INGENJÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN
ROYAL SWEDISH ACADEMY OF ENGINEERING SCIENCES

SKREDKOMMISSIONEN
COMMISSION ON SLOPE STABILITY

EROSIONSSKYDD i samband med förstärkningsåtgärder för slänter

ARBETSGRUPPEN FÖR FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER:
Folke Ohlsson Anders Hallingberg
Lars Johansson Marianne Nyberg

Rapport 1:94 **Linköping**

Skredkommissionen

Skredkommissionen - en IVA-kommission (Ingenjörsvetenskapsakademien), för forskning, utveckling och information i jordskredsfrågor - bildades 1988.

Skredkommissionen har till uppgift att under IVA:s hägn initiera och samordna forskning samt sprida information rörande släntstabilitet, jordskred och metoder för förebyggande åtgärder.

Verksamheten finansieras med avgifter från kommissionens medlemmar och forskningsanslag.

Commission on Slope Stability

The Commission on Slope Stability - a committee of the Royal Swedish Academy of Engineering Science (IVA) - was founded in 1988 for the purpose to handle research, development and information on landslide matters.

The main task of the Commission is to initiate and to co-ordinate research on and to give information about slope stability, landslides as well as methods for preventive measures.

The work of the Commission is financed by research grants and fees of the members.

Pdf-fil 2009-04. Tryckfel sidan 52 och 53 är korrigerade.

INGENJÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN
ROYAL SWEDISH ACADEMY OF ENGINEERING SCIENCES

SKREDKOMMISSIONEN
COMMISSION ON SLOPE STABILITY

Rapport 1:94

EROSIONSSKYDD
i samband med förstärkningsåtgärder för slänter

ARBETSGRUPPEN FÖR FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER:
Folke Ohlsson, Anders Hallingberg,
Lars Johansson, Marianne Nyberg

Rapport	IVA Skredkommissionen c/o Statens geotekniska institut 581 93 Linköping
Beställning	Statens geotekniska institut Biblioteket Tel. 013-20 18 04 Fax. 013-20 19 14
ISSN	1101-105X
ISRN	IVA/SKRED/R--94/1--SE
Upplaga	1 000
Redigering	SGI, Avd för Information och Marknad
Tryckeri	Tryck-Center, Linköping, september 1994

Förord

Förstärkningsåtgärder i silt- och lerslänter utförs till övervägande delen genom avschaktning av släntkrön och stödfyllning vid släntfot. Ibland kombineras dessa metoder med kulvertering av förekommande vattendrag. Mycket ofta krävs också något slag av erosionsskydd. I de flesta fall läggs erosionsskyddet som ett komplement till övriga åtgärder, men det händer att det används som enda åtgärd. Det är i de fall slänten är stabil, men där man bedömer att pågående erosion snabbt kan försämra förhållandena.

Denna rapport vänder sig till dem som i praktiskt arbete genomför förstärkningsuppdrag med erosionsskydd. Man skall här på ett enkelt sätt kunna hitta förutsättningar, idéer, principskisser m m. Rapporten har därför utformats med lättillgängliga beskrivningar av de vanligaste åtgärderna, med förutsättningar och kommentarer om det praktiska hanterandet.

Rapporten berör uteslutande erosionsskydd som en del av förstärkningsåtgärder i ler- och siltslänter. Kust- och vinderosion behandlas ej.

Rapporten är inte att se som en lärobok eller handbok i teorierna kring erosion. För den som vill fördjupa sig i ämnet finns litteraturhänvisningar och en bilaga med de grundläggande teoretiska betraktelserna.

Rapporten har utarbetats av IVAs Skredkommission och ingår som en del i det arbete som tilldelats arbetsgruppen för förstärkningsåtgärder. I detta arbete kommer ytterligare rapporter att ges ut, vilka kommer att avse *Förstärkningsåtgärder i silt- och lerslänter, Övervakningssystem för slänter* och *Miljöaspekter i samband med förstärkningsåtgärder*.

Sekreterare i arbetsgruppen har varit Lars Johansson, SGI, som också har sammanställt rapporten.

