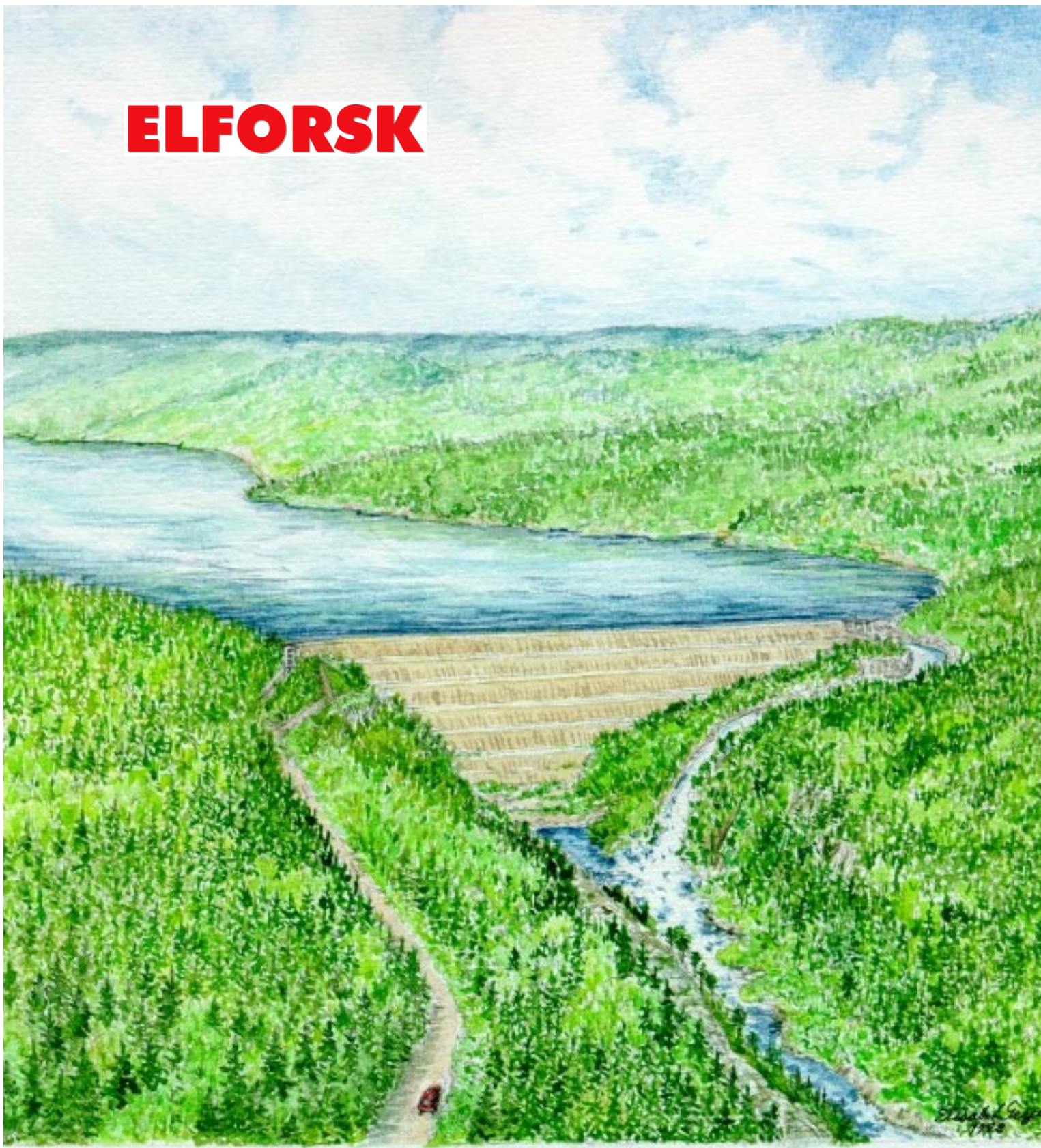


ELFORSK



DAMMSÄKERHET

**ANPASSNING AV FYLLNADSDAMMAR FÖR ATT
MOTSTÅ TILLFÄLLIG ÖVERDÄMNING**

Rapport 99:25

DAMMSÄKERHET

ANPASSNING AV FYLLNADSDAMMAR FÖR ATT MOTSTÅ TILLFÄLLIG ÖVERDÄMNING

Rapport 99:25

Anpassning av fyllnadsdammar för att motstå tillfällig överdämning

Elforsk rapport 99:25

Förord

Denna rapport är ett delresultat inom Elforsk ramprogram Dammsäkerhet.

Kraftindustrin har traditionellt satsat avsevärda resurser på forsknings och utvecklingsfrågor inom dammsäkerhetsområdet, vilket har varit en förutsättning för den framgångsrika utvecklingen av vattenkraften som energikälla i Sverige.

Målen för programmet är att långsiktigt stödja branschens policy, dvs att:

- Risker för allvarliga dammbrott skall praktiskt taget elimineras
- Risker för dammskador och driftstörningar skall hållas på lägsta rimliga nivå
- Om skada trots allt inträffar, skall beredskap finnas där handlingsprogram upprättats och konsekvenser utretts på förhand

Prioriterade områden är Teknisk säkerhet, Operativ säkerhet och beredskap samt Riskanalys.

Ramprogrammet har en styrgrupp bestående av: Jonas Birkedahl – Birka Energi, Malte Cederström - Vattenfall Vattenkraft, Anders Isander – Sydkraft Vattenkraft, Lennart Markland – Vattenregleringsföretagen, Urban Norstedt - Vattenfall Vattenkraft, Gunnar Sjödin – Vattenregleringsföretagen samt Lars Hammar - Elforsk

Stockholm i januari 1999

Sammanfattning

De nya riktlinjerna för flödesdimensionering i Sverige medförde behov av en översyn av dimensioneringen för existerande dammar. Detta har i många fall lett till högre dimensionerande flöden och följaktligen dammar med otillräcklig avbördningskapacitet och/eller för låga fribord.

Föreliggande rapport pekar på olika metoder att öka kapaciteten hos fyllnadsdammars för att dessa skall kunna motstå högre flöden. Den första delen av rapporten diskuterar problemet utgående från den överlast som krävs för att dammen skall kunna klara det nya högre flödet. Därefter presenteras de metoder som hittats för att lösa problemet. I sista delen av rapporten presenteras de idéer som kom fram och den diskussion som hölls vid ett möte med experter från svensk kraftindustri.

Summary

The methods for selecting the design floods have recently been updated in Sweden. This has in many cases led to higher design floods and subsequently dams with insufficient spillway capacity and/or to low freeboards.

This report aims at displaying the various methods available for increasing the capacity of embankment dams to accommodate larger floods. The first part of the report presents the problem based on the amount of surcharge required to pass the flood. Then the encountered methods of resolving the problem are presented. The last part of the report presents the ideas and the discussion of a brainstorming session with people involved in the hydropower sector in Sweden, with different fields of expertise.

The report forms part of a dam safety program sponsored by ELFORSK AB, a joint venture formed by the different companies of the hydropower industry of SwedenText [normal]

Innehållsförteckning

1	INLEDNING.....	3
2	BAKGRUND.....	5
2.1	PROBLEMSTÄLLNING.....	5
2.2	TÄNKBARA BROTTMEKANISMER	6
2.3	DIMENSIONERINGSFÖRUTSÄTTNINGAR OCH RISKFILOSOFI	7
3	ETABLERADE METODER FÖR ATT HÖJA ÖVERDÄMNINGSFÖRMÅGAN.....	9
3.1	ALLMÄNT	9
3.2	KATALOG ÖVER KÄNDA TYPLÖSNINGAR	10
4	INNOVATIONSTRÄFF	31
4.1	DELTAGARE	31
4.2	DISKUSSION.....	31
5	LITTERATURSÖKNING	37
6	REFERENSER.....	39

Bilagor

- A FÖRSTÄRKNING MOT VÅGORS EROSION OCH ÖVERSPOLNING
- B MINSKA / STOPPA GENOMLÄCKNING GENOM DAMMKRÖN OVAN TÄTKÄRNA
- C FÅ DAMMEN ATT TÅLA STÖRRE GENOMLÄCKNING
- D HÖJNING AV DAMMEN FÖR ATT MOTSTÅ HÖGRE RESERVOARNIVÅER
- E SÄKRA DAMMEN FÖR ÖVERSTRÖMNING

1 Inledning

Det finns många sätt att öka en fyllnadsdamms förmåga att kunna härbärgera stora flöden. Valet av metod styrs av en mängd faktorer. Bland dessa ingår tex vilka material som finns tillgängliga på platsen, vilken uppbyggnad den befintliga konstruktionen har, vilken dammbyggnadstradition som finns, och omfattningen av det högre flöde som måste omhändertas. Men även konstruktörens tidigare erfarenhet och fantasi kan ha stor betydelse. Ofta innebär tidspress och kostnadspress vid en projektering att man är hänvisad till konventionell teknik eller teknik som man har tidigare erfarenhet av. Man har små möjligheter att skaffa sig en överblick av vad som görs på andra håll i världen och kanske också av vad som gjorts av andra aktörer i samma land.

Denna skrift är tänkt att ge en översikt över vilka metoder som är tänkbara för att anpassa en fyllnadsdamm till att motstå tillfällig överdämning, samt att ge referenser till var mer information finns om de alternativ som presenteras. På detta sätt är förhoppningen att den första fasen i en projektering ska underlättas. Konstruktören ska få en överblick över möjliga alternativ för de problem som han står inför, och kanske också få nya uppslag och idéer

De metoder som är kända presenteras i kapitel 3. I kapitel 4 presenteras resultatet av den innovationsträff som har genomförts. De idéer som framfördes under träffen presenteras utan kommentar eller sällning. Det ska också sägas att träffen genomfördes som en sk brainstorming där inget krav egentligen ställs på att alla framförda förslag nödvändigtvis måste vara välövertänkta eller genomförbara.

I de tabeller som sedan följer presenteras de olika möjligheterna till att modifiera fyllnadsdammar. Lösningarna är uppdelade på samma problemkategorier som gäller i kapitel 3. Under varje problemkategori presenteras först de kända använda lösningarna och därefter de idéer som presenteras i kapitel 4.

2 Bakgrund

2.1 Problemställning

Under senare år har principerna för att beräkna det dimensionerade flödet för dammar omvärderats. Resultatet har blivit att befintliga dammar i många fall har för låg avbördningskapacitet i förhållande till de nya dimensionerande flödena. Arbetet med att ta fram nya dimensionerande flöden för svenska dammanläggningar pågår för närvarande. Arbetet med att anpassa själva anläggningarna för att motsvara dessa nya högre krav på att kunna hantera högre flöden ligger därför i startgroparna. Som förberedelse för de troligtvis omfattande byggnadsåtgärder som kommer att erfordras, har en mängd olika utredningar utförts för att definiera frågeställningarna, och klargöra förutsättningarna för de olika lösningar som kan tänkas bli aktuella. Exempel på detta är rapporterna från VASO dammkommitté.

I princip finns två sätt att hantera högre dimensionerande flöden för en dammanläggning nämligen tillförande av högre avbördningskapacitet eller ökning av dammens förmåga att magasinera delar av de inkommande flödet. Dessa metoder kan givetvis kombineras.

Föreliggande rapport syftar till att dels redovisa vilka metoder som idag används för att höja fyllnadsdammars förmåga till tillfällig överdämning, dels att ge förslag till andra ännu icke prövade möjligheter till att höja denna förmåga hos fyllnadsdammar att motstå en tillfälligt förhöjd magasinsnivå.

2.2 Tänkbara brottmekanismer

Följande fem brottmekanismer är kända för fyllnadsdammar.

1. Erosion av vågor i dammens uppströmsslänt och krön.
2. Inre erosion i dammkroppen eller undergrunden.
3. Erosion i dammkrönet.
4. Erosion vid dammtån.
5. Stabilitet hos nedströmsslänten

Med hänsyn till förmågan att motstå tillfälligt förhöjd vattennivå är det kanske främst brottmekanism 1, 3 och 4 som utgör det största hotet, givetvis under förutsättning att dammens säkerhet bedöms som fullgod med vattennivåer vid dämningens gräns.

Erosion av vågor i dammens uppströmsslänt och krön. Vid alltför litet fribord kan uppspolning ske på krönet och detta kan orsaka erosion av dammkrönet eller av nedströmsslänten. Dessutom kan erosion ske av uppströmsslänten såvida inte erosionsskyddet täcker de nivåer som utsätts för vågor under överdämningsförloppet.

Läckage och inre erosion i dammkrönet. Tåtkärnans övre del är ofta mer genomsläpplig än den övriga tåtkärnan, orsakat av tjäle eller av att något grövre material använts för att minska tjälfarligheten. Risken för allvarliga skador av erosion av krönet är dock liten såvida det finns filter av rimlig kvalitet som skyddar tåtkärnan.

