

# Förstärkningsåtgärder för slänter och raviner i morän och annan grov sedimentjord

Denna rapport ingår i Räddningsverkets serie av forsknings- och utvecklingsrapporter.  
I serien ingår rapporter skrivna av såväl externa författare som av verkets anställda.  
Rapporterna kan vara kunskapssammanställningar, idéskrifter eller av karaktären tillämpad forskning.  
Rapporten redovisar inte alltid Räddningsverkets ståndpunkt i innehåll och förslag.

# Förstärkningsåtgärder för slänter och raviner i morän och annan grov sedimentjord

Räddningsverkets kontaktperson:

Margareta Nisser-Larsson, Enheten för olycksförebyggande verksamhet  
Telefon 054-13 53 57



# Innehållsförteckning

<b>FÖRORD</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>7</b>
<b>SAMMANFATTNING</b>	<b>9</b>
<b>1 INLEDNING</b>	<b>11</b>
1.1 BAKGRUND	11
1.2 SYFTE	11
1.3 ERFARENHETER I ANDRA LÄNDER	11
<b>2 KORT BESKRIVNING AV DE OLIKA FENOMENEN</b>	<b>12</b>
2.1 MORÄNSKRED	12
2.2 SLAMSTRÖMMAR	12
<b>3 ERFORDERLIGA UNDERSÖKNINGAR</b>	<b>14</b>
3.1 ALLMÄNT	14
3.2 DIMENSIONERANDE REGN	14
3.3 BERÄKNING AV AVRINNINGSTID	15
3.4 TOTAL MÄNGD VATTEN VID ETT REGNTILLFÄLLE	15
3.5 HÖGVATTENFLÖDE	17
3.6 MATERIALFLÖDE SOM KAN TRANSPORTERAS AV EN SLAMSTRÖM	18
3.7 SLAMSTRÖMMENS MEDELHASTIGHET	19
3.8 TILLGÄNGLIGT MATERIAL LÄNGS SLAMSTRÖMMENS VÄG	20
3.9 ARBETSMETODIK	20
<b>4 ALLMÄNT OM FÖRSTÄRKNINGSMETODER</b>	<b>22</b>
<b>5 FÖRSTÄRKNINGSMETODER I SLÄNTER</b>	<b>23</b>
5.1 DRÄNERINGSSYSTEM	23
5.1.1 Dräneringsfaskiner	24
5.1.2 Dräneringsledningar av konstgjort material	25
5.2 AVLEDANDE DAMMAR	30
5.3 INGENJÖRSBIOLOGI	30
<b>6 FÖRSTÄRKNINGSMETODER FÖR RAVINER</b>	<b>31</b>
6.1 EROSIONSTRAPPOR	31
6.1.1 Funktion	31
6.1.2 Utformning	31
6.1.3 Dimensionering	36
6.1.4 Skötsel	36
6.2 SORTERINGSFÄLLOR	36
6.3 SYLLAR	37
6.4 BLOCKTRAPPOR	38
6.5 AVLEDANDE DAMMAR	39
6.5.1 Funktion	39
6.5.2 Utformning	39
6.5.3 Dimensionering	41
6.6 KANALISERING	41
6.7 SEDIMENTATIONS DAMM	43
6.7.1 Funktion	43
6.7.2 Utformning	43
6.7.3 Dimensionering	46
<i>Volymer</i>	46
<i>Flöden</i>	47

<i>Krafter</i>	48
6.7.4 Skötsel	48
6.8 SLAMSTRÖMSBRÄCKA	49
<b>7 INGENJÖRSBIOLOGI</b>	<b>50</b>
7.1 ALLMÄNT	50
7.2 BYGGMETODER FÖR SLÄNTER OCH RAVINER	51
<b>8 SKOGS- OCH VEGETATIONSSKÖTSEL</b>	<b>56</b>
<b>9 SAMMANSTÄLLNING AV OLIKA FÖRSTÄRKNINGSMETODER</b>	<b>57</b>
<b>10 SAMMANSTÄLLNING AV PARAMETRAR FÖR DIMENSIONERING OCH UTFÖRANDE AV OLIKA FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER</b>	<b>58</b>
<b>11 EXEMPEL PÅ UTFÖRDA FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER</b>	<b>60</b>
<b>12 REFERENSER</b>	<b>61</b>
12.1 LITTERATUR	61
12.2 ADRESSER TILL PERSONLIGA KONTAKTER	62
<b>13 ORDLISTA</b>	<b>63</b>
<b>BILAGOR</b>	<b>65</b>

# Förord

Statens geotekniska institut (SGI) har på uppdrag av Räddningsverket (SRV) har utfört en inventering och sammanställning av förstärkningsmetoder för slänter och raviner i morän och annan grov sedimentjord. Arbetet har resulterat i föreliggande rapport.

I Alpländerna är problemen med snabba jordrörelser stora. God erfarenhet och kunskap finns i dessa länder om hur man förhindrar uppkomst och minskar konsekvenserna av skred, ras och slamströmmar. Arbetet med denna rapport har därför utförts med mycket god hjälp från Diplom Ingenieur Siegfried Sauermoser, Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Schwaz, Diplom Ingenieur Jörg Heumader, Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lavinenverbauung, Imst samt geolog Thomas Sönser och Diplom Ingenieur Alexander Ploner, båda på konsultföretaget i.n.n, Innsbruck. Författarna vill härmed framföra ett stort tack för deras hjälpsamhet.

Utredningsarbetet och författandet av rapporten har utförts av Karin Rankka och Jan Fallsvik, båda SGI.

Projektet har finansierats av Räddningsverket.





## Abstract

On behalf of the Swedish Rescue Services Agency, a project has been carried out at the Swedish Geotechnical Institute in 2002, which aims to give a comprehensive description of available methods to prevent and reduce the negative consequences of landslides and debris flows in gullies and slopes in till and coarse material. The result of this project is given in this report.

A survey mapping method has earlier been developed for overview investigation of the stability conditions in gullies and slopes in till and coarse soils in Sweden (see Viberg et al., 2002). The Swedish Geotechnical Institute developed the method in co-operation with Chalmers University. The purpose of the survey mapping method is to point out where further detailed investigations are needed.

Problems with landslides and debris flows in till and coarse material is by far not as common in Sweden as in the Alps. Nevertheless problems occur. For instance in 1997 heavy rainfall caused landslides and debris flows both in Syslebäck, Värmland, and in Fulufjället, Dalarna. Problems due to heavy rain fall in connection with clear cuttings and underdimensioned culverts are common. The community of Åre has been aware of the problems with landslides and debris flows for many years.

Detailed investigations of a catchment area mainly concern determination of the dimensional rain (rain intensity, time of duration and total amount of rain) and the amount of solid material which can be transported by a debris flow. The kind of problem that can occur and the kind of preventive measures suitable for the area are also given by the detailed investigations.

Different kinds of preventive measures have been developed in the Alpine countries. In this report a division is made between measures suitable in slopes and measures suitable in gullies.

In slopes problems with landslides mostly occur due to high groundwater pressure. Shallow movements, i.e. erosion, occur in erodible soils in connection with heavy rainfall. Suitable measures to prevent these movements are drainage systems and soil bioengineering methods.

In gullies there are mainly two types of problems; unstable slopes towards the gully and high water discharge in the gully bottom, which can cause debris flows. Landslides in slopes towards the gully may bring soil material and trees down to the gully and cause damming of the brook in the bottom of the gully. At high discharge in the brook this material may once again start to move and cause large damage down-stream. High water discharge may also cause erosion along the bottom of the brook and thereby debris flows. Debris flows can have a very high energy and therefore carry large boulders and trees. The different measures available aim to prevent erosion along the bottom of the gully, to stop large material from further movement, to collect the debris flow in a dam or to deflect the debris flow away from a threatened area.

Measures suitable to prevent erosion along the bottom of the gully are check dams, sills, canalisation and soil bioengineering methods. To reduce the risk of erosion in the bottom of the gully it is also important to minimise the run off down to the brook. That may be done by soil bioengineering methods and drainage systems in suitable parts of the catchment area. To stop large material from further movements woody traps, boulder traps and retention dams may be built. Collection of debris flows may be done in retention dams. Deflection of debris flows

may be done by deflection dams and the building of new stream channels. A reduction of the energy of the debris flows may be done with debris flow breakers.

# Sammanfattning

På uppdrag av Statens Räddningsverk startade Statens Geotekniska Institut år 2002 ett projekt som syftar till att inventera, sammanställa och beskriva tillgängliga metoder för att förhindra och minska skadorna av eventuella skred, ras och slamströmmar i slänter och raviner i morän och annan grov sedimentjord. Resultaten från detta arbete redovisas i föreliggande rapport.

Jordrörelser i morän eller annan grov sedimentjord inträffar varje år i Sverige. Som exempel kan nämnas att efter mycket kraftiga regn år 1997 inträffade skred och slamströmmar i Syslebäck längs Klarälven i norra Värmland och i Fulufjället i norra Dalarna. Under regnovädren i södra och mellersta Norrland år 2000 och år 2001 uppstod skred, erosion och översvämningar med stora skador på vägar som följd. I Mörviksravinen i Åre har flera slamströmmar inträffat. Omfattningen av dessa problem varierar från fall till fall.

Statens Geotekniska Institut har i samarbete med Chalmers tidigare tagit fram en modell för översiktlig kartering av risken för snabba massrörelser i slänter och raviner i morän och annan grov sedimentjord (se Viberg et al, 2002). Denna översiktliga kartering ger upplysning om vilka områden som har förutsättningar för snabba jordrörelser. I dessa områden krävs därefter en mer detaljerad undersökning av vilka problem som kan tänkas uppstå och vilka möjligheter som finns att förhindra eller minska konsekvenserna av eventuella rörelser.

I de detaljerade undersökningarna ingår främst att bestämma områdets dimensionerande regn (varaktighet, mängd och intensitet) samt den mängd jordmaterial som kan transporteras vid en eventuell slamström. Dessutom ger de detaljerade undersökningarna svar på vilka problem som kan uppstå samt vilken typ av förstärkningsåtgärd eller annan preventiv åtgärd som kan vara lämplig. Dimensionerande krafter mot eventuellt erforderliga konstruktioner tas också fram i den detaljerade undersökningen.

Flera olika metoder finns framtagna som syftar till att förhindra uppkomst av eller minska konsekvenserna vid eventuella snabba jordrörelser i morän och annan grov sedimentjord. Huvuddelen av metoderna har tagits fram i Alpländerna. I denna rapport görs en uppdelning mellan metoder lämpliga i slänter och metoder lämpliga i raviner.

I slänter uppstår problem med skred och ras främst på grund av höga grundvattentryck. Ytliga jordrörelser, erosion, inträffar i erosionskänslig jord i samband med kraftig nederbörd. Lämpliga metoder att förhindra dessa problem är dräneringssystem och ingenjörsmetoder.

I raviner uppstår problem på grund av skred, ras och erosion i sidoslänterna. Massor från dessa jordrörelser ansamlas i ravinbotten och kan på så sätt dämna upp bäcken i ravinbotten. Vid kraftig vattenföring i bäcken kan massorna åter sättas i rörelse och orsaka stor skada nedströms fördämningen. Problem kan också uppstå om kraftig vattenföring utlöser så kallade slamströmmar längs ravinslänterna och i ravinbotten. Slamströmmar kan få mycket stor energi och kan då dra med sig allt från finjord till sten, stora block och även hela träd. De metoder som används syftar till att förhindra erosion längs ravinbotten, stoppa grövre material från vidare transport, uppsamla jordmaterial från slamströmmar i dammar, reducera slamströmmens energi och avleda slamströmmar från hotade objekt.

För att förhindra erosion i ravinbotten kan man använda erosionstrappor, syllar, blocktrappor, kanalisering och ingenjörbiologiska metoder. För att minska risken för erosion i ravinbotten är det dessutom viktigt att minska avrinningen ner till bäcken. Detta kan göras genom ingenjörbiologiska metoder och dräneringssystem i lämpliga delar av avrinningsområdet. För att stoppa grövre material från vidare transport nedströms kan man bygga sorteringsfällor. Uppsamling av jordmaterial kan göras i sedimentationsdammar och avledning av slamströmmar görs med avledande dammar och nya bäckfåror. En reduktion av slamströmmens energi kan göras med hjälp av slamströmsbräckor.

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

I svenska fjällen inträffar skred, ras och andra snabba jordrörelser i höga slänter och raviner där jorden består av morän eller annan grov sedimentjord. Orsaken till rörelserna är ofta kraftiga regn i kombination med dålig marktäckning och höga grundvattenflöden. När skred och ras inträffar högt upp i slänten kan skredmassorna fortsätta nedför slänten som så kallade slamströmmar. I bäckraviner kanaliseras dessa massor och kan få ett mycket destruktivt förlopp. Även på andra håll i landet, företrädesvis vid slänter utmed förkastningslinjer, har jordrörelser i grov jord inträffat. Orsaken till dessa kan ofta hänföras till kraftiga regn i kombination med kalhyggen, kanalisering av vatten och höga grundvattenflöden.

I samarbete med Chalmers tekniska högskola har Statens geotekniska institut, på uppdrag av Räddningsverket, utvecklat en översiktlig karteringsmodell för att bedöma vilka områden, i anslutning till bebyggelse, som har förutsättning för skred, ras och slamströmmar, se "Översiktlig kartering av stabilitetsförhållandena i raviner och slänter i morän och grov sedimentjord. Förslag till metodbeskrivning", (Viberg et al., 2002). I rapporten beskrivs de olika processer som kan uppstå i en slänt eller i en ravin i grov jord.

## 1.2 Syfte

Syftet med föreliggande projekt har varit att inventera, sammanställa och beskriva olika lämpliga metoder för att förhindra och minska skadorna av eventuella skred, ras och slamströmmar i slänter och raviner med morän och annan grov sedimentjord. Metoder för att förhindra eller minska skadorna av snölaviner, bergsskred och skred i finjord ingår inte i projektet.

## 1.3 Erfarenheter i andra länder

I områden längs alpernas bergssystem inträffar årligen ett stort antal skred, ras, slamströmmar och andra snabba jordrörelser som riskerar att skada människor och egendom. Områdena karaktäriseras av mycket branta och höga sluttningar med smala och tätbefolkade dalgångar däremellan. I exempelvis Österrike finns myndigheter och organisationer med stor kunskap om och erfarenhet av skred- och rasfrågor. De har i sitt arbete med dessa frågor utvecklat karteringsmodeller, beräkningsmetoder och förstärkningsmetoder. Arbetet sker tvärvetenskapligt med expertis inom geologi, geomorfologi, biologi, geoteknik, skogbruksteknik, lantbruksteknik och väg- och vattenbyggnad.

I föreliggande projekt ingick en studieresa juli 2002 till Tyrolen i Österrike i syfte att inhämta kunskap om olika förstärkningsmetoder. Härvid besöktes den statliga myndigheten "Forst-technischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV)", som ansvarar för skred-, ras- och lavinfrågor. WLV representerades av Diplomingenjör Siegfried Sauer Moser, Schwaz, och Diplomingenjör Jörg Heumader, Imst. Dessutom besöktes konsultföretaget i.n.n i Innsbruck som representerades av geolog Thomas Sönser och Diplomingenjör Alexander Ploner. En kort beskrivning av studieresan ges i Bilaga 1.

## 2 Kort beskrivning av de olika fenomenen

### 2.1 Moränskred

I branta slänter med grova jordar, exempelvis morän, uppstår skred oftast när jorden är vattenmättad efter en nederbördsrik period eller i samband med snösmältningen. Andra orsaker kan vara erosion, på grund av exempelvis dålig vegetations-täckning i kombination med kraftig nederbörd, som leder till större skred. De flesta moränskred är relativt ytliga rörelser. I Sverige är moränskred vanligast i fjällter-räng, men kan uppstå även i andra delar av landet med kuperad terräng – exempelvis längs så kallade förkastningsbranter, se *Figur 1*.



*Figur 1 Skred i moränsluttning utmed Klarälvsdalens östra förkastningsbrant, Sysseleback. Foto J. Fallsvik, SGI.*

### 2.2 Slamströmmar

Snabba jordrörelser i långa slänter och i raviner antar olika former beroende på förhållandet mellan vatten och fasta partiklar. En indelning av olika typer av snabba jordrörelser ges av Viberg et al. (2002). I denna rapport benämns alla de olika typerna av snabba jordrörelser i grov jord för slamströmmar, utan att närmare definiera innehåll av vatten och partiklar. Den engelska termen ”*debris flow*” används på samma sätt.



*Figur 2. Bäckfårans utseende efter en just inträffad slamström. Zillerdalen, Österrike. Foto: S. Sauer-moser, WLV, Schwaz.*



*Figur 3 Slamström innehållande bland annat träd i Kaltenbach, Österrike. Foto S. Sauer-moser, WLV, Schwaz.*

Ett skred i en lång slänt kan fortsätta nedför slänten som en slamström om vatteninnehållet i jorden är stort. Massrörelsen fortsätter nedför slänten eller ravinen så länge som lutningen är tillräcklig stor. Eftersom massor är väldigt tunga och därigenom får stor rörelseenergi, påverkar massorna marken och omgivningen genom intensiv erosion, se *Figur 2*. Allt från finjord till sten, block och även hela träd kan dras med längs vägen nerför slänten eller ravinen, se *Figur 3*. Enligt Heumader (2002) är det dock inte så vanligt att skred utvecklas till en slamström annat än om slänten är mycket brant.

Ofta ansamlas jordmassor och annan bråte från mindre skred och slamströmmar längs bäckraviner. Vid stora vattenflöden i bäcken kan de ansamlade jordmassorna åter komma i rörelse och fortsätta som en ny slamström längs bäckravinen ned till den nedanförliggande dalen. Återkommande slamströmmar är vanliga längs bäckraviner med skredbenägna sidoslänter. I bebyggda trakter kan moränskred och efterföljande slamströmmar orsaka skador såväl inom själva skredområdet som längs den efterföljande slamströmmens väg nedför slänten och i ansamlingsområdet i dalen nedanför.

## 3 Erforderliga undersökningar

### 3.1 Allmänt

Val av lämplig förstärkningsmetod grundas på en noggrann undersökning av det aktuella områdets specifika problem. Undersökningarna inleds med en förundersökning enligt ”Översiktlig kartering av stabilitetsproblemen i raviner och slänter i morän eller annan grov sedimentjord. Förslag till metodbeskrivning”, SRV Rapport , Karlstad (Viberg et al., 2002). Den översiktliga karteringen visar på vilka områden som har förutsättningar för snabba jordrörelser. I dessa områden erfordras därefter en mer detaljerad undersökning som syftar till att bestämma följande:

- vilka typer av problem som kan vara aktuella
- var problemen finns
- hur problemen påverkar befintlig bebyggelse
- om förstärkningsåtgärder eller andra preventiva åtgärder är nödvändiga
- vilken mängd jordmaterial och vatten som maximalt kan tänkas komma i rörelse
- vilka krafter som kan uppstå mot olika typer av förstärkningsåtgärder samt
- lämpliga förstärkningsmetoder

De olika stegen i de detaljerade undersökningarna som leder fram till val av förstärkningsmetod beskrivs kortfattat i Kapitel 3.2 till 3.9.

### 3.2 Dimensionerande regn

Det dimensionerande regnets mängd, intensitet och varaktighet för det aktuella området måste bestämmas. Mängden vatten vid ett regntillfälle som avrinner från bäckens hela avrinningsområde och ner i bäckfåran bestämmer hur mycket material, av tillgängligt material, som maximalt kan transporteras i en slamström. Det dimensionerande regnet förutsätts inträffa samtidigt och ha samma intensitet och varaktighet över hela det studerade avrinningsområdet..

Ofta uppstår de största problemen med jordrörelser då en redan vattenmättad jord utsätts för ett häftigt regn. Häftiga regn, exempelvis konvektiv nederbörd, är vanliga i inlandet under juli och augusti och har stor betydelse vid dimensionering av tekniska system. Modeller finns, bland annat på SMHI, för att beräkna exempelvis erforderlig dimension på dagvattentrummor för dessa situationer. Sannolikheten för häftiga regn i mer avlägsna platser, som exempelvis i raviner i fjällvärlden, är dock svår att bestämma eftersom häftiga regn har en begränsad geografisk utbredning och nederbördsstationerna i glest befolkade områden ligger på stora inbördes avstånd.

Med hjälp av data från närmast liggande hydrologiska station och studier av det aktuella områdets läge i förhållande till höjder och väderstreck görs en bedömning av det dimensionerade regnet. Kompletterande mätningar av nederbörd i anslutning till det aktuella området ökar givetvis möjligheten att göra en bra bedömning. För att få den bästa uppfattningen av områdets dimensionerande regn bör mätare som kan registrera stora regnmängder användas och gärna mekaniska system som inte slås ut vid åsknedslag. Registrering bör utföras var 5:e minut för att ge en god uppfattning av intensiteten.



I Österrike används det så kallade 150-årsregnet,  $h_{150}$ , i dessa sammanhang. Med 150-årsregn menas att sannolikheten under ett år är  $P = 1/150$  för att ett regn inträffar som har lika eller större varaktighet, intensitet och mängd som den givna. Mätningar av regnintensiteter och varaktigheter utförs i Österrike nu ofta inom det aktuella avrinningsområdena.

### 3.3 Beräkning av avrinningstid

För att högvattenflödet i ravinen skall kunna bestämmas måste man först beräkna den så kallade avrinningstiden. Avrinningstiden,  $T$ , är den tid det tar för den vattendroppe som behöver längst tid för att rinna genom avrinningsområdet, det vill säga att ta sig till nedersta punkten i avrinningsområdet. När denna droppe har nått den nedersta punkten uppstår definitionsmässigt högvattenflöde. Oberoende av om regnets varaktighet är lika lång som avrinningstiden eller om den är längre, kommer flödet att vara det samma – högvattenflödet (HQ).