Linköping i september 1994

Arbetsgruppen för förstärkningsåtgärder:

Folke Ohlsson, ordf, GF Konsult AB
Anders Hallingberg, Banverket
Lars Johansson, sekr, SGI
Marianne Nyberg, Vägverket Region Väst

Innehållsförteckning

FÖRORD

SUMMARY 6

SAMMANFATTNING 7

1. JORDARTERNAS EGENSKAPER UR EROSIONSSYNPUNKT 8
2. ORSAKER TILL EROSION 10
3. EROSIONSSKYDD 13
4. KRAV PÅ EROSIONSSKYDD 15
   - 4.1 Allmänna funktionskrav 15
   - 4.2 Allmänna krav på utformning 16
     - 4.2.1 Utsträckning
     - 4.2.2 Tjocklek
     - 4.2.3 Erforderlig kornstorlek
     - 4.2.4 Lutningar
5. MILJÖASPEKTER 20
6. TILLÄMPLIG LAGSTIFTNING 22
7. EROSIONSSKYDD 25
   - 7.1 Filter 26
   - 7.2 Samkross 28
   - 7.3 Geotextiler 30
   - 7.4 Tredimensionella plastnät 32
   - 7.5 Gabioner 34
   - 7.6 Betongblock 36
   - 7.7 Betongmadrasser 38
8. ÖVRIGA METODER 41
   - 8.1 Grundvattensänkning 41
   - 8.2 Diken 42
   - 8.3 Flödesändring 43
9. VEGETATION 44
10. LITTERATUR 45

Bilagor:

1. Dimensioneringsanvisningar: Erosionsskydd av samkross 49
2. Filterkriterier 55
3. Erosionsprocessen 61

Summary

In order to improve the stability of clay and silt slopes, very often some kind of protection against erosion is used. Several different types of protections are available on the market. It is generally difficult to know which one is the most optimal in each situation. Performance, function, and durability are important aspects that have a direct influence on the total cost of the protection.

In this report, the most commonly used protections against erosion are introduced. Together with a general description, necessary preparatory work is described for each protection. Advantages and disadvantages are also presented. In an introductory chapter, general aspects on the design of protections are described. In appendices, a presentation of different filter criteria, guidelines for the design of protections against erosion composed of crushed rock, as well as a short theoretical background to the process of erosion are given.

This report is not intended to be a complete handbook but rather to serve as a practical guide to those who are designing protections against erosion of slopes. For those readers who wish to penetrate deeper into the subject, a literature reference list is given in the end of the report.

Sammanfattning

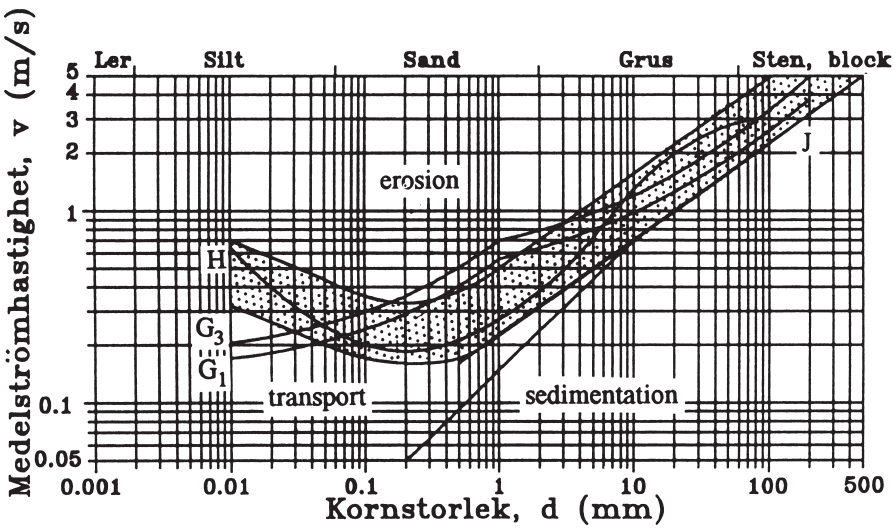
I samband med förstärkningsåtgärder i ler- och siltslänter är det vanligt att någon typ av erosionsskydd används. Det finns många olika typer av erosionsskydd att välja mellan på marknaden. Ofta är det svårt att veta vilket som är det mest optimala. Utförande, funktion och hållbarhet är viktiga faktorer som påverkar totalkostnaden för det färdiga erosionsskyddet.

Denna rapport redovisar de vanligast förekommande erosionsskydden. Användningsområde för respektive skydd anges tillsammans med en allmän beskrivning av nödvändigt förarbete. För- och nackdelar med respektive skydd ges också. I ett inledande avsnitt ges allmänna riktlinjer för utformning av erosionsskydd. I bilagor ges en överblick över olika filterkriterier, dimensioneringsanvisningar för erosionsskydd av samkross (samtaget krossmaterial) samt en kortfattad teoretisk beskrivning av erosionsprocessen.

Rapporten är en handledning för dem som praktiskt utför erosionsskydd, men är inte ämnad att vara en lärobok i ämnet. För de läsare som vill fördjupa sig i ämnet ges en litteraturlista.