Inre erosion i dammkroppen eller undergrunden. Det sker ingen språngvis förändring av belastningen som orsakar detta brottförlopp till följd av en överdämning, såsom tex vid överspolning. Belastningen ökar med samma relation som överdämningen har till ordinarie vattendjup vid den tänkta skadeplatsen. Har dammen erforderlig säkerhetsmarginal vid dämningens gräns, och den aktuella överdämningen är rimligt liten bör den något förhöjda risken för inre erosion i dammkroppen kunna accepteras under en begränsad tid.

Erosion vid dammtån. Denna orsakas av att eventuellt läckagevatten samlas av topografin till lågpunkter i dammens grundläggning, där förhållandevis stora mängder vatten kan strömma ut på en begränsad sträcka. Läckagevatten kan härröra från överströmning av tåtkärnans krön, överströmning av dammen som perkolerat nedströmsfyllningen eller från skador på tåtkärnan eller undergrunden till följd av inre erosion. Risken för skador är beroende av mängden läckagevatten, materialets kornfördelning och nedströmssläntens lutning.

Stabilitet hos nedströmsslänten. Normalt används säkerhetsfaktorn 1,5 då nedströmssläntens stabilitet beräknas med glidytor. Vid en begränsad överdämning ökar visserligen belastningen, men i de flesta fall i begränsad utsträckning så att säkerhetsmarginalen förblir tillräcklig. Endast vid en omfattande genomläckning eller överströmning som förmår bygga upp portryck i nedströmsfyllningen blir nedströmssläntens stabilitet för dålig.

Ur perspektivet tillfällig överdämning kan det även finnas andra lokala faktorer som spelar in som tex att tät kärnans krön i verkligheten inte har den nivå som anges på ritningar, eller att dammen är belastad med svagheter som inte är acceptabla ens vid en vattennivå vid dämningens gräns.

2.3 Dimensioneringsförutsättningar och riskfilosofi

Enligt flödeskommitténs riktlinjer ska nya dammar i riskklass 1 utföras så att de utan allvarlig skada på dammen kan hantera ett flöde beräknat enligt de metoder som beskrivs i riktlinjerna. Dessutom ska dammarna kunna avbörda ett 100-årsflöde vid dämningens gräns.

Vad gäller erosionsskydd av uppströmsslänten och fribordet med hänsyn till vågors uppspolning och vindnivellering, föreslås i nya riktlinjer dimensionerande vindhastigheter på 20 alternativt 25m/s att kombineras med dimensionerande flöde. Vid dämningens gräns föreslås vindhastigheter på 30 respektive 35m/s. De lägre värdena avser skogslandskap och lågfjällsterräng och de högre avser fjällterräng.

Vid ett extremtillfälle som en jordbävning eller ett högflöde enligt flödeskommitténs riktlinjer kan väsentligt lägre säkerhetsmarginaler för dammen som struktur accepteras än för ett normalt driftstillstånd. Det är rimligt att anta att en sannolikhet för strukturell kollaps på 0,1 kan accepteras. Detta kan tex innebära att laster kan räknas till deras nominella värden utan lastfaktorer och att karaktäristiska värden för materialhållfastheter kan användas. Dessutom behöver beständigheten hos konstruktionen inte vara mer än några tiotal timmar under dimensionerande belastning. Däremot ska den inte brytas ner under dammens normala driftbelastning.

3 Etablerade metoder för att höja överdämningsförmågan

3.1 Allmänt

De metoder som kan komma ifråga för att öka en fyllnadsdamms förmåga att motstå en tillfällig överdämning beror på dammens konstruktion, allmänna skick, överdämningens storlek och ett antal andra faktorer. Nedan följer en kortfattad beskrivning av lösningar som har använts.

I det fall (A) där den erforderliga överdämningen i samband med ett dimensionerande flöde ligger under tåtkärnans överkant kan det räcka med att bekräfta nivån på tåtkärnan och vilket skick den befinner sig i, samt att försäkra sig om att erosionskyddet på uppströmsslänten är tillfyllest och fribordet tillräckligt för att förhindra överspolning av vågor. I det fall där filtret närmast ovan tåtkärnan har mycket begränsad permeabilitet kan fall A anses innefatta en överdämning upp till finfiltrets överyta.

För de fall (B) där den vid det dimensionerande flödet erforderliga överdämningen överstiger tåtkärnans överyta men understiger dammens krön finns flera möjligheter att trygga dammen.

- Man kan se till att dammen tål den genomströmning som den utsätts för tex genom att förstärka nedströmstån med stenfyllningsinklädnad.
- Man kan hindra genomströmning över tåtkärnan med någon metod som tex att slå ner spont i tåtkärnan och återfylla eller med något annat tätande membran såsom plastfilm, trä eller betong.
- För att hindra vågornas erosion kan en vågbarriär placeras på krönet, krönet kan erosionssäkras och nedströmsslänten kan även den erosionssäkras.

För det fall (C) när erforderlig överdämning överstiger dammens krön, finns alternativen att göra en mer regelrätt dammhöjning eller att säkra dammen för överströmning.

- En höjning av dammen kan utföras på konventionellt sätt med en höjning av tåtkärnan och ytterligare stödfyllningar på nedströmssidan. Det är också möjligt att tex placera en kasun på dammkrönet.
- Att göra dammen överströmningsbar kan för en stenfyllnadsdamm med grovt fyllmaterial ske genom att säkra nedströmsslänten mot erosion och genom att förstärka dammtån. För övriga dammtyper är det också möjligt att klä dammen med betong som kan vara antingen konventionell eller av RCC typ. Alternativet finns också att lägga ut mattor av betongblock för att erosionsskydda krön och nedströmsslänt.

3.2 Katalog över kända typlösningar

I det följande presenteras olika lösningar på problemet tillfällig överdämning med en kortfattad beskrivning av hur lösningen ser ut tillsammans med en principskiss. Även vilka principer som styr utformningen och exempel på var denna lösning har använts med hänvisning till referenser ges.

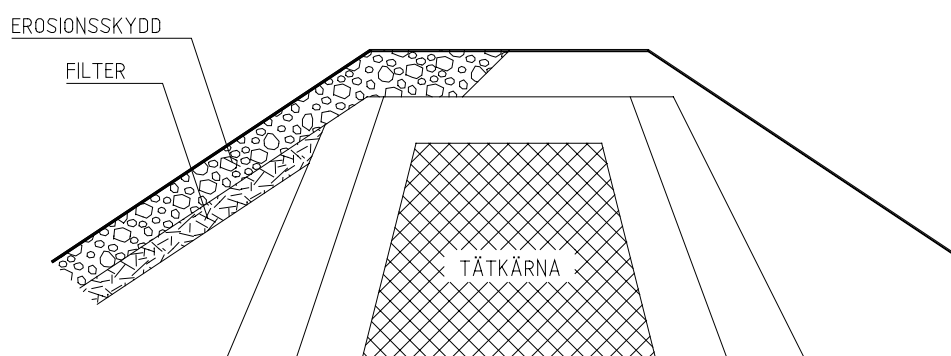
Åtgärdskategori

3.2.1 Förstärkning mot vågors erosion och överspolning:

- Utökning av erosionskydd på uppströmsslänten till att omfatta de nya nivåer som omfattas av vågerosion vid en tillfällig överdämning.

Erosionskyddet utförs av stor sten eller block på ett övergångslager med filterfunktion. Beroende på uppspolningshöjd skyddas även dammens krön på samma sätt. Dimensioneringen sker enligt anvisningar tex i VASO dammkommittés rapport 11. Med magasinet vid dämningssgränsen dimensioneras erosionskyddet för högre vindhastigheter än under en högflödessituation. Dessutom krävs inte samma säkerhetsmarginal vid extrema händelser som ett dimensionerande högflöde. Detta borde innebära att erosionskyddet vid nivåer som inte nås under dimensionerande vind med magasinet vid dämningssgräns, kan byggas av mindre grovt material.

Inga utförda dammodifieringar av denna typ har hittats men utförandet kan vara enligt figur 1 nedan.



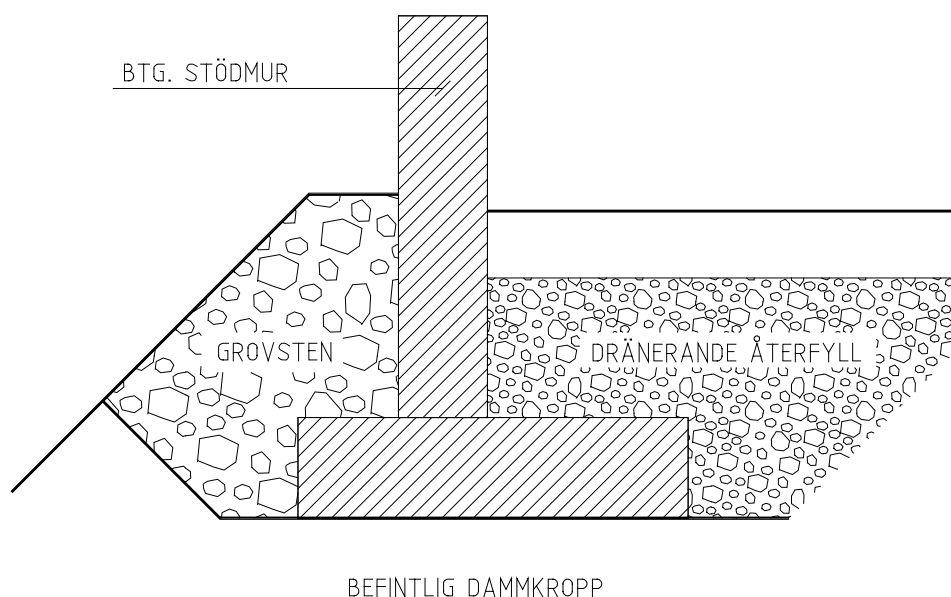
Figur 1. Erosionskydd av uppströmsslänt och krön

- Installation av stödmur, parapet som hindrar överspolning.

Stödmuren utförs T-formad eller L-formad och grundläggs på tätkärnan eller högre på packad fyllning. Om den inte ingår i en kröntätning sammanhängande med tätkärnan utförs återfyllning på både upp och nedströmssidan av dränerande icke tjälfarligt material. Om den ingår i den tätande barriären, kan den placeras på tätkärnans uppströmskant och återfyllas på nedströmssidan med tätjord med filter nedströms och ovanför. På uppströmssidan ska återfyllningen vara erosionssäker.

Stödmuren ska vara stabil för förekommande upptryck och de vågkrafter som kan uppkomma när vågen under uppströmningen slår mot muren. Hänsyn måste också tas till att erosionsskyddet av slänten som ansluter mot stödmuren utsätts för större påfrestningar till följd av att murens vertikala vägg inte dissiperar vågenergin lika effektivt som en tänkt fortsatt slänt av stenfyllning.

Stödmurar av denna typ kan utföras enligt figur 2 eller som i figur 4 när det är en del av en dammhöjning.



Figur 2. Exempel på stödmur som vågerosionsskydd

- Förstärka dammkrön och nedströmsslänt till att motstå aktuell överspolning.

Det kan också vara möjligt att säkra dammens överlevnad genom att tillse att den tål ett visst mått av överspolning av vågor.

För en stenfyllnadsdamm med genomsläpplig nedströmsfyllning är det troligt att krönet utsätts för tendenser till erosion till följd av vågornas uppspolning men att det

översköljande vattnet sedan i stort har perkolerat dammens nedströmsfyllning. Nästa punkt som blir kritisk är utströmningen vid dammtån, som måste kontrolleras för den väntade mängden utströmmande vatten. Detta görs genom dimensionering av den sk tåstenen, som håller uppströmsvarande fyllning stabil. Metoder för att kontrollberäkna detta finns anvisade tex i referens [1] och [2].

För en jordfyllnadsdamm där nedströmsfyllningen inte är genomsläpplig nog att låta allt det översköljande vattnet penetrera ytan kan även nedströmsslänten behöva skyddas mot erosion. Detta kan utföras enligt någon av de metoder som beskrivs nedan för att kunna tillåta överströmning.

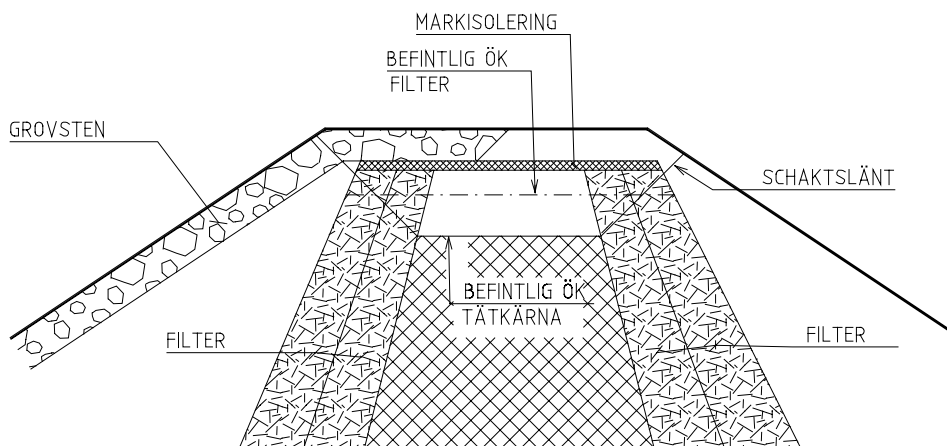
3.2.2 Höjning av tåtkärnan.