Flera olika förslag på lämpliga empiriska ekvationer för att bestämma avrinningstiden ges i litteraturen. Bergthaler (1986) ger följande förslag på lämpliga formler:

Enligt Hampel:  $T = 27,8 \cdot A^{0,5}$  [minuter]

Enligt Kirpich:  $T = 0,0195 \cdot L^{1,155} \cdot H^{-0,385}$  [minuter]

Enligt Kreps:  $T = 52,2 \cdot A^{0,4}$  [minuter]

där  $A$  = avrinningsområdets area [ $\text{km}^2$ ]

$L$  = längden från översta till nedersta punkten i avrinningsområdet [m]

$H$  = höjdskillnaden från översta till nedersta punkten i avrinningsområdet [m]

Ovanstående formler är empiriskt framtagna och måste användas med försiktighet. Avrinningstiden beror förutom på längden,  $L$ , höjdskillnaden,  $H$ , och avrinningsområdets storlek,  $A$ , även på vegetationstäckning och markfuktighet.

Enligt Sauermoser (2002) kan flödes hastigheten för en vattendroppe överslagsmässigt sättas till 2 m/s.

Avrinningstiden,  $T$ , kan beräknas för olika punkter inom avrinningsområdet för att där bestämma vilken varaktighet som erfordras för att uppnå högvattenflöde.

För att högvattenflöde skall inträffa måste alltså det dimensionerande regnets varaktighet vara minst så långs som den framräknade avrinningstiden. Om varaktigheten för det dimensionerande regnet är kortare kommer inte högvattenflöde, utan ett lägre flöde, att inträffa. Högvattenflöde kan beräknas i enligt Kapitel 3.5.

### 3.4 Total mängd vatten vid ett regntillfälle

Det mängd vatten som rinner genom avrinningsområdet och som så småningom når den nedersta punkten i avrinningsområdet beror förutom på regnmängden även av markens avrinningskoefficient,  $\psi$ . Med avrinningskoefficient menas den mängd vatten, i procent av total regnmängd, som inte infiltreras ner i marken utan fortsätter som ytvattenavrinning. Avrinningskoefficienten varierar beroende på vegetationens täckningsgrad, typ av vegetation, jordart, kornfördelning, vattenhalten i jorden och markytans lutning. Vid beräkningar har man

hittills ofta antagit att avrinningskoefficienten har varit oberoende av regnintensiteten. Kohl & Markart (2002) visade att avrinningskoefficienten vid stora regnintensiteter, över cirka 40 mm/h, är relativt oberoende av intensiteten. Däremot visar de att vid små intensiteter, mindre än cirka 30 mm/h, påverkas avrinningskoefficienten av intensiteten på så sätt att ju högre intensitet desto högre avrinningskoefficient.

Växtlighet är bra indikatorer på markfuktighet. Genom att studera vilken typ av växtlighet som finns naturligt i det studerade området fås en god kännedom om markens vatteninnehåll och därmed förmåga att infiltrera regnvatten. Markart et al. (2002a) visade att avrinningskoefficienten är betydligt lägre för ett område med buskvegetation än för ett område med ängar och myrar. Detta gällde även då jorden var extremt fuktig.

Exempel på värden på avrinningskoefficienter ges i *Tabell 1*.

*Tabell 1. Exempel på värden på avrinningskoefficienter (efter Markart et al., 2002b)*

<b>Vegetation</b>	<b>Jordart</b>	<b>Vattenkrävande växtlighet (1=något vattenkrävande, 4=mycket vattenkrävande)</b>	<b>Markanvändning. Egenhet</b>	<b>Avrinningskoefficient, <math>\psi</math> [%]</b>
Ljunghed	Hög andel finjord	Torrt	Torra partier förekommer	31-50
Slätteräng	Hög sandel finjord lucker	1-2		11-30
Slätteräng	Hög andel finjord, tät	3-4	Skidpist, hårt betad	51-75
Fuktig ängsmark, lågmosse		3-4	Markvatten avrinner i övre jordlager pga tät skikt djupare ner	76-100
Gräsvall	Hög finjordsandel, tät	2	Skidpist, betad	31-50
Gräsvall	Hög finjordsandel, tät	3-4	Skidpist, betad	76-100
Gran + dvärgboskar	Blockig, finjord, lucker	1-2	Råhumus	0-10
Gran + dvärgboskar	Grov jord med hög finjordshalt	1-3	Markvatten avrinner i övre jordlager pga tät skikt djupare ner Något betad	31-75
Lövskog (bok, lönn, lind)	Hög andel finjord,	1-2	Växelfuktig	11-30
Lövskog (bok, lönn, lind)	Hög andel finjord, tät	2-3	Markvatten avrinner i övre jordlager pga tät skikt djupare ner. Betad	31-75

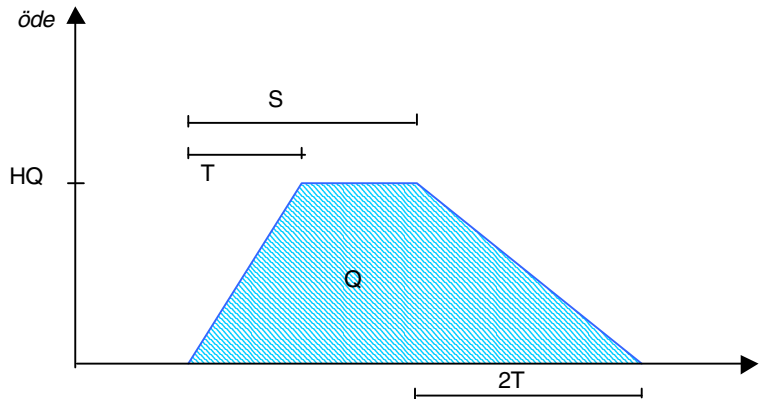
Vid en utredning om avrinning och erosion i Åredalen (Wilén et al., 1993) beräknades medelvärden för avrinningskoefficienter inom två avrinningsområden, till 0,35. Avrinningsområdena karaktäriseras på lägre nivåer av barrskog som övergår i ängsmark, hedmark och på ca 800 meters höjd över havet till kalfjäll.

Total mängd vatten,  $V$ , som under ett givet regn, kommer till en punkt längs en bäckbotten kan beräknas med några olika ekvationer. Enligt Zeller (från Forsttechnischer Dienst für Wildbach und Lawinenverbau, 19??) kan totala mängden vatten beräknas av:

$$V = \psi \cdot h_{150} \cdot A \quad [\text{m}^3]$$

där  $\psi$  = avrinningskoefficient [%]  
 $h_{150}$  = regnhöjd vid 150-årsregn [m]  
 $A$  = avrinningsområde [ $\text{m}^2$ ]

Beräkning av total mängd vatten från ett regn kan också göras med ett så kallat avrinningsdiagram. Efter det att ett regn har upphört tar det en viss tid innan all ytavrinnande nederbörd har nått den punkt i avrinningsområdet där volymen söks. Denna tid sätts approximativt till 2 gånger avrinningstiden,  $T$ . Om regnets varaktighet är  $S$  får avrinningsdiagrammet det approximativa utseende som visas i *Figur 4*.



*Figur 4. Approximativt utseende på avrinningsdiagram.*

Total mängd vatten från detta regn beräknas då som arean i avrinningsdiagrammet:

$$Q = HQ \cdot \left( \frac{3 \cdot T}{2} + (S - T) \right) [\text{m}^3]$$

där  $T$  = avrinningstid [s]  
 $S$  = regnets varaktighet [s]

Vattenmängder bör beräknas med hjälp av olika metoder och resultaten bör jämföras och ställas mot erfarenheter. Det finns flera osäkerheter och antaganden i de olika metoderna (Sauermoser, 2002).

### 3.5 Högvattenflöde

Högvattenflödet,  $HQ$ , som inträffar i en given punkt längs bäckbotten kan överslagsmässigt beräknas med nedanstående ekvationer

Enligt Zeller (\*):  $HQ = \psi \cdot I_{150} \cdot A \quad [\text{m}^3/\text{s}]$

(\*, från Forsttechnischer Dienst für Wildbach und Lawinenverbau, 1999)

där  $\psi$  = avrinningskoefficient [%]  
 $I_{150}$  = regntintensitet för 150-årsregn [m/s]  
 $A$  = avrinningsområde [ $\text{m}^2$ ]

eller

$$\text{Enligt Hampel (1984): } HQ = 0,4 \cdot \psi \cdot h_{150} \cdot A^{0,5} \left( 1 - \frac{H_u}{2400} \right) [\text{m}^3/\text{s}]$$

där  $\psi$  = avrinningskoefficient [%]  
 $h_{150}$  = regnhöjd för 150-årsregnet [mm]  
 $A$  = avrinningsområde [ $\text{km}^2$ ]  
 $H_u$  = höjd över havet för ravinens mynning [m]

Zellers ekvation kallas ibland för den rationella metoden. I Zellers originalekvation sätts regnintensiteten in i mm/min och avrinningsområdet i  $\text{km}^2$  och då får ekvationen följande utseende:

$$HQ = 16,7 \psi \cdot I_{150} \cdot A \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Följande text är ett referat av en diskussion med Sauermoser (2002).

Zellers ekvation gäller för kraftiga regn och kräver således en god uppfattning om regnintensiteten och varaktigheten under korta perioder. Sådana nederbördsupmätningar saknas ofta men upprättas nu på flera platser i Österrike. Med hjälp av bland annat regnsimuleringar gör man uppskattningar av högvattenflöden. Hampels ekvation gäller för långvariga regn (24 timmars regn) i stora avrinningsområden. På grund av att denna typ av mätning har utförts under mycket längre tid än de kortvariga mätningarna har Hampels ekvation ofta använts. Det finns flera andra ekvationer som också används i Österrike. Det är viktigt att man inser att ekvationerna är empiriskt framtagna för de förhållandena som gäller för en specifik plats. Kontroll av det framräknade högvattenflödet måste alltid göras mot inträffade uppmätta flöden.

Under ett och samman regn kan givetvis vattenflödet variera eftersom regnintensiteten vanligtvis varierar. Intensiteten förutsätts dock oftast vara konstant under varaktigheten.

### 3.6 Materialflöde som kan transporteras av en slamström

Den maximala flödet av jordmaterial som kan transporteras med en slamström beror av släntlutningen, jordens kornstorleksfördelning längs slamströmmens väg, högvattenflödet och av höjden på avbördningen (flödet). Hampel (1990) anger andel jordmaterialflöde,  $G_T$ , av högvattenflödet, som kan transporteras av högvattenflödet,  $HQ$ , enligt följande formel:

$$G_T = 2,5HQ \cdot I^{0,6} \left( I - \frac{m \cdot d_m}{12,1 \cdot h} \right) [\%]$$

där  $I$  = släntlutningen längs ravinbotten [%]  
 $d_m$  = medelkornstorlek [m]  
 $h$  = höjd på avbördningen [m]  
 $m$  = faktor enligt

Tabell 2. Parametern  $m$  (efter Hampel, 1990)

$I$	0,0	0,1	0,2
$m$	1	0,8	0,5

Hampel gjorde en studie av de olika parametrarnas inverkan på jordmaterialflödet. Vid en variation av medelkornstorleken,  $d_m$ , mellan 0 och 0,2 meter och av höjden på avbördningen,  $h$ , mellan 1 och 4 meter varierade andelen jordmaterialflöde obetydligt. Stor betydelse för jordmaterialflödet har däremot släntlutningen,  $I$ . Hampel föreslog därför följande formel för andelen jordmaterialflöde som kan transporteras av högvattenflödet då släntlutningen överskrider 5%:

$$G_T = 250 \cdot I^{1,6} \quad [\% \text{ av högvattenflödet}]$$

Det framräknade materialflödet kan räknas om till den mängd jordmaterial,  $G_F$  ( $m^3$ ), som maximalt kan transporteras med högvattenflödet. Mängden jordmaterial blir då:

$$G_F = G_T (\%) \cdot V \cdot T \quad [m^3]$$

där  $T$  = varaktigheten [s]  
 $V$  = total mängd vatten vid högvattenflöde [ $m^3$ ]

Den totala mängden vatten plus jordmaterial (slamströmmens maximala volym,  $M_{max}$ ) blir då:

$$M_{max} = G_F + V \quad [m^3]$$

där  $G_F$  = mängden jordmaterial [ $m^3$ ]  
 $V$  = mängden vatten vid högvattenflöde [ $m^3$ ]

Hampel har även föreslagit att den mängd jordmaterial som kan transporteras med en slamström kan beräknas med hjälp av lutningen på tidigare avlagrade massor i alluvialkoner. Slamströmmar med stort vatteninnehåll ger flacka alluvialkoner medan slamströmmar med hög andel jordmaterial ger brantare alluvialkoner (Sauermoser, 2002). För den intresserade läsaren hänvisas till Hampel (1990).

### 3.7 Slamströmmens medelhastighet

Flera förslag till beräkning av slamströmmars maximala hastighet i den främre delen av slamströmmen finns framtagna. Förslagen bygger på kunskaper från kanalströmningsläran. Om slamströmmen betraktas som ett newtonmaterial med ett turbulent flöde, föreslår Manning-Strickler följande ekvation för att beräkna medelhastigheten,  $\bar{v}$ , för en slamström (se Rickemann, 1999):

$$\bar{v} = \frac{1}{n} H^{2/3} S^{0,5} \quad [m/s]$$

där  $\bar{v}$  = medelhastigheten [ $m/s$ ]  
 $n$  = Mannings tal [ $s/m^{1/3}$ ]  
 $H$  = maximala flödeshöjden [ $m$ ]  
 $S$  = kanalens bottenlutning [%]

Rickenmann (1999) föreslår ett semiteoretiskt värde på Mannings tal,  $n$ , som funktion av flödet,  $Q$ , enligt:

$$n = 0,077(HQ)^{1/15}$$

Hungr et al. (1984) visade god överensstämmelse mellan beräkning av flödes hastighet och uppmätta hastigheter för några slamströmmar i Kanada och Japan. Beräkningen utfördes med hjälp av en ekvation som antar newtonmaterial med visköst (trögflytande) flöde enligt:

$$\bar{v} = \frac{\gamma \cdot S \cdot H^2}{k\nu} \quad [\text{m/s}]$$

där  $\gamma$  = slamströmmens tunghet [ $\text{kN/m}^3$ ]

$S$  = kanalens bottenlutning

$H$  = maximala flödeshöjden [m]

$k$  = koefficient beroende av kanalens tvärsnittsarea

$\nu$  = slamströmmens dynamiska viskositet [ $\text{kg}/(\text{s}\cdot\text{m})$ ]

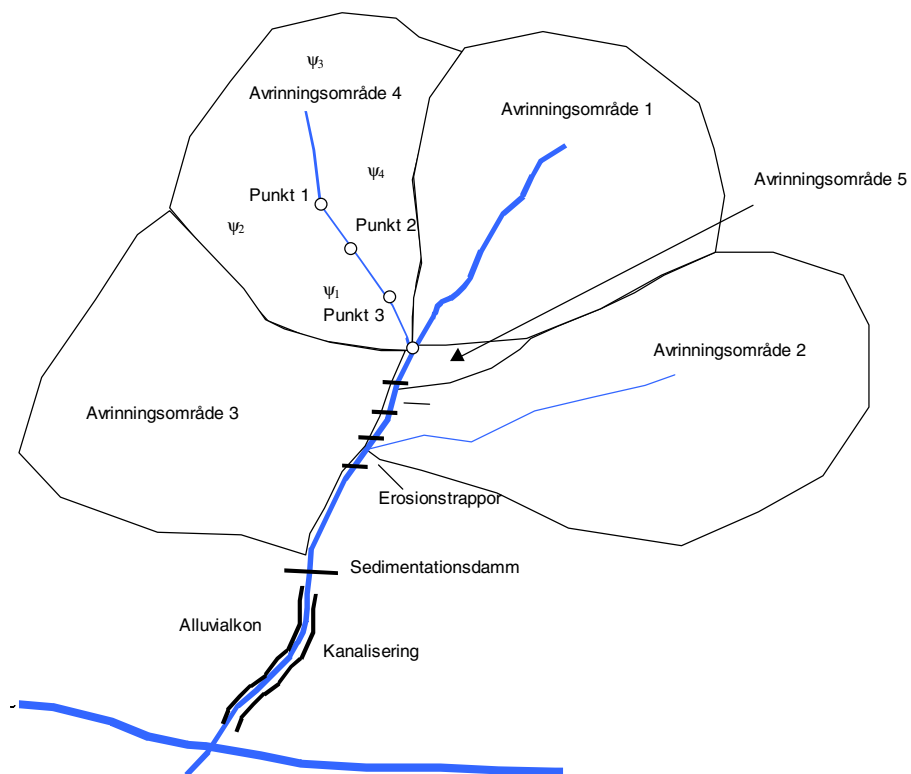
Rickenmann (1999) redovisar uppmätta värden på medelhastigheten för slamströmmar i några olika länder. Värdena varierar mellan 0,12 och 28 m/s.

### 3.8 Tillgängligt material längs slamströmmens väg

Hur mycket material som verkligen följer med en eventuell slamström, avgörs naturligtvis också av hur stor mängd löst material som finns tillgängligt längs ravinen. En inventering av den mängd material som finns tillgänglig för en slamström måste utföras i fält. Härvid inventeras hela avrinningsområdet genom en noggrann fältbesiktning. De uppskattade mängderna i olika delar av avrinningsområdet ritas in på kartor över området. En fältbesiktning utförs oftast var 100:e meter och varje undersökningspunkt numreras.

### 3.9 Arbetsmetodik

Framräkning av mängden tillgängligt jordmaterial och det materialflöde som kan komma ner vid en eventuell slamström, kräver att ravinen delas in i flera olika delar. Man börjar härvid längst upp i avrinningsområdet och beräknar hur stora vattenflöden och jordmängder som kommer ner till nästa punkt. Placering av punkter avgörs bland annat av lutningen på ravinsbotten. Avståndet mellan varje punkt bör inte överstiga 100 m (Sauermoser, 2002). Vid nästa punkt kan det visa sig att slamströmmen inte kan fortsätta att transportera så stora mängder jordmaterial som den tidigare har transporterat, varför en avsättning här kommer att ske. I någon punkt kanske inte jordmaterial finns att tillgå varför heller inget ytterligare material kommer att rivas med. Så fortsätter proceduren hela vägen ner till slutet av avrinningsområdet. Med denna arbetsmetodik fås den mängd jordmaterial och vatten (slamströmmens volym,  $M$ ) som kan transporteras med en slamström till olika punkter längs ravinen. Olika typer av förstärkningsåtgärder lämpliga i olika delar av bäckens hela avrinningsområde kan därvid bestämmas, se *Figur 5*.



Figur 5. Schematisk beskrivning av arbetsmetodiken i en bäcks avrinningsområde. Förslag visas också på olika förstärkningsåtgärder längs bäckravin.

## 4 Allmänt om förstärkningsmetoder

Vid val av lämplig förstärkningsmetod krävs en god kännedom om vilka problem som kan tänkas uppstå i det studerade området. När dessa problem är identifierade måste man bestämma vilka lösningar som är lämpliga. Förstärkningsåtgärder kan delas in i aktiva och passiva metoder.

De *passiva metoderna* innebär att, där man identifierat att risk finns för jordrörelser, införs bland annat restriktioner vad gäller markanvändning och eventuellt förbud mot bebyggelse. Desutom ges information till allmänheten om riskerna. Erfarenheter visar dock att de passiva metoderna kan vara svåra att genomföra. Människor har svårt att förstå och acceptera risker som innebär att de måste flytta. Även om incidenter har inträffat som finns kvar i folks minne finns det en stark tro att detta inte händer igen på samma plats (Davies, 1997).

De *aktiva metoderna* innebär att någon form av ingenjörsmässig lösning utförs vars syfte är att förhindra uppkomst av snabba jordrörelser och/eller minskar konsekvenser av eventuella rörelser.

Ofta utförs flera olika typer av förstärkningsåtgärder i samma område för att de tillsammans skall förhindra uppkomst och minska konsekvenserna av eventuella jordrörelser. Det är mycket viktigt att man alltid betraktar hela problemkedjan så att man inte genom valet av en förstärkningsmetod ökar riskerna i en annan del av området. Vilken metod som slutligen väljs beror naturligtvis på risknivån, kostnaderna samt möjligheterna att utföra den valda metoden. Vid beskrivningen av de olika metoderna görs en indelning i metoder lämpliga i slänter (Kapitel 5.1) respektive raviner (Kapitel 6). I Kapitel 7 beskrivs ingenjörsmässiga biologiska metoder och i Kapitel 8 skogs- och vegetations skötsel.



## 5 Förstärkningsmetoder i slänter

I moränslänter kan två typer av problem uppstå; skred/ras och erosion. Om vattentillgången är stor kan även ett skred eller ras fortplantas nerför slänten i form av en slamström. Skred i moränslänter utlöses vanligen av för höga grundvattentryck i släntens övre jordlager. Ytliga jordrörelser kan uppstå i slänter på grund av erosionskänslig markyta i kombination med kraftig nederbörd. Lämpliga förstärkningsmetoder som syftar till att förhindra uppkomst av dessa problem är olika typer av dräneringssystem och ingenjörsmetoder. För att minska konsekvenserna av dessa problem kan avledande dammar byggas.