1. Jordarternas egenskaper ur erosionssynpunkt

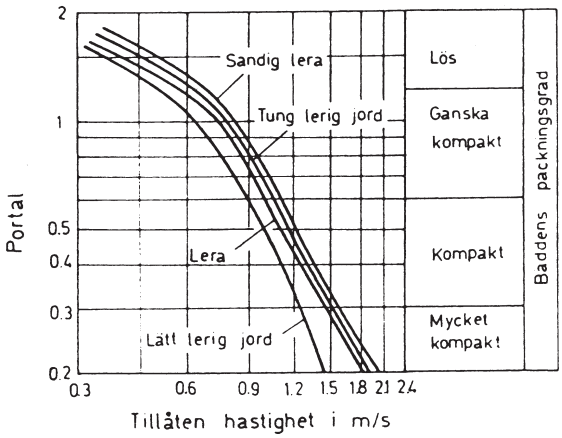
Olika jordarter är mer eller mindre erosionskänsliga. Stor inverkan har korndiametern, d. I laboratorium har gränshastigheter, vid vilka materialkorn börjar transporteras med strömmande vatten över en horisontell yta, bestämts som funktion av korndiametern, Figur 1.1 och 1.2. Gränshastigheterna gäller för optimala förhållanden; laminär vattenströmning över horisontell yta täckt med jämnkornigt (sorterat) material. I naturen tillkommer inverkan av flera svårbestämbara faktorer, såsom kornens lagringssätt, virvelbildningar (ickelaminära strömningsförhållanden), ojämnkornigt (osorterat) material, lutande ytor etc. Gränshastigheterna i Figur 1.1 och 1.2 kan tillämpas approximativt också för ojämnkornigt material, varvid kornstorleken d_{75} (den kornstorlek som på kornfördelningskurvan motsvarar 75 % halt av korn mindre än d) används. Kurva H i Figur 1.1 visar gränshastigheten enligt Hjulström (1935). Kurvorna G visar gränshastigheter enligt ryska undersökningar (US Bureau of Reclamation, 1952) och avspeglar inverkan av vattendjupet i kanaler. G_1 avser 1 m vattendjup och G_2 3 m vattendjup. Enligt Jakobsson (1945) utgör kurva J medelvärden för gränshastigheter gällande ned till en minsta kornstorlek av 0,5 mm.



Figur 1.1 **Samband mellan medelströmhastighet, transport och sedimentation. Gränshastighet för erosion av jämnkornigt (sorterat) material enligt olika undersökningar (Handboken Bygg, Kap 177, 1972).**

Ur Figur 1.1 framgår att de mest lätteroderade partiklarna har en kornstorlek mellan 0,1 och 0,5 mm, vilket motsvarar jordarten fin- till mellansand. Grovkorniga jordarter (grovsand, grus etc) är mindre lätteroderade tack vare kornens tyngd. I finkorniga jordarter (lera, lerig silt) bidrar kohesionen till att reducera erosionskänsligheten.

I Figur 1.2 visas största tillåtna medelströmhastighet vid kohesivt material som funktion av portalet enligt ryska bestämmelser.



Figur 1.2. Största tillåtna medelströmhastighet vid kohesivt material som funktion av portalet enligt ryska bestämmelser (Efter Chow, 1959).

2. Orsaker till erosion

Erosion i jord förorsakas av rinnande vatten, vågor, is och vind. I denna rapport behandlas inte vinderosion. Två huvudsakliga erosionsprocesser finns:

– Yterosion

– Grundvattenerosion.

De viktigaste orsakerna till att ***yterosion*** uppstår är:

- *Morfologiska processer*. Vattendrag är alltid morfologiska (formgivande). Vattendragets form och flöde anpassas till varandra genom naturliga geologiska processer, som ofta pågår under en mycket lång tid. Dessa processer innefattar bl a erosion.

- *Förändringar av flödesförhållandena*. Naturliga förändringar av flödesförhållandena förekommer t ex i älvkrökar. Icke-naturliga förändringar förorsakas av olika typer av ingrepp (förändring av geometri, avbördning etc).

- *Påverkan av is*. På våren då istäcket spricker upp, kommer isflak att transporteras med vattnet och släpas längs med vattendragets bankar. Fastfrusna stenar och jord följer också med vid islossningen.

- *Frysning-upptining* och *uttorkning-genomfuktning* leder till en uppluckring av jorden närmast ytan. Jorden blir då mer erosionskänslig.

- *Vattenöverskott*. Jordflytning på grund av vattenöverskott uppkommer i slänter med framförallt siltjordar. Vattenöverskott kan bl a uppstå vid riklig nederbörd och vid tjällossning.