För att minska genomläckage ovanför tåtkärnan måste den tätande barriären höjas på något sätt. Ofta kombineras en höjning av tåtkärnan med att även dammens krön höjs vilket framgår av exemplen nedan, men metoderna går naturligtvis ofta att tillämpa även utan en höjning av dammens krön.

- Höjning av tåtkärna genom påbyggnad med tätjord.

Hela tåtkärnans överyta friläggs inklusive uppströms och nedströmsfilter genom schaktning i dammens krön. Tåtkärnan och filtren byggs sedan på till önskad höjd. Om detta sker utan att dammens krön höjs motsvarande kan tåtkärnas komma att behöva skyddas mot tjäle genom värmeisolering med markskivor tex.

Inga exempel har hittats där tåtkärnan höjts utan en samtidig påbyggnad av krönet, men principutformningen skulle kunna vara enligt figur 3 nedan:

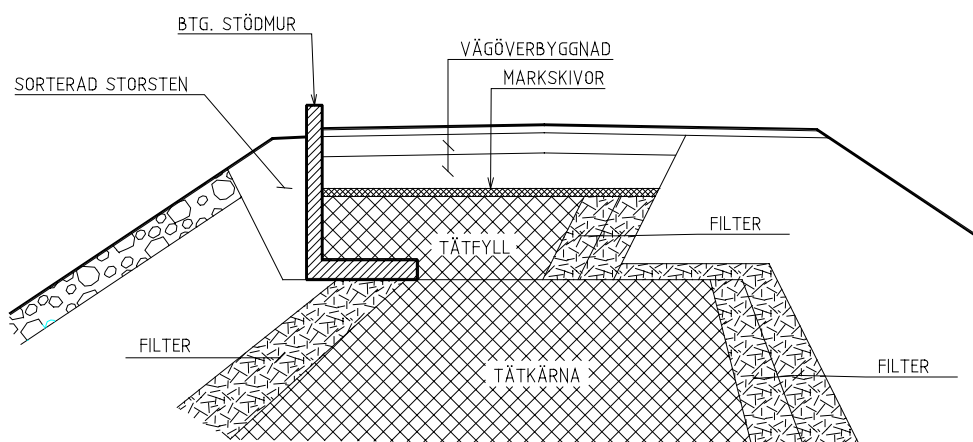


Figur 3. Höjning av tåtkärna med markisolering.

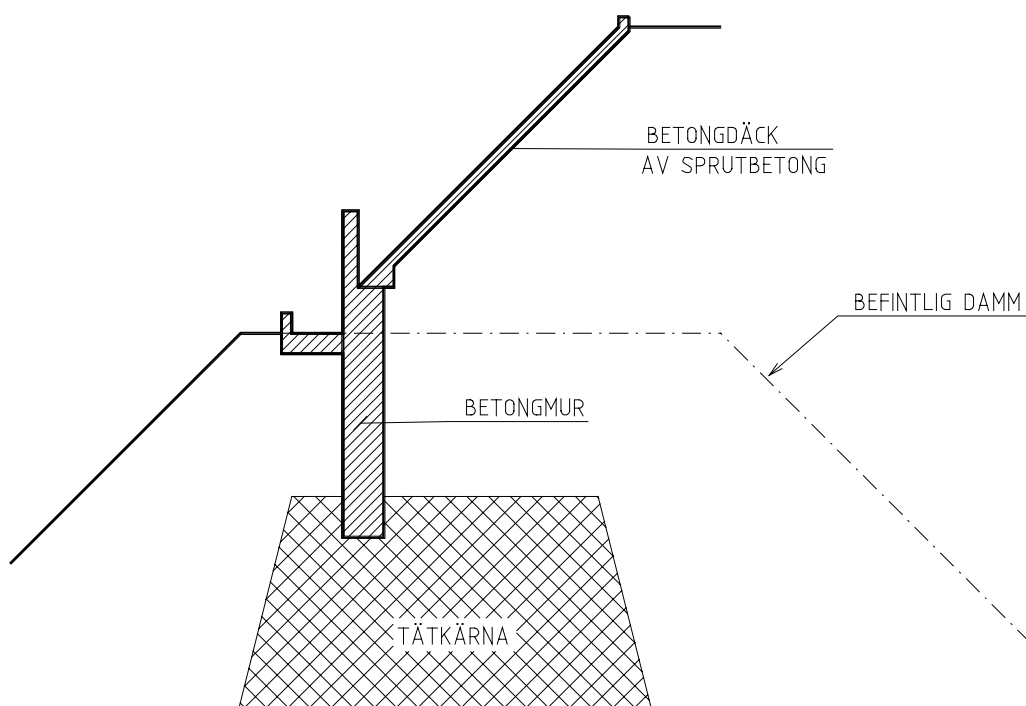
- Påbyggnad av tätkärla med betongstödmur som ställs på tätkärnan.

En förhöjd genomläckning hindras genom att tätkärnan byggs på med en stödmur av betong som står grundlagd direkt på tätkärnan. För att motverka läckning i kontaktytan till stödmuren tex till följd av differentierad sättning av tätkärnan som inte stödmuren följer med i, kan tätjord i direktkontakt med tätkärnan placeras nedströms om stödmuren. Denna tätjord omges i sin tur av filtermaterial enligt gängse utformning. Om dammens tätjord kommer för nära krönet kan den skyddas mot tjäle med markskivor placerade under farbanans bär och förstärkningslager. Det finns också möjligheten att utföra en betongmur utan horisontell platta som går ner ett stycke i tätkärnan och som sedan kringfylls. Det finns ett exempel på detta där denna betongvägg i ett första skede förses med en klenare vågbarriär som ska hindra överströmning. I ett senare skede utförs en höjning av hela dammen med ett betongdäck som ansluter mot denna betongmur, och som stöds av en ditlagd stenfyllning. Som diskuterats ovan är erosionsskyddet just nedströms en vågbarriär mer utsatt än utan en vågbarriär och detta måste särskilt beaktas.

Nedan visas två exempel. Det första visar ett typiskt utförande, figur 4. Det andra exemplet är från en genomförd dammhöjning i New South Wales, Australien, se figur 5



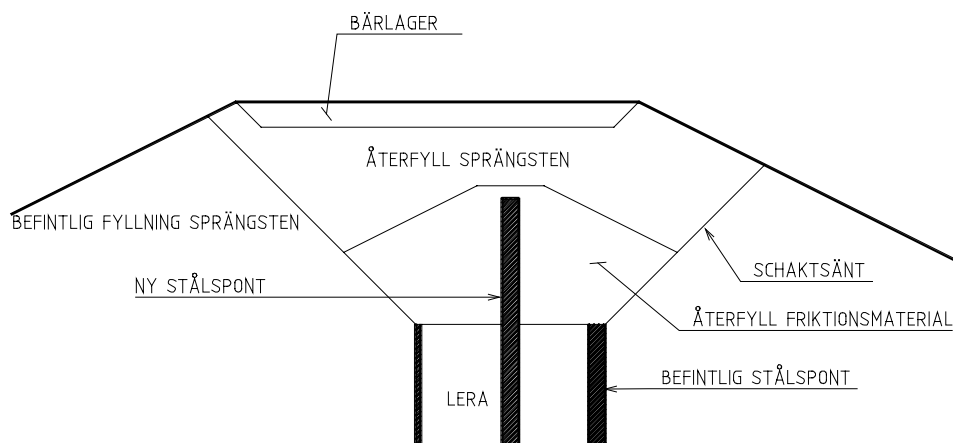
Figur 4. Stödmur som erosionskydd vid samtidig dammhöjning



Figur 5. Betongmur samt dammhöjning vid Dungowan Dam, Australien

- Höjning av tätkärna med spont som slås ner i befintlig tätkärna.

Överfyllningen bortschaktas tills tätkärnan är frilagd. I denna slås en spont som är av begränsad höjd och ligger i sin helhet under dammens framtida krön. Sponten som över tätkärnan är det enda tätande skiktet slås tillräckligt långt i tätkärnan för att ge en acceptabelt lång läckväg. Ovanför tätkärnan och kring sponten återfylls med friktionsmaterial som uppfyller gängse filterkriterier. Denna återfyllning skyddar i första hand tätjorden mot ett ökande läckage ner och runt sponten som skulle kunna skölja bort tätjorden. Även tätjordens överyta skyddas givetvis av denna återfyllning. Ytterligare återfyllning görs med sprängsten och med ett bärlager av grus till farbanan på dammens krön. Hur detta kan se ut visas i exemplet i figur 6.



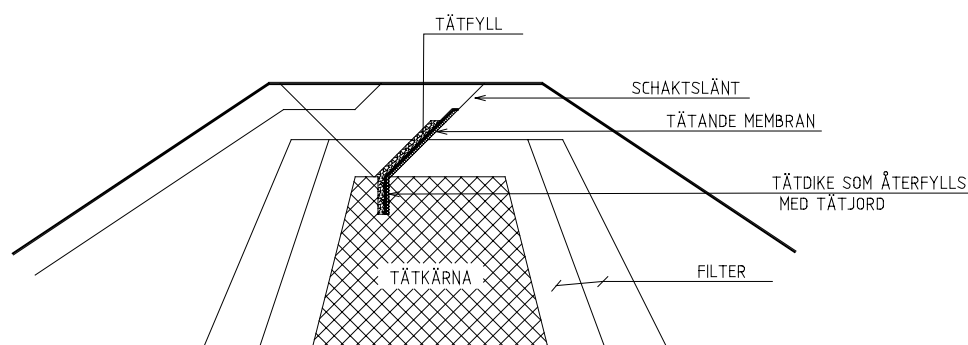
Figur 6. Höjning av tatkärna med spont

- Höjning av tatkärna med geomembran som ansluts till tatkärna

Fyllningen ovan tatkärnan schaktas bort. Ett tätande membran av plastmaterial ansluts till tatkärnan i ett smalt dike. Detta tätande membran läggs mot nedströms schaktslänt till önskad höjd. Schakten återfylls med återställande av erosionsskydd på uppströmssidan samt nödvändiga filterlager. För att skydda mot eventuella skador vid arbetsutförandet kan ett lager med tämligen tätt material placeras uppströms om tättmembranet. Detta för att minska läckage genom eventuella skador på membranet. Membranet förankras i tatkärnan genom kringgjutning med betong, eller kanske genom återfyll och packning med tätande fyllning.

Hur detta skulle kunna se ut visas i figur 7 nedan.

Ett exempel på detta utförande finns i Pactola Dam South Dakota, USA som beskrivs i referens [19]



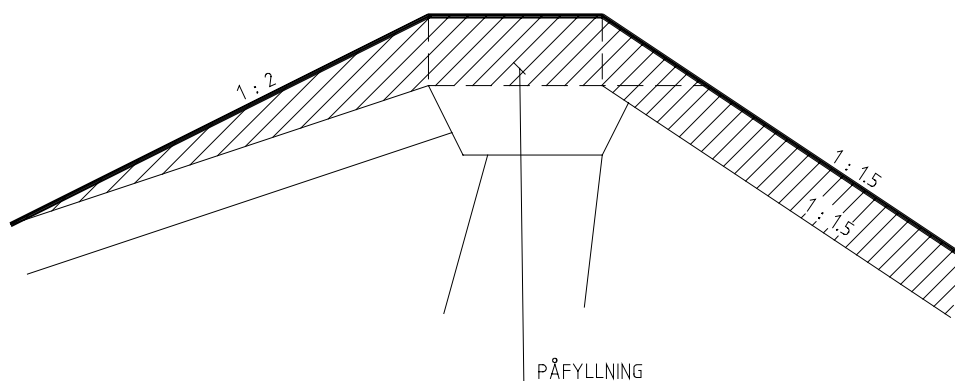
Figur 7. Höjning av tatkärnan med plastmembran.

3.2.3 Höjning av dammen för att motstå högre reservoarnivåer.

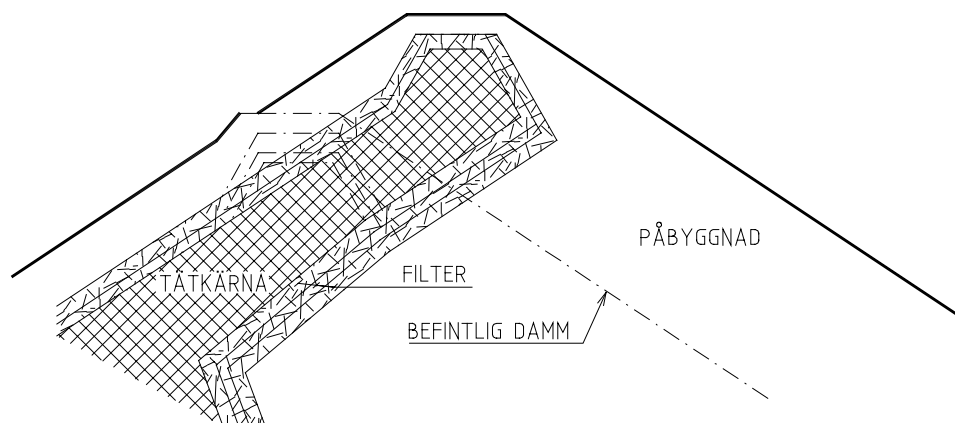
- Konventionell höjning av tåtkärnan inklusive överfyllnad och erosionsskydd.

