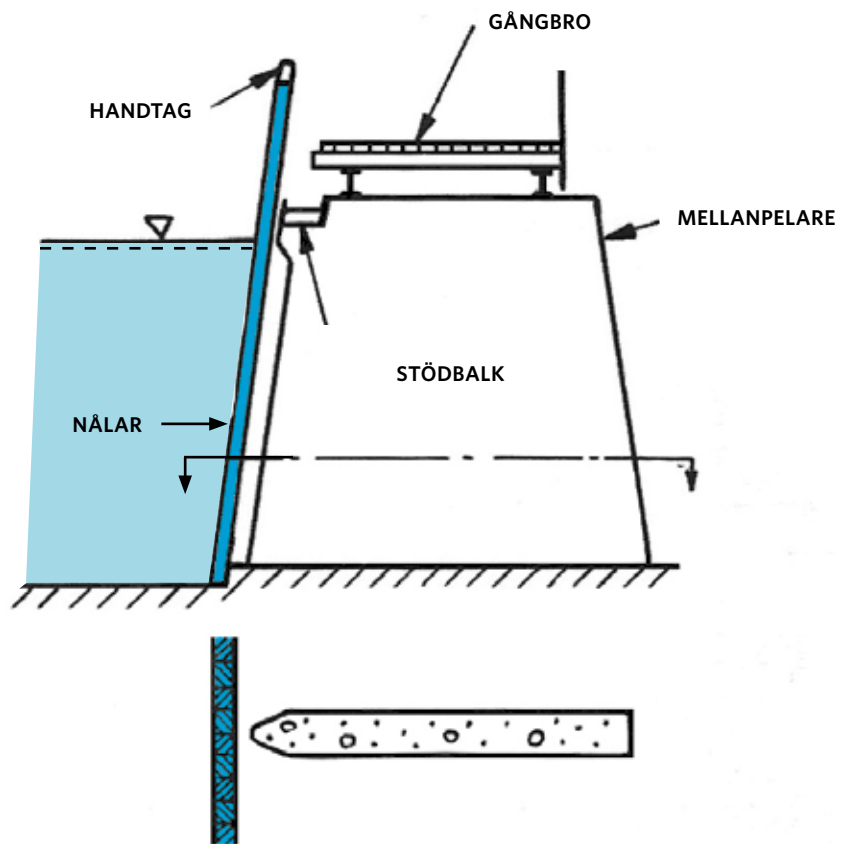
Alternativ till luckor

Sättavstängning är en enkel konstruktion med vissa begränsningar som gör att den inte kan anses vara en fullvärdig avbördningsanordning med avseende på flödestappning. Den består av på varandra staplade balkar, så kallade sättar, som överför vattenlasten till vertikala falsar i dammpelarna eller till stående stålbalkar, gåtar, om utskovets bredd fördelats på mer än en avstängningsanordning. Materialet i sättarna kan vara trä, stål eller betong. Öppning sker genom att sättarna lyfts en och en vilket betyder att vatten avbördas över kvarvarande sättar. Detta gör att det kan vara svårt att lyfta ur sättar vid stor överströmningshöjd. Sättutskov lämpar sig bäst för reglering av magasin genom överrinning

vid små tillrinningar samt vid succesiv sänkning av vattenytan i ett magasin genom att lyfta av en sätt i taget med visst tidsintervall i takt med att vattenytan sjunker.

Nålavstängning som avbördningsanordning är en ålderdomlig konstruktion som i stor utsträckning ersatts av andra alternativ. Den består av stående balkar som överför lasten till ett anslag vid utskovets tröskel och till ett upplag i form av en stödbalk eller brobana vid överkanten. Materialet i nålarna är oftast trä. Vid öppning dras nålarna upp en och en med början vid ena dammpelaren. Vid stängning skjuts nålarna ner en och en i det strömmande vattnet. Manövrering av nålutskov kräver vana och kan vara förenat med arbetsmiljörisiker.





PRINCIPSKISS ÖVER UTSKOV STÄNGT MED NÅLAR.

Ventiler används som avbördningsanordning i utkov belägna på stort djup, till exempel bottenutskov för avsänkning av magasin. De har en cirkulär öppning och är begränsade när det gäller storlek varför de normalt inte används för flödestappning.

I utlandet förekommer en avbördningsanordning som kallas **"fuse gate"**. Den saknar manövreringsanordning och består av en stål- eller betongkonstruktion som vid förhöjda vattennivåer uppströms blir instabil och tippar så att vatten avbördas. Det behövs således ingen operatörsinsats för att öppning av utskovet. Denna typ av anordning byggs åter upp när avbördningen upphört och nivån sjunkit så att utskovströskeln är torrlagd. Ett alternativ till sådana luckor kan ibland vara att anlägga en eroderbar dammdel, en s.k. **"fuse plug"**.

En **eroderbar dammdel** konstrueras på liknande sätt som en vanlig fyllningsdamm, men med skillnaden att nedströms stödfyllning ska vara mer lätteroderad för att dammen säkert går till brott vid överströmning.

För svenska förhållanden hitintills mer ovanliga sätt att öka avbördningsförmågan vid dammanläggningar beskrivs i en rapport från Energiforsk [6].

Manövreringsutrustning

Luckor och andra anordningar som används för avbördning måste ha en tillförlitlig manövreringsutrustning för öppning och stängning. Flera av de anordningar som beskrivs nedan kan användas för flera typer av luckor. Manövreringsutrustningen kallas ofta för **luckspel**. Beroende på luckornas storlek och behov av manövreringskraft kan spelen var enkla eller dubbla. Enkla spel lyfter i de flesta fall i centrum på luckan medan dubbla spel oftast har sin infästningspunkt nära luckans vertikala kanter.

Mekaniska spel av olika utförande är vanliga för äldre luckor och för mindre nyare luckor. De varianter som förekommer är **kuggstångspel**, **linspel** och **skruvspel**. Samtliga har i normalfallet en elektrisk motor som drivkälla. För manövrering av sättar och mindre luckor förekommer även mekaniska spel för muskelkraft. Kuggstångspel består av ett tandat hjul som påverkar en kuggstång som är monterad på luckan. Linspel består av en lintrumma som roterar och lindar upp en ställina (vajer) som är fäst i luckan. Skruvspel består av en snäckväxel som påverkar en gängad stång som är fäst i luckan.

Hydrauliska spel är vanliga för nyare luckor och är för större luckor den dominerande manövreringsutrustningen. Den består av en hydraulcylinder vars

kolv påverkas av ett vätsketryck från en elektriskt driven hydraulpump. Vätskan är traditionellt olja men på senare tid har även installation med vatten som medium förekommit. Vattnet har då kemiska tillsatser för frostskydd och andra önskade egenskaper.

För mindre luckor förekommer **handmanövrerade anordningar**. Den enklaste är spett som med kroppstyngden förmås att stegvis öppna en lucka genom den utväxling som erhålls över en brytbalk. Luckor som manövreras med spett kallas ofta spettluckor efter manövreringsanordningen. För denna typ av luckor används numera ofta handmanövrerade mobila hydrauliska spel där en liten hydraulcylinder ger kraft för att stegvis manövrera en lucka.

Reservmanövreringssystem

Utskovsluckor manövreras normalt med ordinarie manövreringssystem som beskrivits ovan. Vid haveri eller annat fel hos detta system kan det behövas ett reservmanövreringssystem. Behovet av reservmanövreringssystem är anläggningsberoende och beror på till exempel lucktyp, antal luckor, vattentytans stighastighet i olika onormala situationer, etc.

För stora luckor kan reservmanövreringssystemet behöva utgöras av ett från ordinarie system helt fristående system som ger erforderlig lyftkraft. För mindre luckor kan reservmanövreringssystemet bestå av tillförd lyftkraft från t.ex. mobilkran eller andra lyftanordningar. Oavsett vilken typ av reservmanövrering som väljs är det viktigt att lösningen provas under realistiska förhållanden för att säkerställa att den fungerar.



Fältförsök med överströmning av en eroderbar dammdel som byggts upp i ett utskovsparti.



Hydrauliskt spel.



Mekaniskt spel av kuggstångstyp.



Spettluckor och spett (liggande i bild).

Elsystem (kraftförsörjningssystem)

De elektriska systemen har en mycket viktig roll för både den avbördande och den kontrollerande funktionen hos en dammanläggning. Mindre dammanläggningar som har handmanövrerade avbördningsanordningar kan dock ibland helt sakna elsystem.

Kraftmatning

Elkraft till motorer behövs för manövrering av avbördningsanordningar. Elkraft behövs även till belysning och värme på dammen och i utrymmen som inrymmer delar av manövreringsanordningarna, samt till värme- och i frihållningsanordningar för att säkerställa funktionen hos de luckor som ska kunna användas under vinterperioden. Vidare behövs elmatning för de kontrollerande funktioner som beskrivs under kapitel 5.

För anläggningar där det är viktigt ur säkerhetsynpunkt att manövrering av luckor kan ske utan tidsfördröjning är elsystemet normalt dubblerat för att säkerställa funktionen.

Reservkraft

I händelse av avbrott i ordinarie elmatning behövs i många fall någon form av reservkraft. Reservkraft kan anordnas på flera olika sätt. Ett vanligt sätt är ett motorgeneratoraggregat som startar när ordinarie elmatning bryts. Oftast är drivmedlet diesel varför benämningen i dagligt tal ofta är dieselaggregat eller reservaggregat.

Andra former av reservkraft kan vara ett uppladdningsbart batteri eller en ackumulator med trycksatt olja som klarar den lucköppning som är nödvändig för att avbörda aktuellt vattenflöde. Batterikraften kan användas för att direkt driva luckspelets likströmsmotor eller omvandlas till växelspanning för drift av växelströmsmotorer. Batterisystemet kan vid bortfall av ordinarie elmatning också ha en viktig roll i elförsörjningen för de kontrollerande funktionerna.

Försvårande omständigheter

För en god avbördningssäkerhet behöver, utöver rätt dimensionerade och väl fungerade avbördningsanordningar vad gäller de tekniska systemen, även andra omständigheter beaktas. Ett urval sådana beskrivs i det följande.

Drivgods kan reducera avbördningskapaciteten om det skulle fastna i utskovsöppningarna. Riskerna för drivgodsproblem är beroende av förekomsten

av drivgods som kan transporteras till utskoven, utskovsöppningens fria bredd och avståndet från magasinsvattenytan till fasta ovanförliggande begränsningar, i form av till exempel en brobana.

Förekomst av drivgods beror på vattendragets karaktär uppströms dammen. Om det till exempel finns branta skogbevuxna slänter där erosion eller hård vind kan medföra att träd hamnar i magasinet kan risken för drivgods vara stor. Även stränder med flytbryggor, båtar och andra föremål kan medföra stor risk för drivgods, särskilt när vattennivån är högre än normalt.

En del anläggningar är försedda med en flytande drivgodsläns uppströms, med syfte att samla in flytande föremål så att de inte kan nå intag och utskov. Det är viktigt att sådana länsor är dimensionerade för högflödesförhållanden och att de underhålls. Om ett länshaveri inträffar i en flödesituation när drivgods ansamlats finns risk för omfattande problem med igensättning av utskov.

För manövrering av avbördningsanordningar under **vinterförhållanden** krävs olika former av värmesystem hos de luckor som ska vara tillgängliga. Värme behövs dels för att undvika fastfrysning av tröskel- och sidotätningar och dels för att förhindra att is bildas på luckbladets uppströmssida. För att inte istäcket ska frysa fast i luckan behövs isfrihållning så att en vak upprätthålls på luckans uppströmssida. Även för vattennivåmätningen är motsvarande vinteranpassning nödvändig för att säkerställa funktionen.

Flytande is i form av flak som kan fastna i utskov kan orsaka reducerad avbördningskapacitet på samma sätt som beskrivits för drivgods.

Ett annat fenomen som kan orsaka igensättning är **iskravning**. Iskravning innebär att underkylt strömmande vatten bildar iskristaller när det träffar ett fast föremål, och kan på så sätt skapa isproppar. Iskravning uppstår innan ett istäcke bildats uppströms och är mer påtaglig ju lägre lufttemperatur som råder.



Stora flyttuvor på magasinet vid utskovskulvert.



Påfrysning mot uppströmssidan av segmentlucka.



Flyttuva ligger an mot sättlucka och begränsar överströmningen.

Säker åtkomst till anläggningsdelar

Ytterligare aspekter att beakta är **tillfartsvägar, brobana och säker åtkomst av anläggningsdelar** under olika väder- och driftförhållanden. För manuell manövrering, reservmanövrering och hantering av driftproblem, till exempel borttagning av drivgods, krävs framkomlig tillfartsväg. Det är önskvärt med tillfartsväg till dammanläggningen från båda sidor av vattendraget.

För tillträde till, och åtkomst av olika anlägg-

ningsdelar i samband med drift, felsökning och underhållsaktiviteter, behövs anordningar som är användbara och säkra. Det kan röra sig om trappor, stegvägar, plattformar mm. Sådana anordningar utförs så att de kan användas säkert under olika driftförhållanden, till exempel vid flödestappning.

Brobanan över utskoven är mycket viktig för olika drift- och underhållsaktiviteter. Den behöver ha tillräcklig bredd och bärighet för fordon och andra åtgärder som kan bli nödvändiga.



Trappa för åtkomst till mätinstallation.



Gångbana och stegar för säker åtkomst till spelkur och luckor.



Varningsskylt för information om fara vid dammanläggning.

Allmänhetens säkerhet vid dammanläggningar

Med allmänhetens säkerhet menas skydd av liv och hälsa för människor som vistas i närheten av dammanläggningar och anslutande vattenvägar. Allmänhetens säkerhet handlar inte om att förebygga okontrollerad utströmning av vatten från magasinet till följd av ett dammhaveri, utan om säkerhet vid ordinarie drift av anläggningen.

Säkerhetsåtgärder och ansvar

Allmänhetens säkerhet kan uppnås genom olika säkerhetsåtgärder såsom att

- Informera
- Varna
- Hindra
- Underlätta räddning

Dammägare kan informera om risker vid dammanläggningar genom att upprätta och delge informationsmaterial till berörda. Vidare är goda kontakter med länsstyrelse, räddningstjänst och kommun en förutsättning för dammägare att hålla sig underrättade om aktiviteter i närheten av anläggningen.

Exempel på varningsanordningar är skyltning, varningsbojar, samt akustiska eller visuella larmanordningar. Exempel på fysiska hinder för att hindra eller försvåra tillträde och/eller åtkomst är stängsel och bommar. För att underlätta räddning kan anläggningar kompletteras med hjälpmedel såsom livbojar, stegar, handtag och vajrar.

Dammägaren är ansvarig för säkerhetsåtgärder i anslutning till dammanläggningen. Den enskilda individen har ett ansvar att hålla sig informerad om faror och att iaktta försiktighet intill vattendrag, såväl utbyggda som outbyggda.

Analys och anpassning av säkerhetsåtgärder

Omfattningen och utformningen av säkerhetsåtgärder anpassas till dammanläggningens lokala förhållanden. Dammägarens analys av förhållandena utgör grunden för val av säkerhetsåtgärder.

Vid dammanläggningen bör allmänhetens åtkomst till bl.a. följande anläggningsdelar beaktas.