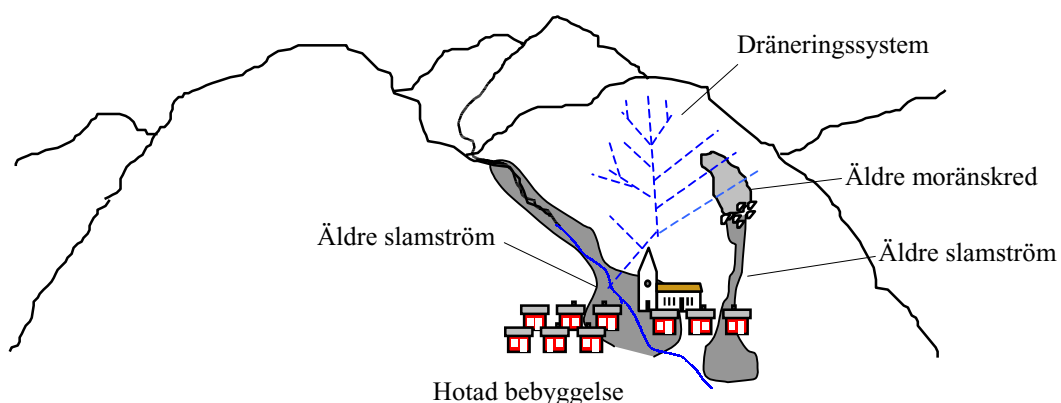
Först erfordras en bestämning av de aktuella problemen och orsaken till dessa, se Kapitel 3.

### 5.1 Dräneringssystem

Skred i morän eller annan grov sedimentjord utlöses vanligen på grund av höga grundvattentryck i jordlagren närmast markytan. En metod att förhindra skred är därför att installera dräneringssystem i slänten som effektivt leder bort grundvatten. Huvudsyftet med ett dräneringssystem är att långsiktigt dränera fuktiga släntavschnitt från det vatten som alstras av snösmältning och långvarig nederbörd så att grundvattenytan sänks och markfuktigheten minskas. Då får marken en ökad förmåga att kunna ta emot kortvarig men intensiv nederbörd från kraftiga regn. Detta medverkar till en lägre risk för att skred och ras skall utlösas.

Snösmältningsperioden samt perioder av regn av lågtryckskaraktär, som är långvariga men har relativt låg intensitet, brukar inte vara den direkta orsaken till skred och ras. Däremot höjs grundvattennivån under dessa perioder, och marken kan bli så vattenmättad att den inte kan ta emot mera nederbörd. Nederbörd som faller på denna vattenmättade jord har ingen möjlighet att infiltreras utan rinner av som ytvatten och kan då orsaka kraftig erosion. Nederbörd av karaktär regn- och åskskurar med mycket intensivt men kortvarigt regn är oftast det som utlöser skred och ras – särskilt om dessa inträffar på redan vattenmättad jord.

För att förhindra skred och ras i slänter med höga grundvattentryck kan dräneringssystemen installeras, se *Figur 6*.



*Figur 6 Sluttningsprocesser i instabila slänter samt princip för dräneringssystem*

När det gäller stabilisering av slanter ner mot ravinbottnar måste man se till hela problemkedjan. En dränering av slänten ökar stabiliteten för denna men om vattnet leds ner till ravinen kan problem uppstå där. Om ravinbotten är känslig för erosion måste det dränerade vattnet från slänten tas om hand på ett sådant sätt att inte erosionsrisken ökar i ravinbotten. Vid planeringen av dräneringssystem är det dessutom viktigt att beakta att vatten ej bör ledas från en bäckravin för att släppas ut i en annan. Varje bäckravin har utvecklats efter de vattenföringssituationer som tidigare har rått - vanligen under århundraden. Sönser & Ploner (2002) angav att om vattenföringen ökas i en bäckravin genom mänskliga åtgärder kan problemen öka markant.

Dräneringssystemen kan byggas antingen med så kallade dräneringsfaskiner, med öppna diken eller med dräneringsledningar av exempelvis korrugerade plastledningar.

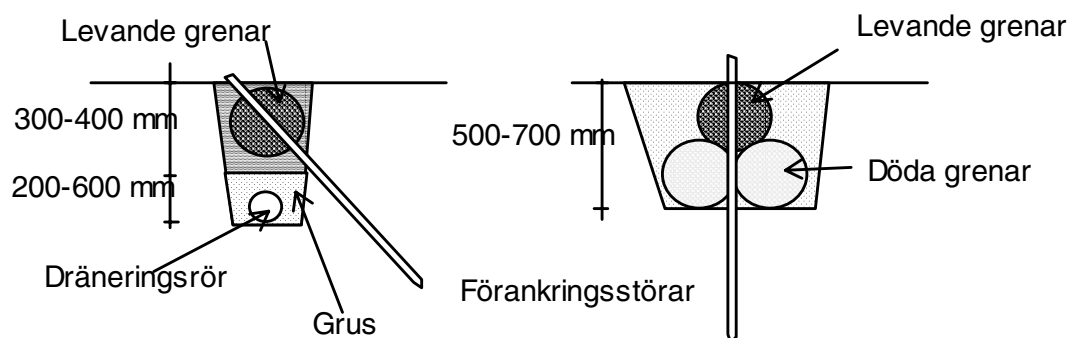
### 5.1.1 Dräneringsfaskiner

Dräneringsfaskiner är en så kallad ingenjörbiologisk metod. Faskiner är levande grenar av så kallade adventivrotbildande (förmåga att bildar rötter från avklippta grenar) arter som binds samman i långa buntar (diameter mellan 0,15 och 0,20 m) och placeras i grunda diken i slänten. Exempel på adventivrotbildande arter är vide, pil jolster och sälg. Faskiner med levande grenar bör inte placeras på större djup än 300-400 mm. Om dränering erfordras till större djup grävs djupare diken som i botten fylls med antingen grus med en dräneringsledning installerad, eller med döda grenar, se *Figur 7*.

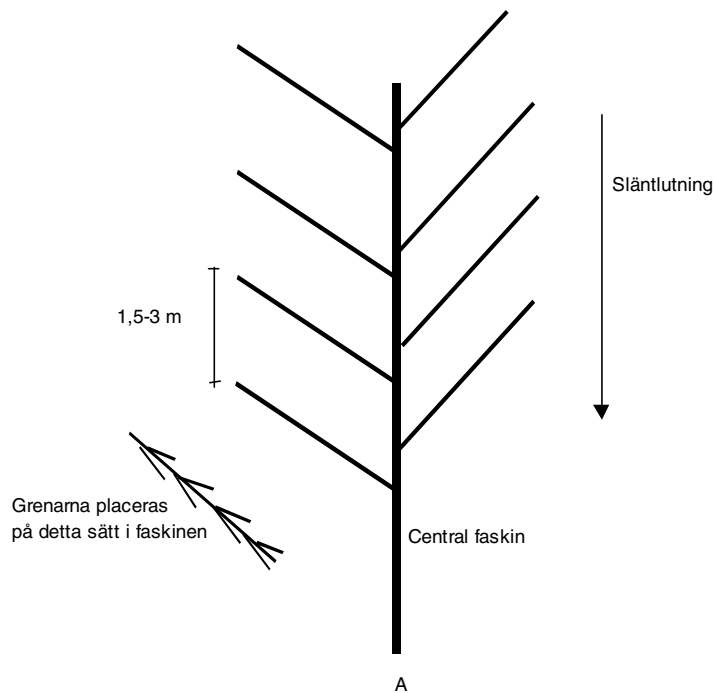
I faskiner skall alla grenars topp vara orienterade i samma riktning och placeras med dess grövre ända uppåt i slänten, se *Figur 8*. Anledningen till detta är att risken på så sätt är mindre för att eventuellt nedspolande jordmaterial skall fastna mellan grenklykorna. Buntarna förankras i slänten med till exempel trästörar slagna genom buntens. Dikena fylls med jord men några få kvistar bör sticka upp ovan markytan. I ett fiskbenmönster grävs flera sluttande diken in mot en större central faskin varifrån vatten avleds till ett lämpligt område, se *Figur 8*.

Schiechtl (1996) anger att avstånden mellan faskindikena bör vara mellan 1,5 och 3 meter.

Problem med dålig funktion hos dräneringsfaskiner efter lång tid har noterats (Heumader, 2002). Problemen, uppstår enligt Heumader, eftersom de i faskinerna använda växtarterna är känsliga för konkurrens och har kort levnadstid. Enligt Florineth (2002) fungerar dock faskiner lika bra som dräneringsledningar av konstgjort material under förutsättning att de utförs korrekt.



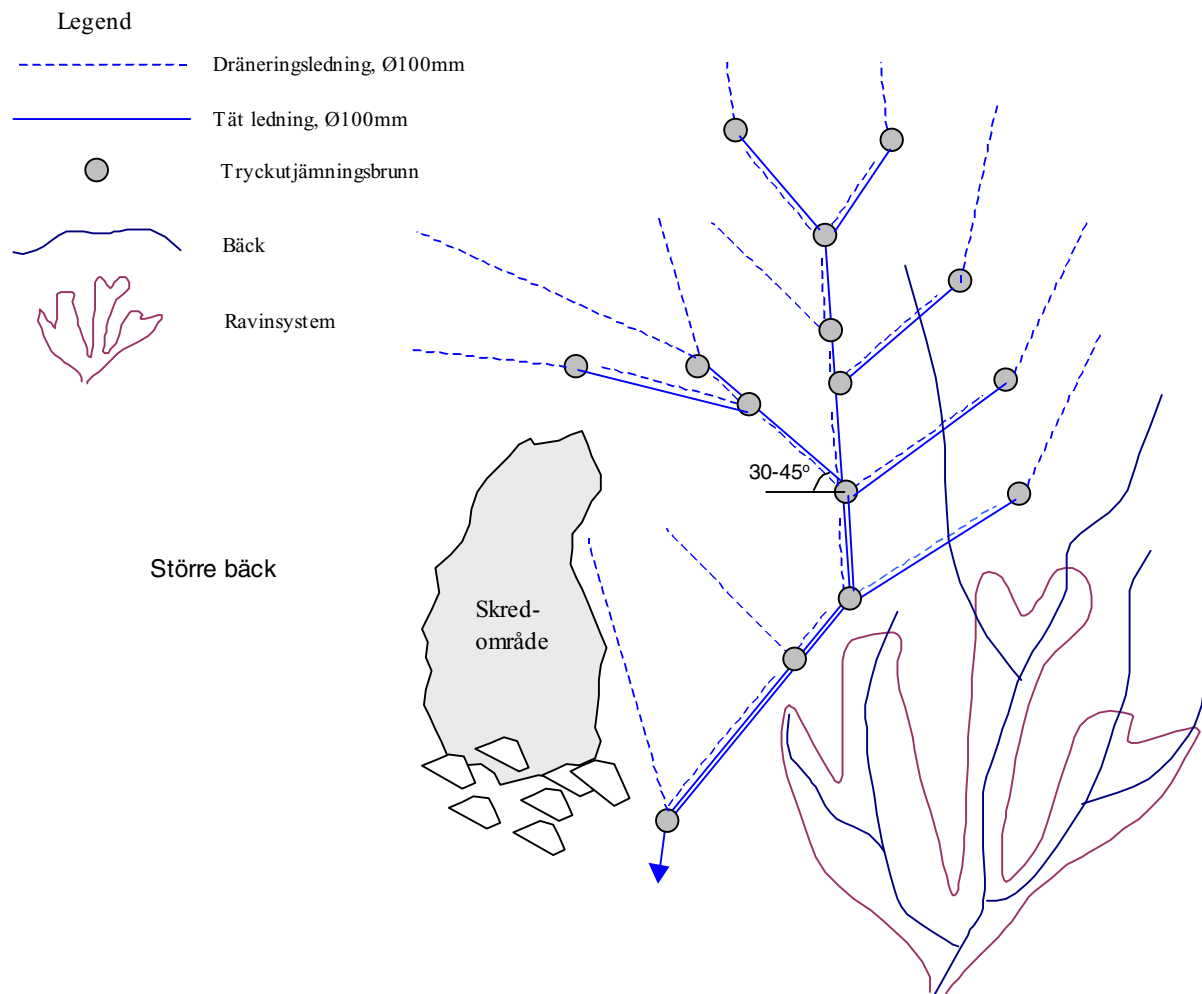
*Figur 7. Exempel på olika typer av dräneringsfaskiner.*



Figur 8. Skiss över dräneringsfaskiner (plan).

### 5.1.2 Dräneringsledningar av konstgjort material

Dräneringsledningar av exempelvis korrugerad och perforerad plast kan användas för att minska grundvattentrycket i slänter. Ledningarna installeras i diken på tjälritt djup i slänten. Flera matarledningar leder till en eller flera centrala ledningar, se *Figur 9*. Anslutningen mellan matarledningen och den centrala ledningen måste göras i en lutning av minst  $30-45^\circ$  för att inte riskera att få bakfall i ledningarna, se *Figur 9*. De centrala ledningarna har till uppgift att vidaretransportera det dränerade vattnet och består därför av täta ledningar. Vid ungefär var femtionde meter i höjddled blir trycket i en dräneringsledning allt för högt, varför tryckutjämningsbrunnar måste utplaceras som utjämnar trycket till atmosfärstrycket, se *Figur 10*. Varje dräneringsledning avslutas också med en tryckutjämningsbrunn.



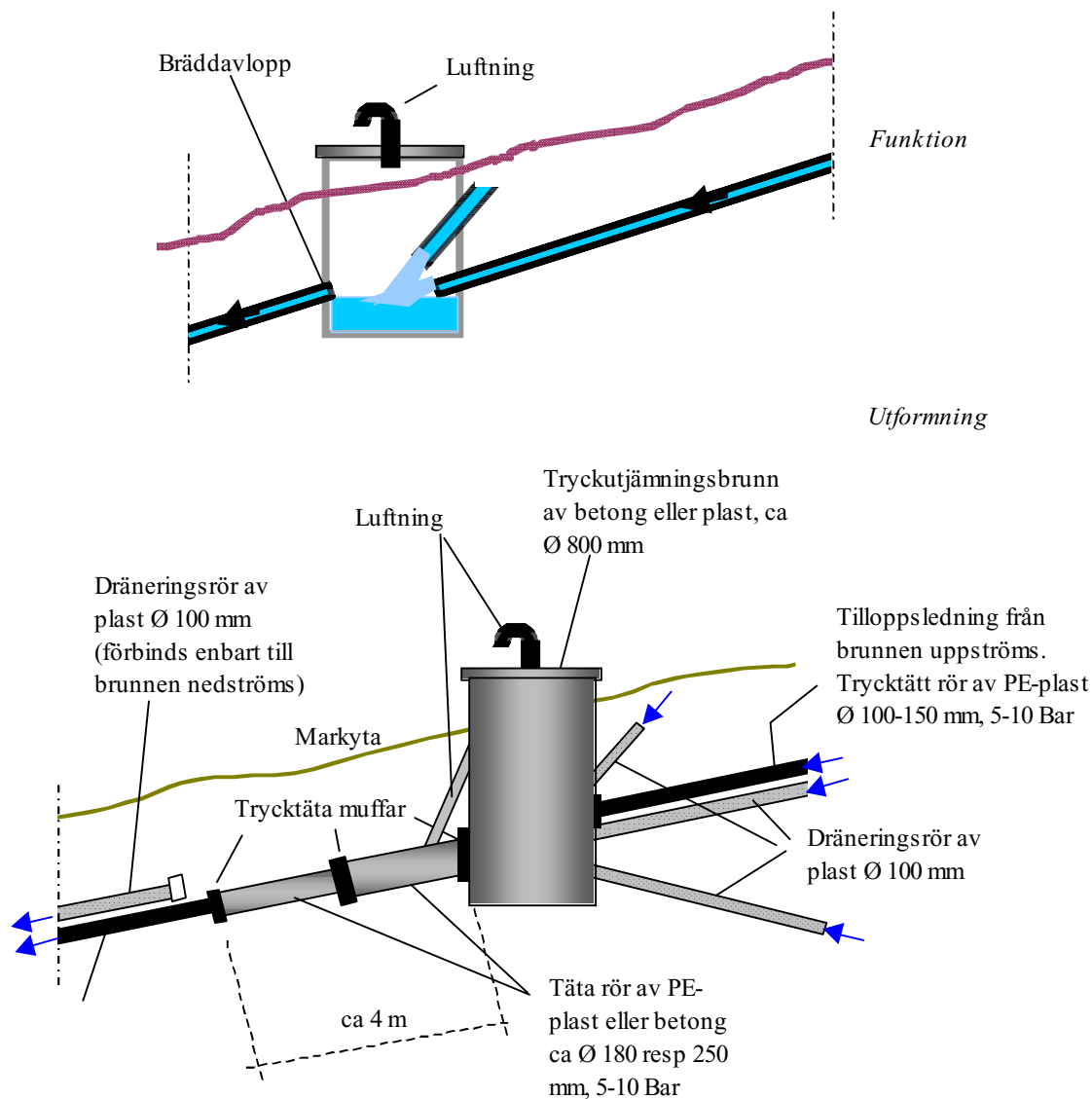
Figur 9. Principskiss visande dräneringssystem för slänter med höga grundvattentryck

För att utflödet ur tryckutjämningsbrunnen skall fungera effektivt, tillverkas utflödesledningen av rör som utformas med successivt minskande diameter längs de första cirka 4 metrarna, se *Figur 10*. Rören skall vara tillverkade av trycktåligt material och skarvas med täta fogar. Utloppsledningen ansluts en bit upp från tryckutjämningsbrunnens botten. Detta för att eventuellt finmaterial som transporteras i diken skall kunna sedimentera under utloppsledningen (och inte in i denna). För att kunna utnyttja de schaktade diken mellan tryckutjämningsbrunnarna även för dränering, läggs eventuellt också en dräneringsledning parallellt med den täta ledningen, se Bilaga 2, Sektion C.

I Österrike används vanligen böjlig PE-slang, Ø 100 mm eller Ø 150 mm, för detta ändamål. Räcker inte denna dimension installeras två parallella ledningar istället för att öka rördimensionen.

För att inte finjord skall tränga in i dräneringsledningen sveps vanligen en geotextil runt dräneringsledningen. För att underlätta infiltration av vatten från markytan ned till dräneringsröret konstrueras ibland en "slits", se Bilaga 2, Sektion C. Slitsen kan utformas av en dräneringsmatta, exempelvis av typ "Enkadrain", varvid mattans båda "geotextilremсор" sveps runt dräneringsledningen.

Dikena bör återfyllas med dränerande ensorterat kross 20-70 mm eller 30-80 mm. Det är emellertid ofta svårt att finna lämpliga återfyllnadsmassor uppe i slänten i närheten av schakten, och det är besvärligt och tidsödande att transportera upp fyllningsmassor från dalen. Man har därför provat att återfylla dikena med ris och grenverk, se Bilaga 2, Sektion A och B. Det har dock visat sig att detta utförande är mindre lämpligt, eftersom riset och grenarna efterhand förmultnar och den dränerande förmågan minskar. En schakt med dräneringsledning återfylld med dräneringsgrus och dragen parallellt med en skogsväg visas i *Figur 12*.



*Figur 10 Tryckutjämningsbrunn.*



*Figur 11 Tryckutjämningsbrunn med tre anslutande dräneringsledningar, Öttdalen, Österrike. Foto: J. Fallsvik, SGI.*



*Figur 12 Schakt med dräneringsledning återfylld med dräneringsgrus. Rettenbach, Schwaz, Österrike, Foto: J.Fallsvik, SGI.*



*Figur 13 Öppet dike med plåträna. Rettenbach, Österrike. Foto: J. Fallsvik, SGI.*

Ibland leder man även ut dräneringsledningarna i ett öppet dike inklätt med en plåträna, se *Figur 13* samt Bilaga 2, Sektion D. På detta sätt har man bättre kontroll över hur systemet fungerar. Nackdelen är den större risken för igensättning och att vattnet kan ta en annan väg än den i rännan. Öppna diken kan även fungera som uppsamlingsdiken för avrinnande ytvatten.

Vid schaktningsarbetena är det viktigt att så liten skada som möjligt åsamkas den befintliga vegetationen och jordtäcket. De avschaktade massorna bör så långt det är möjligt återföras till slänten för att underlätta för ny vegetation att etableras. Upplag av schaktmassor får inte placeras så att släntens totalstabilitet försämras. För att ytterligare minska vatteninnehållet i jorden bör en tät grässvål som förhindrar infiltration eftersträvas i slänten. Ingenjörbiologiska metoder beskrivs i Kapitel 7.

Det är relativt kostsamt att installera dräneringssystem i höga och branta slänter. I Österrike använder man grävmaskiner med klätterben för schaktningsarbetet, se *Figur 14*, och portabla linbanor för att underlätta logistiken under byggskedet. Linbanorna kräver dock ”raka bygglinjer” vilket gör att vissa delar av ledningssystemet kan vara svåra att nå utan att linbanan behöver flyttas.



*Figur 14* Pågående grävning för dränledningar i en slänt i Ötzdalen, Österrike. Foto: J. Fallsvik, SGI.

Erfarenheterna från dräneringssystemen är relativt goda. Effekterna av ett system kan exempelvis ses i mängden vatten som strömmar i ledningarna, minskad markfuktighet mellan dräneringsledningarna och i minskat antal rörelser i form av skred och ras inom det dränerade släntavsnittet.

Exempel på ett dränerat släntavsnitt i Wiesbergmähder, Ötzdalen i Österrike, visas i *Figur 15*. Området, som är cirka 27 ha stort, består av äldre slätterängar med höga grundvattentryck. Tidigare underhölls ängarna genom dikning, gallring och delvis av betande djur. Jorddjupet är mellan 0,5 och 2 meter. Ett skred inträffade i området 1952. Området har förstärkts genom beskogning med bland annat silvergran, al, pinje och lärk och med ett nedgrävt dräneringssystem.



*Figur 15.* Exempel på ett stabiliserat släntavsnitt i Wiesbergmähder, Ötzdalen, Österrike. Foto: J. Fallsvik, SGI.