Att bygga vidare på dammen med fortsättning av tåtkärna och filter utgör traditionell fyllnadsdamsteknik. Det speciella i detta sammanhang är att all belastning kommer från ett extremtillfälle och att lägre säkerhetsmarginaler således kan tillåtas. Exempel på hur detta påverkar konstruktionen är att slänter kan göras brantare. Erosionsskydd kan dimensioneras med lägre säkerhetsmarginal. I övrigt gäller samma dimensioneringskriterier som för konventionell dammbyggnad.

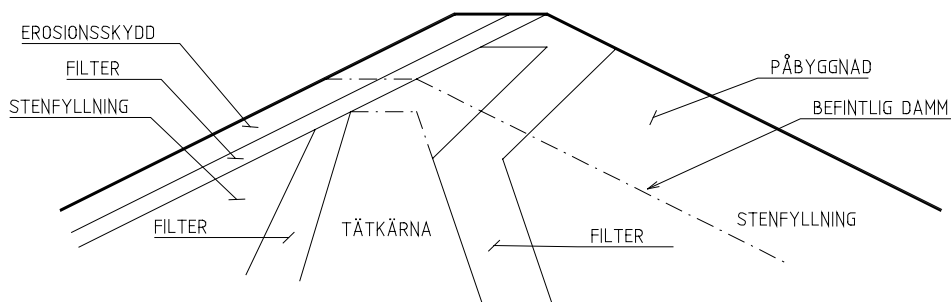
Exempel på den här typen av dammhöjningar är de tre typlösningar som visas i figur 8, 9 och 10. De två senare är typlösningar där slänten endast byggs på i nedströmsriktningen. Figur 9 med lutande tåtkärna och figur 10 med vertikal tåtkärna.



Figur 8. Dammhöjning föreslagen vid Svegs regleringsdamm.



Figur 9. Typlösning för dammhöjning vid lutande tåtkärna.

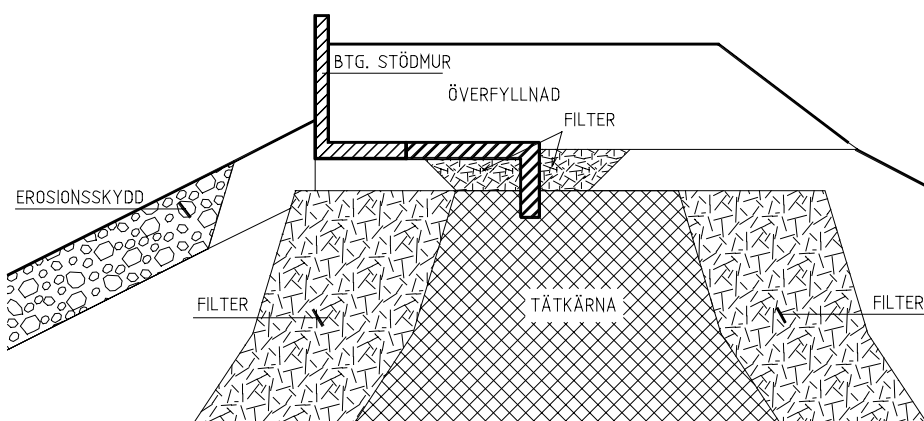


Figur 10. Typlösning för dammhöjning vid vertikal tätkärna.

- Höjning av dammen med stödmur som ansluts till tätkärna och motfylls

En stödmur placeras på dammkrönets uppströmssida. Stödmurens bottenplatta förlängs nedströmsåt och förses med en vertikal mur ner till tätkärnan som skär av läckage ovanför densamma. Den avskärande vertikala muren förses med filter på uppströms och nedströmssidan. Uppströms om muren förstärks erosionsskyddet mot vågor med stenfyllning. På nedströmssidan höjs dammen med fyllning till önskad nivå. Den nya fyllningens nedströmsslänt ansluter till den befintliga om krönbredden blir tillräcklig.

Detta utförande har använts vid McCloud Dam, Kalifornien, USA. Det beskrivs utförligare i referens [21] och ser ut enligt figur 11.



Figur 11. Dammhöjning med stödmur använd vid McCloud Dam, USA

- Höjning av dammen genom byggandet av en kasun på krönet.

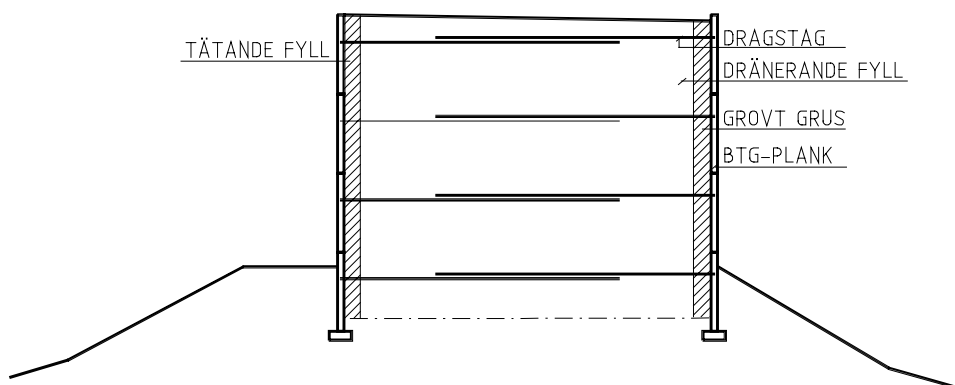
Kasunen byggs upp av två rader liggande betongplank som placeras i dammens längdriktning. Mellan dessa fylls med jordmassor. Betongplanken förankras in i jordfyllen med dragstag. På nedströmssidan av den uppströms placerade betongväggen placeras ett lager med tätare jordfyllning, med geomembran placerade längs

betongväggens fogar. Mot den nedströms belägna betongväggen placeras ett lager med väl dränerande material tex grovt grus som står i förbindelse med ett system av dräneringsrör. Den resterande delen av återfyllen utgörs av fridränerande material. Tätningen i uppströmsänden förbinds med tätkärnan tex genom att betongväggen förs ner till tätkärnan eller genom att enbart geomembranet på nedströmssidan av betongväggen dras ner till tätkärnan. Dragstagen skyddas mot korrosion genom galvanisering eller beläggning med epoxi.

Genom att höja dammen med hjälp av en kasun ställd på krönet kan behovet av omfattande stödfyllningar undvikas. Såsom har diskuterats ovan ställs högre krav på erosionsskyddet just uppströms kasunen. För att öka beständigheten hos dragstagen utgjordes återfyllen av dränerande material samt skyddades dragstagen med en epoxibeläggning. I exemplet nedan grävdes ett antal dragstag ner i en speciell testsektion, där man vid behov kunde kontrollera deras skick utan att göra åverkan på dammen.

Ett exempel på detta utförande finns i Lake Sherburne Dam, vilket beskrivs ytterligare i referens [19]

Hur detta utförande kan se ut visas i figur 12.



Figur 12. Dammhöjning med betongkasun enl Lake Sherburne Dam.

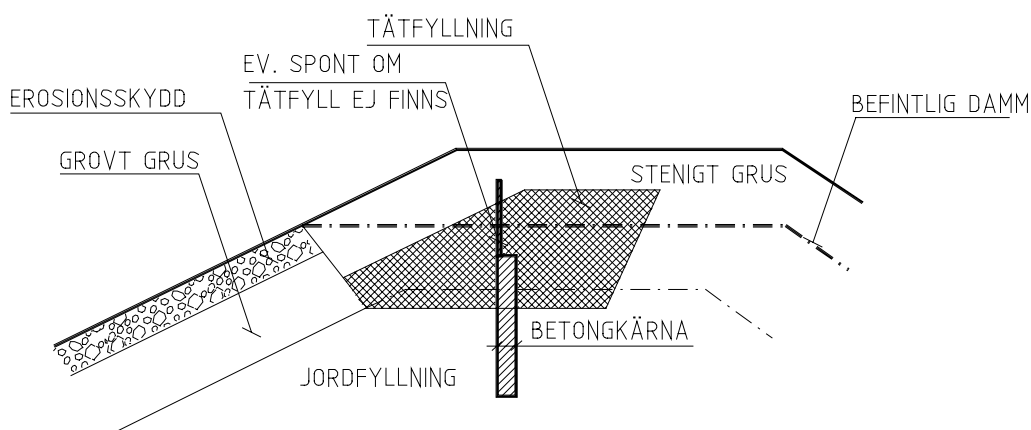
- Höjning av dammen genom att ansluta ett betongdäck till en tidigare installerad stödmur av betong ställd på tätkärnan. Betongdäcket vilar på utvidgad stenfylld på nedströmsslänten.

Exemplet är hämtat från Dungowan Dam i New South Wales, Australien. Anledningen till att höjningen genomfördes i två steg var att kapaciteten var så låg för höga flöden att man ville få en omedelbar förbättring av kapaciteten för högflöden i väntan på vidare utredning om exakt hur de säkerhetshöjande åtgärderna skulle se ut. Det primära syftet med stödmuren var att se till att huvuddammen fick bättre fribord än en sidodamm som alltså var tänkt att erodera i första hand vid ett högflöde. Utformningen visas i figur 5.

- Höjning av tätande sektion av betongmur medelst tätjord och eventuell spont.

Det tätande betongmembranet friläggs och en förhöjning av tätkärnan utförs i form av en uppfyllnad med tätjord av grusig morän. Om lämpligt material saknas kompletteras tätjorden med plåt eller spont som monteras på betongmuren. Tätjorden omges av material som uppfyller filterkriterierna. Dammens krön höjs också med en fortsättning av uppströmssläntens och krönets erosionsskydd.

Exemplet i figur 13 visar ett sådant utförande:



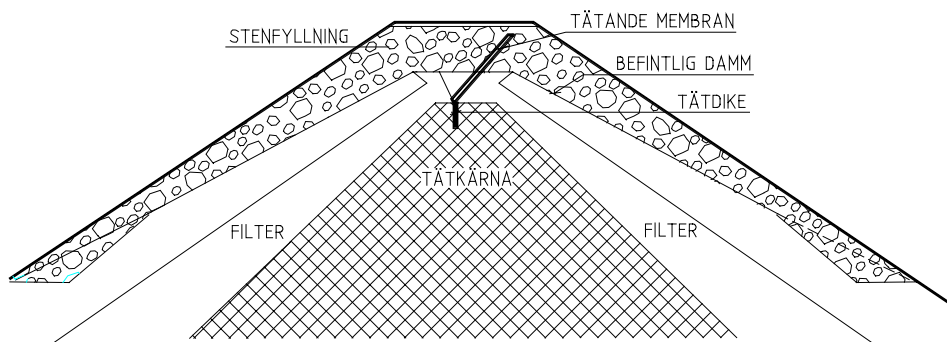
Figur 13. Dammhöjning med påbyggnad av tätkärnan med tätjord alternativt spont.

- Höjning av dammen med tätande geomembran som ansluts till tätkärna

En höjning av en fyllnadsdamm där det tätande skiktet utgörs av ett geomembran kan utföras enligt följande:

Fyllningen ovan tätkärnan schaktas bort. Ett tätande membran av plastmaterial ansluts till tätkärnan i ett smalt dike. Detta tätande membran läggs mot nedströms schaktslänt till önskad höjd. Schakten återfylls med återställande av erosionsskydd på uppströmssidan samt nödvändiga filterlager. För att skydda mot eventuella skador vid arbetsutförande kan ett lager med tämligen tät material placeras uppströms om tätmembranet. Detta för att minska läckage genom eventuella skador på membranet. Membranet förankras i tätkärnan genom kringgjutning med betong, eller kanske genom återfyll och packning med tätande fyllning. De stödjande fyllningarna på uppströms och nedströmssidan görs lokalt brantare för att inte behöva föras ända ner till grund. På uppströmssidan skärs det nya erosionsskyddslagret in i det befintliga för att ge rimlig lagertjocklek. Hur detta skulle kunna se ut visas i figur 14.

Ett exempel på detta utförande finns i Pactola Dam, South Dakota, USA som beskrivs i referens [19]



Figur 14. Dammhöjning med tätande element av plastmembran utförd vid Pactola Dam, USA

- Höjning av damm med slänter stabiliserade med soilcement och geogrid släntarmering

För att undvika stora fyllningsmängder vid en dammhöjning kan brantare slänter utnyttjas på hög nivå i dammen. Detta är lätt att åstadkomma då tillgång finns till bra stenfyllnad, men även med jordfyllning finns möjligheten.