- Dammar
- Magasinet
- Öppna vattenvägar och energiomvandlare
- Tunnlar

- Intag och utlopp
- Intags- och utskovsluckor
- Tillhörande manövrerings- och elsystem

Driftsituationer att beakta är bl.a. förekomst av plötsliga spill, frånslag och hastiga magasinsavsänkningar.

Lokala förhållanden att beakta är bl.a. förekomst av allmänna vägar över dammar eller i nära anslutning till dammar och anslutande vattenvägar, vandringsleder, allmänna bad, transporter över vatten eller is samt andra fritids- eller turistverksamheter i närheten av anläggningen.



5. Kontrollerande funktion

Den kontrollerande funktionen för en dammanläggning omfattar mät-, styr- och reglersystem för dels driften av anläggningen, dels övervakningen av de dämmande och avbördande funktionerna.

Här ingår system för övervakning och hantering av vattnet i magasinet, tappningen förbi och genom anläggningen samt för övervakningen av själva dammen och tillhörande teknisk utrustning.

Omfattningen av den kontrollerande funktionen skiljer sig avsevärt mellan olika anläggningar beroende på storlek, komplexitet, belägenhet i vattendraget, tidsaspekter för flödesförändringar, dammsäkerhetsklass med mera. För en kraftverksdamm är delar av den kontrollerande funktionen för dammanläggningen ofta i viss utsträckning gemensam med vattenkraftstationen.

I det följande beskrivs viktiga aspekter och metoder för att övervaka och reglera magasinsvattenytan, samt grunder kring mätning och hantering av mätdata med koppling till övervakning av dammkonstruktionens tillstånd.

Drift av dammanläggningar

Driftförhållanden

Driftförhållanden avseende vattenhantering kan variera i mycket stor grad mellan olika anläggningar.

En ytterlighet är om ett magasin har mycket stor lagringskapacitet i förhållande till möjlig vattentillrinning. Vattennivån påverkas då mycket långsamt av ökande tillrinning eller av plötsligt utebliven vattentappning i utskov eller genom en kraftstation. För en damm med dessa förhållande kan kraven på de kontrollerande funktionerna vad gäller driften vara låga.

Den andra ytterligheten är om magasinet är litet i förhållande till vattentillrinningen och/eller till kraftstationens kapacitet. För en damm med sådana förhållanden kan en ökande tillrinning eller plötsligt stopp i kraftstationen orsaka en hastigt stigande vattennivå i magasinet.

Vid bedömning av driftförhållanden avseende vattenhantering används begreppet **kritisk fyllnadstid**, dvs. den tid det vid olika driftfall tar för vattenytan att stiga till en för dammanläggningen skadlig nivå. Det finns till exempel anläggningar där ett stopp i kraftstationen, och oförändrad tillrinning, kan orsaka en för dammen skadlig vattennivå redan efter 20 minuter. För en sådan anläggning ställs extremt stora krav på både den kontrollerande och den avbördande funktionen.

Vattennivåmätning

Vattennivåmätning sker i sin enklaste form genom okulär avläsning av en fast monterad vattenståndsskala även kallad pegelskala. Begreppet pegel avser en utrustning för vattennivåmätning. En **pegel** består av en mätanordning som på mekanisk eller

elektrisk väg registrerar nivån hos en vattenyta. Det finns ett stort antal varianter av tekniska lösningar för peglar beroende på vilket syfte mätningen har.

En viktig aspekt för peglar är att vattennivån mäts på en plats där vattenytans nivå inte påverkas av vattentappning eller stora vågor. En registrerande pegel placeras ofta i en brunn på land, som står i förbindelse med vattenmagasinet, eller i ett rör eller annan fast konstruktion som monteras på dammen. I de flesta fall krävs någon form av värmeförsäkring vintertid för att säkerställa att inte isproppar eller andra fenomen påverkar mätningen.

Eftersom vattennivåmätning är viktig för en god dammsäkerhet dubblas ofta registrerande mätning för att säkerställa att det alltid finns ett mätvärde för vattennivån. För anläggningar där korrekt och tillförlitlig vattennivåmätning är mycket viktig förekommer även mätning med tre av varandra oberoende peglar.



Pegel i form av vattenståndsskala.



Registrerande spegel i brunn.

Vattennivåreglering

Vattennivåreglering innebär att vattentappningen bestäms utgående från vattenytans nivå. Den enklaste formen av nivåreglering är att man använder en s.k. **tappningsställare** som anger vattentappning som funktion av vattennivån. En tappningsställare illustreras ofta av ett diagram där vattennivån anges på en axel och tid på året på den andra axeln. Diagrammet består av en skara kurvor som ger aktuellt värde på tappningens storlek utifrån vattennivå och tid på året.

Automatiserad vattennivåreglering innehåller en beräkningsenhet som baserat på vattennivå och andra styrande omständigheter, till exempel tidpunkt, matar ut en signal som styr öppning hos avbördningsanordningar och pådrag hos vattenkraftaggregat om det finns en kraftstation i anläggningen.

Vattennivåreglering sker mellan fastställda **dämnings- och sänkningsgränser**. När vattennivån i magasinet når dämningsgränsen tappas tillrinningen om inte gällande tillstånd föreskriver annat. När sänkningsgränsen nås tappas inget vatten om inte gällande tillstånd föreskriver annat.

Överströmningsskydd

Överströmningsskydd är ett lokalt skyddssystem som skyddar dammanläggningen mot skadligt höga vattennivåer och i förlängningen även mot hot i form av överströmning av damkrönet. Tidigare benämning på detta skydd var katastrofskyddssystem som ofta förkortades **KAS**.

Ett överströmningsskydd innehåller en funktion som vid ett förinställt värde avseende vattennivån uppströms aktiverar avbördningsanordningar så att aktuell tillrinning tappas förbi anläggningen. På detta sätt undviks för anläggningen skadliga vattennivåer.

För att i största möjliga utsträckning säkerställa funktionen hos överströmningsskyddet får inte utrustningen vara gemensam med den som används för ordinarie vattennivåmätning och vattennivåreglering.

Kontrollanläggning och driftcentralfunktion

När de ovan nämnda funktionerna vattennivåmätning och vattennivåreglering är automatiserade ingår de ofta i en kontrollanläggning tillsammans med andra funktioner för t.ex. drift av vattenkraftaggregat och avbördningsanordningar. Kontrollanläggning är ett samlingsbegrepp för utrustning och funktioner vars syfte är att styra, övervaka och skydda utrustning och anläggning. Övervakningen omfattar ofta både vattenkraftstationen och damm-

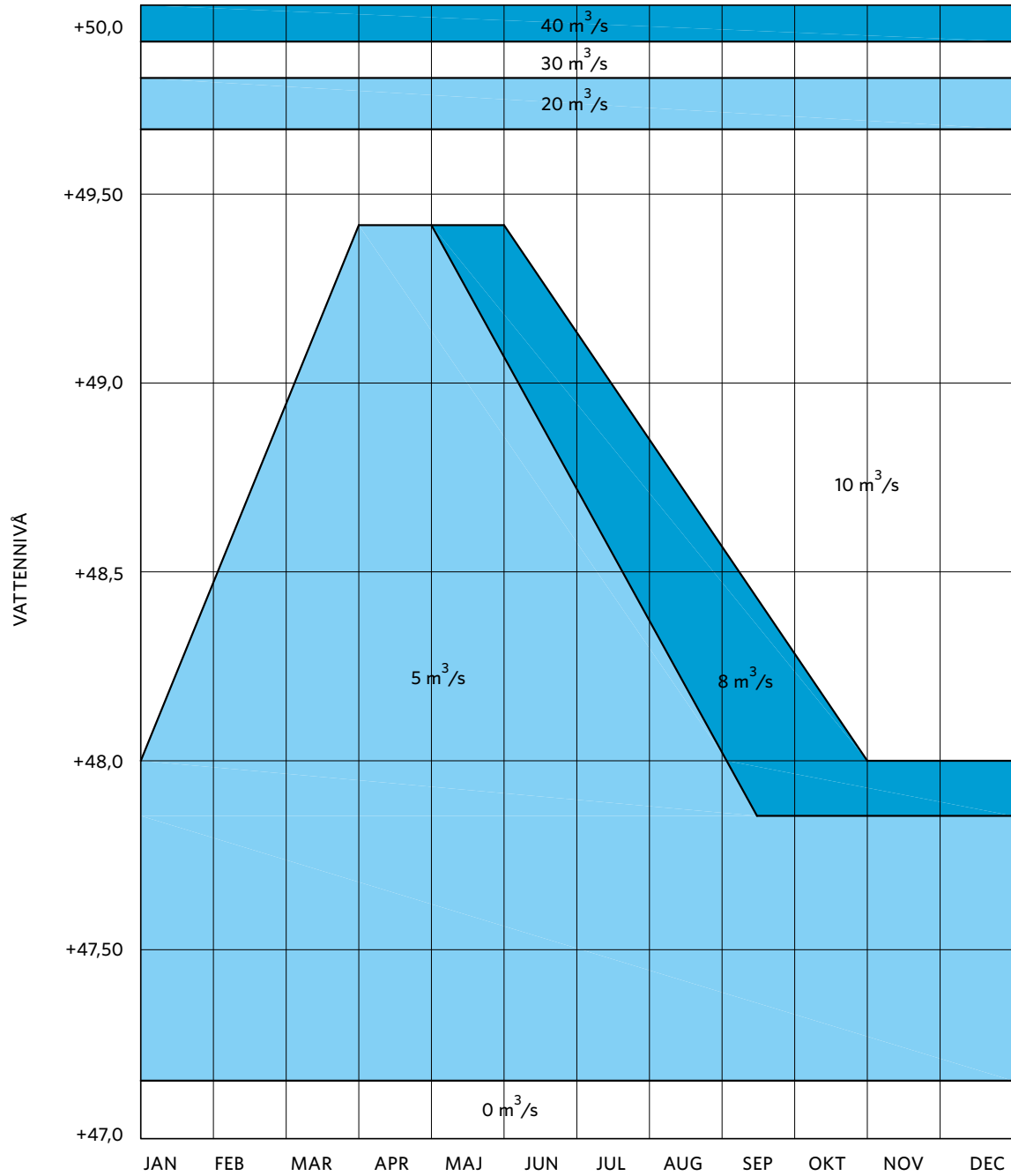
anläggningen med avbördningsanordningar. Övervakning av delar av den utrustning som beskrivits i kapitel 4 Avbördande funktion och de funktioner som redovisas ovan och i det följande om dammar är exempel på sådan som kan integreras i kontrollanläggningen.

Driftcentralfunktionen är en del i den kontrollerande funktionen som har till uppgift att övervaka och styra anläggningar på fjärr. Fjärrkontroll av en anläggning möjliggörs med system bestående av datorer, kommunikationsutrustning och grafiskt användargränssnitt. Driftcentralen, som oftast är centraliserad, övervakar och styr normalt ett flertal anläggningar.

Inom organisationer med omfattande verksamhet är driftcentralen bemannad dygnet runt. I mindre organisationer är det vanligt att driftcentralen är bemannad under kontorstid medan en driftansvarig person övervakar och styr från till exempel hemmet under natt och helg med hjälp av mobil utrustning. Oavsett hur driftcentralfunktionen organiseras är det viktigt att överföring av information från anläggningarna och styrning av utrustning på anläggningarna kan hanteras i realtid och med stor tillförlitlighet.

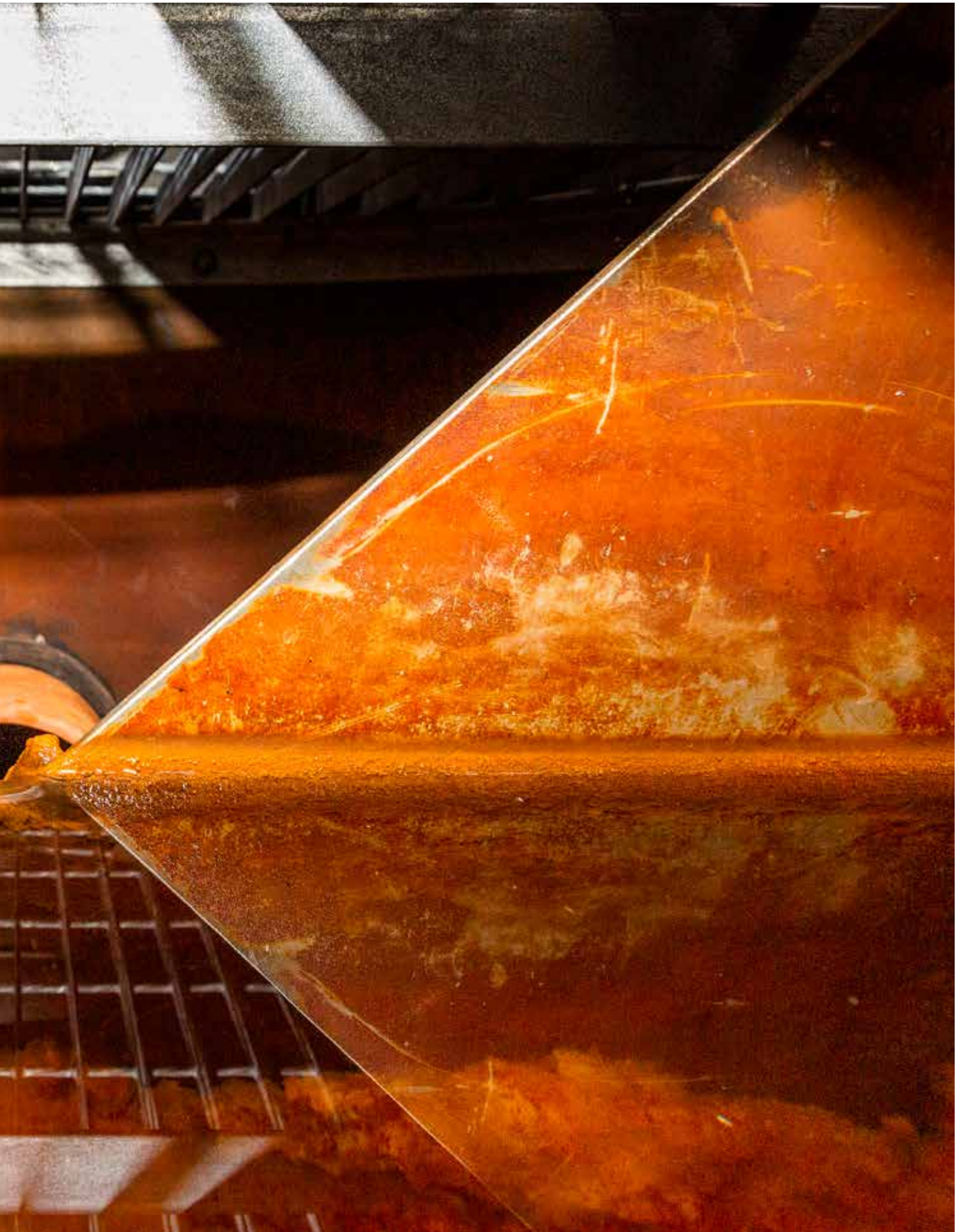
Det är viktigt att kommunikationsvägar utformas så att maximal tillgänglighet erhålls. Ofta är det nödvändigt med alternativa kommunikationsvägar som åtminstone kan överföra aktuella vattennivåer eller som ett minimum larmar vid onormala vattennivåer uppströms om dammen.