I Österrike har man inte använt dräneringssystemen för småskalig elenergiproduktion, exempelvis med så kallade mikroturbiner monterade i tryckutjämningsbrunnarna, men däremot har man byggt röranläggningar med liknande dimensioner för enbart elenergiproduktion, det vill säga utan syfte att dränera slänten. Man använder inte heller vattnet från dräneringsanläggningarna för att förse mindre orter med trycksatt hushållsvatten. Anledningen till detta är att nederbörden i Österrike är sur och föroreningar därmed lätt löses ut ur markskiktet.

## **5.2 Avledande dammar**

I vissa slänter finns risk att ett skred eller ras utvecklas till en slamström som i sin tur kan äventyra bebyggelse. Risk föreligger där vegetationstäckningen är liten eller där redan tidigare slamströmmar eller skred har gjort en kanal i slänten. För att säkerställa de hotade objekten kan en så kallad avledande damm byggas. Syftet med en sådan är att styra den nedströmmande slamströmmen till ett område där ingen bebyggelse eller annat kan komma till skada samt att hindra den att ta en ny icke önskvärd riktning. Metoden beskrivs i Kapitel 6.5.

## **5.3 Ingenjörsbologi**

Vegetationen spelar en betydande roll då det gäller att förhindra erosion och ytliga skred i slänter. Att etablera rätt vegetation och sköta denna på rätt sätt är viktigt. En tät och ung vegetation är att föredra. Ingenjörsbologiska metoder beskrivs i Kapitel 7.



## 6 Förstärkningsmetoder för raviner

I detta kapitel beskrivs metoder för att förhindra och minska konsekvenserna av slamströmmar längs bäckbotten i raviner. I raviner finns även problem med skred och ras i sidoslänterna. Förstärkningsmetoder för dessa beskrivs i Kapitel 5.

De metoder som används syftar till att förhindra ytterligare erosion längs ravinens botten, stoppa grovt material från vidare transport nedströms, uppsamla slamströmmar i dammar, avleda slamströmmar från hotade områden och att minska slamströmmens energimängd. Genom att förhindra ytterligare erosion längs ravinens botten minskar även risken för släntskred.

I raviner kan problem med dämning vara stora. Jordmassor, träd, grenar och stenar från släntskred och avlagrade äldre slamströmmar kan förorsaka dämning längs ravinbotten. Vid ett häftigt regn och en kraftig slamström kan dessa åter sättas i rörelse och orsaka stor skada nedströms. I vissa raviner är just risken för dämning det stora problemet och inte risken för direkta slamströmmar. Det är därför viktigt att säkerställa sidoslänterna och att med jämna mellanrum rensa undan sådant material i bäckbotten som kan orsaka dämning.

### 6.1 Erosionstrappor

#### 6.1.1 Funktion

Erosionstrappors primära funktion är att förhindra erosion som kan orsakas av eventuella slamströmmar längs bäckravinerna och av det vatten som normalt rinner i bäcken. Detta uppnås genom att vattnets eller slamströmmens energi reduceras varje gång det faller över en trappa. Genom att erosionen längs bäckbotten minskar, minskas även risken för släntskred.

Längs bäckavsnitt där bäckens botten består av jord kan en eventuell slamström orsaka mycket intensiv erosion. Om den jordtäckta bäckbotten eroderas djupt, rasar dessutom även ravin-sidorna på grund av minskat mothåll. Den intensiva erosionen gör att successivt mer och mer material lossnar och adderas till slamströmmen, så att denna får allt större volym. Detta förlopp fortsätter nedströms utmed bäckravinerna tills avsnitt med fast bergrund eller mycket fast storblockig jord nås eller där bäckravinens längslutning avtar avsevärt.

En slamström kan inte erodera djupare i en bäcks bottenbädd än nivån för den nedströms liggande så kallade erosionsbasen. En erosionsbas är den lägsta nivå till vilken erosionen kan fortgå. Genom att bygga en serie av trappor i bäckbotten skapar man hinder för erosionen att fortsätta djupare. Trapporna fungerar därigenom som erosionsbas för bäckavsnittet uppströms. Dessa trappor kallas för erosionstrappor (*engelska*: check dams). Ett exempel på erosionstrappor i ett bäckavsnitt i Axamer och i Zillerdalen, Österrike, visas i *Figur 16* och *Figur 17*.

#### 6.1.2 Utformning

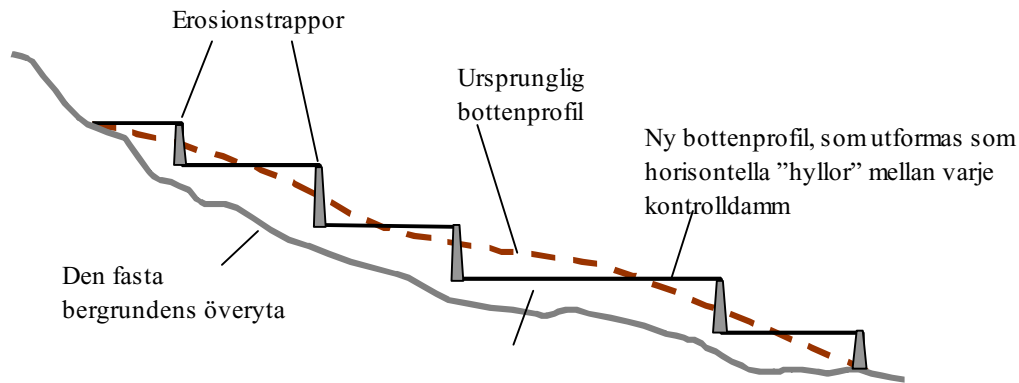
För att erosionstrapporna skall fungera som erosionsbas är det viktigt att bottenprofilen mellan erosionstrapporna utformas som en hylla med horisontell överyta enligt *Figur 18*, det vill säga ovanförliggande erosionstrappas bas skall ha samma nivå som nedanförliggande erosionstrappas topp.



*Figur 16 Erosionstrappor i Axamerbach, Österrike. Foto: J. Fallsvik, SGI.*

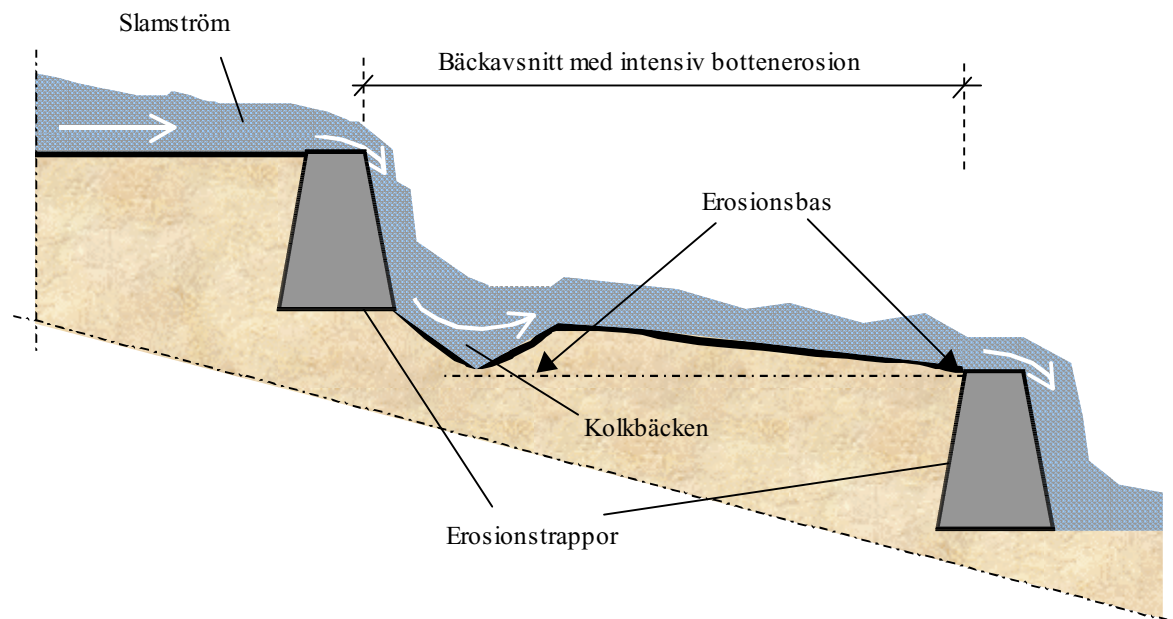


*Figur 17 Erosionstrappor i Zillertal, Österrike. Foto S. Sauermoser, WLV, Schwaz.*



Figur 18. Bäckavsnitt med erosionstrappor. Det är viktigt att den nya bottenprofilen mellan erosionstrapporna utformas som horisontella "hyllor".

Om bottenprofilen däremot skulle utformas med en lutning nedströms mellan erosionstrapporna, skulle inte den nedre erosionstrappan kunna fungera som erosionsbas, och erosion skulle uppstå längs den jordtäckta botten utmed detta bäckavsnitt. Särskilt stark erosion skulle uppstå direkt nedanför den övre erosionstrappan, där ett så kallad kolkbäcken (en grop) kan bildas, se Figur 19. I vissa raviner med mycket brant bottenlutning kan det vara svårt att uppfylla kravet på horisontella hyllor mellan trapporna. En lösning är då att skydda jorden mellan trapporna med exempelvis stenar.

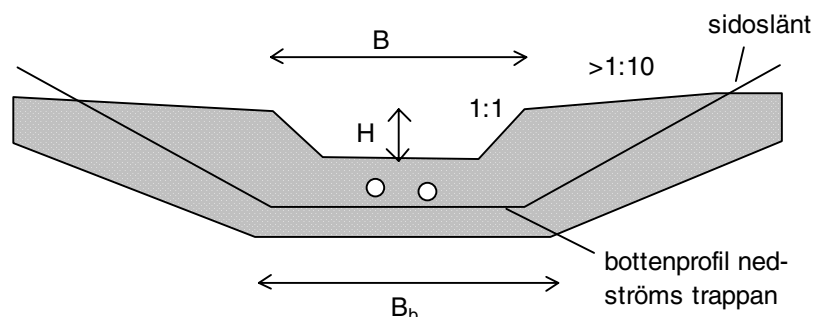


Figur 19. Bildning av kolkbäcken på grund av erosion direkt nedanför en erosionstrappa där krönet för nästa nedströms liggande erosionstrappa ligger på för låg nivå.

Bottenerosionen orsakas såväl av slamströmmar som av den erosion som alstras av det vatten som normalt strömmar i bäcken. Bottenerosionen kan i sin tur leda till att erosionstrappan kollapsar och/eller att bäckravinens sidoslänter rasar ut på grund av minskat mothåll, särskilt om dessa redan innan har dålig stabilitet, vilket ofta är fallet.

Trapporna utformas med en central öppning och sluttande sidostycken enligt Figur 20. Höjden,  $H$ , och bredden,  $B$ , på den centrala öppning styrs av det dimensionerande flödet. Trap-

ponna bör grundläggas minst 1,5 m under markytan. De bör förses med genomgående hål där vatten kan passera vilket minskar vattentrycket bakom trappan. Bredden på trappans botten,  $B_b$ , skall vara större än överfallets bredd,  $B$ , se *Figur 20*.



*Figur 20. Principiellt utformning av erosionstrappa (sektion sedd framifrån)*

Utplaceringen av erosionstrapporna styrs av jordförekomsten längs bäckravinen, längslutningen samt kravet enligt ovan att horisontella ”hyllor” skall utformas mellan erosionstrapporna. Massabalans eftersträvas på korta avstånd längs bäckravinen, vilket slutligen bestämmer de enskilda erosionstrappornas läge och nivå. Erosionstrappor kan även byggas som en enskild trappa och då i syfte att stabilisera en slänt (Sauermoser, 2002).

Erosionstrapporna kan inte avslutas där ravinbotten fortsätter att luta. Om lutningen nedströms erosionstrapporna är betydligt mindre kan så kallade syllar, blocktrappor, kanalisering eller stensättning skydda botten från erosion, se Kapitel 6.3, 6.4 och 6.6

Längre tillbaka tillverkades huvuddelen av erosionstrapporna i Österrike som stenkistor av trä, men under 60- till 80-talen övergick man till att tillverka dem av betong. På senare tid har dock träkonstruktionerna i viss mån fått en renässans särskilt för mindre bäckraviner. En anledning till detta är att träkonstruktionerna, jämfört med betongkonstruktionerna, i högre grad tål markrörelser innan de brister.

I området mellan trapporna förstärks ofta ravinens sidoslänter med ingenjörbiologiska metoder, se Kapitel 5.3. Om sidoslänterna är brantare än 1:1,5 utförs en skoning av stenblock. Vegetation etableras ofta mellan stenblocken med den så kallade sticklingmetoden.

Erosionstrappor finns byggda i Åredalen och i Sysseleback.

### ***Erosionstrappa av trä***

Erosionstrappor av trä konstrueras som stenkistor av trästockar. I Österrike används ofta stockar av träslaget Robinia (*Robinie Psebdokacia*), som förmultnar väldigt långsamt. Man kan även använda tryckimpregnerat virke.

Stenkistan byggs upp av trästockar, koniska stenar och samkross. Två stockar placeras först tvärs ravinens längdled. Ovan dessa placeras ett lager med tätt liggande, kluvna stockar vars syfte är att förhindra att fyllnadsmaterialet (samkross) spolats ut. Därefter placeras ytterligare två stockar tvärs ravinens längdled. Koniska stenar inkilas mellan stockarna i fronten. De sätts på plats inifrån kistan (uppströmssidan). Dessa stenar förhindrar att fyllningen spolats ut ur

konstruktionen. För att stabilisera sidoslänterna och för att styra vatten och slamströmmar rätt utformas trappans övre del med sidovingar. Bredden och höjden på öppningen mellan vingarna styrs av det dimensionerande flödet. I *Figur 21* och *Figur 22* visas exempel på erosionstrappor i trä utförda i Österrike.

För mindre erosionstrappor, med höjden mindre än 5 m, används i Österrike typritningar exempelvis enligt Bilaga 3. Denna typritning kan användas även för svenska förhållanden.



*Figur 21. Nybyggda erosionstrappor i trä. Zillerdalen, Österrike. Foto S. Sauermoser, WLV, Schwaz.*

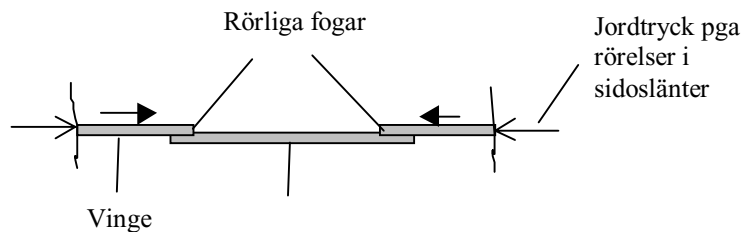


*Figur 22 Exempel på erosionstrappa konstruerad som en stenkista. Rettenbach, Schwaz, Österrike. Foto: K. Rankka, SGI*

### **os o st appa beto g**

Erosionstrappor i armerad betong är mycket vanliga i Österrike. Vid stora höjder på trapporna används enbart betongkonstruktioner.

Erosionstrappan utförs i armerad betong med ”vingar”. Vingarna kan utformas så att de kan röra sig horisontellt i förhållande till erosionstrappans mittdel, se *Figur 23*. Denna konstruktion används vid branta ravinslänter där stora kryprörelser bedöms kunna uppstå i släntens jordlager i riktning ned mot ravinsbotten. Utförande möjliggör att vingarna kan följa med i kryprörelsen utan att dammen skadas.



Figur 23 Erosionstrappa av betong där "vingarna" kan röra sig i förhållande till mittdelen, plan.

För mindre erosionsdammar, med höjden mindre än 5 m, används i Österrike typritningar enligt Bilaga 4. Typritningen kan användas även för svenska förhållanden.

### 6.1.3 Dimensionering

Erosionstrappor måste dimensioneras med hänsyn till jordtryck, vattentryck bakom trappan, glidning, totalstabilitet, hydraulisk bottenuppträckning, tippning, punktlaster från blocknedfall, grundläggning samt eventuella sidokrafter från slänterna vid sidan om konstruktionen. Erosionstrappans centrala öppning måste dimensioneras för bäckens högsta vattenflödet.

Oftast erhålls inga problem med hydraulisk bottenuppluckring vid mindre trappor (Sauermoser, 2002). Detta troligtvis på grund av den långa flödesvägen genom marken under trappans grundläggningsnivå.

Området just nedströms en erosionstrappa är speciellt känsligt för erosion på grund av krafterna från det överfallande vattnet/slamströmmen. Detta område måste skyddas mot erosion och det görs vanligtvis med steninklädning. Hur stor del av bäckfåran nedströms erosionstrappan längs vilken steninklädning erfordras kan beräknas med hjälp av ekvationer för ytutskov inom hydrauliken.

### 6.1.4 Skötsel

Vid en slamström kommer eventuellt en viss sedimentering att äga rum längs ravinavsnittet mellan erosionstrapporna. Detta material tas vanligtvis ej bort utan det förs så småningom bort av vattenflödet eller av en slamström. Erosionstrapporna bör inspekteras varje år.

Vegetation som etablerats i sidoslänterna i anslutning till erosionstrapporna bör skäras ned med jämna mellanrum (7-10 år) för att en ung och böjlig vegetation skall upprätthållas.

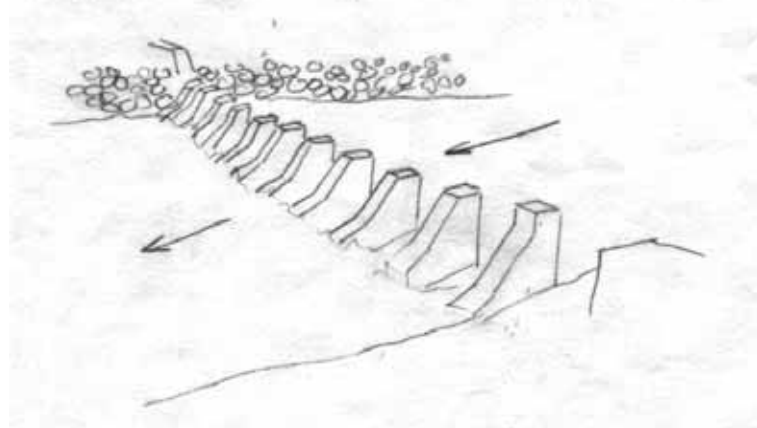
## 6.2 Sorteringsfällor

Det finns en mängd olika typer av sorteringsfällor (*engelska*: debris fences, debris racks, slit dams) som alla syftar till att stoppa stora jordpartiklar och träd från vidare transport nedströms. Sorteringsfällor avsedda för stockar brukar, på engelska, benämnas "woody debris traps". Fällorna är användbara där blockförekomsten är hög och där risken för att träd skall följa med en slamström är stor. Fällorna används exempelvis för att skydda broar och andra anläggningar samt för att förhindra att material täpper igen kulvertar.

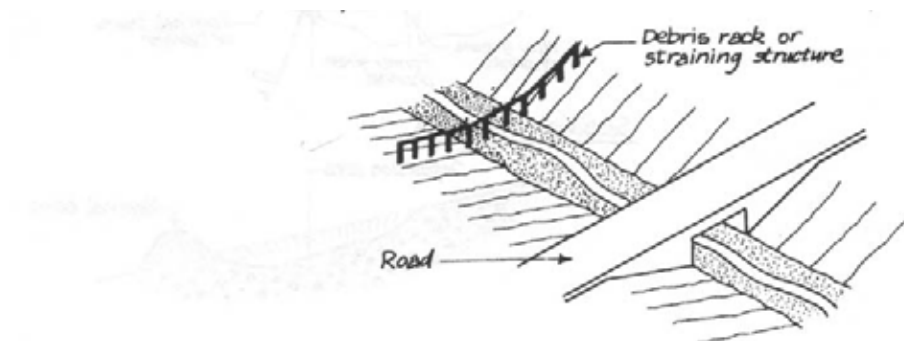
Fällorna kan konstrueras av en mängd olika typer av material, exempelvis (från VanDine, 1996):

- Järnvägsräls
- Stålbalkar, oftast I- eller lådbalkar
- Stockar
- Förtillverkade betongbalkar
- Stålnät

Två typer av fällor visas i *Figur 24* och *Figur 25*.



*Figur 24. Sorteringsfällor av betong. Dessa syftar främst till att fånga upp träd som följer med vatten och slamströmmar (efter Fiebiger, 1997).*



*Figur 25. Sorteringsfällor av järnvägsspår. Dessa syftar främst till att fånga upp träd som kommer med vatten och slamströmmar. (efter VanDine, 1996).*

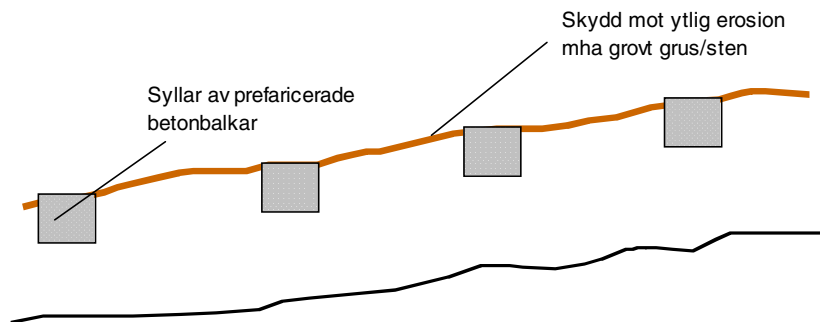
Ikeya (1989) anger att utrymmet mellan varje slits i en fälla, bör uppgå till 1,5 å 2 gånger diameter för det beräknade maximala blocket som kan komma med en slamström. Fällorna konstrueras för punktlaster från block. De konstrueras också så att den normala vattenföringen i bäcken och transporten av fint material kan passera.