Vid en damm som är uppbyggd av jordfyllnad med en central dränering av typen skorstensdränering, byggs helt enkelt jordfyllningen på till önskad nivå med en samtidig förhöjning av skorstensdränet. För att undvika att de förhöjda slänterna ska behöva föras ner till grundläggningsnivå görs den övre delen av slänterna i lutning 1:1. På nedströmssidan klaras detta med hjälp av armering av slänten med så kallat geogrid, och på uppströmssidan som också måste motstå erosion av vågor kan detta utföras med soilcement, dvs jord med cementinblandning.

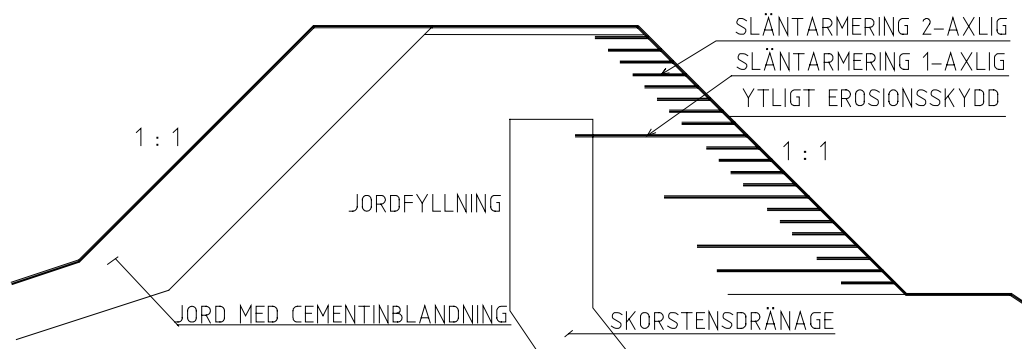
Den nedströms belägna släntarmeringen kan utföras med två typer av armering. Med tät delning vertikalt placeras en armering som verkar i både längs och tvärled. Denna dras in i slänten till kanske 2m djup och placeras med en vertikal delning på 0,3m. Släntarmering som bara verkar i släntens längdriktning placeras med större delning som dessutom kan varieras med slänthöjd och som dras djupare in i slänten. Kanske till ett djup av ca 5m. Den branta ytan kläs med en duk som motverkar yterrosion av regn tills ett gräställe har hunnit etableras. Nedanför denna branta slänt kan en avsats placeras för att underlätta arbetet med att underhålla slänten.

Att förstärka uppströmsslänten med geogrid skulle inte skydda mot vågornas erosion om inte slänten kompletterades med någon form av erosionsskydd. Att blanda cement i jordfyllningen i det ytligaste lagret i uppströmsslänten tjänar både som erosionsskydd mot vågor och som stabilisering av slänten.

En osäkerhet med denna typ av konstruktion är ju hur beständig den är mot frysning och tjäle. I synnerhet jordfyllningen med cementinblandning på uppströmsslänten kan vara

känslig för frysskador. Det är också svårt att åstadkomma en växtbeklädnad på nedströmsslänten som skyddar mot erosion av regn.

Ett exempel på detta utförande finns i Davis Creek Dam, Nebraska USA. I själva verket utfördes dammen på detta vis redan från början och det är alltså inte egentligen fråga om en dammhöjning, men tekniken kan tillämpas för dammhöjningar. Utförandet i Davis Creek Dam beskrivs i referens [19], och ser ut enligt figur 15.



Figur 15. Utförande av branta slänter vid Davis Creek Dam, USA

3.2.4 Säkra dammen för överströmning.

Generellt kan sägas att ett skydd mot överströmning måste förutom att vara erosionsresistent också hindra att vatten i stor omfattning strömmar ner i nedströmsfyllningen. Ett omfattande inläckage i stödfyllningen kommer att orsaka problem vid dammtån. För jordfyllnadsdammar kan själva stödfyllen vara tillräckligt tät för att motverka denna inströmning under det att för stenfyllnadsdammar ett tätande skikt måste placeras under erosionskyddet eller ingå i detta. Dessutom kan strömning genom filter och fyllning ovanför tätkärnan orsaka problem som måste beaktas antingen genom att denna läckväg skärs av eller att det säkerställs att dammen tål de aktuella läckagemängderna.

Det är en vanlig lösning, speciellt med överströmningskydd av betongmattor, betongblock eller vältbetong, att överströmningskydda bara en del av fyllnadsdammen. Denna ges då en lägre krönhöjd än de anslutande konventionella jorddammarna. På detta vis blir den överströmningsbara dammdelen en sorts nödutskov.

- Erosionskydd av krön och nedströmsslänt med gräs med eventuell förstärkning av geotextilnät.

Gräs är den vanligaste formen av erosionskydd av nedströms dammslänter. Det är avsett att skydda mot erosion till följd av väder och vind, och inte egentligen för överströmning. Det finns dock exempel på grässlänter som har motstått överströmning med ett vattendjup på upp till en halv meter med en strömningshastighet på kanske 2

m/s. Forskning i England har visat att grässlänter kan motstå erosion kortvarigt för hastigheter upp till 3,7m/s.

Geotextilerna ökar släntens erosionsmotstånd genom att armera gräsets rotsystem. En del fabrikat är dessutom utformade för att i sig själva motstå erosion genom att vara finmaskiga nog att inte släppa igenom det underliggande materialet. När en slänt förstärkt med geotextil och gräs eroderar beror det ofta på att ett flöde uppstår mellan geotextilen och det underliggande materialet vilket skapar upplyftning av grästäckets. Denna brottmekanism är mer hastighetsberoende än tidsberoende. För att en geotextil ska fungera krävs att den är förankrad, att den tillåter gräsväxt, att den motverkar underströmning samt att den är relativt permeabel för att kunna motverka att tryck byggs upp under den. Grästäckets förstärkta med geotextiler kan kortvarigt motstå hastigheter på upp till 5m/s och långvarigt (upp till 50 timmar) upp till 2,5m/s. Allt enligt [10].

För att detta erosionsskydd ska vara effektivt krävs att grästäckets sköts noga .

- Erosionsskydd av krön och nedströmsslänt med blandad stenfyllning.

Blandad stenfyllning, sk rip-rap är vanligt som erosionskydd i dammbyggnadssammanhang, tex som erosionskydd mot vågor eller för kanalslänter.

Erosionskyddets tjocklek och storlek på stenmaterialet bestäms ur handboksformler. Uppströms knyts det lämpligen ihop med erosionsskyddet för vågor, och vid dammfoten förtjockas stentäckets i ett avskärande dike. Stenlagret placeras på filterlager för att hindra urspolning av underliggande material.

Vid tillämpandet av handboksformler för dimensionering tex av kanalslänTERS erosionsskydd kan den beräknade erforderliga stenstorleken variera betydligt. Svårigheterna att välja stenstorlek ökar vid en ny tillämpning som erosionskydd för överströmning med de extrema gradienterna i strömriktningen. Vid modellförsök av överströmning av ett erosionskydd av blandad stenmaterial blev materialet fluidiserat och sköljdes bort omedelbart. Vid ett annat försök med trösklar av blandad stenfyllning med tätning av spont och krön av betong, eroderades nedströmsslänten bort fullständigt medan uppströmsslänten som stöddes av sponten stod kvar. Detta tyder på att gängse dimensioneringskriterier för blandad stenfyllning som erosionsskydd inte är fullt tillämpbara.

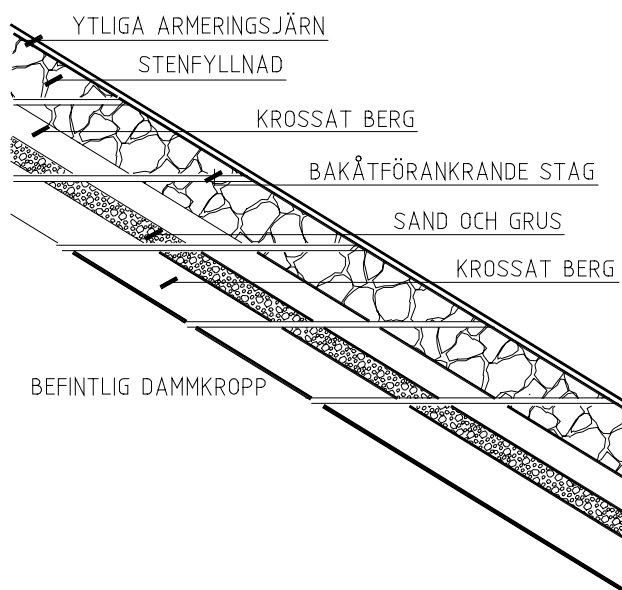
Inga exempel på dammar som överströmmningssäkrats på detta sätt har hittats.

Aspekter kring detta beskrivs i [10]

En variant på detta tema kallas förstärkt stenfyllning (Reinforced Rockfill] Det yttre stenfyllnadslagret som ger erosionsskyddet placeras på ett övre lager av krossat berg samt på ett undre lager av sand och grus som är placerade på den ursprungliga stenfyllnadsslänten. Den yttre stenfyllnaden kläs in med tätt liggande armeringsjärn som förankras in i de underliggande lagren med jämna intervaller.

Den yttre stenfyllningen blir instabil när den är vattenmättad. De bakåtförankrande armeringsjärnen förs in till omättade jordlager. Det undre sand- och gruslagret fungerar som en tätning genom att vara förhållandevis impermeabelt i jämförelse med de omgivande fyllnadsmassorna.

Inga exempel på detta utförande har kunnat hittas. Det beskrivs kortfattat i [14]
Hur ett erosionsskydd av den här typen kan utföras visas i figur 16.



Figur 16. Förstärkning av erosionsskydd av stenfyllnad.

- Erosionsskydd av krön och nedströmsslänt med mattor av betongblock.

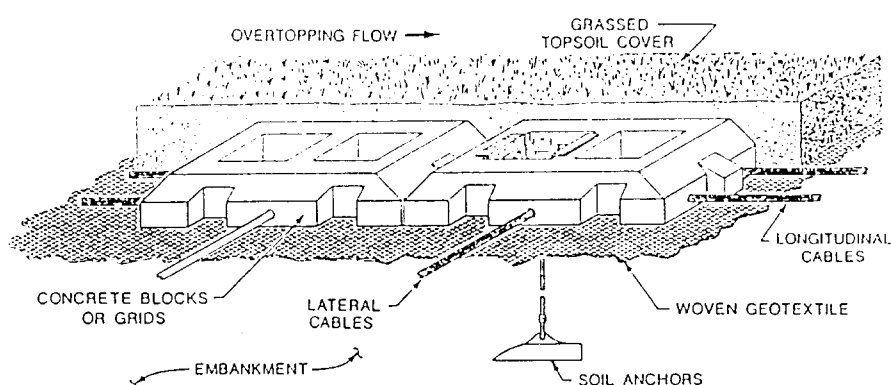
Betongblocken kan delas in i två typer. De som står individuellt och de som hålls ihop av kablar. De senare är mattor som byggs upp av betongblock av storlek kanske 50 cm sida och 20cm höjd. Ofta är de öppna för att medge gräsväxt. De hålls samman av kablar i längsled och ofta också i tvärlädd. De placeras ofta på en geotextil och är oftast förankrade ned i stödfyllningen med jordankare med en delning på kanske 4-6m. I uppströmsänden i dammkrönet kan betongmattan föras ner ett stycke för att förankras och ge säkerhet mot undergrävande erosion vid krönet. Vid dammfoten avslutas betongmattorna tex mot en betongmur som skyddar mot bakåtgripande erosion, eller förlängs ett stycke horisontellt för att ge samma effekt.

De känsliga punkterna i utformningen är just nedströms om krönet där underatmosfäriska tryck kan uppstå som tenderar att lyfta betongmattsbeklädnaden. Även utformningen av dammfot och anslutningarna mot dammens sidor kan vara kritisk. Det är viktigt att tyngden på mattorna överstiger det förväntade maximala upptrycken. I avsikt att begränsa dessa är det viktigt att inga stagnationspunkter vid

högre placerade block uppstår. En gräsbeklädnad i mellanrummen mellan blocken är effektivt i detta avseende.

Exempel på dammar som skyddats på detta sätt är Stanford Dam i England, se [5] och [10] samt Bradwell Dam, England se [10]. En allmän beskrivning av designaspekter ges i [12]

I figur 17 visas en typisk utformning av erosionsskydd av betongmattor. Erosionsskydd med denna utformning blev ursprungligen utformade för att erosionssäkra vågbrytare och alltså utsatta för vågpåverkan, men har visat sig effektiva även vid kontinuerlig vattenströmning i samma riktning.



Figur 17. Detalj av block i erosionsskydd av betongmatta.