TAPNING SOM FUNKTION AV VATTENNIVÅ OCH TID PÅ ÅRET



TAPNINGSTÄLLARE





Övervakning av dammar

Syftet med övervakning av dammar är att detektera förändringar och förlopp som kan vara skadliga för anläggningen, och som om de medför allvarliga problem skulle kunna leda till dammhaveri. I det följande beskrivs de vanligaste metoderna för övervakning av dammar.

För utvärdering av insamlade mätvärden är det viktigt att samtidigt ha registrerat nivån i magasinet uppströms om dammen eftersom den har påverkan på olika parametrar. En del anläggningar är även utrustade med väderstationer för registrering av nederbörd, temperatur, vind m.m. som kan påverka anläggningens drift.

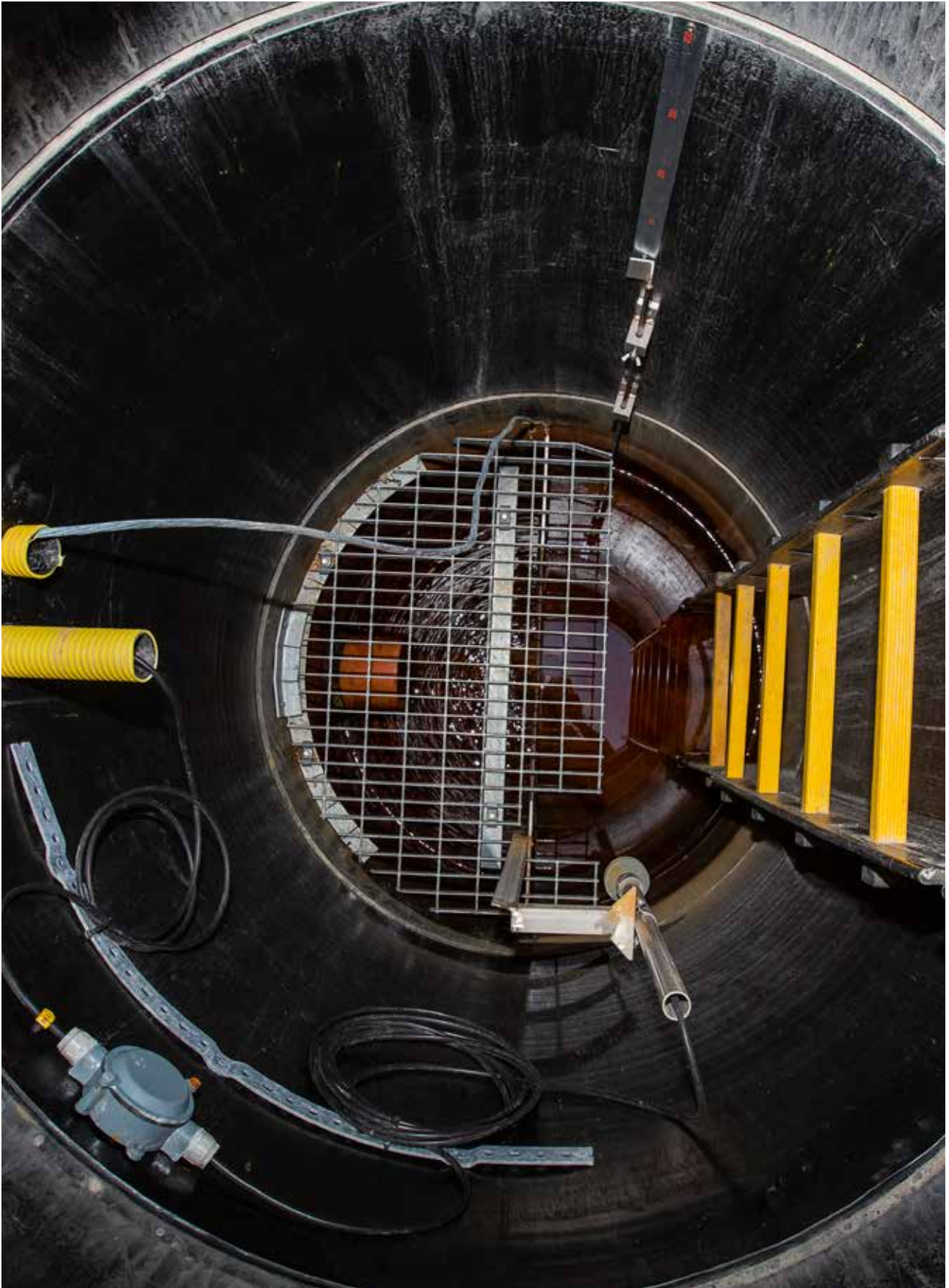
Läckage

Läckage genom eller under dammkroppen samlas ihop med hjälp av dränageledningar på dammens nedströmssida som leder läckvattnet till punkter där vattenflödet mäts. Ledningarnas och mätpunkternas lägen anpassas till dammens utsträckning och de topografiska förhållandena hos området nedströms. Ofta placeras mätpunkterna i brunnar där dränageledningarna mynnar och skapar en fri vattenyta. Från mätbrunnen finns en utloppsledning som leder bort läckvattnet. I det fall mätpunkten placeras i det fria utomhus försvåras mätning vintertid på grund av frost och snö.

En vanlig mätanordning är ett **mätöverfall** som består av en öppning som är en bestämmande sektion. Genom att mäta vattennivån uppströms om mätöverfallet kan ett värde på läckageflödet erhållas med hjälp av etablerade samband eller utförd kalibrering i vissa fall. En vanlig typ av mätöverfall är det så kallade **Thomsonöverfallet** som har form av en triangel med 90° vinkel hos spetsen.

För automatisk registrering av läckageflödet mäts nivån uppströms mätöverfallet med lämplig typ av utrustning för vattennivåmätning, och sedan räknas nivån om till aktuellt flöde.

För utvärdering av insamlade mätvärden avseende läckage är det, förutom att samtidigt ha registrerat nivån i magasinet uppströms om dammen, även viktigt att samla in nederbördsdata och utetemperatur eftersom nederbörd och snösmältning kan påverka läckageflödets storlek.



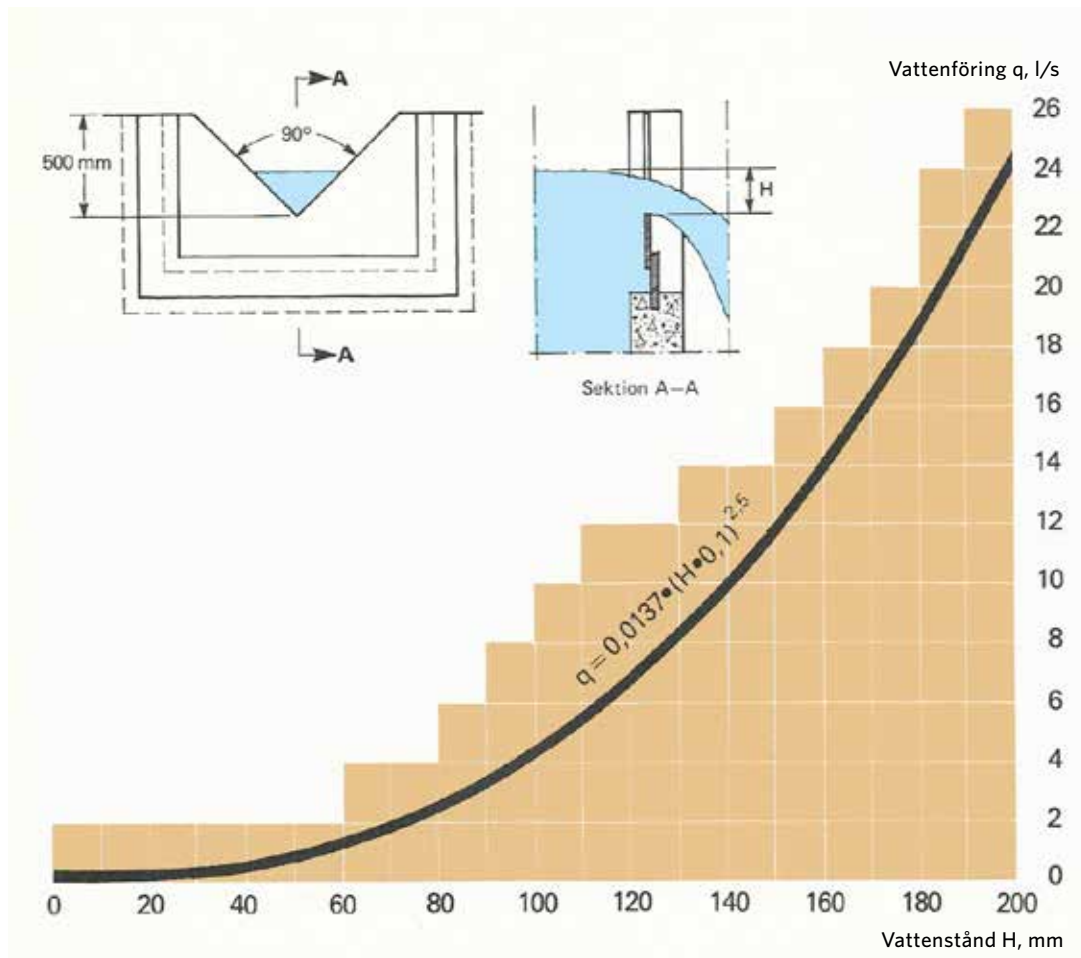
Mätbrunn



Mätöverfall



Mätöverfall i mätbrunn.



$$q = 0,0137 \cdot (H - 0,1)^{2,5}$$

Thomsonöverfall med diagram för avläsning av vattenföring, q, som funktion av vattenstånd, H. [5]

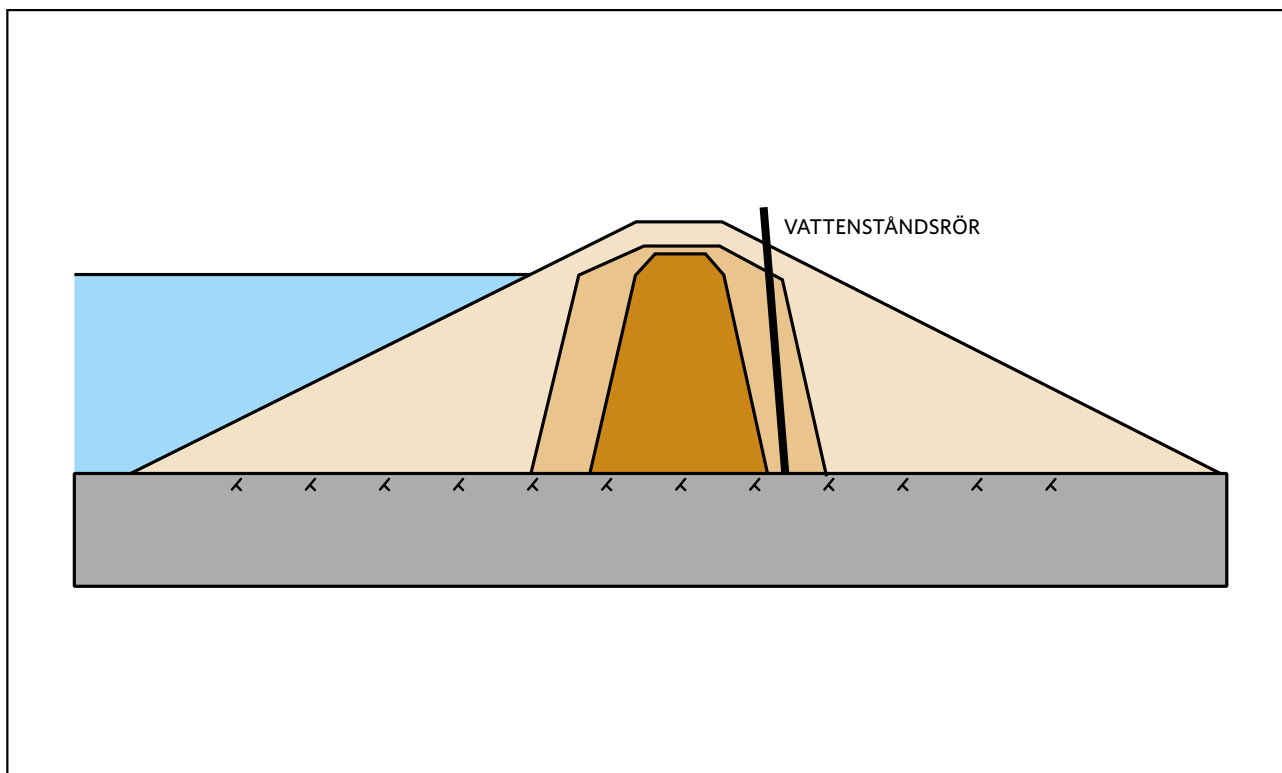
Vattenstånd och portryck

För att kontrollera vattentryck inne i en dammkropp eller i grunden under dammen kan vattenståndsrör eller portrycksmätare installeras. I relativt genomsläppliga jordmaterial kan öppna rör fungera väl. Vid manuell mätning avläses vattennivån i röret med hjälp av någon typ av lod som sänks ner. Vattenståndsrören har en perforerad spets men är i övrigt täta. I mindre genomsläppliga jordmaterial fungerar inte vattenståndsrör, och då installeras portrycksmätare som har ett tryckkänsligt membran

som reagerar även med en mycket liten vattenvolym.

Med båda metoderna mäts vattentryck i eller under dammkroppen på det djup där spetsen eller mätaren placerats. Både öppna rör och portrycksmätare kan förses med utrustning för automatiserad mätning.

Mätning av vattentryck hjälper till att verifiera de förutsättningar som legat till grund för stabilitetsvärderingen. Stigande vattentryck över tid kan vara en indikation på förändringar som kan vara skadliga för dammen och påverka dess stabilitet.



Vattenståndsrör placerat i dammens nedströmsfilter.



Vattenståndsror

Rörelser

Genom att registrera rörelser (sättningar och sidoförskjutning) kan man få värdefull information om dammens tillstånd. Horisontalrörelserna kan visa glidning och sprickbildning medan vertikala rörelserna visar dammkroppens och undergrundens sättningar samt andra fenomen som t.ex. materialomlagring.