Fällorna måste rensas med jämna mellanrum. Tillfartsvägar skall därför finnas i anslutning till fällorna.

### 6.3 Syllar

Syllar är små erosionstrappor utan fallhöjd, se *Figur 26*. Dessa är användbara endast där bäckbottens lutning är ringa. Bäckfårans botten erosionskyddas med prefabricerade betongbalkar eller trästockar som grävs ner i den befintliga bäckbotten och emellan dessa läggs ett lager med naturligt grovt material ut. Ravinens sidoslänter stabiliseras med stensättning.

Metoden med syllar är en relativt ny metod i Österrike men den förordas ofta numera ur miljösynpunkt eftersom den lämnar ytvattenströmmen intakt.



Figur 26. Små erosionstrappor, så kallade syllar.

#### 6.4 Blocktrappor

Om bäckbottens lutning är låg men erosionsrisken ändå bedöms som stor kan strömfåran skyddas med hjälp av små erosionstrappor av block, se *Figur 27*. Energiförlusten i varje blocktrappa reducerar vattnets eroderande förmåga. Blocken placeras i bäckbotten och hålls på plats med hjälp av stockar, se *Figur 28*. Metoden används även vid anläggning av nya bäckfåror. Fårornas sidoslänter stabiliseras då också med sten och eventuellt en geotextilduk, se *Figur 29*. Ingenjörsmatematiska metoder används också för sidoslänterna.



Figur 27. Enkel blocktrappa i Höglekardalen, Jämtland. Foto: K. Rankka, SGI



Figur 28. Blocktrappa under konstruktion. Muhlbach, Ötzdalen, Österrike. Foto: K. Rankka, SGI.





Figur 29. Stabilisering av en ny bäckfåras sidoslänter och botten. Under konstruktion (vänster) och efter färdigställande (höger). Muhlbach, Öttdalen, Österrike. Foto: K. Rankka, SGI.

## 6.5 Avledande dammar

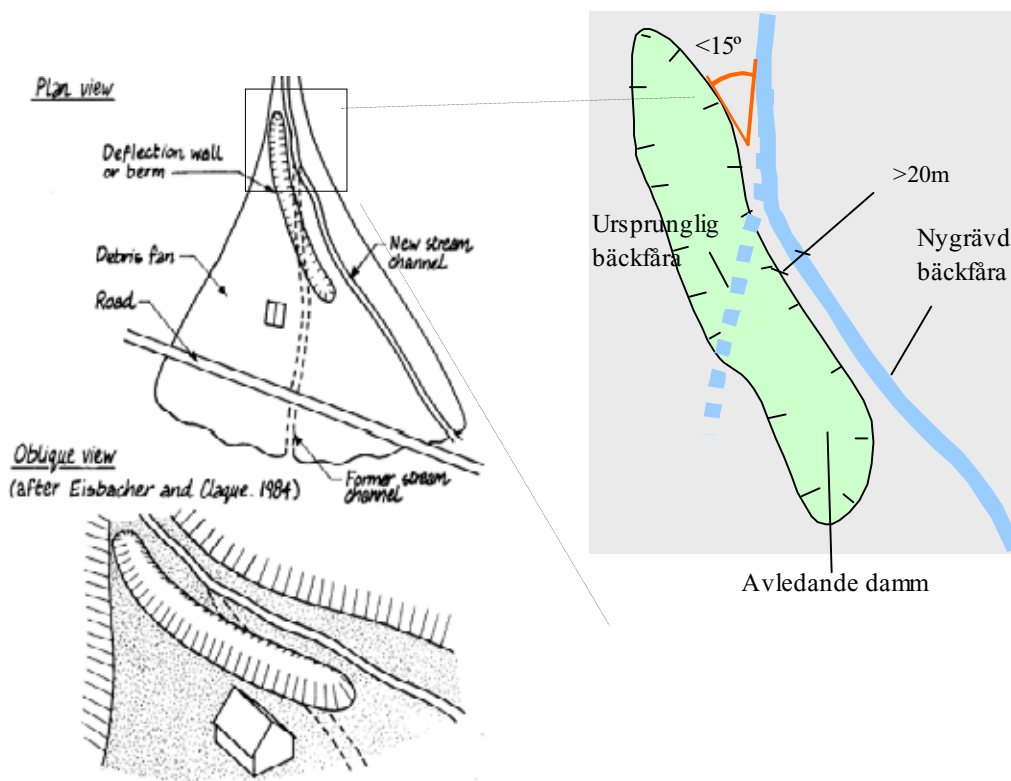
### 6.5.1 Funktion

Avledande dammar (*engelska*: deflection/diverting dam eller berm) används för att styra den nedströmmande slamströmmen till ett område där ingen bebyggelse eller annat kan komma till skada samt att hindra den från att ta en ny icke önskvärd riktning. För att kunna skydda bebyggelse kan ibland en ny strömfåra anläggas och en avledande damm byggs för att styra slamströmmar och vattenflödet till den nya fåran, se *Figur 30*. Avledande dammar byggs på den övre delen av alluvialkonen.

### 6.5.2 Utformning

Den avledande dammen bör byggas på betryggande avstånd från strömfåran så att tillräckligt utrymme finns för den dimensionerande slamströmmen. Ett minsta avstånd på 20 m används i Österrike. Den anslutande vinkeln mellan strömfåran och den avledande dammen bör inte överstiga 15°, se *Figur 30*. Avledande dammar kan byggas av betong men vanligast är jorddammar.

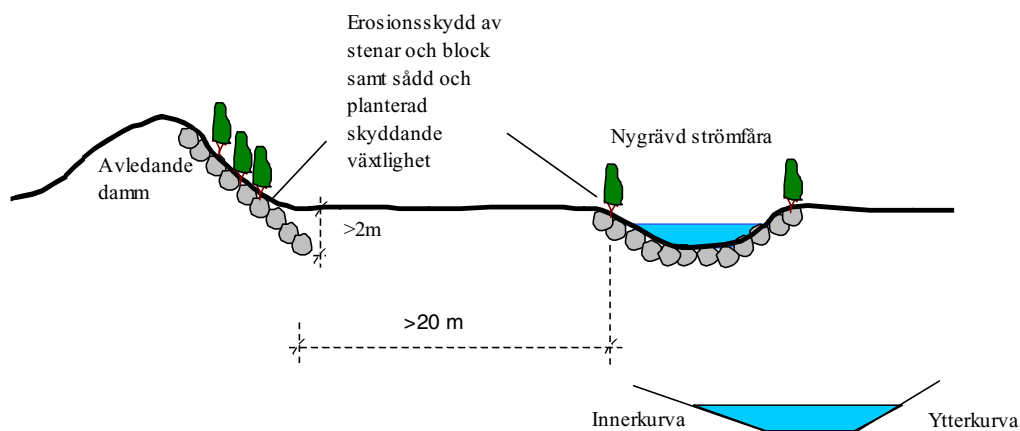
Dammens slänt i riktning mot strömfåran bör förses med erosionsskydd av ”kallmurade” stenar eller block samt med skyddande växtlighet. För att dessutom skydda dammen mot djuperosion bör denna ”kallmur” förlängas till ca 2 m djup ned i jorden enligt *Figur 31*.



Figur 30. Princip för en avledande damm, modifierat efter VanDine (1996).

Om en nya strömfåra har anlagts skall även denna kläs in med erosionskydd av stenar och block samt förses med skyddande växtlighet. För att få ett så naturligt utseende som möjligt på den nya bäckfåran görs lutningen på ytterkurvor brantare än innerkurvor, se Figur 31.

I Figur 32 och i Figur 33 visas ett exempel på en avledande damm och en ny strömfåra i Muhlbach i Neudorf, Ötztalen i Österrike. Den avledande dammen skall styra vattenflödet från den äldre strömfåran i alluvialkonens södra del till en nyanlagd fåra i alluvialkonens norra ände.



Figur 31 Placering och utformning av avledande damm samt kanal för ny strömfåra, principsektion



Figur 32 Avledande damm, Neudorf, Ötz, Österrike. Foto J. Fallsvik, SGI.



Figur 33 Aluvialkon samt anlagd ny strömfåra med skyddande stensättning, Neudorf, Ötz, Österrike. Foto J. Fallsvik, SGI.

Om en eventuell sedimentation av jordmassor sker mellan strömfåran och den avledande dammen bör dessa avlägsnas. Tillfartsvägar skall därför finnas i anslutning till dammen.

### 6.5.3 Dimensionering

Avledande dammar måste dimensioneras för den maximala avbördningen och flödeshöjden, punktlaster, dynamiska laster, risken att slamströmmen skall strömma över dammen, totalstabilitet och erosionsproblem. Höjden på dammen dimensioneras för slamströmmens största flödesdjup plus en frihöjd på 0,6 m för avbördningar mindre än  $200\text{m}^3/\text{s}$  och 0,8 m frihöjd för avbördningar mellan 200 och  $500\text{m}^3/\text{s}$  (VanDine, 1996). Dessutom måste risken för sättningar och bärighetsbrott under dammen beaktas.

## 6.6 Kanalisering

Kanalisering av en strömfåra utförs i syfte att förhindra erosion, att styra strömfåran i en ny riktning och förhindra utflöde av vatten och jordmassor utanför den ordinarie strömfåran. Det är vanligt att kanalisering utförs nedströms sedimentationsdammar och genom alluvialkoner. Då det grövre materialet i en slamström har avsatts i en sedimentationsdamm fortsätter vattnet och det finare materialet genom dammen. Eftersom innehållet av jordmaterial i vattnet är mindre nedströms sedimentationsdammen jämfört med uppströms dammen, är den eroderande förmågan nu större. Därför är det viktigt att skydda strömfåran nedströms dammen. Alluvialkoner är känsliga för erosion och innehåller stora mängder finmaterial varför de är viktiga att skydda.

Störst effekt ger kanaliseringen i den övre, brantaste delen av alluvialkonen. Kanaliseringen kan utföras med stensättning, prefabricerade betongelement eller jordvallar. Såväl kanalens botten som sidoslänter skyddas mot erosion. Vid konstrueringen eftersträvas nuförtiden i Österrike ett så naturligt utseende som möjligt av kanalen. Om tillräckligt utrymme finns vid sidan om strömfåran utförs därför kanalisering oftast med stensatta sidoslänter och bottenprofil, se *Figur 34*.



*Figur 34. Kanalisering av Kaltenbach, Österrike. Foto: S. Sauermoser, WLW, Schwaz.*

Kanalens sidoslänter dimensioneras för slamströmmens största flödesdjup plus en frihöjd på 0,6 m för avbördningar mindre än  $200\text{m}^3/\text{s}$  och 0,8 m frihöjd för avbördningar mellan 200 och  $500\text{m}^3/\text{s}$  (VanDine, 1996). Dessutom måste sidoslänterna dimensioneras för jordtryck, totalstabilitet och erosionrisk.

Om sedimentering av grovt material, stockar eller annat sker i kanalen måste detta kunna avlägsnas. Tillfartsvägar till kanalen bör därför finnas.

Kanalisering av bäckfåror genom alluvialkoner har utförts längs Mörviksån i Åre samt längs Kvarnbäcken söder om Syslebäck (se *Figur 35*).



*Figur 35. Kanalisering av Kvarnbäcken, Syslebäck. Foto: J. Fallsvik, SGI.*

## 6.7 Sedimentationsdamm

### 6.7.1 Funktion

Sedimentationsdammar (*engelska*: retention dam) byggs i syfte att fånga upp slamströmmen och på så sätt hindra den från att nå bebyggelse och andra värden nedströms bäckravinen och i nedanförliggande dalgångar. Dammarna anläggs i den övre delen av alluvialkonen, nedanför bäckravinen. De flesta dammar byggs i dag med en gallerförsedd öppning, se *Figur 36*. Gallret fångar upp det grövre materialet (stockar, grus, sten och block) medan det finare materialet och vattnet kan passera. Sedimentationsdammen är således inte konstruerad för att kunna lagra hela den beräknade slamströmsvolymen.

### 6.7.2 Utformning

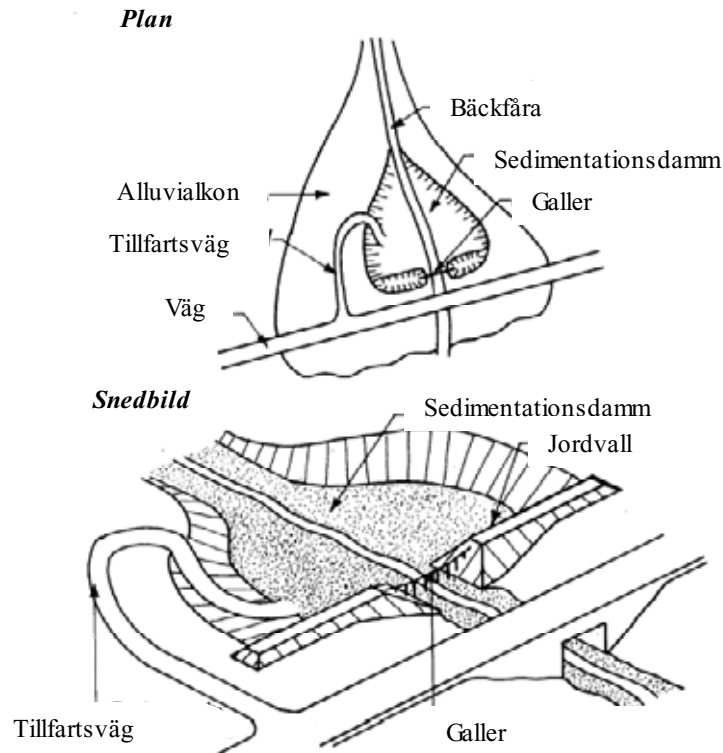
En sedimentationsdamm brukar utformas som en ”droppformad” jorddamm enligt *Figur 37* och *Figur 38*. Den måste byggas tillräckligt stor för att kunna hysa volymen av den del av den dimensionerande slamströmmen som ej kommer att passera dammen. Jorddammens insida förses med erosionsskydd i form av en stensättning och mellan stenarna etableras vegetation, se *Figur 39* och *Figur 40*. Jordvallen nedströms i dammen utformas med en stenfyllt kärna täckt med jord som erosionsskyddas med stensättning. Vallens mittdel utförs oftast som en betongkonstruktion.



*Figur 36. Sedimentationsdamm med gallerförsedd öppning. Rettenbach, Schwaz, Österrike. Foto. K. Rankka, SGI*



*Figur 37 Sedimentationsdamm i Ahrnbach, Österrike. Foto: S. Sauermoser, WLV, Schwaz.*



Figur 38. Princip för sedimentationsdamm med galler, modifierad efter VanDine, (1996)



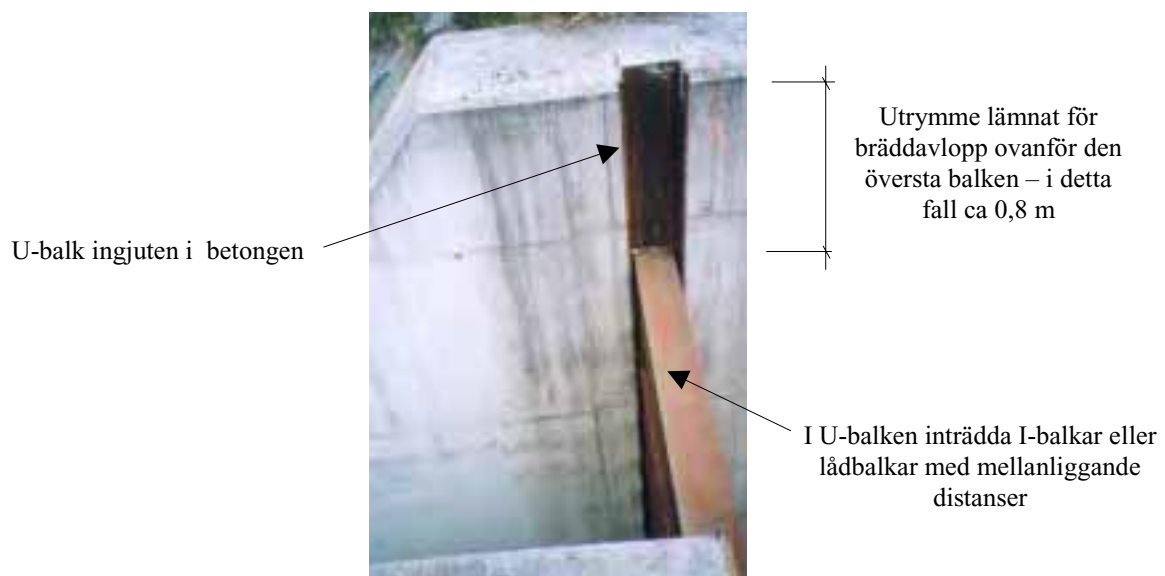
Figur 39 Tillflödet till en sedimentationsdamm med stensatta jordvallar, Rettenbach, Schwaz. Foto: J. Fallsvik, SGI.



Figur 40 Sedimentationsdamm med stensatta jordvallar. Utflödet med galler av vertikal typ. Rettenbach, Schwaz.. Foto: J. Fallsvik, SGI.

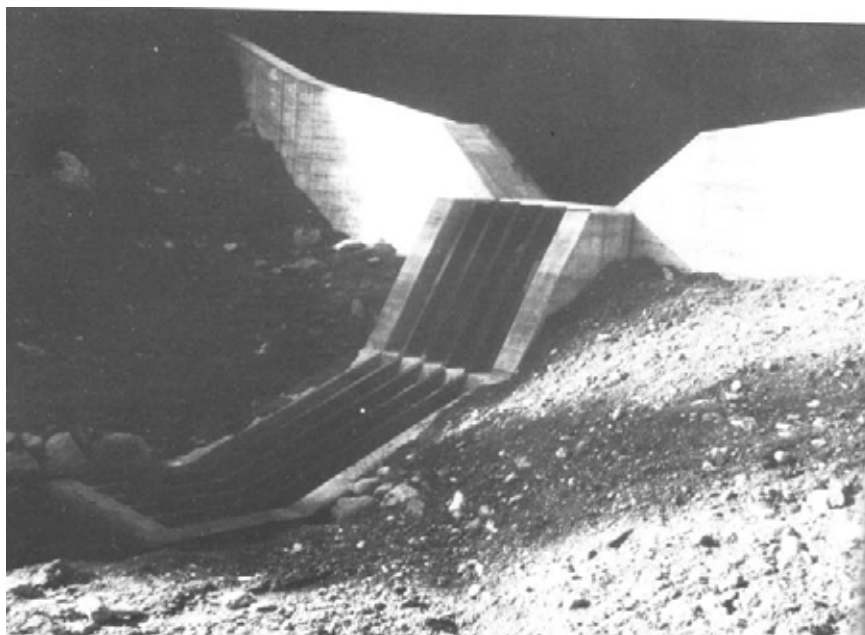
Sedimentationsdammens utlopp förses med ett galler. Gallret byggs oftast av stålblockar. Det är viktigt att den översta gallret placeras på en nivå motsvarande ca 0,5-1 m under nivån för jorddammens överyta, se *Figur 41*. Syftet med detta är att dammkrönet inte skall överspolas vid högvattenflödet vilket kan ge risk för erosionsskador. Nivån bestäms av det dimensionerande högvattenflödet, se sidan 47. Erfarenhetsmässigt fungerar en galler bäst om avståndet mellan balkarna är ca tre gånger större än diametern på de största stenarna eller blocken i slamströmmen. Sedimentationsdammar utförs med lutande överyta från den gallerförsedda mittdelen och ut mot sidorna, se *Figur 43*. Detta för att vatten och jordmaterial som spolas

över dammen skall styras in mot mitten av bäckfåran. Lutningen på dammens överyta bör överstiga 1:10. Dammens krön skyddas mot vattnets eroderande förmåga med en stenskoning.