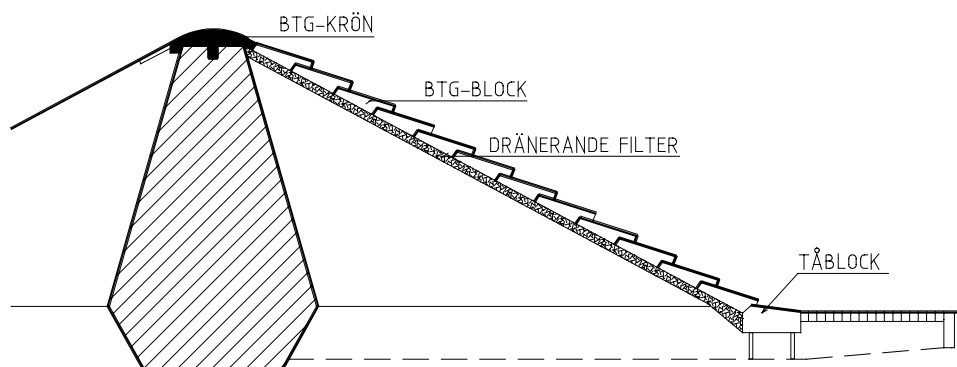
Erosionsskydd av betongblock kan som nämnt ovan också utföras med fristående betongblock. Betongblocken kan utformas lägre i uppströmskanten och högre nedströmsåt med en fasning i nedströmskanten så att det därpå följande blocket kan skjutas in och få uppströmskanten helt dold för det strömmande vattnet. Vid krönet kan erosionsskyddet av betongblock anslutas till en tröskel av betong, och vid dammfoten till en betongmur som hindrar bakåtgripande erosion. Under lagret med betongblock placeras ett lager med dränerande material som motverkar eventuell uppbyggnad av portryck.

Precis som för betongmattorna ovan är det kritiskt med höga upptryck, och stagnationspunkter vid högt placerade block måste undvikas. Med den utformning av blocken som beskrivs ovan kan i fogen mellan blocken på detta sätt skapas ett område med subatmosfäriska tryck vilket bidrar till att dränera underliggande material. Ett block med denna utformning är med nödvändighet stabilt då vattnets strömlinjer vid en tänkt förskjutning av ett block ut från slänten, kommer att tvinga tillbaka detta.

Vid försök har erosionsskydd med denna utformning motstått överströmning med ett vattenstånd över krönnivån på 10m och med strömningshastigheter på upp till 22m/s.

En fyllnadsdamms nedströmsslänt har skyddats på detta sätt vid exempelvis Dneiper Power Station och vid fyllnadsdammar i Magadan området, vilket kortfattat beskrivs i [21]. Metoden beskrivs ytterligare i [10], [12] och [21]

En typisk utformning av ett överströmningsskydd med detta utförande visas i figur 18



Figur 18. Erosionsskydd vid Dneiper Power Station av fristående betongblock

- Erosionsskydd av krön och nedströmsslänt med konventionell betonginklädnad.

Ett skydd för nedströmsslänten av konventionellt armerad och platsgjuten betong utförs förhållandevis tunn omkring 30 cm och utförs centriskt armerad. Armeringen är dimensionerad för att minimera sprickbildning, och den tunna betongplattan kan inte motstå några upptryck. Den placeras därför på dränerande filterlager som i sin tur kan vara avskurna lateralt med dräneringsrör om inte underliggande fyllning är tillräckligt genomsläpplig. Utloppen för dränagesystemet kan placeras ovanför nedströmsvattennivån vid vattensprång och utföras så att en ramp placeras ovanför utloppet vilket ger en flödesseparation och ett lokalt undertryck just vid dränageutloppet. På detta sätt undviks att högre vattentryck leds in bakom plattan genom dränagesystemet. Det läckage som uppstår även vid ett normalt driftsfall kan ha sitt utlopp i dammtån men där skyddas utloppet av ventiler som hindrar strömning i fel riktning.

I nedströmsänden ansluts plattan till en betongmur som hindrar bakåtgripande erosion, och eventuellt fortsätter konstruktionen med en energidödningsbassäng. Vid nedströmssläntens anslutning till krönet görs eventuellt plattan tjockare för att motstå de undertryck som kan uppstå till följd av vattnets separation från betongen, och även krönet är klätt med betong.

Denna typ av konstruktion är mycket känslig för upptryck och därmed för sprickbildning. Den kräver god underbyggnad som ger likartade sättningar så att inte plattan behöver överbrygga lokala svackor i stödfyllen. I det fall vattennivån nedströms vid ett högflöde går emot betongplattan kan befintliga dränagesystem föra in vatten till

nedströmsnivån bakom plattan. Plattan blir då känslig för den variation i vattentrycken som orsakas av turbulensen i vattensprånget vid dammens fot.

Ett exempel på detta utförande är A.R. Bowman Dam, Oregon, USA, som beskrivs i [21]

- Erosionsskydd av krön och nedströmsslänt med RCC (Roller Compacted Concrete), eller på svenska VKB (vältkompakterad betong).

Erosionsskydd av nedströmsslänten hos fyllnadsdammar med hjälp av VKB, har i första hand utförts i USA, där mer än ett trettiotal dammar skyddats på detta sätt.

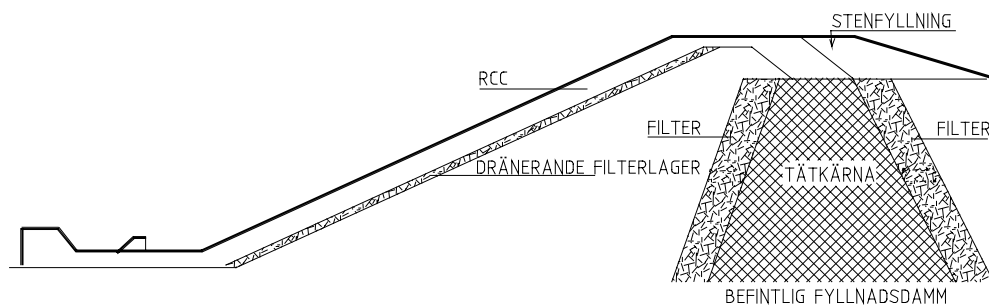
Ett typiskt utseende för en VKB-beklädnad visas i figur 19. Den lutande plattan är ca 1 m i tjocklek och är placerad på dränerande lager. VKB-beklädnaden i krönet försänks i ett dike för att ge skydd för erosion. Uppströms om VKB-beklädnaden motfylls med stenfyllning som fungerar som erosionsskydd mot vågor i det fall VKB-beklädnaden inte täcker in hela krönet och förbinds med uppströmsslänten. I nedströmsänden förlängs VKB-beklädnaden till att forma en energidödarbassäng med en avslutande tröskel vars dimensioner ges av avbördning och dammhöjd. I sida skyddas anslutande stränder eller fyllnadsdammar av sidomurar av VKB som är en förlängning av de transversella VKB-skikten som viker av nedströmsåt.

Utformningen ges av tekniken att placera VKB. VKB har hittills applicerats på mindre dammar varför designen varit mer eller mindre intuitiv. Beklädnadens tjocklek har givits av lagertjockleken ca 0,25m och minsta bredd ca 2,5m för att värtar mm ska få plats att arbeta. De brottmekanismer som konstruktionen måste skyddas för är samma som för ett konventionellt utskov, dvs hållfasthetsbrott till följd av betongerosion, erosion av grundläggnings- eller motfyllnadsmaterial samt förhöjda tryck i grunden. Därför har man i designen strävat efter att minimera genomläckage och upptryck, att eliminera undergrävande erosion i dammkrönet samt vid beklädnadens avslutning i sida och dammfot.

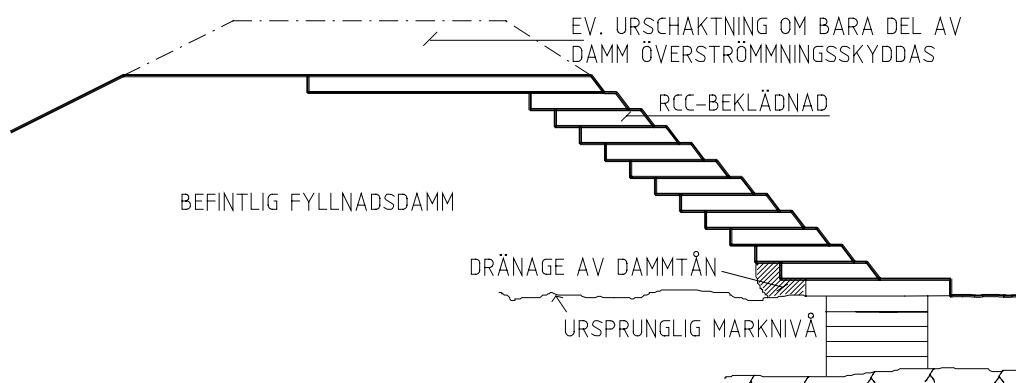
Vid användande av denna teknik på högre dammar än hittills (ca 30m största dammhöjd) är det inte säkert att dessa designprinciper är giltiga, vad gäller tex plattjocklek, utan konstruktionen med dess dimensioner och detaljlösningar måste då analyseras noggrant.

Det är möjligt att använda luftinblandning i VKB, men det medför svårigheter. Frostbeständigheten utan luftinblandning kan vara tveksam. Ett sätt att skydda sig mot nedbrytning av frysskador är att ha marginal i dimensionerna.

Denna metod att överströmningssäkra fyllnadsdammar har använts i ett flertal fall varav kan nämnas Ringtown No. 5 Dam, se figur 20, som beskrivs i [21], samt Saltlick Dam som beskrivs i samma referens. Tekniken att använda VKB för att överströmningsskydda fyllnadsdammar beskrivs i referenserna: [10], [16], [20] och [21]



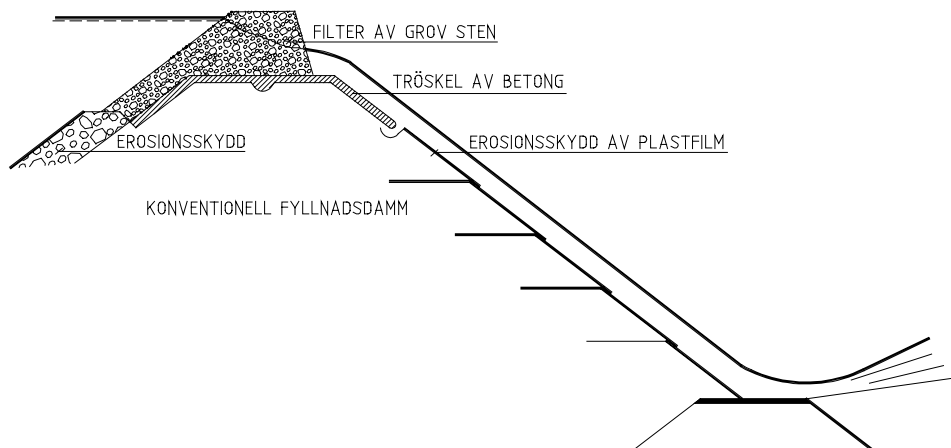
Figur 19. Överströmningsskydd av vältkompakterad betong använd vid Lima Dam, USA



Figur 20. Överströmningsskydd av vältkompakterad betong använd vid Brownwood Country Club

- Erosionskydd av krön och nedströmsslänt med film av geosyntetdukar.

Vid erosionsskydd av nedströmsslänten med geosyntetfilm kan detta utföras enligt figur 21. Filmen förankras in i slänten och följer sedan densamma så att nedanförvarande films förankring överlappas. I nedströmsänden placeras en betongplatta horisontellt som får fungera som utkast. Dammens krön täcks av en betongtröskel. På denna tröskel placeras en mycket genomsläpplig stenfyllnad som ska filtrera bort material som skulle kunna skada filmbeklädnaden. Denna lösning presenteras utförligare i referens [4]. Inga exempel där detta utförts i verkligheten har hittats.



Figur 21. Förslag till erosionsskydd med plastfilm.

3.2.5 Få dammen att tåla större genomläckning

- Förstärkning av dammtån till att tåla större utströmmande vattenmängder.

Förstärkning av dammtån kan utföras genom att använda grövre block eller sten i denna punkt. Ett alternativ skulle kunna vara att lägga gabioner längs nedströmstån för att fördröja en start av erosion ifrån nedströmssidan. Dimensioneringskriterier för fyllning utsatt för utströmmande vatten finns redovisade i [2].

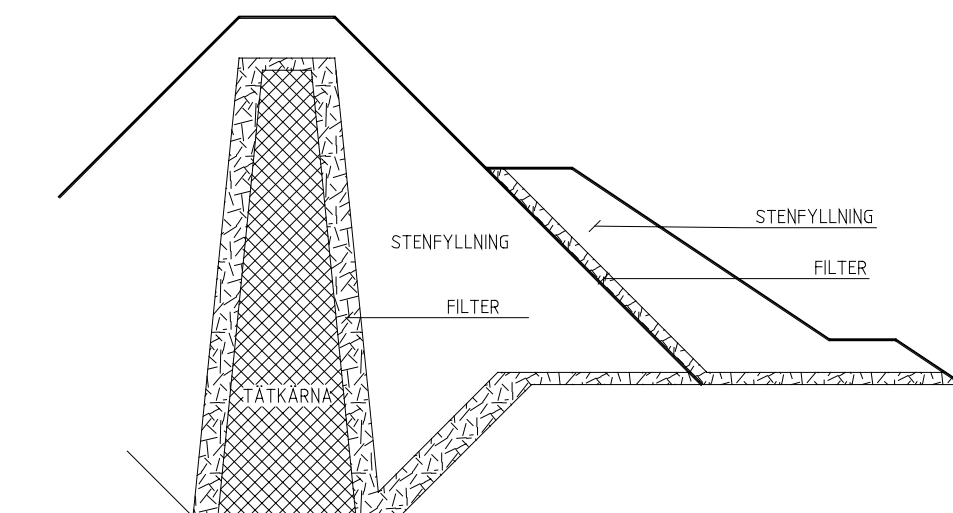
Det saknas exempel på när detta har använts för att tillåta en höjd överdämning.