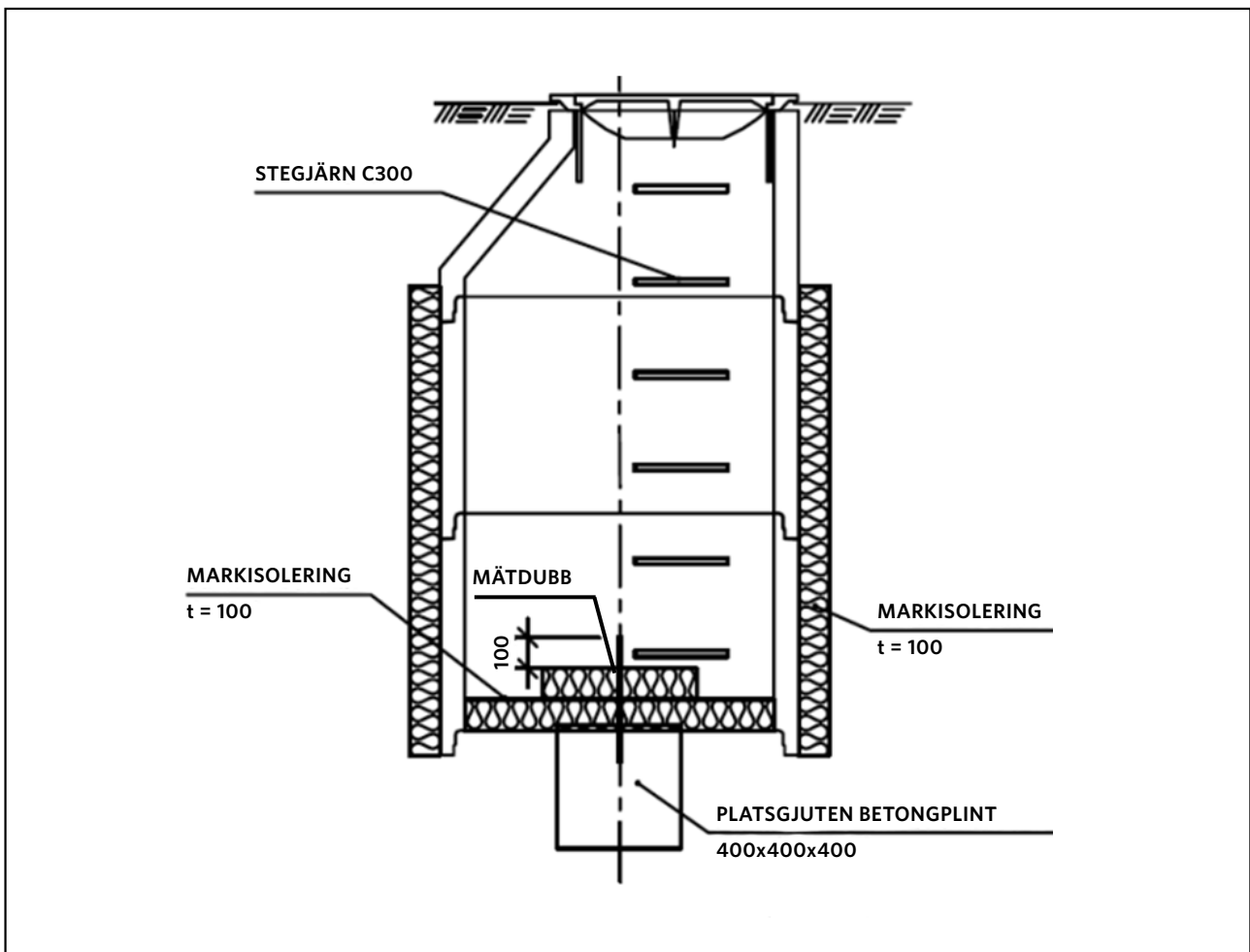
Genom att installera **mät-dubbar** på dammkrön och slänter kan både horisontalrörelser och vertikala rörelser registreras. Mät-punkterna på dammkrönet placeras med fördel på tät-kärnans överyta så att de inte påverkas av tjäle, och förses med ett rör så att de är skyddade för annan påverkan.

Vid mätning utgår man från referenspunkter (fixpunkter) belägna i naturlig fast mark vid sidan om dammen. Mätning av installerade dubbar ger punktvis information och vid långa dammar krävs många mät-punkter om man vill ha en

godtagbar upplösning. En alternativ metod för kontinuerlig mätning av vertikala rörelser är slang-sättningsmätare. Det består av en slang som installeras i krönets längdriktning. Mätning sker med en mätsond som registrerar nivå-skillnad längs slangen.

För mätning av horisontalrörelser inne i en fyllningsdamm används vanligen **inklinometer** som består av ett system där en mätkropp som sänks ner registrerar sidoförskjutningen i ett flexibelt rör som installerats vertikalt i dammkroppen. I höga betong-dammar kan vertikala rörelser mätas i invändiga schakt där en så kallad **pendel** monterats. Damm-kroppens avvikelse från lodlinjen mäts på olika nivåer och förändringar registreras.

För rörelsemätning finns även många andra metoder för olika tillämpningar. Nyare metoder innefattar t.ex. laserscanning, mätningar från drönare och undervattensmätningar med ekolod etc.



Brunn med mät-dubb för rörelsemätning.



Mätbrunn i dammkrön.

Övriga mätmetoder

Det sker en ständig utveckling av mätmetoder för övervakning av dammar. Behovet av kunskap om förhållandena i dammen och grunden är stort, och ökande på grund av bland annat upptäckta svagheter och åldrande anläggningar.

En metod som utvecklats under de senaste decennierna är **temperaturmätning**. Temperatur mäts i vattenståndsror eller i själva dammkroppen och dess grundläggning. Metoden baseras på att temperaturen i dammen beror av vattenströmningen genom dammen samt temperaturvariationen i magasinet. Genom att mäta temperaturen regelbundet kan områden med avvikande temperatur (stor årsvariation) detekteras. Eventuell temperaturpåverkan från markytan måste också tas hänsyn till. På detta sätt kan man få kunskap om skillnader i egenskaper mellan olika partier av dammen. Genom att analysera insamlade temperaturer kan även läckvattenflödets storlek beräknas.

Ett flertal olika **geofysiska metoder** som kan användas för övervakning av dammar beskrivs i en Energiforskrapport [7].

Mätdatahantering och utvärdering

Väl utförda mätningar är en förutsättning för att kunna bedöma dammars funktion, upptäcka eventuella förändringar, samt för att kunna bedöma dammars status. Oberoende av om dammätning sker med manuella eller automatiska metoder är det mycket viktigt att insamlade mätdata struktureras och behandlas så att de är tillgängliga för analyser nu och i framtiden. Grundläggande vid all utvärdering är att veta var mätpunkterna är belägna samt hur mätningen görs. Detta sammanställs lämpligen i en dokumentation, där även rutiner för kvalitetssäkring av mätdata redovisas.

Ett vanligt verktyg för att följa utvecklingen är att studera trender för olika mätparametrar. Trender är lättast att förstå i grafisk form, varför mätdatahanteringen bör vara en kombination av datalagring, bearbetning och en grafisk redovisning av de olika parametrarna.

Vid stora vattenståndsvariationer i magasinet kan trender i andra mätparametrar vara svåra att upptäcka. Redovisning av data bör då göras som funktion av magasinsnivån för att underlätta utvärdering. Utvärdering kan också göras genom jämförelse av mätdata för flera mätpunkter med liknande placering i dammen.

Vid jämna mellanrum bör uppföljning och genom-

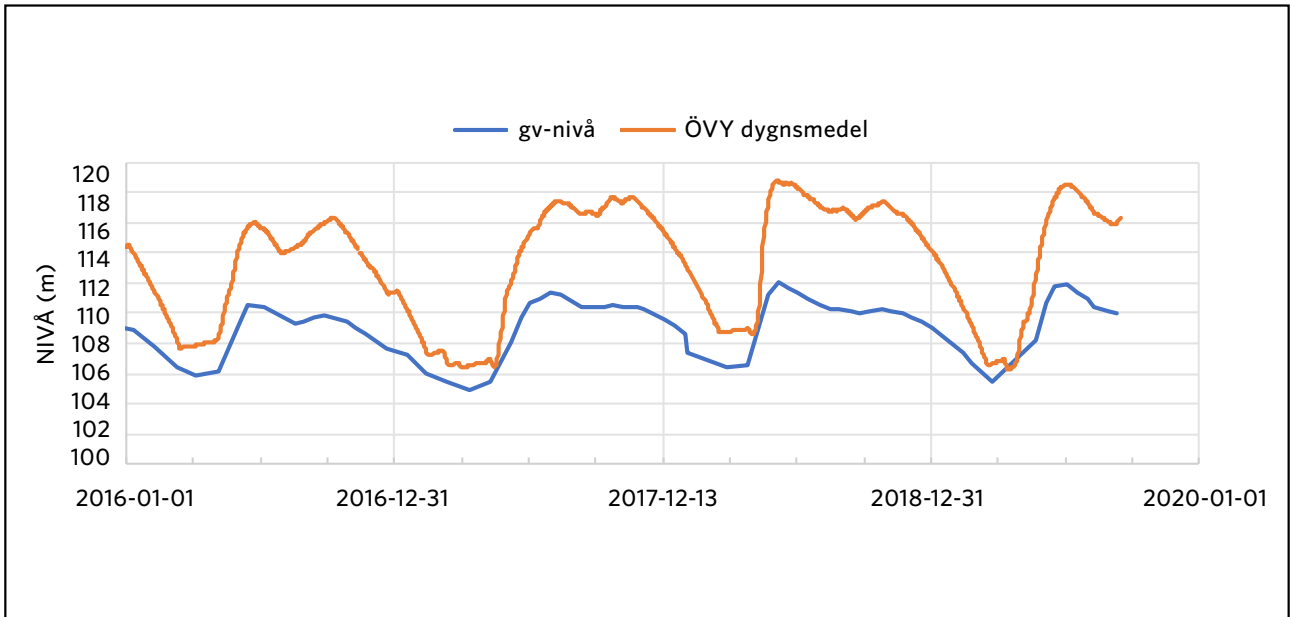
gång av insamlade mätdata samt analys utföras av kvalificerad personal, så att förlopp som kan vara skadliga för dammen upptäcks i ett tidigt skede.

Systematik för övervakningssystem

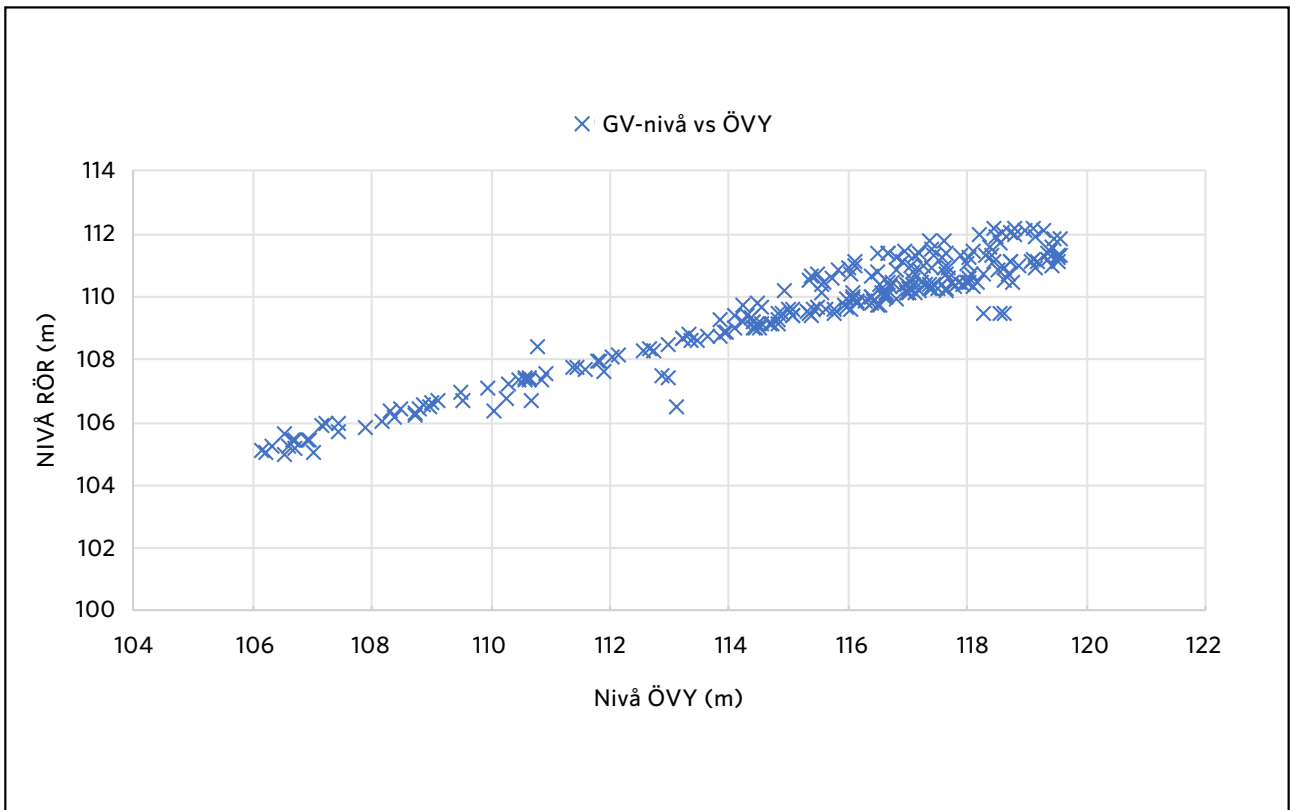
Många dammar i Sverige har behov av ytterligare övervakning för tidig detektering av förändringar. Vid planering av ny övervakning eller uppgradering av befintlig utrustning är det lämpligt att vara systematisk för att få bästa nytta och största utbyte av installationerna. Energiforsk har i en rapport [8] redovisat ett sådant systematiskt arbetssätt i ett antal steg:

- Samla in och utvärdera befintlig information om dammen
- Identifiera tänkbara förlopp för dammhaveri (se även kapitel 8 Dammhaveri)
- Identifiera övervakning som behövs
- Planera och projektera övervakningssystemet inklusive datainsamling och datahantering
- Installera, testa och ta systemet i drift
- Underhålla och kalibrera mätutrustning och avläsningar
- Samla in, bearbeta och utvärdera insamlade data
- Tolka och rapportera resultat

Genom att vara systematisk skapas förutsättningar för en anläggningsanpassad övervakning som är effektiv och bidrar till en förbättrad dammsäkerhet.



Redovisning av uppmätt nivå i vattenståndsrör (gv-nivå) respektive magasinsvattenstånd (ÖVY) för perioden 2016-2019.



Redovisning av nivå i vattenståndsrör (gv-nivå) i relation till magasinsvattenstånd (ÖVY).



6. Kanaler och slussar

Ordet kanal är ett vitt begrepp. I sammanhang som rör vattenvägar och sjöfart kan en kanal beskrivas som:

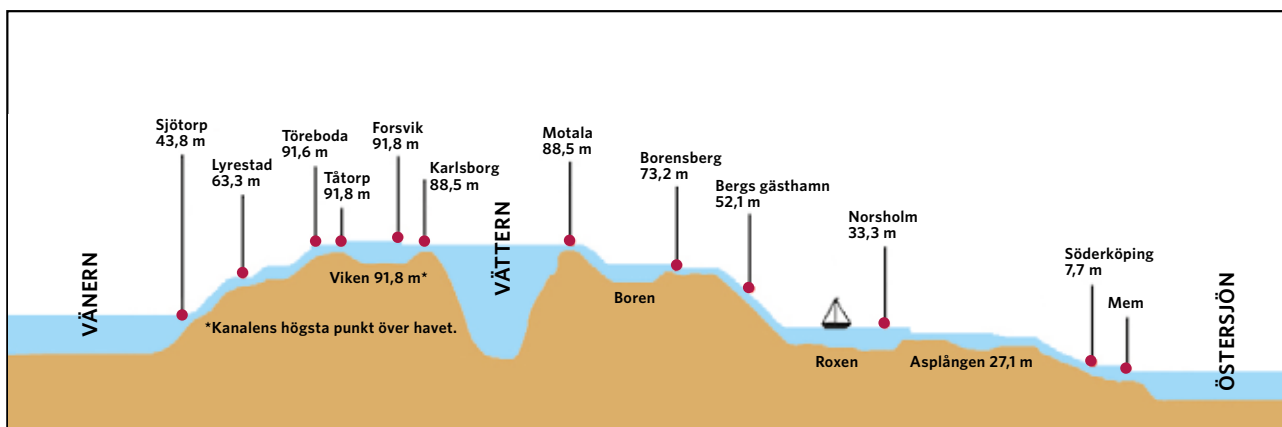
En anlagd vattenväg för sjöfart eller för vattenavledning, exempelvis till eller från vattenkraftverk, i samband med bevattningsanläggningar eller för torrläggning av områden.