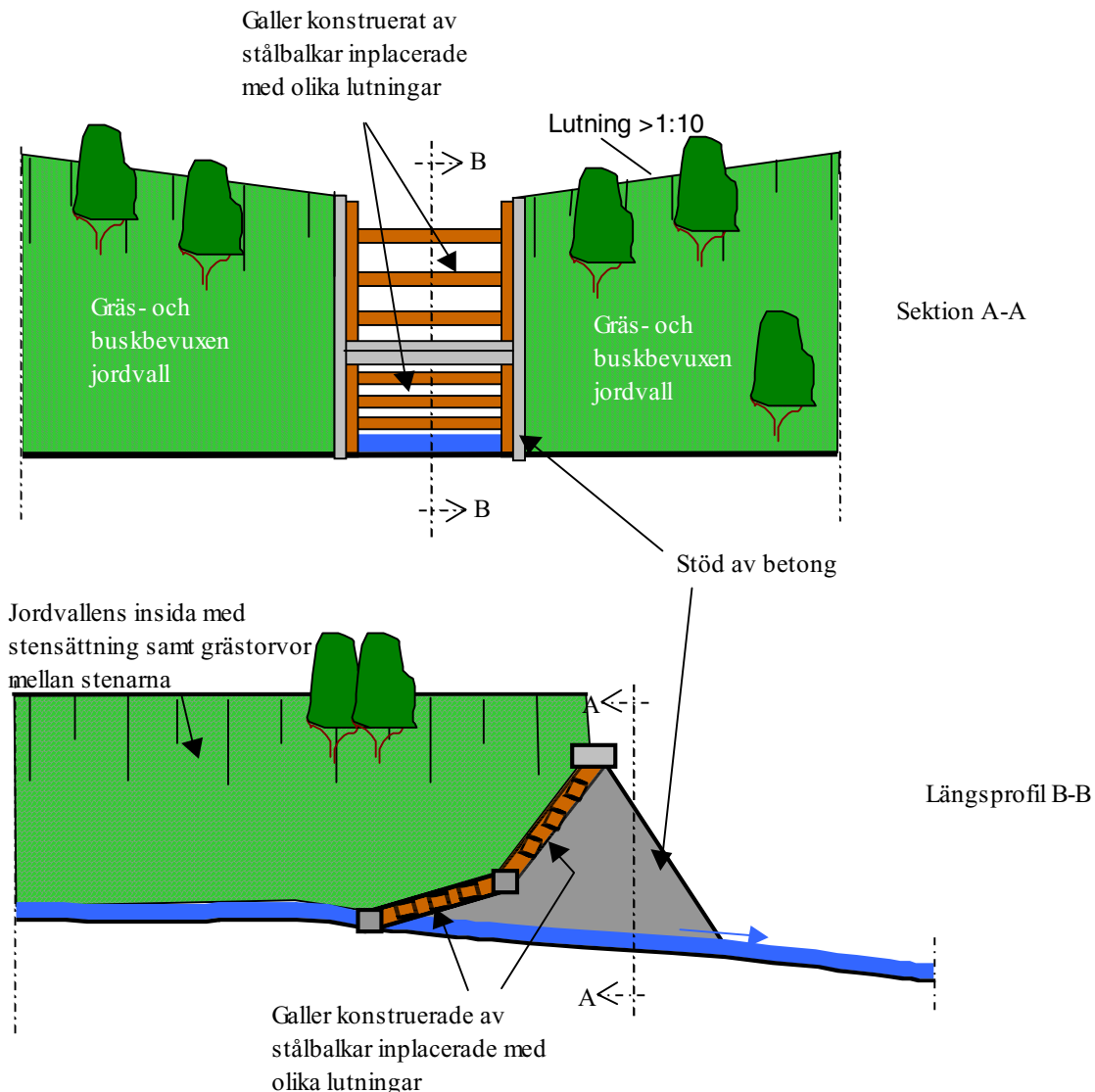


*Figur 41 Galler av vertikal typ. Närbild från sidan. Rettenbach, Schwaz, Österrike. Foto: J. Fallsvik, SGI.*

Sedimentationsdammar utförs numera oftast med lutande galler eller med galler med olika lutning placerade ovanför varandra, se *Figur 42* och *Figur 43*. Syftet med de lutande delarna är att vegetation (hela träd, stammar, grenar, buskar och undervegetation) och stora block och stenar, som oftast flyter ovanpå slamströmmen, skall läggas sig på det övre gallret och på så sätt underlätta för vatten och finare material att passera genom de nedre gallren. Det finns även sedimentationsdammar med den första delen av gallret placerat horisontellt, se *Figur 42*.



*Figur 42 Sedimentationsdamm med horisontellt och lutande galler. Ahornkargraben, Wagrain, Österrike. Foto. Okänd. (efter Kettl, 1984)*



Figur 43 Princip för sedimentationsdamm med lutande galler. Galler av stålbalkar. Sedimentationsdammar finns byggda i Mörviksravinen och i Lerån, Åre kommun.

### 6.7.3 Dimensionering

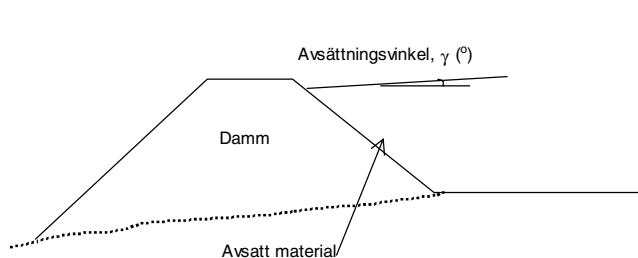
Sedimentationsdammar konstruktionsberäknas med avseende på totalstabilitet, bärrighet, tippning, grundläggning, sättningar, slamströmmens volym, hydrauliskt grundbrott, jordtryck och vattentryck.

#### Voy e

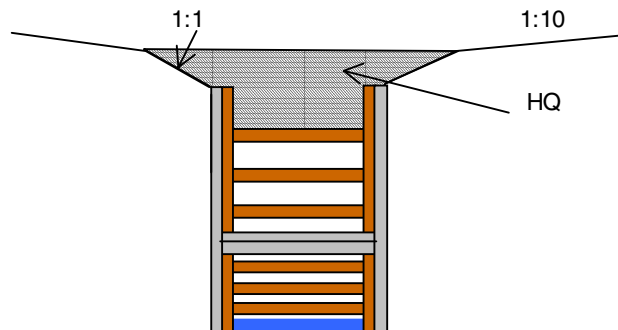
Vid konstruktioner av sedimentationsdammar krävs kännedom om volymen på den dimensionerande slamströmmen. Hela slamströmmens volym skall dock inte avsättas i dammen utan meningen är att vatten och finare material skall passera genom gallret i dammen. Den dimensionerande slamströmmens volym,  $M$ , vid dammläget fås genom proceduren beskriven i Kapitel 3. Hur stor andel som kan antas passera gallret beror på materialets kornstorleksfördelning, andel vatten i slamströmmen, avståndet mellan gallren i dammen och öppningens bredd. Approximativt kan man räkna med att ca 20% av slamströmmens totala volym passerar genom dammens öppning (Sauermoser, 2002).



Vid sedimentation i dammen kommer materialet att avsättas med en lutning, avsättningsvinkel, mätt från horisontalplanet, se *Figur 44*. Kännedom om materialets avsättningsvinkel fås bäst genom att studera äldre avlagringar i området. I Japan räknar man approximativt med att avsättningsvinkeln är hälften av den lutning som området har där avsättningen kommer att ske (vanDine, 1996).



*Figur 44. Definition av avsättningsvinkel,  $\gamma$ .*

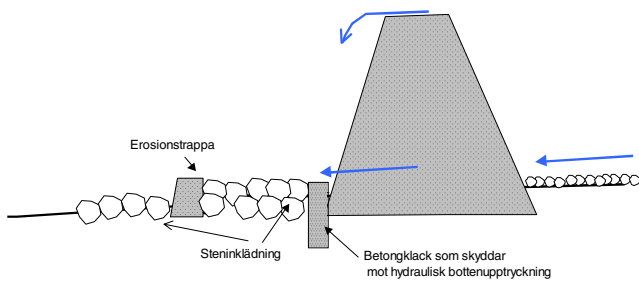


*Figur 45. Öppningen i dammens mittdel ovan översta gallret, dimensioneras för högvattenflöde.*

### öde

Öppningen i dammens mittdel dimensioneras så att sedimentationsdammens krön inte överpolas vid högvattenflöde, HQ, se *Figur 45*. Dammens överyta bör utformas med en lutning av minst 1:10 ut mot dammens sidor. Närmast gallret utförs ofta dammens överyta med en lutning av 1:1, se *Figur 45*.

Slamströmmens hastigheten påverkar dess förmågan att erodera i bäckfåran. Hur stor mängd som kan eroderas ges av ekvationerna i Kapitel 3.6. Bäckfåran direkt nedströms sedimentationsdammen är speciellt känsligt för erosion på grund av krafterna från det överfallande vattnet. Bäckfåran måste skyddas mot erosion och det görs vanligtvis med steninklädning och vid speciella behov även med erosionstrappor, se *Figur 46*. Bottnen nedströms sedimentationsdammen kan även skyddas med betong. Hur stort del av bäckfåran nedströms dammen längs vilken steninklädning erfordras kan beräknas med hjälp av ekvationer för ytutskov inom hydrauliken. Därvid måste hastigheten på den dimensionerande slamströmmen vid inträde i sedimentationsdammen omräknas till den strömningshastighet som kan antas gälla just vid överfallet.



Figur 46. Skydd mot erosion nedströms sedimentationsdamm i form av steninklädning och erosionstrappa. Principskiss till vänster och utförd åtgärd i Ahrnbach, Österrike. Foto: S. Sauermoser, WLV, Schwaz.

#### afte

Sedimentationsdammar och erosionstrappor måste dimensioneras med hänsyn till jordtryck, glidning, totalstabilitet, hydraulisk bottenuppträckning, tippning, punktlaster från blocknedfall, grundläggning samt eventuella sidokrafter från slänterna vid sidan om konstruktionen.

Vid konstruktion av sedimentationsdammar måste under vissa förhållanden hänsyn även tas till dynamiska krafter. De dynamiska krafterna avklingar dock fort efter det att avsättning av slamströmmen har påbörjats (Baldwin, 1987, i VanDine, 1996). Den dynamiska kraften,  $F_d$ , som verkar mot en konstruktion kan beräknas enligt följande:

$$F_d = \rho v^2 C_D 0.5 A \quad (N)$$

där  $\rho$  = slamströmmens densitet ( $kg/m^3$ )

$v$  = slamströmmens hastighet ( $m/s$ )

$C_D$  = motståndskoefficient, beror av formen på tvärsnittet där kraften verkar

$A$  = tvärsnittsarea vinkelrätt mot strömningsriktningen ( $m^2$ )

För en vägg vinkelrätt mot strömningsriktningen har  $C_D$  värdet 2. Om väggen lutar mot strömningsriktningen reduceras  $C_D$  värdet något.

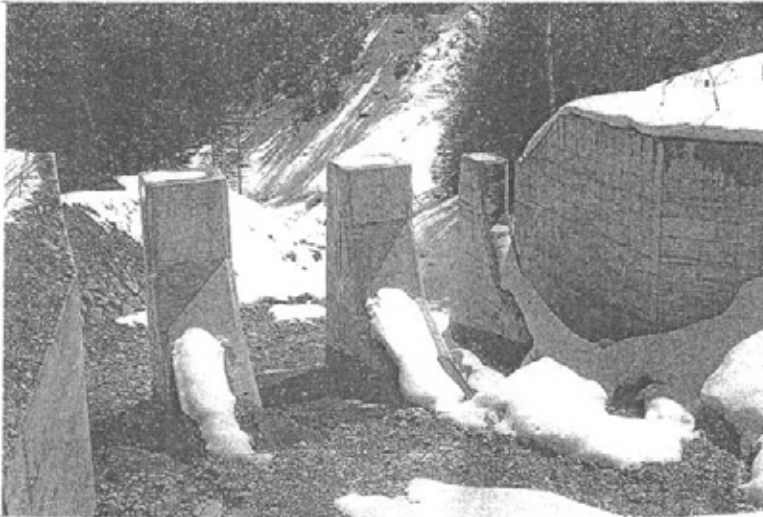
#### 6.7.4 Skötsel

När en slamström har inträffat måste sedimentationsdammen tömmas på de ansamlade jordmassorna med hjälp av grävmaskin och lastbilar via en tillfartsväg. Även träd, grenar och stenar som ansamlas i dammen måste avlägsnas för att inte förorsaka dämning. En anslutande tillfartsväg måste därför alltid utföras intill varje sedimentationsdamm.

Vegetation som etablerats i sidoslänterna i anslutning till sedimentationsdammen bör skäras ned med jämna mellanrum (7-10 år) för att en ung och böjlig vegetation skall upprätthållas.

## 6.8 Slamströmsbräcka

Syftet med slamströmsbräckor (*engelska* : debris flow breakers) är att reducera slamströmmens energi. Denna typ av konstruktion är en relativt ny företeelse i Österrike (Heumader, 2000). De är konstruerade av armerad betong med stålskoningar och andra ståldetaljer. Ett exempel på en slamströmsbräcka i Österrike visas i *Figur 47*. Avsikten är att bräckan endast skall reducera slamströmmens energi. Uppströms bräckan skall således inte något material sedimentera förutom stora stockar och stenar. Bräckorna måste därför dimensioneras för de dynamiska krafter som slamströmmen kan påverka konstruktionen med.



*Figur 47. Slamströmsbräckor i Österrike. Foto J. Heumader, WLV, Schwaz.*

## 7 Ingenjörbiologi

### 7.1 Allmänt

Med ingenjörbiologiska metoder menar man sådana metoder där man som byggmaterial använder sig av levande växtmaterial eventuellt i kombination med exempelvis stockar och betong. Ingenjörbiologin är en gammal metod som har utvecklats och används mycket flitigt i alpländerna, USA, Storbritannien och även i Centralasien. God kunskap finns i dessa länder om lämpliga växter, deras effekter samt olika byggmetoder. Effekten av en bra vegetation på risken för erosion i en brant slänt är ofta betydande.

I detta kapitel ges en beskrivning av några olika ingenjörbiologiska metoder som är användbara i bäckbottnar. Metoder som används för att förstärka slänter tas dock bara upp mycket kortfattat. För en mer ingående beskrivning av området hänvisas till rapporten "Slå rot och väx upp. Vegetation som förstärkningsmetod. Litteraturstudie" (Rankka, 2002).

De ingenjörbiologiska metoderna kan stabilisera en slänt genom att växterna tar upp och avleder krafter som slänten utsätts för. Detta kan växterna göra genom att

- förändra jordens mekaniska faktorer (binda jordpartiklar och öka markytans råhet, rottrådar ökar hållfasthet, förankra jorden genom att rotmassor verkar som pelare och genom valvbildning mellan strävpelare av rotmassor)
- förändra de hydrologiska faktorerna (minska avrinningshastighet och avrinningsmängd, öka infiltrationskapaciteten, minska vatteninnehållet i jorden genom upptagning och transpiration, minska hastigheten på regndroppar som når markytan och därigenom den energi som kan lösgöra jord, beskugga markytan vilket motverkar torrsprickor som annars kan orsaka pådrivande vattentryck)

Vegetation kan minska förmågan hos rinnande vatten att riva loss och transportera partiklar både genom sin uppbromsande effekt på vattenströmmen och sin skyddande effekt av markytan. En tät vegetation kan dessutom fånga upp material som eroderats loss högre upp i slänten och den kan förhindra uppsprickning av markytan. Om en slänt beskogas har detta en förbättrande effekt på stabiliteten. Exempelvis fastnar en stor del av nederbörden som faller i form av snö i trädkronorna, och i skogen blir därför snötäcket på marken tunnare än på öppen mark. Snön på grenarna kan avdunsta från grenarna och kommer då aldrig att nå markytan. Dessutom smälter snön på marken långsamt på grund av skuggan från trädkronorna. Detta gör att snösmältningen fördelas över en längre tidsperiod med lägre extremvärden i vattenflöden och grundvattenportryck som följd.

Innan man väljer växter för den aktuella slänten är det av största vikt att man noga känner växtplatsen (ståndorten) där anläggningen skall etableras, samt att man noga tänker igenom vilken effekt som eftersträvas. En undersökning av jordart, näringshalt, markfuktighet, naturlig vegetation, temperatur- och ljusförhållanden måste alltid utföras. Flera sammanställningar över lämpliga växter för ingenjörbiologiska ändamål finns i den utländska litteraturen. Vid Sveriges lantbruksuniversitet i Alnarp har sammanställningar gjorts av Piga (1996) och Svensson (1991) över träd och buskar som anses vara lämpliga i svenska förhållanden. Sammanställningarna redovisas även i rapporten "Slå rot och väx upp eller Vegetation som förstärkningsmetod. Litteraturstudie" (Rankka, 2002). I Bilaga 1 diskuteras även några olika trädslags lämplighet som stabilisering av slänter i Österrike.

Klimatet bestämmer i hög grad en arts geografiska utbredning. Inom sitt utbredningsområde behöver arten exempelvis en speciell jord eller en viss fuktighet för att kunna växa. De viktigaste klimatiska faktorerna är temperatur och nederbörd. Av stor vikt är även vegetationsperiodens längd. En viktig klimatisk gräns i vårt land utgörs av den så kallade *norrlandsgränsen*, som går från norra Uppland söder om Bergslagen till mellersta Värmland, och som delar Sverige i två klimatzoner. På grund av liknande klimatförhållanden kan vissa av våra typiska fjällväxter även förekomma i Alperna och andra mellaneuropeiska berg. På grund av terrängens olika beskaffenhet (förekomst av sjöar, berg osv.) uppkommer även skilda *lokalklimat*. Tack vare gynnsamma lokala betingelser kan många värmekrävande arter nå långt norrut, Bonniers Flora i Färg (1989).

Inom sitt utbredningsområde är många växter strängt bundna till en speciell *jordmån*. En stor grupp utgörs av de kalkgynnade växterna, som framför allt uppträder inom kalkstensområden, exempelvis längs fjällkedjan.

## 7.2 Byggmetoder för slänter och raviner

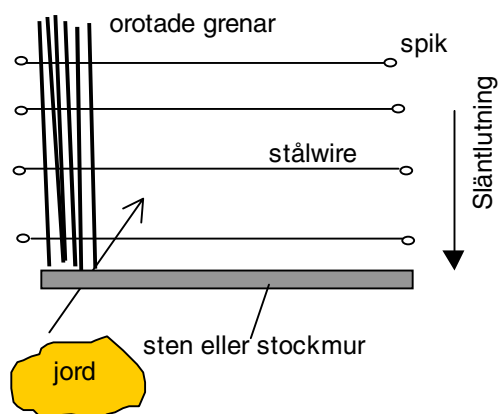
Flera olika byggmetoder har utvecklats för att stabilisera slänter och ravinbottnar. Dessa kan indelas i tre kategorier; markskyddande metoder, stabiliserande metoder och kombinerade metoder. I denna rapport beskrivs endast några metoder vanliga vid förstärkning av slänter och raviner i Österrike. Flera olika metoder beskrivs i rapporten "Slå rot och väx upp eller Vegetation som förstärkningsmetod. Litteraturstudie" (Rankka, 2002).

I *sticklingmetoden* etableras sticklingar i form av orotade kvistar eller grenar i rader eller punktformigt i slänten. Sticklingarna sticks ner direkt i jorden där de så småningom kommer att bilda nya rötter. Metoden används ofta för etablering av vegetation mellan stenarna i stenbeläggningen längs sidoslänterna i en sedimentationsdamm, se *Figur 48*



*Figur 48. Sedimentationsdamm i Rettenbach, Österrike. Vegetation längs sidoslänter etablerad med sticklingmetoden. Foto: K. Rankka, SGI.*

I framförallt strandkanter kan ett så kallat *utbredningslager* etableras i slänten. Detta består av grenar av pil eller vide som läggs på släntytan, se *Figur 49*. Grenarnas tjockare ände läggs neråt i slänten och täcks med jord så att de kan rota sig. Grenarna täcks sedan delvis av ett fint lager med jord och fixeras med pålar och kokosnören eller ståltråd.

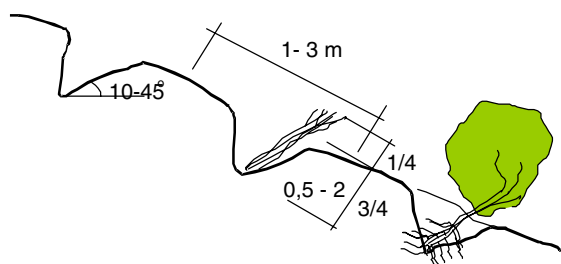


*Figur 49. Utbredningslager. Principskiss i plan (vänster) samt ett utbredningslager i Bitzbach, Italien (höger). Foto: K. Rankka, SGI.*

*Lagermetoderna* innebär att orotade och/eller rotade grenar placeras i grävda diken i slänten. Grenarna placeras i lager och så att dess tjockare del (nederdel) ligger in mot slänten, se *Figur 50* och

*Figur 51*. Man skiljer mellan häcklagermetoden där man använder endast rotade grenar, grenlagermetoden där man endast använder orotade grenar och häck-grenlager metoden där man använder sig av både rotade och orotade grenar.

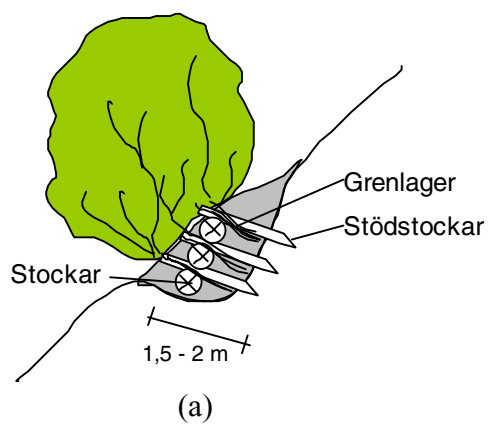
Metoden med *trästockar* innebär att en eller flera trästockar placeras tvärs slänten, se *Figur 52*. Stockarna förankras bakåt in i slänten med hjälp av stödstockar. Ovan trästocken eller mellan trästockarna placeras ett lager av rotade eller orotade kvistar.



Figur 50. Grenlagermetoden. Principskiss i sektion.



Figur 51. Gren- och häcklagermetoden i Spessbach, Italien. Foto: K. Rankka, SGI.