- Förstärkning av nedströmsslänt med tryckbank av stenfyll lagd på filter.

En tryckbank på nedströmssidan som vilar på en dränerande bädd av filtermaterial kan användas för att säkra stabiliteten hos fyllnadsdammar även vid stora läckagemängder. Den skyddar inte mot att dammens funktion förstörs vid ett dimensionerande flöde, men kan hindra det fatala förlopp av bakåtgripande erosion som skulle ödelägga anläggningen, med stora utströmmande vattenmängder som följd.

Den dimensioneras tex under antagande om att tätkärna saknas eller är mycket nedsatt till sin funktion med den porttrycksfördelning som erhålls då. En stor poäng med den här åtgärden är att den även skyddar mot rasförlopp som inte är högflödesberoende. Däremot skyddar den inte mot den ekonomiska förlusten av den fungerande anläggningen.

Ett exempel på hur en tryckbank kan utföras visas i figur 22 nedan.



Figur 22 Stabilisering med tryckbank mot nedströmsslänt.

4 Innovationsträff

4.1 Deltagare

Innovationsträffen ägde rum den 19:e december 1997 i konferensavdelningen vid VBBs kontor vid Gjörwellsgatan 22 i Stockholm. Vid träffen deltog följande personer.

Malte Cederström, Vattenfall Vattenkraft AB
Urban Norstedt, Vattenfall Vattenkraft AB
Lars Hammar, Elforsk AB
Lennart Markland, Vattenregleringsföretagen
Gunnar Sjödin, Vattenregleringsföretagen
Harald Eriksson, BÅKAB
Åke Nilsson, Vattenfall Hydropower AB
Bo Bergander, VBB Anläggning AB
Sten Palmer, VBB Anläggning AB
Jonas Rundqvist, VBB Anläggning AB
Dag Ygland, VBB Anläggning AB

4.2 Diskussion

Innovationsträffen genomfördes som en sk brainstorming där inget krav egentligen ställs på att alla framförda förslag nödvändigtvis måste vara välövertänkta eller genomförbara. Kreativiteten prioriteras framför kvaliteten.

Träffen var uppdelad i tre delar. Först presenterades resultatet från den inledande litteratursökningen, som utgör kapitel två och tre i denna rapport. Därefter genomfördes en session med gruppdiskussioner kring följande frågeställningar:

1. Ge förslag på andra metoder att förstärka uppströms erosionsskydd mot vågor! Finns andra metoder än erosionsskydd för att skydda mot vågor?
2. Läckage genom dammkrön ovanför tätkärna. Finns det andra metoder att tätta, att minska risken för erosion av tätkärna eller att få dammen att tåla större läckagemängder? Finns det metoder att tätta ovanför tätkärna eller att stabilisera mot erosion som inte innebär schaktning?
3. Metoder att genomföra dammhöjningar. Finns det andra metoder än de presenterade?
4. Överströmningssäkring av fyllnadsdammar. Vilka andra möjligheter finns förutom de redan presenterade?

5. Finns det icke tekniska lösningar på detta problem?

Därefter fortsatte träffen med en avslutande diskussion där de båda grupperna presenterade vad som framkommit under de respektive gruppseparata diskussionerna.

**1. Ge förslag på andra metoder att förstärka uppströms erosionsskydd mot vågor!
Finns andra metoder än erosionsskydd för att skydda mot vågor?**

- Installation av vågbrytare. Dessa kan vara flytande eller byggda från uppströmsslänten eller vara helt fristående från dammen. Tex som undervattensvågbrytare som placeras i magasinet uppströms dammen, och som når till strax under dämningssgräns. Dessa orsakar att vågorna bryter eller alternativt att de länkas om.
- Installera spont i uppströmsslänten som förankras in med stag i fyllningen. Sponten ställs med viss lutning uppströmsåt så att vågor som slår mot sponten kastas tillbaka.
- Placering av rullar med duk/film på uppströmsslänten som aktiveras av en stigande vattennivå. Då vattenytan stiger lyfts rullarna och rullas ut över först uppströmsslänten och sedan över krönet och nedströmsslänten.
- Erosionsskydd av gabioner som placeras i uppströmsslänten.
- Horisontell bankett vid dämningssgräns på uppströmssidan för att få vågor att bryta vid en eventuell överdämning och därigenom minska uppspolningen.
- Erosionsskydd av släntarmering typ geogrid som överfylls och sedan viks in ovanför överfyllningen i olika lager till att bilda en trappstegsformad uppströmsslänt.
- Montage av dubbla balkar på vägräcke på dammens uppströmsida. Detta syftar till att minska vågornas överspolning.

Övriga synpunkter:

ELFORSK har separat rapport på gång angående olika metoder att utforma erosionsskydd. Där ska också finnas en idékatalog över tänkbara ännu inte beprövade metoder.

Frågan uppkom också om hur vattenytans svängningar ser ut inne i dammen och mot tät kärnan, hur stor vågamplituden egentligen är och om detta har mätts någonstans. Vågors påverkan på fyllnadsdammar har simulerats av Delfts hydrauliska laboratorium, med numeriska metoder, i samband med ett uppdrag på VBB Anläggning åt ELFORSK.

Islast är väsentlig för utformningen av vågerosionsskydd, och ett erosionsskydd måste vara antingen starkt nog att motstå de krafter som kan uppkomma eller ha förmåga att följa med i istäckets rörelser utan att skadas.

2. Läckage genom dammkrön ovanför tätkärna. Finns det andra metoder att tätta, att minska risken för erosion av tätkärna eller att få dammen att tåla större läckagemängder? Finns det metoder att tätta ovanför tätkärna eller att stabilisera mot erosion som inte innebär schaktning?

- Läckagesäkring medelst geotextil och finsand som bildar ett relativt tätt skikt ovanför tätkärnan. Finsanden placeras i en schakt ned till tätkärnan och omgärdas av geotextil på uppströms och nedströmsänden som får en filtrerande funktion.
- Att göra en smal slits från dammkrön ner till tätkärnan och introducera något tätande material i denna slits. Tex en plastfilm, Volclay eller liknande. Frågetecken kring metoder att göra en smal slits. Sågning, plogning?
- Gräva ett smalt dike från dammkrön ned till tätkärna som fylls med asfalt eller betong.
- Plastinjektering av typ polyuretanskum från krönet och ned till tätkärnan.
- Injektering med cement från dammens krön och ned i tätkärnan
- Inblandning med cement med metod typ cement-kalkpelare som används vid vägbyggen och jordstabilisering i filterlagren och överfyllningen ovan tätkärna.
- Att slå spont från ytan utan att schakta sig ned till tätkärnan.
- Att erosionsskydda tätkärnans överyta genom täckning med plastfilm eller liknande.
- Användande av bentonitmattor som tätande membran ovanför tätkärnan.

Övriga synpunkter:

Den lösning som visas i figur 3 i kapitel 3 är inte tillräcklig för att hindra tjälens nedträngning i tätkärnan. I själva verket tränger tjälen ned i tätkärnan även med normal täckning utan att stora problem observerats. Detta skulle eventuellt kunna betyda att man i princip lika gärna kan höja tätkärnan mycket närmare dammens krön utan att oroa sig alltför mycket kring tjälfrågor, när designkravet på tätkärnan på dessa nivåer är att minska läckage vid ett extremt flödestillfälle.

Det finns anvisningar för hur geomebran appliceras i dammar i ICOLD-Bulletin 78. Ofta skyddas det tätande skiktet med fiberduk både uppströms och nedströms.

Förtillverkade stödmurar kan inte ställas direkt på dammens tätkärna då det är mycket stor risk för läckage i upplagsytan. Bentonit kan eventuellt användas för att tätta en spricka under ett förtillverkat betongelement. Bentonit kan få problem vid ständigt växlande fuktförhållanden.

3. Metoder att genomföra dammhöjningar. Finns det andra metoder än de presenterade?

- Med hjälp av tätande membran av finsand som placeras i en schakt ner till tätkärna alternativt finfilter. Finsanden omges av geotextil uppströms och nedströms, som får en filterfunktion.
- Höjning av tätande sektion med hjälp av tätande membran av rostfri plåt, tunn.
- RCC som placeras på dammkrönet.
- Placera väg i slänten vilket ger möjlighet till smalare krön. Vägen kan eventuellt placeras på uppströmssidan i samma nivå som befintligt dammkrön för att kunna medge användandet av den bro som redan är placerad på dammkrönet.
- Placera en gummidamm ovanpå krön. Denna förankras tex i en betongsockel som har förbindelse med tätkärnan i någon form.
- Använda portabla system tex sandsäckar eller slangar med stor diameter som vattenfylls och som placeras ut först vid behov. Det finns ju många kända tillämpningar i samband med översvämningar i floder.

4. Överströmningssäkring av fyllnadsdammar. Vilka andra möjligheter finns förutom de redan presenterade?

- Göra kanaler i nedströmsfyllen dit överströmmat vatten samlas för att undvika behovet att överströmningssäkra hela nedströmsslänten.
- Flacka ut nedströmsslänten för att ge resistens mot överströmning. Vid tillräckligt flack lutning kan ett stenlager motstå erosion.
- Användandet av rullduken som presenterades under fråga 1.
- Erosionsskydd kan utföras med stenblock som kringgjuts och eventuellt förankras med kablar eller bandjärn.

Övriga synpunkter

Man kan kombinera höjning och överströmningssäkring, så att man på en del av dammen genomför en dammhöjning och på en annan gör dammen överströmningsskyddad i en högflödessituation. Lämpligtvis överströmningsskyddas en förhållandevis låg del av dammen, där detta ställer sig billigare och de förhållandevis höga dammdelarna erhåller en dammhöjning.

Friborden är ofta lägre vid utskov för att passa geometriskt till de anslutande betongkonstruktionerna. Åtgärder här kan snabbt ge ökade möjligheter till högre reservoarnivåer. Det kan också vara lämpligt att koncentrera ett eventuellt överströmningsskydd till dessa partier där vattnet kan ledas in i utskovskanalen nedströms dammen på ett kanske enklare sätt.

5. Finns det icke tekniska lösningar på detta problem?

- Sänkning av dämningssgräns. Effektiviteten hos denna åtgärd är beroende av förhållandet mellan volymen i inflödeshydrografen och den åstadkomna extra reservoarvolymen.
- Hindra vind eller regn genom att angripa vädersystemen. Detta skulle vara att utlösa regn på annan ort med kemiska metoder.
- Åtgärder i nederbördsområdet för att magasinera nederbörden. Tex byggande av dammar i mindre tillflöden som kan bidra till magasinering.
- Utnyttja midjor i magasin eller skapa bestämmande sektioner för att fördröja flodvågen.
- Sänka konsekvensklassningen av en damm genom att installera larmanordningar.
- Leda om vatten till annat nederbördsområde. Att tex för ett högt fjällmagasin skapa utloppsmöjlighet in i Norge.
- Leda om flodvågen vid ett dammbrott. Att nedströms en dammanläggning åstadkomma en tillfällig omledning av flodvågen med en damm som kontrollerar huvudfåran och med en överströmningströskel till en parallell dalgång.
- Köpa in fastigheter belägna inom det nedströms aktuella översvämningssområdet, och riva dessa. På detta vis kan konsekvensklassningen sänkas för dammen.

5 Litteratursökning

Sökning efter relevant litteratur och referensfall där dammar har anpassats för högre flöden har skett på flera sätt.

- Sökning genom KTH informationstjänst, av flera större internationella databaser för teknisk litteratur.
- Sökning via internet.
- Genomgång av ICOLD's konferensprotokoll.
- Utskick till ett flertal nationella ICOLD-kommittéer, med förfrågan om de är bekanta med samma problemställning.
- Genomgång av internationella branchtidningar.
- Dessutom har ett antal personer i branschen i Sverige tillfrågats.

Allmänt kan sägas att sökningen efter relevant information har varit betydligt mer tidskrävande än vad som förutsatts.