I dammsäkerhetssammanhang är intresset riktat mot kanaler som fungerar som dämmande konstruktioner. Dvs. kanaler där bankar har anlagts för att kunna innehålla vatten med en nivå som överstiger omgivande markyta. Ett haveri på en sådan **kanalbank** skulle leda till en utströmning av upp-dämt vatten.

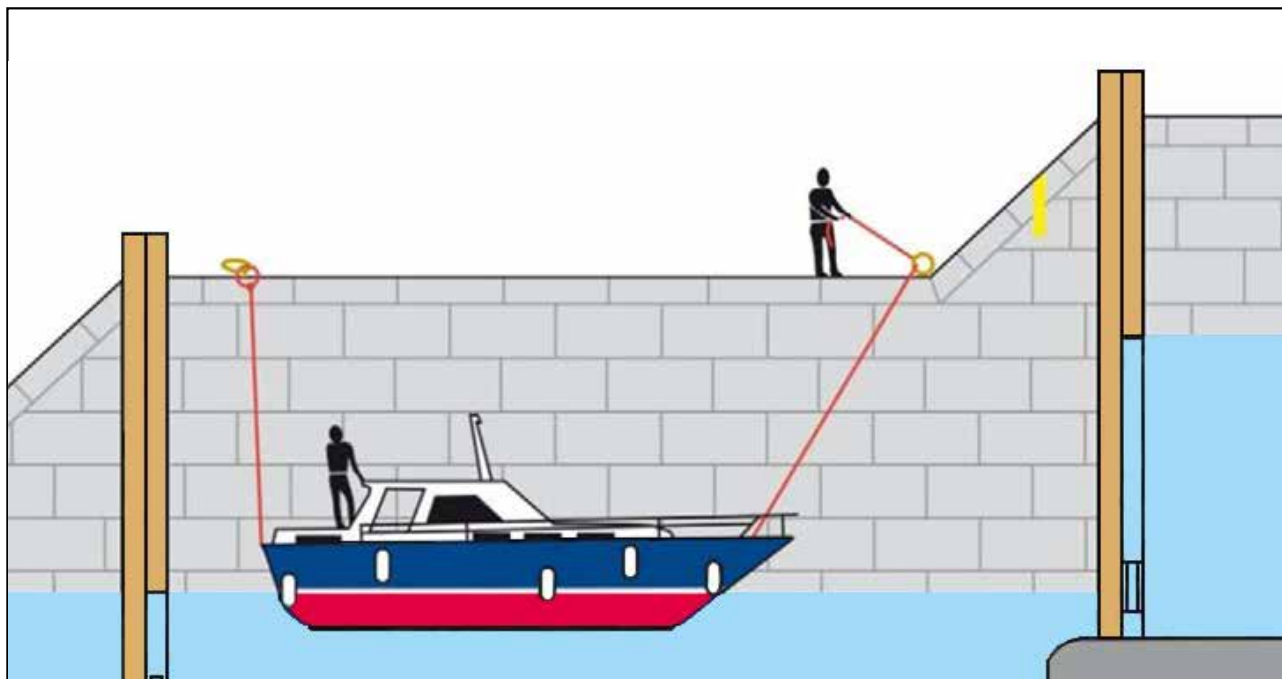
En stor andel av Sveriges kanaler har dock ingen eller endast obetydlig dämmande funktion. Det gäller t.ex. kanaler som anlagts för att åstadkomma sjö-

sänkningar och utdränring av markområden för vinnande och förbättring av åker- och skogsmark. Dessa berörs inte vidare här.

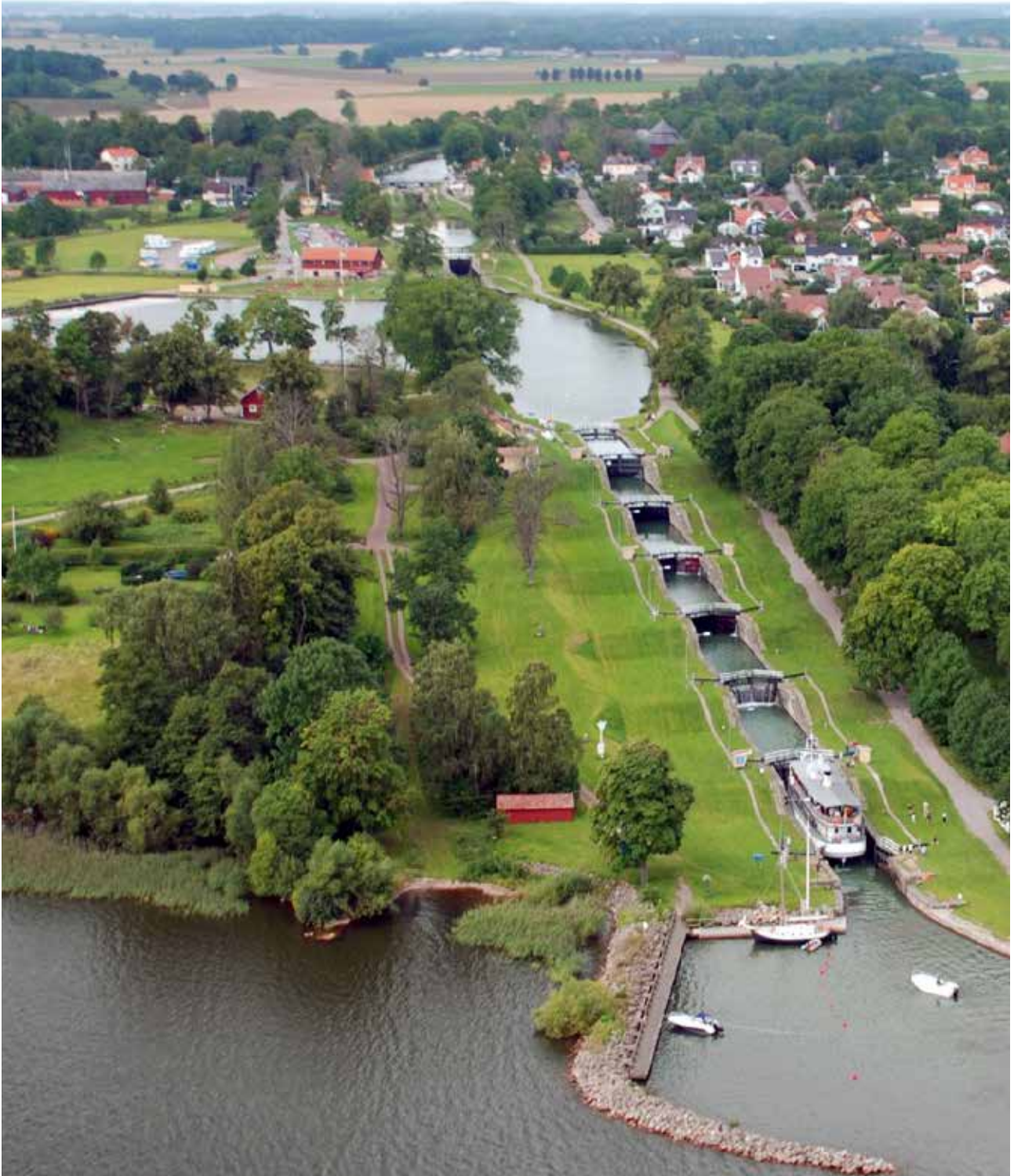
Kanaler för sjöfart har i allmänhet byggts efter principen att vattnet i kanalen ska vara stillastående, förutom vid slussning. Där så varit lämpligt har kanalens sträckning anpassats så att förekommande sjöar nyttjas för att minimera längden anlagd kanal. Slussar har anlagts där nivåskillnaden längs kanalsträckningen är stor.



Schematisk längdprofil för Göta kanal.



Schematisk profil för en slusskammare.



Göta kanal vid Bergs nedre slusstrappa.

Kanalers dämmande delar

Kanalernas dämmande delar består i huvudsak av tre typer av konstruktioner:

Kanalbankar utgörs av långsträckta dammkonstruktioner av fyllningsdammstyp som byggts där naturlig marknivå är lägre än den vattennivå som kanalens funktion kräver. Där kanalsträckningen följer terrängens nivåförhållanden förekommer kanalbankar ofta endast på kanalens ena sida. Där terrängförhållandena inte kunnat nyttjas för kanalsträckningen finns kanalbankar på kanalens båda sidor.

Kanalbankar byggs enligt samma princip som fyllningsdammar men är ofta homogena, dvs. saknar tydlig zonindelning. För att undvika omfattande masstransporter är det vanligt att massor från de delar av kanalen som behöver schaktas används för att bygga kanalbankarna.

Slusskonstruktioner anläggs för att övervinna de nivåskillnader som finns i terrängen längs kanalsträckningen. Slusskonstruktionerna kan bestå av en eller flera slusskammare med tillhörande slussportar beroende på den nivåskillnad som ska övervinnas. Flera slussar direkt kopplade till varandra brukar benämnas slusstrappa. En sluss är en form av dammbyggnad och består av betong och/eller stenmurverk. Slussportarna är utförda av stål eller trä.

Regleringsdammar i ett kanalföretag kan ha två huvudsakliga funktioner. Den ena är att reglera vatten nivån i kanalen, släppa ut överskottsvatten och sänka vattennivån vid t.ex. underhållsarbeten. Den andra är att magasinera slussvatten vid kanalens högsta punkt. Dessa dammar har motsvarande uppbyggnad som regleringsdammar för andra ändamål.

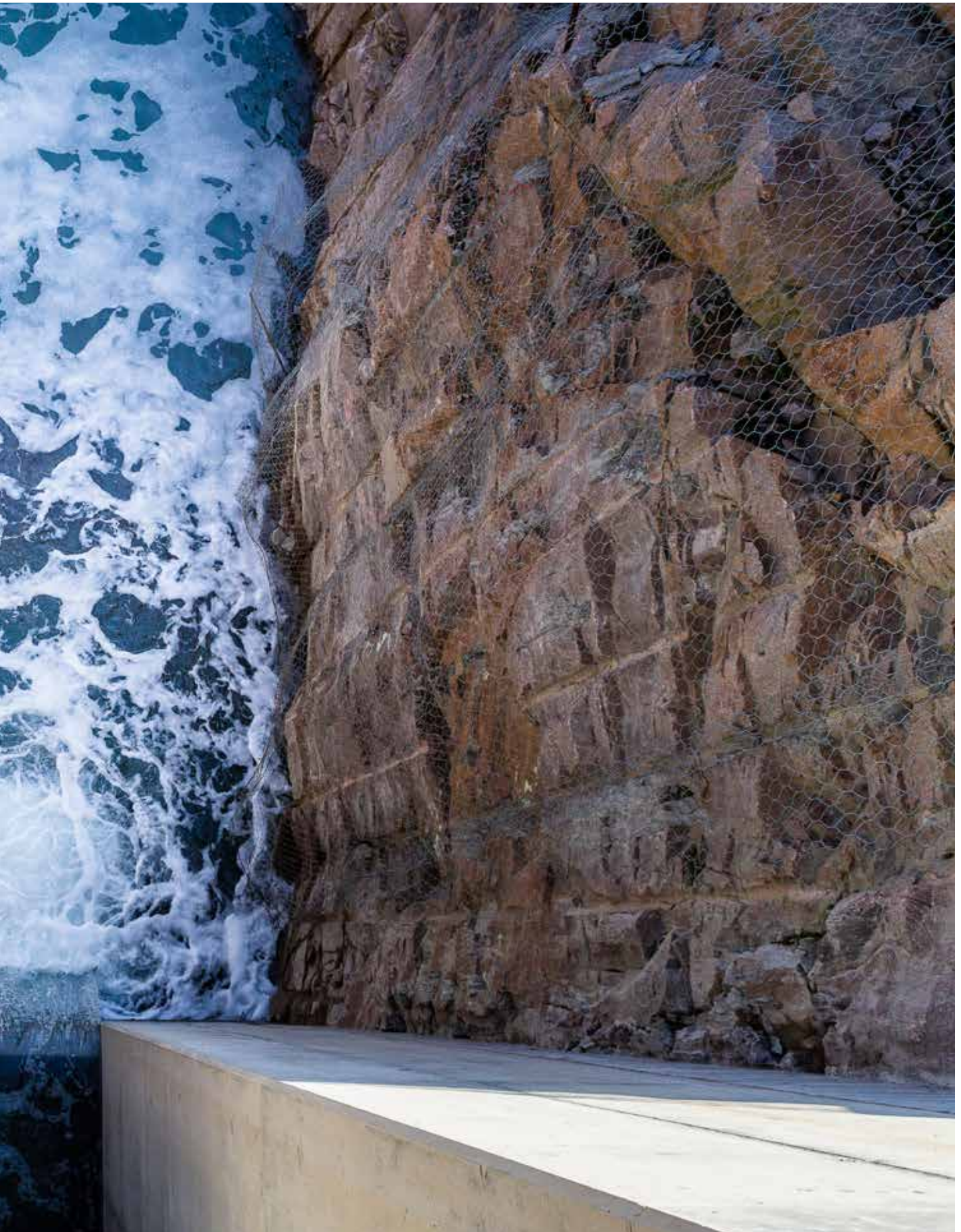


Kanalbank längs intagskanal.



Strömsholms kanal, Konung Gustav III:s sluss vid Semla.







7. Gruvdammar

Gruvdammar är en typ av dammbyggnader som i första hand byggs för magasinering av restprodukter från gruvbrytning, s.k. anrikningssand. Anrikningssanden transporteras i suspenderad form, blandad med vatten, till ett sandmagasin där sanden sedimenterar.

Vattnet recirkuleras därefter vanligtvis till förädlingsprocessen, ibland efter ytterligare ett reningssteg i ett klarningsmagasin.

Sverige har år 2019 nio aktiva gruvdammsanläggningar vilka har byggts på varierande sätt, och där även deponeringsmetoden skiljer sig mellan anläggningarna. Anrikningssandens egenskaper styr ofta valet av deponeringsmetod. Anrikningssanden transporteras till magasinen genom självfall eller pumpas i ledning. Sanden läggs ut i magasinet i en eller i flertalet punkter, som kan alterneras för att kunna optimera magasinens deponeringskapacitet.

Den slurry som deponeras i magasinet kan variera i sammansättning från låg till hög fastgodshalt, beroende på malmens egenskaper och process-tekniska lösningar. I de fall där anrikningssanden är vittringsbenägen kan undervattens- deponering användas, med syfte att minimera oxidering genom att förhindra att anrikningssanden kan reagera med luftens syre.