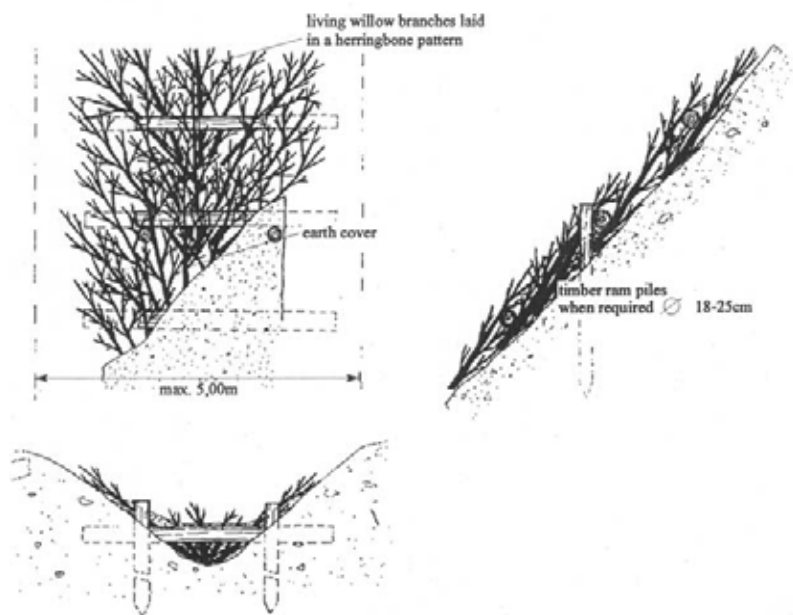


(b)

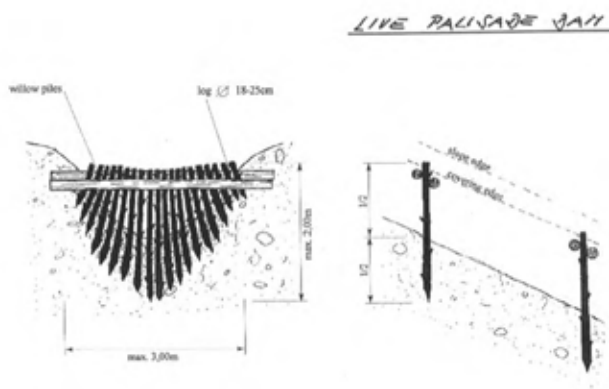
Figur 52. Trästockar. Principskiss i sektion (a) samt exempel på utförd åtgärd i Ötzdalen, Österrike (b). Foto: K. Rankka, SGI.







Figur 54. Utbredningslager i ravinbotten. Principskiss efter Florineth (2002).



Figur 55. Palissad av levande växtmaterial. Principskiss efter Florineth (2002)

## 8 Skogs- och vegetationsskötsel

För att minska risken för jordrörelser i slänter och raviner är det mycket viktigt att vegetationen sköts på rätt sätt. I Österrike är kalhyggen inte tillåtna i dessa områden och skogens tillstånd övervakas minst en gång om året.

En nackdel med äldre skog är att vindfällda träd ger upphov till rotvältor i vilka vatten kan infiltrera ner i marken och orsaka skred och ras. Detta problem undviks genom att omkullfallna träd avlägsnas och ny planteras och att äldre vegetation avlägsnas genom blädning. Blädning innebär att enstaka träd avverkas och naturlig återväxt uppkommer i luckorna. Blädning tillämpas bland annat i brant och erosionskänslig terräng och vid skötsel av skyddsskogar. Inga ytor får lämnas bara under någon längre tidsperiod utan ny marktäckning måste påföras direkt efter en eventuell blottläggning. Framförallt är det viktigt att en god vegetation har hunnit etableras innan hösten.

Problem uppstår lätt efter avverkning och nyanläggning av skogsvägar. Diken och dräneringssystem måste anläggas för att förhindra att vatten kanaliseras och eventuellt ger upphov till slamströmmar. Trummor bör dimensioneras för högvattenflöde och förses med galler och en liten uppsamlingsdamm för att kunna ta emot stora mängder regn på en gång. Gallret bör inte vara för tätt utan dess syfte är att hindra grenar och större stenar från att komma in i trumman. En bra konstruktion är lutande galler, ungefär som gallerkonstruktionerna på sedimentationsdammar, se Kapitel 6.7.

I Österrike uppstår ofta problem inom äldre ängs- och hagmarker som inte längre sköts som tidigare genom dikning, betning och gallring av vegetationen. Problemen kan åtgärdas genom beskogning och exempelvis dräneringssystem, se Kapitel 5.1.2.

Skidpister etableras med gräs och örtvegetation som slås varje år. Därmed bildas en tät gräsvål. Ett alternativ är att låta några får beta i pisterna men då måste man se till att flytta fåren innan de betar av gräset för hårt. Kor och hästar är inte lämpliga som betesdjur eftersom de är tunga djur och gärna trampar upp stigar (Florineth, 2002). Stigarna kan kanalisera vatten och försaka att slamströmmar initieras. Fåren skall dock inte beta i närheten av bäckraviner eftersom större och tätare vegetation krävs på dessa ställen för att reducera avrinningsmängden ner till bäcken vid kraftig nederbörd (Markart, 2002c). För skidpister är det dessutom viktigt att ytvatten avleds genom diken eller dräneringssystem.

Vegetation i mycket erosionskänslig jord och på branta sluttningar bör hållas ung och klippas ner var 10:e till 15:e år. Barrträd har styvare stam än lövträd varför de i större grad överför vindkrafter ner till jorden. Av denna anledning är lövträd att föredra.

## 9 sammanställning av olika förstärkningsmetoder

I *Tabell 3* görs en sammanställning av olika förstärkningsmetoder och under vilka förutsättningar de är lämpliga.

*Tabell 3* Lämplig användning av olika typer av preventiva åtgärder i olika delar av slänter och avrinningsområden (modifiering av tabell uppställd av Heumader, 2000)

<i>Problem</i>	<i>Typ av åtgärd</i>	<i>Effekt</i>	<i>Placering i avrinningsområdet</i>
Förhindra uppkomst av slamström	Erosionstrappor, syllar, blocktrappor	Minska erosion och därmed skred	Övre del och mittdel
	Dränering, avledning av vatten	Förhindra kraftig ytavrinning	Där behov finns
	Ingenjörsbologi		Där behov finns
Förhindra skred	Dränering, avledning av vatten	Minska erosion, minska portryck /grundvattenstånd	Där behov finns
	Ingenjörsbologi	Minska erosion, lägre avrinningskoefficient, minska portryck /grundvattenstånd	Där behov finns
Avsättning av slamström eller delar av slamström	Avsättningsdamm, sorteringsfällor	Förhindra att slamström fortsätter nedströms, avsättning av stockar och grövre material	Bäckravinens mittdel och på alluvialkonens övre del
Bromsa slamström	Slamströmsbräckor	Lägre energi hos slamström	Mittdelen
Avleda slamström	Avledande damm, flyttning av strömfåra	Skydda hotade objekt	Alluvialkon
Minska erosion	Erosionstrappor, syllar, blocktrappor	Minska erosion	Efter dammar, genom alluvialkon
	Ingenjörsbologi	Minska erosion	Ravinslänter, jordvallar, bäckbotten. Hela avrinningsområdet
	Kanalisering	Minska erosion	Nedströms dammar, genom alluvialkon, längs bäckbotten
	Stensättning	Minska erosion	Jordvallar, bäckbotten, nedströms dammar och trappor, mellan syllar, i blocktrappor. Längs hela bäckfåran.

## 10 sammanställning av parametrar för dimensionering och utförande av olika förstärkningsåtgärder

Förstärkningsåtgärd	Underlagsparametrar för dimensionering av åtgärder	
Ingenjörbiologi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lokalklimat</li> <li>• Väderstreck</li> <li>• Nederbördsförhållanden</li> <li>• Jordmån</li> <li>• Mark- och grundvattenförhållanden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Befintlig växtlighet i området och dess närhet</li> <li>• Ny växtlighet</li> <li>• Åtkomlighet för plantering, skötsel och blädning</li> </ul>
Dränering	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nederbördsförhållanden (regnets varaktighet, intensitet och mängd)</li> <li>• Snösmältning</li> <li>• Avrinningsförhållanden</li> <li>• Jordförhållanden</li> <li>• Växtlighet</li> <li>• Vattendrag</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mark- och grundvattenförhållanden</li> <li>• Schaktbarhet</li> <li>• Åtkomlighet för konstruktion och underhåll</li> <li>• Befintliga diken och trummor</li> </ul>
Erosionstrappor, syllar, blocktrappor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Den dimensionerande slamströmmen (hastighet, flöde, volym)</li> <li>• Avrinningsförhållanden</li> <li>• Jordförekomst i ravinen</li> <li>• Jordtrycksförhållanden</li> <li>• Totalstabilitet</li> <li>• Vattentryck bakom trappa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lokala stabilitetsförhållanden</li> <li>• Grundläggningsförhållanden</li> <li>• Schaktbarhet</li> <li>• Åtkomlighet för konstruktion och underhåll</li> <li>• Möjligheter till sådd och återplantering av erosionskyddande växter på slänter och i omgivningen</li> </ul>
Avledande dammar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Den dimensionerande slamströmmens (hastighet, flöde, volym)</li> <li>• Lägen för riskobjekt</li> <li>• Avrinningsförhållanden</li> <li>• Lokala stabilitetsförhållanden</li> <li>• Totalstabilitet</li> <li>• Grundläggningsförhållanden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Överströmning av dammen</li> <li>• Schaktbarhet</li> <li>• Möjligheter till sådd och återplantering av erosionskyddande växter på slänter och i omgivningen</li> <li>• Åtkomlighet för konstruktion och underhåll</li> </ul>
Flyttning av strömfåran	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Den dimensionerande slamströmmen (hastighet, flöde, volym)</li> <li>• Vattenförling</li> <li>• Avrinningsförhållanden</li> <li>• Jordtrycksförhållanden</li> <li>• Lokala stabilitetsförhållanden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schaktbarhet</li> <li>• Möjligheter till sådd och återplantering av erosionskyddande växter på slänter och i omgivningen</li> <li>• Åtkomlighet för konstruktion och underhåll</li> </ul>
Sorteringsfällor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Den dimensionerande slamströmmen (hastighet, flöde, volym)</li> <li>• Punktlaster från block</li> <li>• Storlek på block</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vattenförling i bäck</li> <li>• Schaktbarhet</li> <li>• Åtkomlighet för konstruktion och underhåll</li> </ul>
Kanalisering	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vattenförling i bäck</li> <li>• Totalstabilitet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Överströmning av kanalen</li> <li>• Schaktbarhet</li> <li>• Möjligheter till sådd och återplantering av erosionskyddande växter på slänter och i omgivningen</li> <li>• Åtkomlighet för konstruktion och underhåll</li> </ul>

Sedimentationsdamm med galler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Den dimensionerande slamströmen (hastighet, flöde, volym)</li> <li>• Avrinningsförhållanden</li> <li>• Jordtrycksförhållanden</li> <li>• Grundläggningsförhållanden</li> <li>• Lokala stabilitetsförhållanden</li> <li>• Totalstabilitet</li> <li>• Vattentryck bakom damm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dynamiska krafter</li> <li>• Schaktbarhet</li> <li>• Möjligheter till sådd och återplantering av erosionskyddande växter på slänter och i omgivningen</li> <li>• Åtkomlighet för konstruktion och underhåll</li> </ul>
-------------------------------	--	---

## 11 Exempel på utförda förstärkningsåtgärder

Flera exempel på utförda förstärkningsåtgärder finns i Kapitel 5, 6 och 7. Här görs därför endast en kort beskrivning av de åtgärder som vidtagits längs ån Rettenbach utanför Schwaz i Tyrolen., Österrike. Flera olika typer av förstärkningsåtgärder har utförts för att förhindra uppkomsten och minska de negativa konsekvenserna av eventuella slamströmmar. Arbetet visar på att det i många fall är nödvändigt med flera olika typer av metoder för att erhålla en bra åtgärd i ett avrinningsområde.

I övre delen av avrinningsområdet har ett dräneringssystem installerats i syfte att reducera de höga grundvattentrycken i slänten, se *Figur 12* och *Figur 13*. Man har använt dräneringsledningar av korrugerad och perforerad plast nedgrävda i diken, öppna diken och tryckutjämningsbrunnar. Vattnet leds till ravinbotten där ett flertal erosionstrappor har byggts för att minska risken för erosion bland annat på grund av det ökande vattenflödet. Nedströms erosionstrapporna har två stycken avsättningsdammar byggts, se *Figur 36* och *Figur 48*. Dessa dammar ligger på alluvialkonens övre del. Genom alluvialkonen har bäckens botten och sidoslänter stabiliserats genom kanalisering med stensättning.

## 12 Referenser

### 12.1 Litteratur

Bergthaler, J., (1986) Anwendungsbereich der Hochwasserformeln, WLW Zeitschrift 103, 50.Jahrgang

Bonniers Flora i Färg (1989), En fälthandbok, Fitter, R., Fitter, A., Blamey, M., sv. övers., Staav, R., ISBN 91-34-50231-9, Bonnier Fakta Bokförlag AB, Stockholm

Davies, T., (1997). First international conference on Debris Flow Hazards Mitigation: Mechanics, prediction and assessment. Edited by Cheng-lung Chen. San Fransisco.

Fiebiger, G., (1997). Structures of debris flow countermeasures.

Florineth, F., (2002). Personlig kontakt.

Hampel, R., (1984). Der Aufbau von Hochwasserformeln. WLW Zeitschrift, Sonderheft, Juni 1984. 48 Jahrgang.

Hampel, R., (1990). Geschiebefracht und Geschiebetrieb, WLW Zeitschrift 114, August 1990, 54 Jahrgang.

Forsttechnischer Dienst für Wildbach und Lawinenverbauung, (1999). Hazard map of the community of Aschau, District of Schwaz.

Heumader, J., (2000). Technical debris-flow countermeasures in Austria –a review. Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, prediction and assessment. Rotterdam.

Heumader, J., (2002). Personlig kontakt.

Hungr, O., Morgan, C., Kellerhals, R., (1984). Quantitative analysis of debris torrent hazards for design of remedial measures. Canadian Geotechnical Journal, 21, pp 663-677.

Ikeya, H., (1989). Debris flow and its countermeasures in Japan. Bulletin of the international association of Engineering Geology, no 40. Paris.

Kettl, W., (1984). Vom Verbaunungsziel zur Bautupenentwicklung – Wildbachverbaunung in Umbruch. Wildbach und Lawinenverbau. Zeitschrift. 1984. Wörgl.

Kohl, B., Markart, G., (2002). Dependence of surface runoff on rain intensity – results of rain simulation experiments. Flood Estimating Conference. Bern

Markart, G., Sauermoser, S., Kohl, B., Stern, R., (2002a). Land use change and the effect of mountain forests in Alpine catchments. Proceeding of the symposium “Ecological and Economic benefits of mountain forests. Innsbruck.

Markart, G., Soiter, B., Schauer, T., Kohl, B.,(2002b). Provisorische Geländeanleitung zur Anschätzung des Oberflächenabflusses auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen. Version 1.0 (not yet printed).

Markart, G., (2002c). Personlig kontakt.

Rankka, K., (2002). Slå rot och väx upp eller Vegetation som förstärkningsmetod. Litteraturstudie. FoU rapport. Räddningsverket. Karlstad.

Rickenmann, D., (1999). Empirical Relationships for Debris Flows. Natural Hazards 19, pp 47-77. Kluwer Academic Publisher.

Sauermoser, S., (2002). Personlig kontakt.

Sönser, T., Ploner, A., (2002). Personlig kontakt.

VanDine, D., F., (1996), Debris Flow Control Structures for Forest Engineering. Res. Br., B.C. Ministry of Forests Research Program, British Columbia, Work Paper 08/1996

Viberg, L., Fallsvik, J., Rankka, K., Sällfors, G., Gustafsson, M., (2001). Översiktlig kartering av stabilitetsförhållandena i raviner och slänter i morän och grov sedimentjord. Förslag till metodbeskrivning. FoU rapport, Räddningsverket. Karlstad.

Wilén, P., Eurenus, L., Anderberg, J., (1993). Avrinning och erosion i Åredalen. Slutrapport. VBB VIAK, Geo Information Consult AB. Östersund.

## 12.2 Adresser till personliga kontakter

Dipl.-Ing. *Jörg Heumader*, Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV), Sektion Tirol, Langgasse 88, A-6460 Imst, Österrike, e-mail: [joerg.heumader@wlv.bmlf.gv.at](mailto:joerg.heumader@wlv.bmlf.gv.at)

Dipl.-Ing. *Alexander Ploner*, i.n.n., Ingenieurbüro für Naturraum-Analyse und Naturgefahren-Management, Ploner & Sönser OE, Grabenweg 9, A-6020 Innsbruck, Österrike, e-mail: [inn.office@netway.at](mailto:inn.office@netway.at)

Dipl.-Ing. *Siegfried Sauermoser*, Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV), Sektion Tirol, Schwaz, Österrike, e-mail: [siegfried.sauermoser@wlv.bmlf.gv.at](mailto:siegfried.sauermoser@wlv.bmlf.gv.at)

Professor *Florin Florineth*. Department of soil Bioengineering and Landscape construction. University of agricultural sciences, Wien. E-mail: [florin.florineth@boku.ac.at](mailto:florin.florineth@boku.ac.at)

Geolog *Thomas Sönser*, i.n.n., Ingenieurbüro für Naturraum-Analyse und Naturgefahren-Management, Ploner & Sönser OE, Grabenweg 9, A-6020 Innsbruck, Österrike, e-mail: [inn.office@netway.at](mailto:inn.office@netway.at)



## 13 ordlista

<i>Engelska</i>	<i>Tyska</i>	<i>Svenska</i>	<i>Förklaring</i>
Storage angle eller aggradation angle		Avsättningsvinkel	Den vinkel (mätt från horisontalplanet) som ett transporterat material avsätts i.
Check dam	Sperren	Erosionstrappa	Se Kapitel 6.1
Chain of check dams	Sperrestaffelung	Flera efter varandra följande trappor	
Retention dam	Sortierwerk	Sedimentationsdamm	Se Kapitel 6.7
Woody trap		Sorteringsfällor	Se Kapitel 6.2
Torrent	Wildbach	Strid bäck	
Deflection dam		Avledande damm	Se Kapitel 6.5
Steel bars	Balken spärre	Galler	
Debris flow	Mure	Slamström	
Debris flood	Geschiebeführende wildbach	Slamström med större mängd vatten	
Mud flow		Störtflod	
Sill		Syll	Se Kapitel 6.3
Alluvial fan	Schwemmkegel	Alluvial kon	Sedimentationsområde nedströms bäckkravin
Catchment area	Einzugsgebiet	Avrinningsområde	Geografisk område (m <sup>2</sup> ) vars nederbörd avrinner till en och samma bäck
Runoff coefficient	Abflusskoeffizient	Avrinningskoefficient	Andel (%) vatten som rinner av som ytvatten av total regnmängd över samma område.



# Bilaga 1

## Reseberättelse från Studieresan till Tyrolen, Österrike, 3-5 juli 2002

### Bakgrund

I Alpländerna finns lång erfarenhet av såväl skred, ras och slamströmmar som av olika typer av preventiva åtgärder. Som en del av projektet "Förstärkningsåtgärder för slänter och raviner i morän och grov sedimentjord" valde vi därför att göra en studieresa till delar av Tyrolen i Österrike för att kunna studera problemen på plats samt få möjlighet att knyta kontakter och diskutera problemområdet med erfarna geologer och ingenjörer.

Österrike är troligen det land som har satsat mest på preventiva åtgärder mot de destruktiva massrörelser som så frekvent förekommer i bergslänterna – såväl ras, skred och slamströmmar som snölaviner. I Österrike finns sedan 1930-talet ett statligt institut WLV, (*tyska*: Forst-technischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung), som ansvarar för planering, projektering och genomförande av preventiva åtgärder mot dessa massrörelser.

WLV, som sorterar under den skogstekniska myndigheten vid det federala jordbruksdepartementet (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft), har ett sektionskontor i varje delstat (så kallade Bundesländer). I Tyrolen, som utgör ett sådant Bundesland, finns detta sektionskontor i Innsbruck. Dessutom finns distrikts- och lokalkontor i ett antal städer fördelade över Tyrolen. Vi besökte två sådana distriktskontor belägna i städerna Schwaz respektive Imst.

Sedan WLV organiserades i början av 1900-talet har större delen av såväl riskvärdering som konstruktion av preventiva åtgärder utförts av organisationen i egen regi. Under det senaste decenniet finns dock en strävan att låta genomföra delar av arbetsuppgifterna på konsult- och entreprenadbasis. Vi besökte därför även konsultfirman **i.n.n.** (Ingenieurbüro für Naturraum-Analyse und Naturgefahren-Management) i Innsbruck.

### Deltagare i Studiereesan

De personer som deltog i studieresan var Karin Rankka och Jan Fallsvik, båda SGI, samt Margareta Nisser, Räddningsverket.

### Utförda besök

#### *3 juli*

På förmiddagen den 3 juli hade vi ett inledande möte med geolog Thomas Sönser, **i.n.n.**, och Diplom Ingenieur Alexander Ploner, **i.n.n.**. Dessutom anslöt Diplom Ingenieur Siegfried Sausermoser, WLV, Schwaz.

Under mötet diskuterade vi övergripande de gemensamma problemen knutna till olika typer av jordmasserörelser. Vi blev även informerade om den österrikiska organisationen och arbetsgången för riskkartering samt val och utförande av preventiva metoder. Dessutom planerade vi de kommande studiebesöken i detalj.

Med guidning av Siegfried Sauermoser, Thomas Sönsler och Alexander Ploner besökte vi under eftermiddagen den 3 juli olika släntavsnitt vid Rettenbach och Rettenbachl belägna inom WLW-distriktet Westliches Unterinntal. Siegfried Sauermoser är ansvarig för detta distrikt. Följande preventiva metoder studerades:

- Dräneringssystem
- Kontrolldammar alternativt utförda av betong eller trä
- Sedimentationsdammar

Olika utformningsalternativ diskuterades med tonvikt på de gedigna österrikiska erfarenheterna.

Sönsler och Ploner informerade att arbetet med karteringar och förslag till förstärkningsmetoder oftast sker tillsammans med experter inom många olika fack. Detta bland annat eftersom de eventuella ingreppen berör flera olika lagar och förordningar. Sauermoser informerade att Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung ansvarar för att skog som efter fallit ner efter laviner och slamströmmar röjs undan. Det är dock kommunen som ansvarar för övervakningen.