6 Referenser

- [1] VASO dammkommittés rapportserie: Rapport nr 15, "Fyllningsdammars förmåga att tåla överdämning.
- [2] VASO dammkommittés rapportserie: Rapport nr 17, "Stenfyllnadsdammars stabilitet vid genomströmning.
- [3] VASO dammkommittés rapportserie: Rapport nr 10, "Vågor i vattenkraftmagasin"
- [4] ICOLD Congress proceedings. Q59, R57, "Methods of increase of discharge capacity of hydroelectric schemes during floods on large rivers in the USSR"
- [5] ICOLD Congress Proceedings. Q59, R56, "Rehabilitation to meet reservoir safety and flood criteria"
- [6] ICOLD Congress Proceedings. Q68, R48, "Some leakage problems regarding rockfill dams with central core."
- [7] ICOLD Congress Proceedings. Q68, R49, "Dungowan dam: A study in flood security upgrading."
- [8] International Water Power and Dam Construction, Sept 96, "Tianshenqiao Project, it's overtopping protection. Design and Construction."
- [9] Rapport från VAST-Vattenfall. Oktober 1988. "Ökad avbördningsförmåga i befintliga dammar."
- [10] Mechanics of Overflow Erosion on Embankments. II: Hydraulic and Design Considerations". Journal of Hydraulic Engineering, Aug 1989. ISSN 0733-9429
- [11] Höjning av Svegs dammarna
- [12] "Protecting Embankments with Concrete Block Systems", 1991, Hydro Review, ISSN 0884-0385
- [13] "Dam Safety Improvement for Tolt Dam" ASCE, 1987, Hydraulic Engineering, Proceedings of the 1987 National Conference. ISBN 0-87262-610-5
- [14] " Overtopping Protection for Embankment Dams", ASCE, 1990, Hydraulic engineering, proceedings of the 1990 National Conference. ISBN 0-87262-774-8
- [15] "Overtopping of Small Dams, An Alternative for Dam Safety", ASCE, 1985, ISBN 0-87262-474-9

- [16] "RCC Rehab Results", Civil Engineering ASCE, Aug 1993, ISSN 0360-0556
- [17] "The Modification of Leroy Anderson Dam", ASCE, 1989, ISBN 0-87262-723-3
- [18] "Rehabilitation of Plane Nine Dam", ASCE, Geotechnical special publication no 35, 1993. ISSN 0895-0563
- [19] "Using Innovative Technologies and Geosynthetics in Embankment Dam Rehabilitation", ASCE; Geotechnical Publication no 35, 1993, ISSN 0895-0563
- [20] "Roller Compacted Concrete for Embankment Overtopping Protection", ASCE, Geotechnical special publication no 35, 1993, ISSN 0895-0563
- [21] "Modification of Dams to Accomodate Major Floods", 12th Annual USCOLD Lecture 1992.

Bilagor

A Förstärkning mot vågors erosion och överspolning

Åtgärd	Använd var	Referens	Kommentarer/Aspekter
Utökning av erosionsskydd av friktionsmaterial på uppströmsslänten till att omfatta de nya nivåer som omfattas av vågerosion vid en tillfällig överdämning	Vanlig	[25]	Är konventionell dammbyggnadsteknik
Installation av stödmur eller parapet som hindrar överspolning	Sverige, tex Stadsforsen		Används
Förstärkning av dammkrön och nedströmsslänt till att motstå aktuell överspolning av vågor.		[1], [2]	De olika metoder som finns beskrivs i separat kategori
Montage av dubbla balkar på vägräcke på dammens uppströmsida.	Sverige, Smedjemorasjön		Används
Installation av vågbrytare	Ej känt		Ej otänkbar
Installera spont i uppströmsslänten som motfylls och förankras med stag i fyllningen.	Ej känt		Ej otänkbar
Placering av rullar med duk/film på uppströmsslänten som aktiveras av en stigande vattennivå	Ej känt		Otänkbar
Erosionsskydd med gabioner	Används internationellt		Används
Horisontell bankett vid dämningssgräns på uppströmssidan för att få vågor att bryta vid en eventuell överdämning och därigenom minska uppspolningen	Ej känt		Tänkbar
Erosionsskydd av släntarmering typ geogrid som överfylls och sedan viks in ovanför överfyllningen.	Ej känt		Tänkbar

B Minska / stoppa genomläckning genom dammkrön ovan tåtkärna

Åtgärd	Använd var	Referens	Kommentarer/Aspekter
Höjning av tåtkärna genom påbyggnad med tätjord	Vanlig		Konventionell dammbyggnadsteknik
Påbyggnad av tåtkärna med betongmur som stålls på tåtkärnan.	Sverige, tex Trångslet Australien, Dungowan Dam	[13], [5]	Används
Höjning av tåtkärna med spont som slås i befintlig tåtkärna	Sverige, Stadsforsen	[14]	Används
Höjning av tåtkärna med plastmembran som ansluts till tåtkärna	USA, Pactola Dam	[22]	Används
Läckagesåkring medelst geotextil och finsand som bildar ett relativt tått skikt ovanför tåtkärnan	Ej kånt		Tånkbar
Tåtande material i smal slits från dammkrön ner till tåtkärnan	Ej kånt		Tånkbar
Gråva ett smalt dike som fylls med betong eller asfalt	Ej kånt		Tånkbar
Plastinjektering av typ polyuretanskum	Ej kånt		Ej otånkbar
Injektering med cement från dammens krön och ned i tåtkärnan	Ej kånt		Tånkbar
Inblandning med cement med metod typ cement-kalkpelare i filterlagren och överfyllningen ovan tåtkärna.	Ej kånt		Ej otånkbar
Att slå spont från ytan utan att schakta sig ned till tåtkärnan.	Ej kånt		Ej otånkbar
Att erosionsskydda tåtkårnans överyta genom tåckning med plastfilm eller liknande.	Ej kånt		Ej otånkbar
Jetgrouting	Ej kånt		
Användande av bentonitmattor som tåtande membran ovanför tåtkårnan.	Ej kånt		Ej otånkbar

C Få dammen att tåla större genomläckning

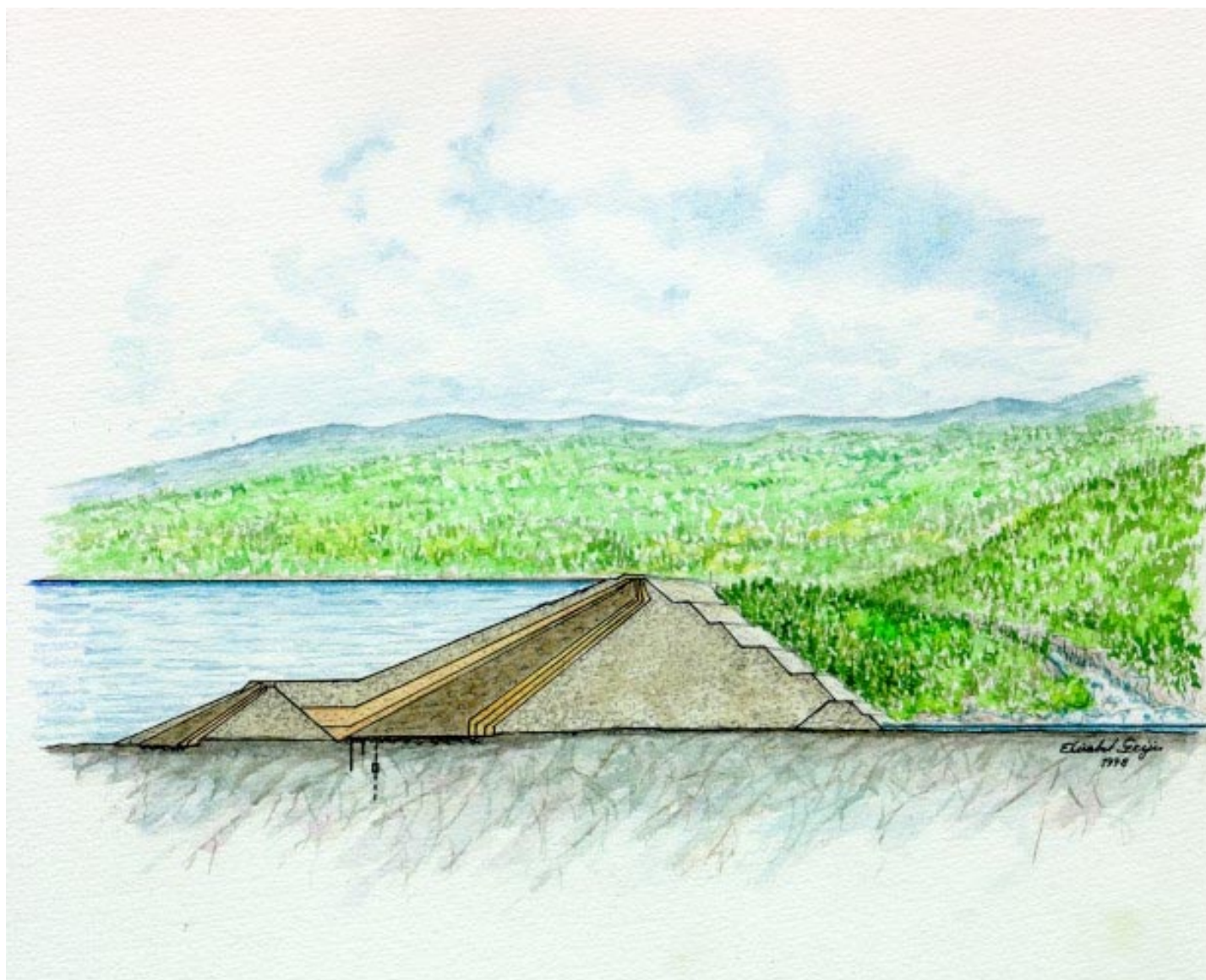
Åtgärd	Använd var	Referens	Kommentarer/Aspekter
Förstärkning av dammtån till att tåla större utströmmande vattenmängder		[2]	Används
Förstärkning av nedströmsslänt med tryckbank av stenfyll utlagd på filter	Sverige, Lövön , Suorva och Smedjemorasjön		Används

D Höjning av dammen för att motstå högre reservoarnivåer

Åtgärd	Använd var	Referens	Kommentarer/Aspekter
Konventionell höjning av tåtkärnan inklusive överfyllnad och erosionsskydd.	Vanlig		Konventionell dammbyggnadsteknik
Höjning av dammen med stödmur som ansluts till tåtkärna och motfylls	USA, McCloud Dam	[24]	Används
Höjning av dammen genom byggandet av en kasun på krönet	USA, Lake Sherburne Dam	[22]	Används
Betongdäck ansluts till stödmur ställd på tåtkärnan. Betongdäcket vilar på nedströms stenfyllnad	Australien, Dungowan Dam	[5]	Används
Höjning av tätande sektion av betongmur medelst tätjord och stålplåt	Sverige, Kattstrupeforsen	[10]	Används
Höjning av dammen med tätande geomembran som ansluts till tåtkärna.	USA, Pactola Dam	[22]	Används
Höjning av damm med slänter stabiliserade med soilcement och geogrid släntarmering	USA, Davis Creek Dam	[22]	Används
Med hjälp av tätande membran av finsand med geotextilfilter	Ej känt		Tänkbar
Höjning av tätande sektion med hjälp av tätande membran av rostfri plåt, tunn	Ej känt		Tänkbar
RCC som placeras på dammkrönet	Ej känt		Tänkbar
Placera väg i slänten vilket ger möjlighet till smalare krön.	Ej känt		Tänkbar
Använda portabla system tex sandsäckar slangar med stor diameter som fylls och som placeras ut först vid behov.			Tänkbar
Placera en gummidamm ovanpå krön	Ej känt		Otänkbar

E Säkra dammen för överströmning

Åtgärd	Använd var	Referens	Kommentarer/Aspekter
Erosionsskydd av krön och nedströmsslänt med gräs med eventuell förstärkning av geotextilnät		[11]	Ej otänkbar
Erosionsskydd av krön och nedströmsslänt med blandad stenfyllning		[11], [17]	Ej otänkbar
Erosionsskydd av krön och nedströmsslänt med mattor av betongblock	England, Stanford Dam Ryssland, Dneiper Power St.	[5], [11], [15], [24],	Tänkbar
Erosionsskydd av krön och nedströmsslänt med konventionell betonginklädning	USA, A.R. Bowman Dam	[24]	Tänkbar
Erosionsskydd av krön och nedströmsslänt med VKB	USA, Saltlick Dam, Ringtown No 5 Dam	[11], [19], [23], [24]	Tänkbar
Erosionsskydd av krön och nedströmsslänt med film av geosyntetdukar	Ej känt	[4]	Otänkbar
Göra kanaler i nedströmsslänten dit överströmmat vatten samlas för att undvika behovet att överströmningsskydda hela nedströmsslänten	Ej känt		Ej otänkbar
Flacka ut nedströmsslänten för öka motståndsförmågan mot erosion	Ej känt		Ej otänkbar
Användande av rullduk som placeras på uppströmsslänten och aktiveras av stigande vattennivåer	Ej känt		Otänkbar
Erosionsskydd kan utföras med stenblock som kringgjuts och eventuellt förankras med kablar eller bandjärn.	Ej känt		Tänkbar



ELFORSK

SVENSKA ELFÖRETAGENS FORSKNINGS- OCH UTVECKLINGS – ELFORSK – AB
Elforsk AB, 101 53 Stockholm. Besöksadress: Olof Palmes Gata 31
Telefon: 08-677 2530. Telefax 08-677 2535
www.elforsk.se