Design och drift

De svenska gruvdammarna byggdes inledningsvis med en konstruktion som liknar vattenkraftsdammar, dvs. som täta dammar med tät kärna av morän. Idag har dock de flesta gruvföretag övergått till att bygga s.k. **dränerande dammar** runt sandmagasinen. Med dränerande dammar menas att dammkonstruktionen syftar till att hålla kvar anrikningssanden inom sandmagasinen men att designen inte avser att dämna vatten. De dränerande dammarna byggs i huvudsak av restprodukter från gruvbrytning och förädlingsprocesserna såsom anrikningssand och sidoberg/gråberg.

De klarningsmagasin som finns vid de svenska gruvdammsanläggningarna är samtliga byggda efter samma principer som dammar inom vattenkraftsindustrin.

Val av dammtyp påverkas också av den efterbehandlingsmetod som man avser använda då driften avslutas. **Vattentäckning** kan i vissa fall inte kombineras med dränerande dammar. Samtidigt har dränerande dammar normalt sett flacka portrycksgradienter, vilket kan betraktas som gynnsamt för konstruktionens långtidsstabilitet. Flack portrycksgradient innebär att det är endast liten skillnad i portryck mellan två punkter som ligger en viss sträcka ifrån varandra i strömningsriktningen.



Kollage av ortofoton över de nio aktiva sandmagasinen i landet.



Sandmagasin och klarningsmagasin i Garpenberg.

Gruvdammar höjs kontinuerligt eller i etapper vart efter behov av mer deponeringskapacitet uppstår. Dammkropparna runt sandmagasinen kan höjas med olika metoder. Man skiljer på tre generella konstruktionsmetoder: utåthöjning, inåthöjning och uppåthöjning.

Vid **utåthöjning** flyttas dammkrönet etappvis uppåt och i riktning nedströms från magasinet. Dammens nedströmsslänt fylls vanligtvis ut med tillgängligt sidobergsmaterial gråberg, som utgör restprodukt från gruvbrytning och förädlingsprocessen till stödfyllningen. Vid behov nyttjas även naturliga material. Detta betyder att dammen successivt breddas åt nedströmshållet, att grundläggningen görs på naturlig mark och att allt större mängder konstruktionsmaterial behövs till dammhöjningen. I detta fall är dammens stabilitet inte beroende av deponeringen i magasinet.

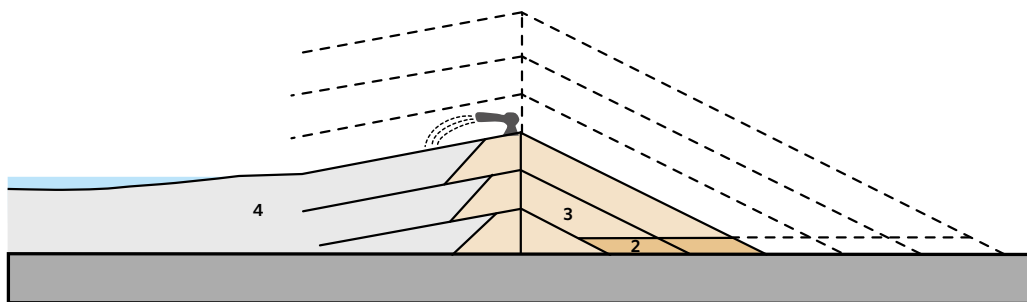
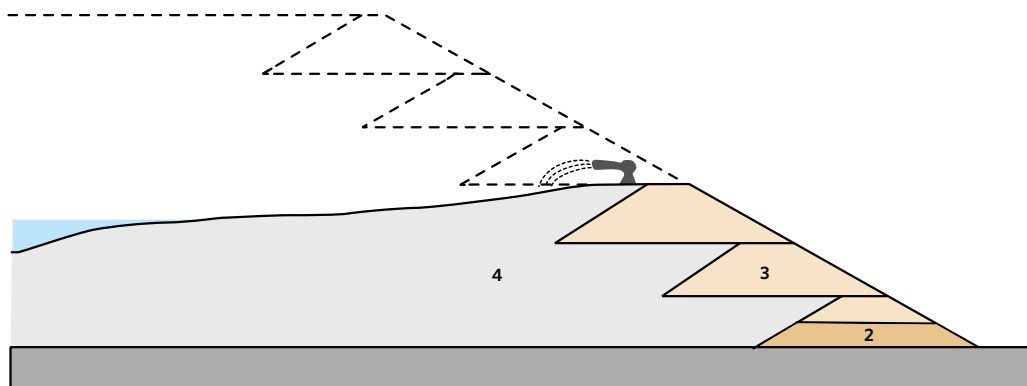
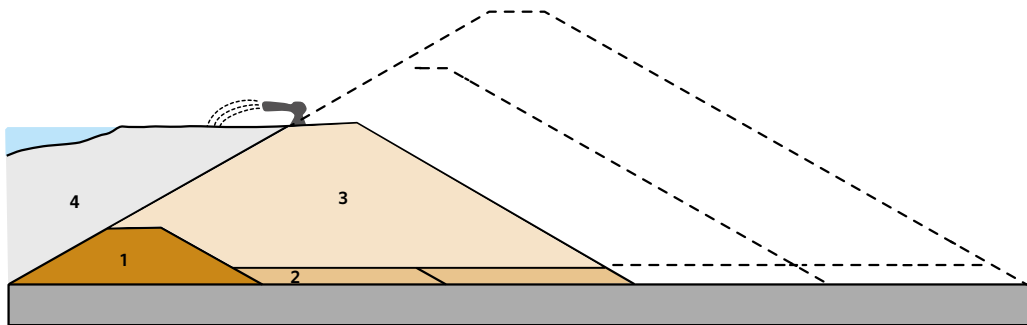
Vid **inåthöjning** höjs dammkrönet successivt uppåt och inåt i magasinet. Den del som utgör höjningen av dammen byggs oftast upp av anrikningssand, sidoberg eller en kombination av dessa. Det kan även förekomma filterlager mellan anrikningssand och sidoberget. Vid inåthöjning grundläggs det nya dammkrönet på den tidigare deponerade anrikningssanden som kallas för **beachen**. Beach är den sandyta/strandzon som skapas närmast dammkropparna vid deponering och som ofta ansluter mot vattenspegeln. I vissa fall kan vattenytan ligga långt bort och i dessa fall syftar begreppet beach på zonen närmast dammkroppen. Vid inåtdammar påverkar beachen dammkonstruktionens totala stabilitet, eftersom tidigare deponerad anrikningssand ingår som del i dammkonstruktionen efter höjningen. Det blir därmed mycket viktigt att förstå deponeringens inverkan på dammsäkerheten, och att säkerställa att deponeringen sker på ett kontrollerat sätt.

Optimalt utförd resulterar deponeringen i att beachen består av grovkornig anrikningssand, får tid att konsolidera, erhåller hög permeabilitet, blir väl-dränerad och välpackad. Vidare att den upp-rätthåller ett stort avstånd mellan dammkrön och vattenspegel och att höjningstakten av sandytan inte blir för hög. I den mån som detta inte kan säkerställas bör designen säkerhetsmässigt ta höjd för att kompensera för avvikande deponering.

Vid **uppåthöjning** flyttas dammkrönet endast rakt uppåt vid påbyggnad, och konstruktionsprincipen är således en kombination av de två tidigare benämnda

metoderna. Denna höjningsmetod innebär att stabiliteten för konstruktionen som helhet till viss del är beroende av tidigare deponerad anrikningssand.

1. TÄTJORD
2. FILTER
3. STÖDFYLLNING
4. DEPONERADCANRIKNINGSSAND



PRINCIPER FÖR UPPBYGGNAD AV GRUVDAMMAR MED ANRIKNINGSSAND MED
OLIKA HÖJNINGSMETODER: UTÅTHÖJNING, INÅTHÖJNING OCH UPPÅTHÖJNING.



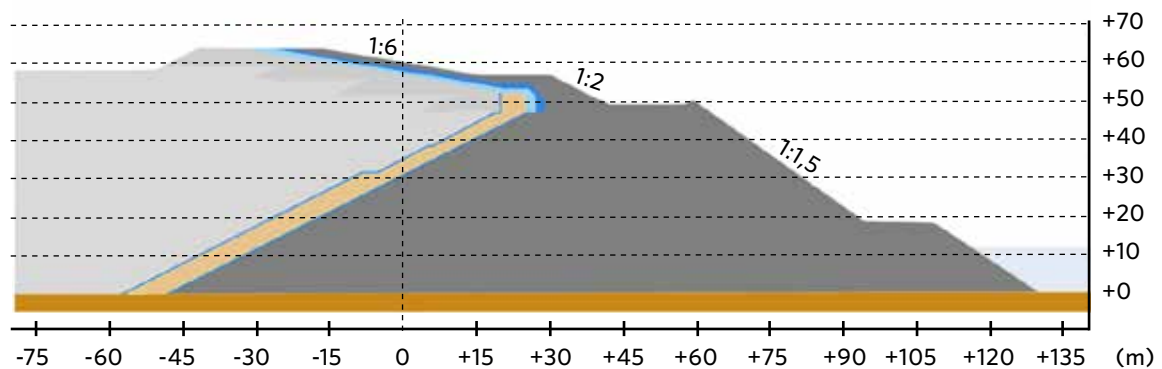
Deponering via spigottering.

Alla gruvdammar är unika i sin design och många gruvdammar består idag av en kombination av både täta och dränerande dammar. Genom åren kan en kombination av olika höjningsmetoder ha använts, och det kan även finnas olika typsektioner för dammarna vid samma magasin.

Ett exempel där olika höjningsmetoder har använts genom åren för höjning av dammen är Dam B-F vid LKAB:s gruvdamm i Malmberget. Dammen började anläggas 1974 som en tät damm med tätkärna av morän. Dammen höjdes inledningsvis med utåtmetoden. Därefter gjordes en höjning med uppåtmetoden med tätkärna. 2014 övergick man till att höja dammen med dränerande sektion enligt inåtmetoden.

- FINFILTER
- GROVFILTER
- STÖDFYLLNING
- ANRIKTNINGSSAND

- TÄTKÄRNA: MORÄN
- VATTENYTA



Typisk tvärsektion av dammdel B-F, Malmberget.



Deponering genom spigottering vid användning av s.k. droppipes, vilka används vid deponering från damm med högt fribord mot sandytan.



Deponering via flytledning där vattentäckning är viktigt för att undvika vittring av anrikningssanden, Hötjärnsmagasinet.

Avslutning och efterbehandling

När gruvverksamheten på en plats avvecklas eller när en deponi slutfyllts efterbehandlas deponin på lämpligt sätt. Det finns två huvudprinciper för deponiers avslutning och efterbehandling.

Torrtäckning innebär att deponin täcks över med till exempel morän på ett sådant sätt att området är säkert för människor, miljö och natur. Vid torrtäckning krävs att deponin även har dränering och att området sedan vegeteras. Dränering är till för att undvika dämning av vatten, vilket innebär att dammarna inte längre har en dämmande funktion. Detta kan åstadkommas exempelvis genom att gräva av en dammsektion eller genom att etablera permanenta utskov. Vegeteringen bidrar bland

annat till att anpassa området till omgivningen, stabilisera området (minska risken för erosion) och att undvika dämning.

Vid **vattentäckning** av ett sandmagasin (eller förhöjd grundvattenyta) är syftet att etablera en förhöjd vattennivå för att det deponerade materialet ska vara kemiskt stabilt genom att man minskar tillförseln av syre.

Då efterbehandlingsåtgärderna avslutats övervakas gruvdammen under en tid, den s.k. kontrollperioden, för att verifiera att efterbehandlingen nått avsett resultat. Långtidsfasen inträder efter kontrollperioden och kan även den innefatta viss tillsyn och underhåll.



Saxbergets sandmagasin efter utförd efterbehandling.



8. Dammhaveri

Med dammhaveri menas att dammen inte förmår hålla tillbaka det uppdämda vattnet, och att det sker en okontrollerad utströmning av vatten från magasinet.

Konsekvenserna av ett dammhaveri kan variera och beror främst på den uppdämda vattenvolymen, dammens höjd och längd samt förhållandena i det område som blir översvämmat eller påverkat till följd av dammhaveriet.

Om ett magasin innehåller annat än vatten, t.ex. förorenade sediment från industriverksamhet eller anrikningssand från gruvverksamhet, kan förutom översvämning även andra typer av skador, som t. ex. allvarlig miljöpåverkan, uppkomma vid dammhaveri.

En mycket allvarlig konsekvens är när ett haveri av en damm långt upp i ett vattendrag orsakar s.k. **dominoeffekt** i form av sekundärhaverier, vilket betyder att det utströmmande vattnet från den havererade dammens magasin orsakar haveri av nedströmsliggande dammar. Ett dammhaveri i en damm med stor uppdämd volym belägen högt upp i ett vattendrag kan få mycket stora konsekvenser med många sekundärhaverier som följd och översvämningsområdet kan sträcka sig ända till havet.

Det finns idag drygt 400 dammanläggningar i landet med dammar som vid ett haveri skulle kunna förorsaka betydande konsekvenser från samhälls- synpunkt. Ett dammhaveri skulle t.ex. kunna medföra förlust av människoliv, skador på infrastruktur, störningar i samhällsviktiga verksamheter, förstörelse av miljö, kulturmiljö och/eller stora ekonomiska värden.

Sverige har varit förskonat från omfattande dammolyckor. Två människor har dock omkommit genom drunkning i samband med dammhaveriet vid Näckådammen i Sysselebacken 1973 respektive vid luckhaveriet i Stornorrfors i Umeå 1971. Under årens lopp har ett större antal mindre dammar och även några stora dammar havererat. De högsta dammarna i landet som havererat är

- Fyllningsdammen vid **Noppikoski** kraftverk i Oreälven i samband med höga flöden, Dalarna år 1985.
- Fyllningsdammen E-F:s förlängning vid sandmagasinet i **Aitik**, Norrbotten år 2000.
- Fyllningsdammen vid **Hästberga** kraftverk i Helge å, Skåne år 2010.

I tabellen här intill listas svenska dammhaverier under de senaste decennierna. Kort information ges om felsätt, omständigheter i samband med haveriet mm. Längst bak i den här boken finns länkar till webbsidor där fakta och lärdomar från ett stort antal haverier världen över har samlats för vattendammar och gruvdammar.

Tidigare användes ofta begreppet dammbrott i stället för dammhaveri. Kopplingar till den tidigare benämningen lever kvar i vissa fall som till exempel i ordet brottöppning.