*Anläggning av en ny bäckfåra. På den vänstra bilden framträder en mäktig aluvialkon som bildats nedanför bäckravinen i bakgrunden. På den högra bilden visas utplacering av naturstenar längs botten med avsikt att minska vattnets strömningsenergi. Naturstenarna förankras med stockar av Robiniavirke. Ötzdalen. Foton: J. Fallsvik, SGI*

#### **4 juli**

Under förmiddagen följande dag, den 4 juli besökte vi WLV:s distriktskontor i Schwaz varvid föregående dags tekniska diskussioner fortsatte. Med ritningar över genomförda åtgärder som underlag diskuterade vi principer för och effekter av dränering och/eller omledning av vatten mellan olika raviner samt vegetationens betydelse exempelvis effekter av avverkningar utförda i slänter och återbeskogning.

Efter lunch fortsatte Jan Fallsvik och Karin Rankka till WLV:s distriktskontor i staden Imst för att träffa diplomingenjör Jörg Heumader, som är ansvarig för detta distrikt. Vid detta möte diskuterade vi inför nästa dags studiebesök preventiva åtgärder med tonvikt på dräneringssystem och byggnad av avledande dammar och nya kanaler.

#### **5 juli**

Med guidning av Jörg Heumader besökte Karin Rankka och Jan Fallsvik den 5 juli olika släntavsnitt i Ötzdalen. Bland annat besöktes ett område kallat Wiesbergmälder där ett dräneringssystem installerades 1995. Dessutom studerades avledande dammar samt en ny kanal för ett vattendrag i Neudorf.

På kvällen diskuterade Jan Fallsvik och Thomas Sönser hur man kan skydda slänter med olika typ av vegetation.

Österrikiska erfarenheter visar vilka trädslag som bäst lämpar sig för släntskydd avseende såväl erosionskydd som skydd mot skred och ras på olika höjd över havet och därmed i olika klimatzoner. Följande växters betydelse för släntskyddet i Österrike diskuterades kortfattat.

Silvergran, *europisk silvergran*, (*Abies alba*), är en art i familjen tallväxter. Silvergranen har ett djupare rotsystem än vanlig gran och fungerar därför bättre som skydd mot skred och ras i slänter med friktionsjord. Det är ett uppemot 40 m högt barrträd. Arten härstammar från Mellan- och Sydeuropa och är i Sydeuropa ett ekonomiskt viktigt skogsträd, Nationalencyklopedin (2002).

Gran, (*vanlig gran*, *Picea abies*), är en art i familjen tallväxter. Granen, som växer vild i Europa norr om Alpena, har ett ytligt rotsystem, vilket medför att den är känsligt för hård vind och på vissa marker för torka. Granen tål stark kyla men är känslig för stark värme. Nationalencyklopedin (2002d). Det ytliga rotsystemet gör att vanlig gran inte kan fungera som skydd mot skred och ras i slänter.

Cembratall (*brödtall*, ty: *Zemberbaum*, *Pinus cembra*), är en art i familjen tallväxter och är den tallsort som bäst klarar av köld och kalla vindar utan att anta dvärgväxt. Det är ett 10-15 m högt träd med en tät, smalt konisk krona. Barren, som är 5-10 cm långa och sitter fem och fem tillsammans, är mörkgröna på ovansidan och blåvita under, Bild 21.

Cembratallen härstammar från Alpena och Karpaterna, och i vilt tillstånd växer arten högt upp, ofta ända upp till trädgränsen. Den är mycket hårdig och tålig mot förorenad luft, Nationalencyklopedin (2002). I Alpena används Cembratallen ofta som skydd mot skred, ras och ravinutveckling. På grund av sin köldtåligghet används Cembratallen även i det svenska skogsbruket, huvudsakligen i Norrland.

*esö ta o ga sat o e :*



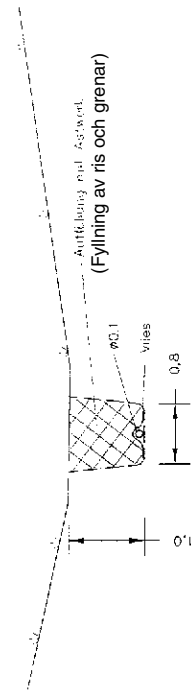
1. Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV),  
Sektion Tirol, Westliches Unterinntal  
Swarovskistrasse 22a  
A-6130 Schwaz, Österreich
2. Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV),  
Sektion Tirol,  
Langgasse 88,  
A-6460 Imst, Österreich

**i.n.n.**

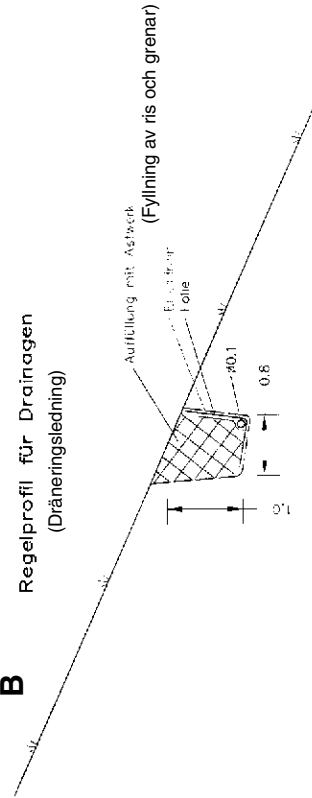
Ingenieurbüro für Naturraum-Analyse und Naturgefahren-Management  
Ploner & Sönser OEG  
Grabenweg 9  
A-6020 Innsbruck, Österreich

# Bilaga 2. Dräneringssystem av plastledningar

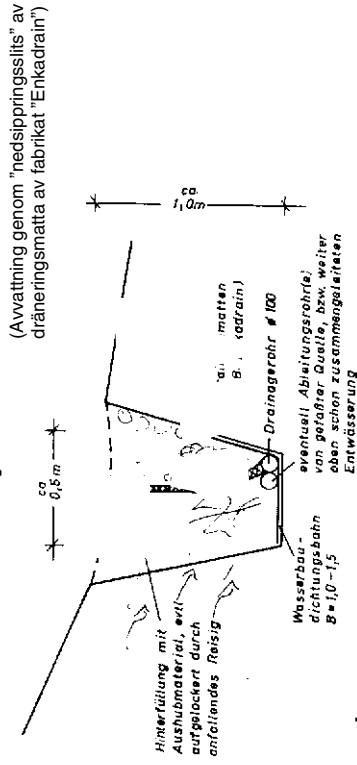
**A** Regelprofil för Abblänkningen  
(Tät ledning för bortledning av vatten)



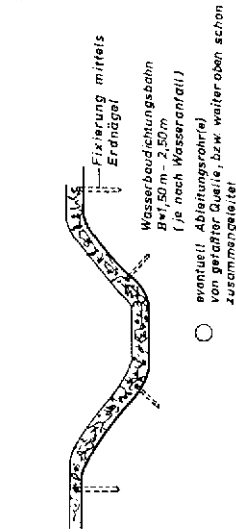
**B** Regelprofil för Drainagen  
(Dräneringsledning)



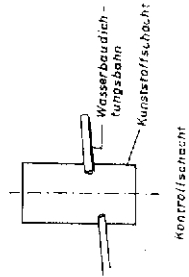
**C**  
BAUTYPE: Entwässerung: Sickerschleitz  
M 1:20




**D**  
BAUTYPE: Abgedichtete Abflüßmulde  
M 1:20  
(in Pflanzstein, zumeist bei bestehendem Gerinne)



**E**  
BAUTYPE: Entwässerung: Kontrollschicht  
M 1:50



 FORSTLICHES DIENST FÜR WILDBACH- UND LAMINENVERBAUUNG SEKTION THROL		GEBL.TG. OBERES INNTAL	
Einzugsgebiet (Vorhaben) :	EBD - RUTSCHUNG TIMMLS	Bezirk :	Imst
Gemeinde :	A-21	Regelbreite	M 1 : 50
Ausführungsnummer :	2002	Gebietsblätter :	3

(OBS, halv skala mot originalet!)

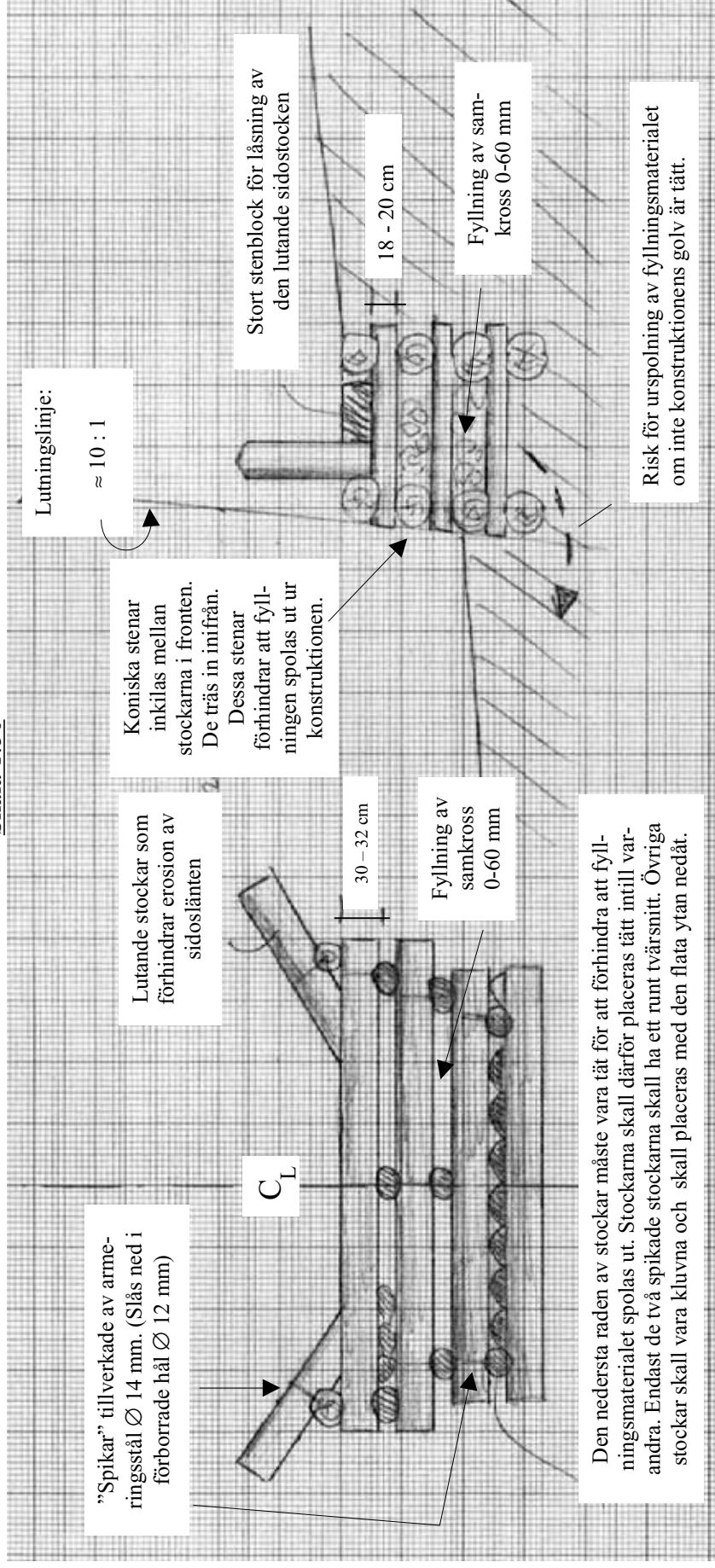
# Bilaga 3

## Erosionstrappa konstruerad av trä

Efter Diplomingenjör Siegfried Sauermoser, Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Schwaz, Österrike

Tryckimpregnerat virke eller virke av träslaget Robinia (*Robinia Pseudaacacia*)

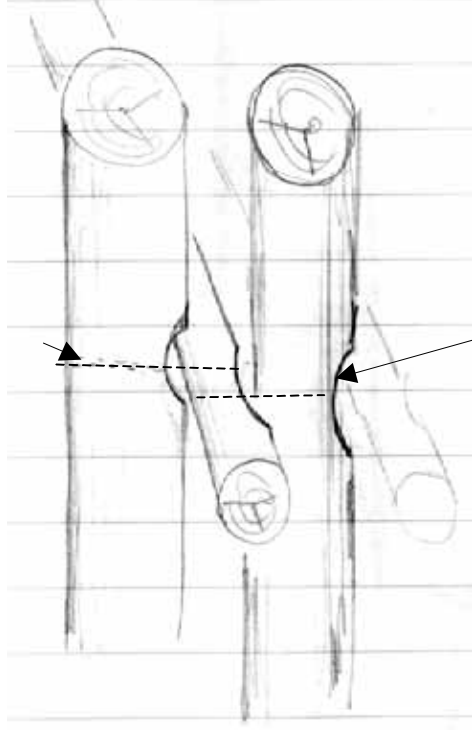
Skala 1:50





## Fogning mellan stockarna – detalj

Spikning med ”spikar” tillverkade av armeringsstål  $\varnothing$  14 mm i förborrade hål  $\varnothing$  12 mm



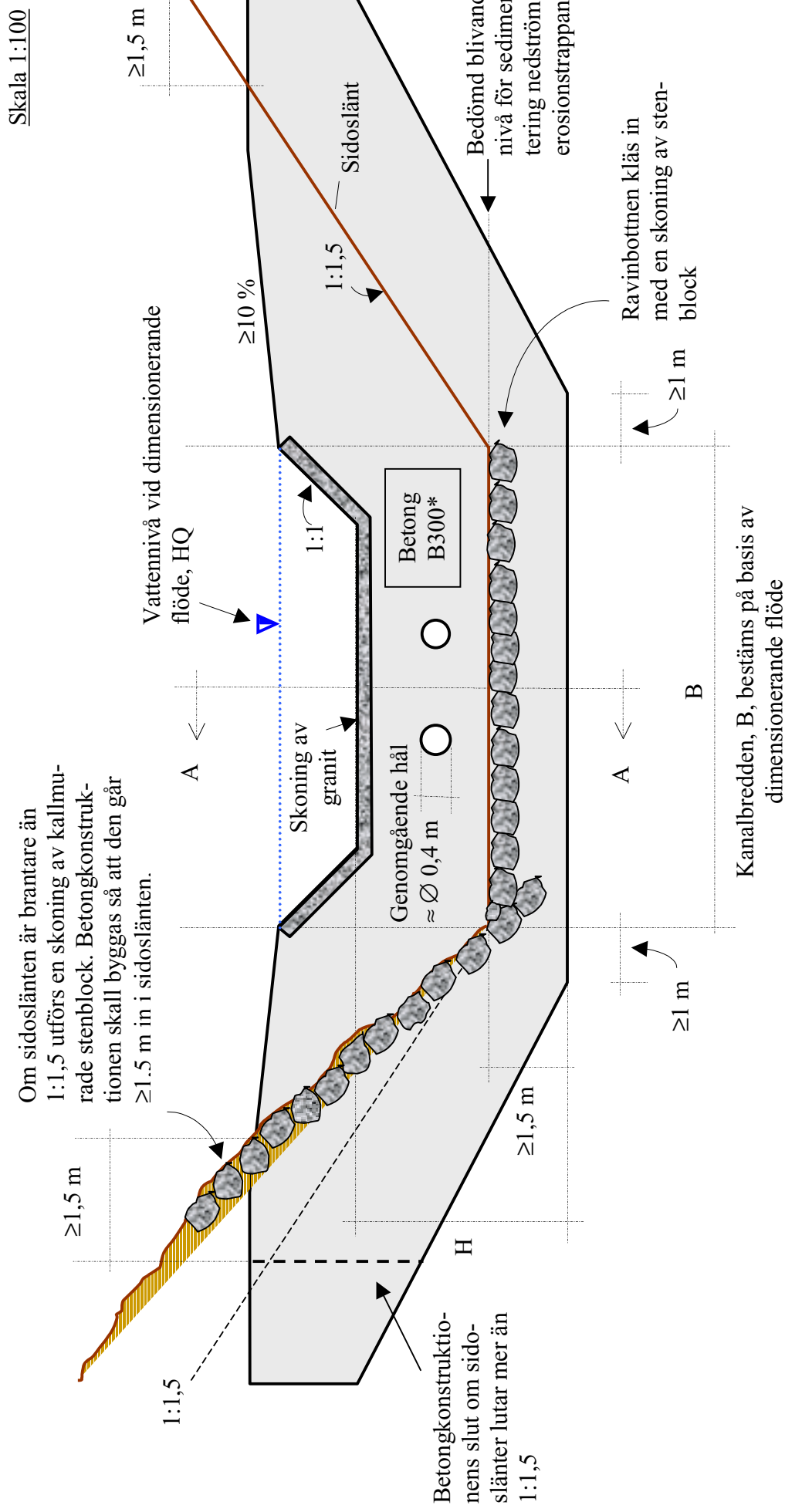
Ugröpfung för underliggande stock. Ugröpfungarna utförs alltid i underkanten av överliggande stock för att minska risken för vatteninträning i virket som kan medföra röta.

## Bilaga 4

### Erosionstrappa konstruerad av betong

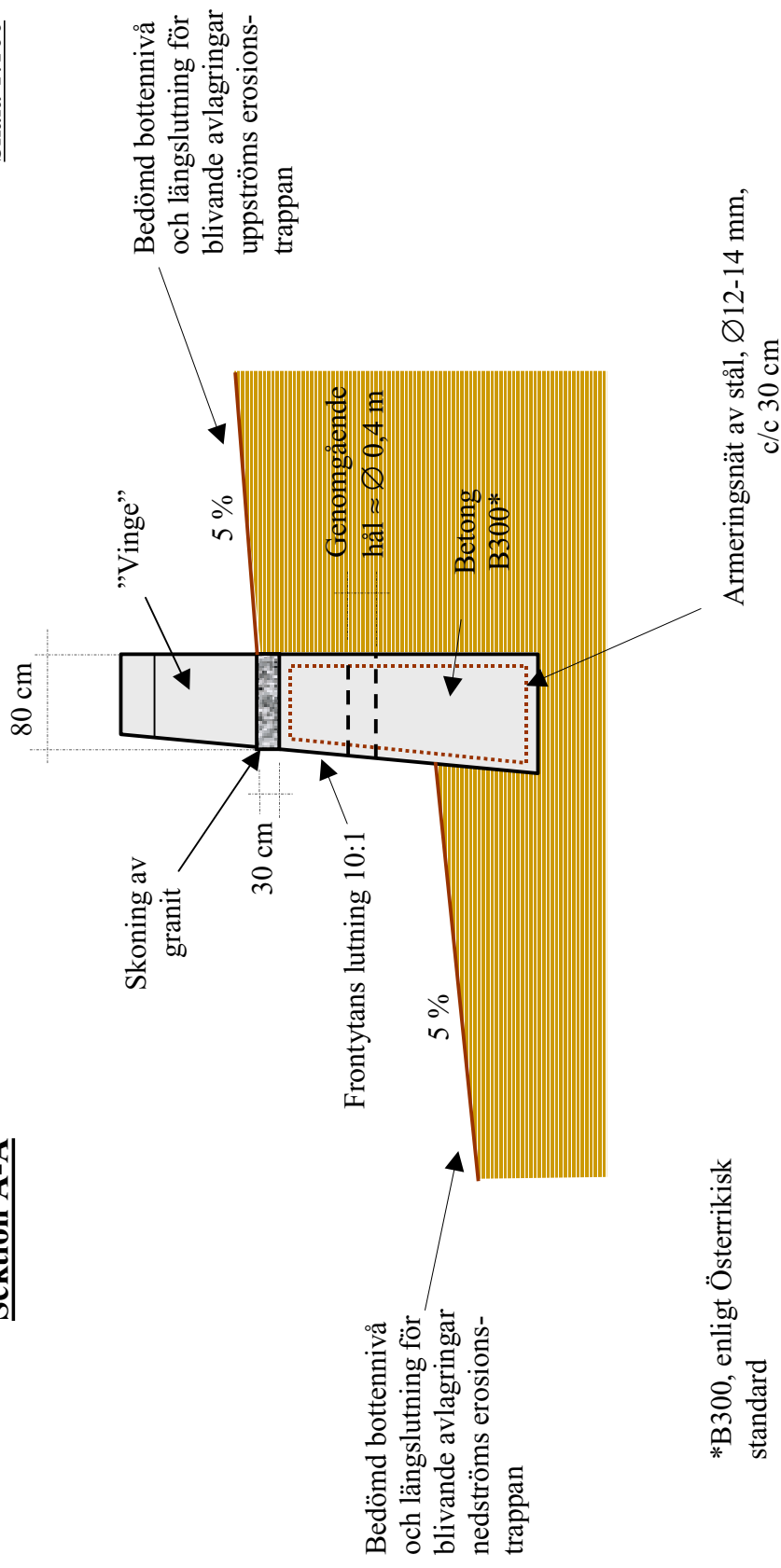
#### Sektion

Typritning för erosionstrappa med höjden  $H \leq 5,0$  m . Av vattentät och frostbeständig betong B300\*  
(Efter DI Sigfried Sauermoser, Wildbach- und Lawinerverbaug, Schwaz, Österrike)



## Sektion A-A

Skala 1:100



\*B300, enligt Österrikisk standard

Längslutningen för den blivande avlagringarna längs ravinbotten uppströms och nedströms erosions-trappan bedöms med ledning av längslutningen för befintliga avlagringar längs ravinbotten på samma plats före byggnationen.

Räddningsverket, 651 80 Karlstad  
Telefon 054-13 50 00, fax 054-13 56 00. Internet <http://www.srv.se>

Beställningsnummer P21-425/03. Fax 054-13 56 05