Svenska dammhaverier under de senaste tio åren

År haveri	Anläggning	Vattendrag	Dammtyp	Damm- höjd	Yttre om- ständigheter	Inre om- ständigheter	Felsätt	Anmärkning
2008	Ljungå	Gimån	Fyllnings- damm	Ca 5 m	Första fyllningen av magasinet	Brister i dämmande funktion	Läckage/ instabilitet	Användande av felaktiga massor i dammen medförde allvarliga brister.
2008	Stackmora	Oreälven	Stenkist- konstruktion	Ca 2 m	Måttliga flöden	Brister i dämmande funktion	Bristande hållfasthet / Bärförmåga	Bristande underhåll under lång tid av dammanläggning från ca 1860. Löpande mindre åtgärder gjordes återkommande, men mer omfattande åtgärder hade behövts. Dammen numera utrivens.
2010	Granö (kanalbank i intagskanal)	Mörrumsån	Fyllnings- damm med träspont	8	Ej höga flöden	Brister i dämmande funktion	Instabilitet	Snabb avsänkning av övy i intagskanal bedöms ha förorsakat skred i uppströms dammslänt i anlutning till intagspartiet.
2010	Hästberga	Helgeå	Fyllnings- damm med spontskärm	14	Ej höga flöden	Brister i kontrollerande funktion	Över- dämning / över- strömning	Fel i kraftstation och stigande övy uppmärksammades ej. Händelsen utredd av Haverikommissionen.
2010	Fisklösa	Långan	Fyllnings- damm med stålspont	6	Troligen höga flöden	Brister i avbördande funktion	Över- strömning	Orsakades troligtvis av kraftiga slagregn, vilket ledde till att spärrdammen överströmdes.
2011	Bjurfors nedre (fångdamm)	Umeälven	Fyllnings- damm	2	Höga flöden	Brister i avbördande funktion	Över- strömning	Reparation av utskov pågick, personalen tvingades avbryta arbetena och låta fångdammen gå till brott.
2012	Frötjärn, sekundär- haveri i Stenbergstjärn	Norrboån	Fyllnings- damm	3	Höga flöden	Brister i av- bördande och kontrollerande funktion	Över- strömning	Oväntat skyfall nattetid ledde till överdämning, situationen för- svårades av drivsgods (en brygga) som blockerade utskovsöppning. Sekundärdammhaveri i nedströms belägna dammen Stenbergstjärn med samma ägare
2018	Lång	Limån, biflöde till Österdalälven	Fyllnings- damm	Ca 3 m	Måttliga flöden	Brister i dämmande funktion	Inre erosion i damm- kroppen?	Dammanläggning från 1800-talet. Användes för årsreglering för kraft- ändamål, men byggdes ursprungligen för flottningsändamål. Haveriorsaken svår att fastställa med säkerhet, misstanke om att tjälning i dammkroppen i kombination med snabbväderomslag från vinter till sommar har skapat förut- sättningar för inre erosion.

Från samhällelig synpunkt var haverikonsekvenserna små eller begränsade, och ingen människa kom till allvarlig skada. För de aktuella dammägarna blev dock i några fall konsekvenserna kännbara, med kostnader på många miljoner för återställande av den egna anläggningen, skadade vägar mm. Några av dammarna har inte återuppbyggts och resterna har rivits ut.

Hur kan dammhaveri uppkomma?

Dammhaveri kan uppkomma som en följd av en eller flera samverkande brister i de dämmande, avbördande och kontrollerande funktionerna.

Brister i dämmande funktion – dammen klarar inte att stå emot de krafter som det uppdämda vattnet och andra yttre laster ger upphov till, med läckage, inre erosion, sprickor, nedbrytning, rörelser, instabilitet etc. i dammen eller grundläggningen som följd.

Brister i avbördande funktion – avbördningsanordningarna klarar inte att leda tillrinnande vatten förbi anläggningen på ett säkert sätt, med följderna att magasinet stiger över dämningens gränser och att dammen skadas av överdämning eller överströmning av dammkrönet, alternativt att det strömmande vattnet (avbördningen) orsakar yterrosion längs vattenvägen och skadar dammen eller grunden.

Brister i kontrollerande funktion – brister i övervakning, driftsystem och/eller i samverkan mellan människa, teknik och organisation leder till problem med vattenhanteringen, eller att problem med den dämmande och/eller avbördande funktionen enligt ovan inte upptäcks eller tas om hand.

Dammhaveri kan ske på olika sätt, t.ex. genom:

- Överströmning av dammkrönet
- Yterrosion på dammslänter och/eller underminering av dammtån/betongkonstruktioner
- Inre erosion och läckage genom dammen och grundläggningen
- Instabilitet i dammkroppen och/eller grundläggningen
- Hållfasthetsbrist i dammkonstruktionen

I avsnitten nedan beskrivs översiktligt hur dammhaveri kan utvecklas för de olika felsätten, och exempel på yttre lastförhållanden och andra bidragande orsaker och omständigheter diskuteras.

Överströmning

Överströmning av en dammanläggning kan ha en eller flera huvudorsaker:

- Vattenflödet avbördas inte för att man inte uppmärksammat den stigande magasinsvattenytan och således inte är medveten om behovet att spilla vatten.
- Luckor går inte att öppna, drivgods sätter

igen utskovsöppningarna eller andra händelser reducerar avbördningskapaciteten.

- Utskovskapaciteten är helt enkelt inte tillräcklig för att avbörda aktuellt vattenflöde, dvs. även med alla utskov öppna stiger nivån och kan så småningom orsaka överströmning.

Vid en ökande förhöjd vattennivå uppströms, s.k. **överdämning**, kommer olika anläggningsdelar att överströmmas successivt. Stängda luckor är normalt den del av anläggningen som överströmmas först eftersom deras överkant brukar ligga endast någon decimeter över dämningens gränser och därmed är lägre än övriga delar. De flesta luckor tål en viss överströmning utan att ta allvarlig skada och vissa lucktyper är även konstruerade för att tåla överströmning.

Vid ofrivillig överströmning av en lucka är det normalt att man vill öppna den för att öka avbördningen och sänka av magasinets vattenytan. Med ökat vattentryck mot luckan och vattenfyllning av spant (luckans "skelett") och hålrum på nedströmssidan kan dock lyftkraften hos spelet visa sig vara otillräcklig. Det betyder att luckan inte längre kan öppnas på normalt sätt och att magasinets vattenytan kan komma att stiga ytterligare.

Överströmning av andra delar än luckor är normalt allvarligare. Särskilt allvarlig är överströmning av en fyllningsdamm vilket ofelbart leder till erosions-skador i krön, nedströmsslänt och dammtån. Om överströmningen får fortgå kan ett fullskaligt dammhaveri inträffa. Begränsad överströmning av betongdammar är normalt mindre allvarligt, men en långvarig eller omfattande överströmning kan leda till skador framförallt i form av erosion hos grunden på nedströmssidan vilket kan leda till underminering och dammhaveri.



Överströmning av fyllningsdamm vid storskaliga fältförsök i Norge.



Överströmning pga. utebliven lucköppning.



Erosion från utskovtappning.



Erosionsskyddat utlopp. Dalkarlsdammen i Garpenberg.

Yterosion

Yterosion är främst ett problem för fyllningsdammar samt anslutningar, naturliga jordlager och berg som anläggningar är grundlagda på. Själva erosionen kan ha sin orsak i strömmande vatten, vågor eller is som påverkar anläggningen. Intensiv nederbörd som orsakar ett ytvattenflöde och olika mänskliga aktiviteter kan också medföra erosion.

Yterosion till följd av strömmande vatten kan påverka dammdelar som ansluter till utskov, vattenvägar och energiomvandlare om nämnda konstruktioner inte är dimensionerade för samma avbördningskapacitet som utskoven. Det kan till exempel vara ledmurar som är för låga, så att de överströmmas vid stor avbördning.

Ett annat scenario för yterosion är att tappningen i utskoven pga. överdämning blir större än den som anläggningen konstruerats för. Även detta kan leda till överströmning av konstruktioner som ska skydda angränsande erosionskänsliga dammdelar.

Yterosion av strömmande vatten kan också inträffa på dammens uppströmssida om vattenhastigheten vid inströmning till utskoven är större än vad materialet i angränsande dammdelar är anpassat för.

Grunden nedströms om de anläggningsdelar som utgör passage för vattnet förbi anläggningen utsätts ofta för påkänningar som kan leda till erosion. Det gäller både berg och jord. I dessa fall är inte energiomvandlingen tillräcklig, och vattenhastigheten blir då för hög och orsakar erosion i grunden. I värsta fall kan erosionen äta sig bakåt mot anläggningen och underminera utskovskonstruktionen.

Yterosion till följd av vågor påverkar oftast uppströmsslänten hos fyllningsdammar. Även nedströmsslänten skulle kunna påverkas om det finns en större vattenyta nedströms där vågor kan bildas. Erosionen uppstår när vågorna bryter mot slänten och stenstorleken hos erosionsskyddet är för liten för att motstå de krafter som uppstår. Is kan också påverka erosionsskydd och då främst genom att i istäcket fastfrusna stenar flyttas i nedströmsriktningen vid avsänkning av magasinet under vintern. En i Sverige ovanlig men ibland möjlig orsak till vågerosion kan också vara skred eller ras ner i magasinet som skapar en eller flera kraftiga vågor som allvarligt kan skada en dammanläggning.

Påverkan av intensiv nederbörd orsakar erosion hos främst dammar med finkorniga jordmaterial på ytan eller där vatten leds längs krönet för att sedan koncentrerat rinna utför en slänt.



Sjungkrop i vägbana på dammkrön.

Inre erosion och läckage

Inre erosion orsakas av vattenströmning genom en fyllningsdamm. Hos alla konstruktioner som utsätts för ensidigt vattentryck sker en vattengenomströmning som om den är påtaglig benämns läckage. Om läckaget är koncentrerat och så stort att fina partiklar i dammkroppen transporteras bort med vattnet har inre erosion uppstått. Genom borttransport av partiklar skapas förutsättningar för ökat läckage och högre strömningshastighet, vilket successivt gör att allt större partiklar kan följa med läckvattnet.

På detta sätt kan fenomenet accelerera borttransporten av finmaterial och nedbrytning av dammkroppen, vilket i förlängningen medför att ett dammhaveri uppstår. Läckagets storlek varierar ofta med uppströmsvattenytans variation, vilket gör att en damm med inre erosion är mer utsatt vid höga vattennivåer och särskilt vid överdämning av magasinet.

Inre erosion kan också uppstå i naturliga material som är belägna under en dammbyggnad, dvs. i dess grundläggning. Kontaktzonen mellan naturliga material och dammkroppen är ett område där inre erosion kan vara ett problem. Även i naturliga terrängformationer i anslutning till dammen eller sådana som avgränsar ett uppdämt magasin och utgör en "naturlig barriär" kan läckage och inre erosion förekomma. Andra känsliga områden är anslutningar mot betongkonstruktioner, sponter och eventuella rörledningar genom dammen etc.

Ökat läckage kan vara ett första tecken på inre erosion. Grumligt läckvatten indikerar att materialtransport förekommer. Sättningar och **sjunkgropar** i dammkrön och slänter kan vara tecken på inre erosion eftersom hålrum och kaviteter, som bildats genom materialtransporten, kollapsar och överliggande material successivt sjunker ner och så småningom bildar en synlig sättning eller sjunkgrop.



Läckage i nedströms dammtå.



Spricka i dammkrön vid fyllningsdammens anslutning till betongkonstruktion, orsakad av låg släntstabilitet åt nedströmshållet.

Instabilitet

Skador till följd av bristande stabilitet kan uppkomma plötsligt och vara storskaliga, t.ex. när en dammkonstruktion glider på underlaget eller när ett skred inträffar i en dammslänt. Problem med instabilitet skiljer sig åt mellan fyllningsdammar och betongdammar. Gemensamt är dock att grundläggningförhållandena är viktiga att beakta.

För fyllningsdammar orsakas stabilitetsproblem av att slänter är för branta i förhållande till egenkaperna hos jord- och stenmaterialet, och de inre vattenförhållandena som finns i fyllningen och grunden. Instabiliteten yttrar sig i ras och skred hos slänter eller jordflytningsfenomen. Ett skred kan också skära genom delar av grunden.

Ras och skred inträffar när hållfastheten i form av friktion och kohesion hos jordmaterialet inte är tillräcklig för att en slänt med viss lutning ska vara stabil. Den effektiva hållfastheten hos jordmaterialet minskar med ökande inre vattentryck (portryck).

Jordflytning sker när vatten i form av läckage strömmar ut ur en fyllning och transporterar materialkorn, vilket orsakar en lokal skada i form av små ras. Skadan blir successivt mer omfattande och leder så småningom till instabilitetsfenomen i form av större ras och skred. Fenomenet kallas ofta bakåtgripande erosion.

Instabilitet för betongdammar uppstår definitionsmässigt när de (pådrivande) krafterna som vill

förflytta dammkroppen är större än de (mothållande) krafterna som håller den på plats. De instabiliserade krafterna är i huvudsak de som orsakas av vattentryck, istryck och upptryck under dammen. De krafter som stabiliserar är i första hand dammkroppens egenvikt men stabiliserande tillskott kan också erhållas från vattnets tyngd mot vissa anläggningsdelar samt bergförankringar. Dammhaveri till följd av instabilitet sker genom att dammkroppen och/eller delar av grunden rör sig (glider) i nedströmsriktningen.

Hållfasthetsbrist

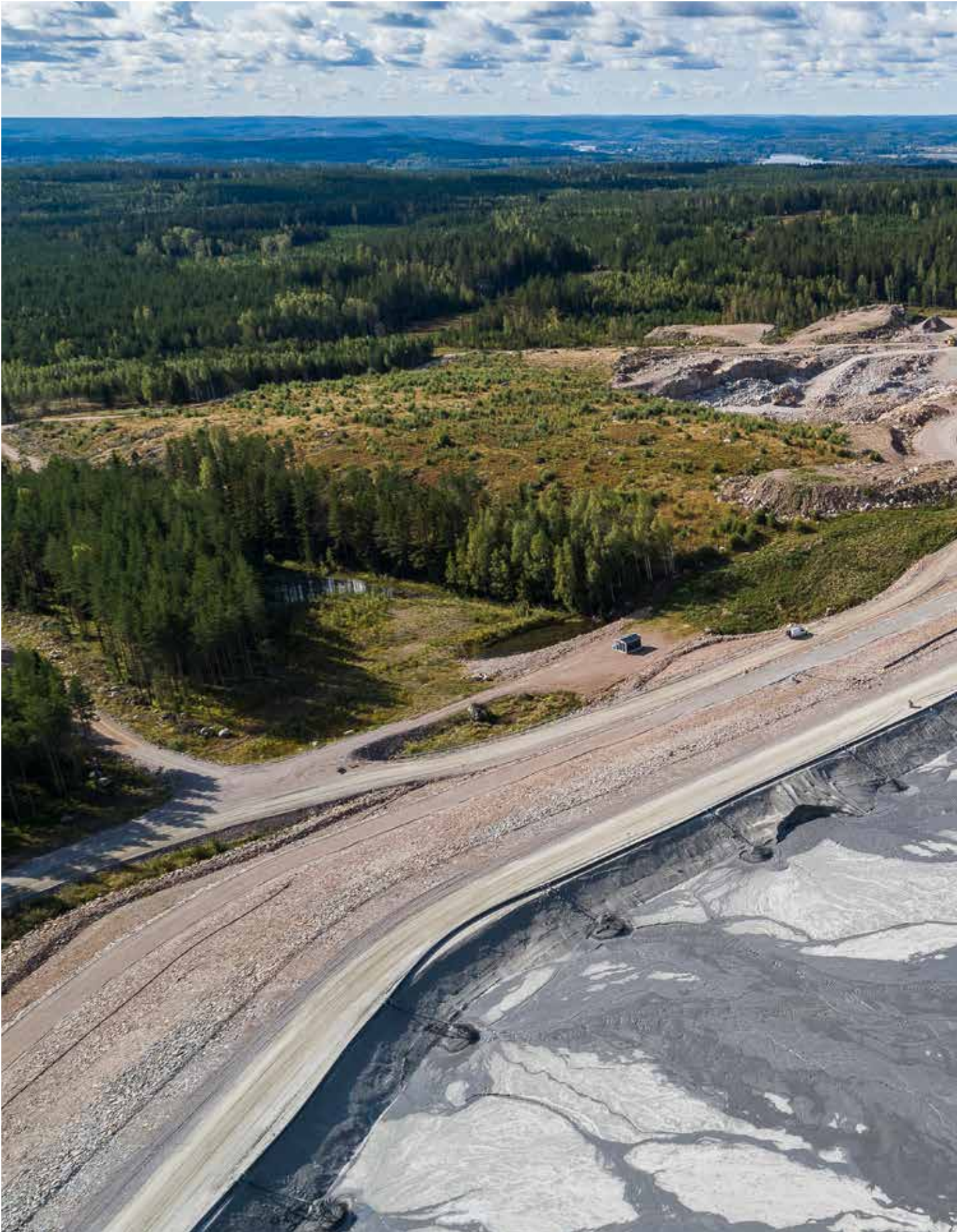
Med hållfasthetsbrist menas att ett material i en dammdel eller vital komponent inte klarar att motstå de krafter eller påkänningar som den utsätts för. För dammanläggningar kan det röra sig om betongkonstruktioner som havererar till följd av att belastningen är större än bärförmågan, eller stålkonstruktioner som brister eller deformeras till följd av överlast.

Hållfasthetsbrister kan bero på felaktig utformning eller felaktigt utförande. Även en korrekt utformad och utförd dammdel eller komponent kan haverera genom nedbrytning av materialet.

Hållfasthetsbrister som leder till brott hos t.ex. bärande delar av en utskovslucka och medför ofrivillig utströmning från magasinet är en form av dammhaveri.



Selsfors 1943, Skellefteälven. Haveri i lamelldammen vid höger anslutning i samband med första dämningen av magasinet. Monoliterna var grundlagda på jord och haveriet orsakades troligen pga. erosion i grunden.





Riskutsättning och dammhaveristatistik

Insamling och bearbetning av uppgifter om inträffade dammhaverier och andra allvarliga händelser avseende dammsäkerheten har gett kunskap och lärdomar som kan vara användbara vid bedömning av risker vid en dammanläggning.

Internationell statistik visar att många dammhaverier har inträffat under byggtiden, första dämningen eller under de första åren efter idrifttagandet. Det har sin bakgrund i att om något misstag eller allvarligt fel blivit begånget vid konstruktion eller byggande, så är det troligt att det leder till problem när dammen blir belastad av det uppdämda vattnet eller vid tappning av stora flöden. Det är därför viktigt att ha särskilt fokus på övervakningen under första uppdämningen och åren därefter.

Även upprustning eller ombyggnadsåtgärder för dammar innebär ofta en högre riskutsättning vad gäller dammhaveri under själva projektgenomförandet. Det beror på att anläggningsdelar, till exempel utskov, tas ur drift och att ordinarie funktioner, till exempel elmatning och övervakningsutrustning, tas ur drift eller ersätts med provisorier vars tillförlitlighet är lägre. Arbetsområden kan behöva torrläggas med hjälp av fångdammar vars

säkerhet inte alltid är lika god som ordinarie dammbyggnad. Även organisatoriskt kan arbeten på en dammbyggnad påverka dammsäkerheten, till exempel genom oklara ansvarsförhållanden mellan ordinarie personal och de som arbetar med upprustning eller ombyggnad. De personer som ska utföra ombyggnadsarbeten vid anläggningen behöver också ha tillräcklig kunskap om dammsäkerhet.

Incidenter och haverier inträffar även i dammar som fungerat väl under många år. Många haverier har inträffat i samband med höga flöden. Bidragande orsaker till dammhaveri kan t.ex. vara brister i underhåll, brister i övervakning, otillräcklig bemanning, utskovsluckor som inte öppnas eller som sätts igen av drivgods. Det är därför viktigt att öka driftövervakning och rondning vid flödessituationer och andra svåra väderförhållanden.

Även åldring och nedbrytning av konstruktioner och utrustning kan leda till större sannolikhet för oönskade händelser. Övervakning och funktionsprov (verifikationstest) för mekanisk utrustning och elektriska installationer är viktiga aktiviteter för att i tid upptäcka, och åtgärda, fel och brister innan de får allvarliga konsekvenser.

Skadegörelse eller sabotage kan i värsta fall också leda till dammhaveri.

ICOLD sammanställer data om inträffade haverier i stora dammar. Nedan redovisas preliminära resultat från en pågående utvärdering. Ca 320 haverier, att jämföra med de drygt 35.000 stora dammar som finns i världen (exklusive Kina). Gruvdammar ingår inte i statistiken.

- Dammhaveri har inträffat i knappt 1% av dammbeståndet.
- Andelen haverier är tämligen oberoende av dammtyp och ligger omkring 1% för jord- och stenfyllningsdammar, gravitationsdammar och valvdammar. För lamelldammar är andelen högre. Murverksdammar står för 2/3 av haverierna i gravitationsdammar.
- En högre andel av dammar byggda före 1925 har rasat (ca 4%). Andelen sjunker därefter tydligt (drygt 1% perioden 1925–1950 och ca 0,5 % efter 1950).
- Många haverier har inträffat de första åren efter idrifttagningen, men ca hälften av haverierna har inträffat i dammar äldre än tio år.
- För dammar med en höjd inom intervallet 15–75 m ligger andelen haverier omkring 1%. Endast fyra dammar högre än 75 m har havererat.
- För dammar där de yttre omständigheterna i samband med haveriet är kända har drygt 40% inträffat vid normala driftförhållanden, drygt 50% vid höga flöden och mindre än 10% i samband med jordbävning, annan extrem naturhändelse eller antagonistisk påverkan.
- För fyllningsdammar är överströmning (ca 45%) och inre erosion (ca 35%) de vanligaste felsätten.
- För betong- och murverksdammar är brister i dammkonstruktionen och/eller grunden (över 50%) samt överströmning (ca 25%) de vanligaste felsätten.



Dammhaveri Hästberga 2010.



9. Referenser och fördjupning

Information och kunskaper om dammbyggnadsteknik, dammsäkerhet och inträffade dammhaverier kan sökas på flera håll. I det följande listas referenser som legat till grund för den här boken, och förslag lämnas på ett urval webbplatser där kompletterande källor för information och fördjupning inom dammområdet kan hämtas.

I bokens löpande text hänvisas till följande **referenser**.

- [1] RIDAS 2019 - Energiföretagens riktlinjer för dammsäkerhet - Energiföretagen Sverige 2019
- [2] GruvRIDAS - Gruvföretagens riktlinjer för dammsäkerhet - SveMin 2012
- [3] Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar - Svenska kraftnät, Svensk Energi, SveMin 2015
- [4] Miljöbalk (1998:808) med tillhörande förordningar
- [5] Jord- och stenfyllningsdammar - Vattenfall 1988
- [6] Ökad avbördningsförmåga, Energiforskrapport 2017:422
- [7] Geofysiska metoder inom dammsäkerhetsområdet. En kunskapssammanställning. Energiforskrapport 2019:571
- [8] Dam safety performance monitoring and data management - best practice, Svensk kortversion och reflektioner, Elforsk rapport 14:09

Information och kunskaper inom området dammbyggnadsteknik och dammsäkerhet kan sökas på flera håll. Nedan ges förslag på källor för kompletterande information och fördjupning.

Svenska kraftnäts hemsida www.svk.se/ dammsakerhet ger information om regelverk, vägledning och kunskapssammanställningar, resultat från forskning och utveckling, utbildningar mm. För kontakt och frågor till svenska kraftnäts dammsäkerhetshandläggare hänvisas till dammsakerhet@svk.se.

Branschrictlinjerna RIDAS och GruvRIDAS kan köpas via Energiföretagens hemsida www.energiforetagen.se. **Energiföretagen och SveMin** anordnar även kurser om dammar och dammsäkerhet med utgångspunkt från riktlinjerna.

Energiforsks hemsida www.energiforsk.se/ program/dammsakerhet/sammanstaller information om pågående FoU-program inom bl.a. dammsäkerhet och vattenkraft. Forsknings- och utvecklingsrapporter som givits ut av Energiforsk och tidigare Elforsk kan laddas hem kostnadsfritt.

ICOLD (International Commission On Large Dams) publicerar bulletiner inom olika ämnesområden kring dammar, dammteknik och dammsäkerhet. Bulletinerna finns att tillgå via ICOLDs hemsida www.icold-cigb.org. Bulletinerna kan laddas hem gratis för medlemsföretag inom SwedCOLD, den svenska nationella kommittén inom ICOLD. För anställda vid myndigheter kan Svenska kraftnät tillhandahålla ICOLDs bulletiner.

SwedCOLD anordnar temadagar i aktuella ämnen om dammar och dammsäkerhet ca två gånger per år. Dokumentation från de presentationer som hållits finns på hemsidan www.swedcold.org.

Information om inträffade dammhaverier, och lärdomar från dessa, finns på t.ex.:

Lessons learned from dam failures and incidents. Association of State Dam Safety Officials. www.damfailures.org.

Chronology of major tailings dam failures www.wise-uranium.org.



Hertigen af Östergötlands sluss, Strömsholms kanal.

Bildförteckning

Kapitel 1

- Sid 6: Foto: Tomas Ärlemo
Sid 9: Övre foto: Lars Bånge
Nedre foto: AB Göta kanalbolag
Sid 10: Källa: Äldre dammregister/
Svenska kraftnät
Sid 11: Foto: Sten Bergström
Sid 12: Foto: Maria Bartsch
Sid 14: Foto: Tomas Ärlemo
Sid 16: Foto: Vattenregleringsföretagen
Sid 21: Foto: Tomas Ärlemo

Kapitel 2

- Sid 22: Foto: Tomas Ärlemo
Sid 24: Foto: Fortum

Kapitel 3

- Sid 28: Foto: Tomas Ärlemo
Sid 32: Foto: Maria Bartsch
Sid 33: Foto: HydroTerra Ingenjörer
Sid 34: Övre foto: Portuguese Dam
Safety Authority
Nedre foto: Helmut Czerny
Sid 35: Foto: HydroTerra Ingenjörer
Sid 37: Foto: Jan Liif
Sid 39: Övre foto: Peder Lönneborg
Nedre foto: Vattenregleringsföretagen
Sid 40: Foto: Tomas Ärlemo
Sid 42: HydroTerra Ingenjörer
Sid 43: Övre foto: Fredrik Edström
Nedre foto: Tomas Ärlemo
Sid 44: Foto: HydroTerra Ingenjörer
Sid 45: Foto: Vattenregleringsföretagen
Sid 46: Källa: HydroTerra Ingenjörer
Sid 48: Foto: Richard Malm
Sid 49: Foto: Richard Malm
Sid 50: Foto: HydroTerra Ingenjörer
Sid 51: Foto: HydroTerra Ingenjörer
Sid 52: Foto: Peder Lönneborg
Sid 53: Foto: HydroTerra Ingenjörer
Sid 54: Foto: HydroTerra Ingenjörer
Sid 55: Källa: Vattenregleringsföretagen
Sid 56: Foto: AIB
Sid 57: Foto: HydroTerra Ingenjörer

Kapitel 4

- Sid 58: Foto: Tomas Ärlemo
Sid 62: Foto: HydroTerra Ingenjörer
Sid 63: Foto: Peder Lönneborg
Sid 64: Foto: James Yang
Sid 66: Foto: Tomas Ärlemo
Sid 68: Foto: HydroTerra Ingenjörer
Sid 69: Foto: Peder Lönneborg
Sid 70: Övre foto: HydroTerra Ingenjörer
Nedre foto: Peder Lönneborg
Sid 72: Övre foto: Daniel Edman
Nedre foto: HydroTerra Ingenjörer
Sid 73: Övre foto: HydroTerra Ingenjörer
Nedre foto: Vattenregleringsföretagen
Sid 77: Övre foto: Johan Lagerlund
Nedre foto: Peder Lönneborg
Sid 78: Foto: Peder Lönneborg
Sid 80: Övre foto: HydroTerra Ingenjörer
Nedre foto: Andreas Halvarsson
Sid 81: Foto: Rolf Steiner
Sid 82: Foto: Tomas Ärlemo
Sid 83: Foto: Tomas Ärlemo
Sid 84: Foto: Tomas Ärlemo

Kapitel 5

- Sid 86: Foto: Tomas Ärlemo
Sid 89: Övre foto: HydroTerra Ingenjörer
Nedre foto: Vattenregleringsföretagen
Sid 92: Foto: Tomas Ärlemo
Sid 95: Foto: Tomas Ärlemo
Sid 96: Övre foto: Vattenregleringsföretagen
Nedre foto: Tomas ärlemo
Sid 97: Källa: Vattenfall
Sid 99: Foto: Tomas Ärlemo
Sid 100: Källa: Vattenfall
Sid 101: Foto: Peder Lönneborg
Sid 103: Källa: HydroResearch AB

Kapitel 6

- Sid 104: Foto: Tomas Ärlemo
Sid 106: Källa: AB Göta kanalbolag
Sid 107: Källa: AB Göta kanalbolag
Sid 108: Foto: HydroTerra Ingenjörer
Sid 109: Foto: Tomas Ärlemo
Sid 110: Foto: Tomas Ärlemo

Kapitel 7

- Sid 112: Foto: Tomas Ärlemo
Sid 115: Övre foto: Lantmäteriet
Nedre foto: Tomas Ärlemo
Sid 118: Foto: Tomas Ärlemo
Sid 119: Källa: LKAB
Sid 120: Foto: LKAB
Sid 121: Foto: Boliden AB

Kapitel 8

- Sid 122: Foto: Tomas Ärlemo
Sid 127: Övre foto: Olle Mill
Källa: Statkraft Sverige AB
Sid 128: Övre foto: HydroTerra Ingenjörer
Nedre foto: Tomas Ärlemo
Sid 130: Foto: Vattenregleringsföretagen
Sid 131: Foto: Åke Nilsson
Sid 132: Foto: Åke Nilsson
Sid 133: Foto: Skellefteå Kraft
Sid 134: Foto: Tomas Ärlemo
Sid 137: Foto: Maria Bartsch

Kapitel 9

- Sid 138: Foto: Tomas Ärlemo
Sid 141: Foto: Tomas Ärlemo
Sid 143: Foto: Tomas Ärlemo

Omslagsfoto

Tomas Ärlemo, Svegsdammen

Kapitel- och uppslagsbilder

Svegsdammen
Krokströmmen
Dammar i Garpenberg
Slussar vid Strömsholms kanal

Övriga figurer

Svenska kraftnät



Slussportar

ÄRENDENR: SVK 2019/3255

Svenska kraftnät
Box 1200
172 24 Sundbyberg

Tel 010-475 80 00
E-post: dammsakerhet@svk.se
www.svk.se