- *Förändringar i användningen av omgivande mark* som t ex borttagande av vegetationstäcken gör jorden mer erosionskänslig. Om tillgänglig yta för regnvatteninfiltration minskas (t ex genom asfaltering) ökar ytavrinningen. Om ytvattnet avbördas över bankkrön kan påfrestningen på vattendragets bankar ur erosionssynpunkt öka.

- *Påverkan av vågor*. I vattendrag är framförallt vågor förorsakade av båttrafik farliga ur erosionssynpunkt. Undervattensströmmar förorsakade av propellrarna utgör ofta ett erosionsproblem i bankarnas nedre del samt längs botten i grunda

vattendrag. Branta undervattensslänter, ibland svåra att upptäcka, kan bildas.

Grundvattenerosion uppstår primärt vid följande förhållanden:

- I språnggraderade material, där mellanfraktionerna saknas. Dessa material uppfyller inte filterkriterierna (se Bilaga 2) mot sig själva, varför finpartiklarna kan tvättas ur.

- I gränsskiktet mellan material som inte uppfyller filterkriterierna mot varandra.

- Vid öppningar i jord, t ex i sprickor och kaviteter.

- Vid kontakt mellan ett sprickigt berg och jord som innehåller finpartiklar som är mindre än sprickvidden.

- Vid höga vattentryck, vilket kan leda till hydraulisk uppspräckning.

Geologiska förutsättningar för att inre erosion skall uppstå finns vanligen i sedimentärt bildade jordar. Dessa innehåller ofta lager med bättre vattengenomsläpplighet än omgivande jordlager.

Generellt gäller därutöver att porvattentryckets gradient i någon punkt måste vara förhållandevis hög, samtidigt som jordartens permeabilitet måste vara tillräckligt hög för att vatten ska strömma genom jorden. Grundvattenerosion förekommer således främst i silt och sand.

Grundvatten som är i rörelse kan föra med sig jordkorn från ett ställe till ett annat i marken eller, om grundvattenströmmen når markytan (vattendrags botten) helt föra bort dem.

Då grundvattenströmmen når markytan, syns erosionsangrepp ofta vid släntfot. Precis vid gränsen mellan den jordart grundvattnet strömmar igenom och vattendraget (markytan) kan stora skillnader i porvattentryckets gradient byggas upp, speciellt i siltjordar. Om inga åtgärder vidtas, kommer material successivt att transporteras ut till markytan (vattendragets botten). I jordlagret bildas då tunnlar. Så småningom rasar tunnlarna in, vilket kan leda till stabilitetsproblem.

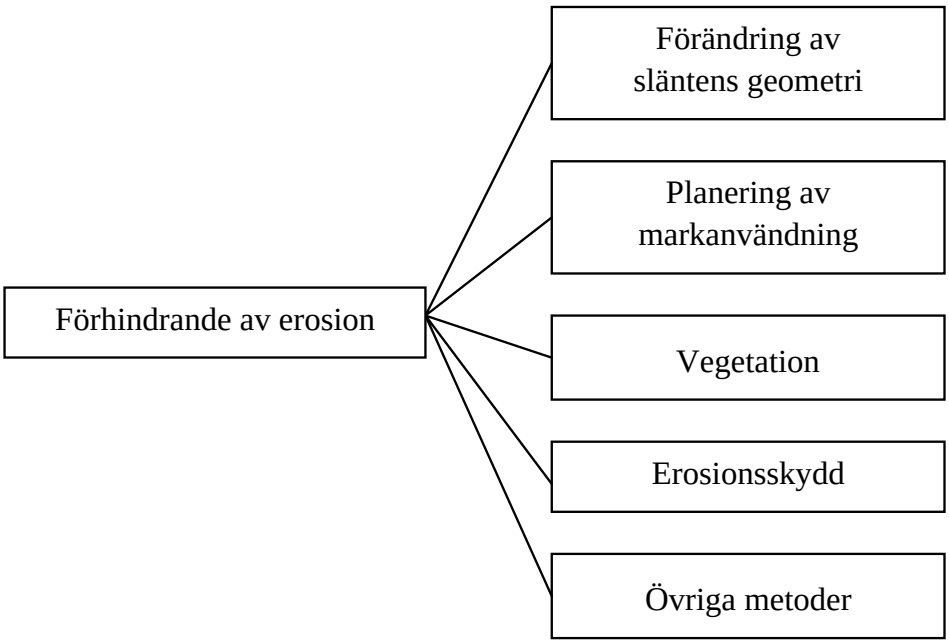
Om grundvattenströmmen inte når markytan, kan det vara svårt att upptäcka inre erosionsangrepp.

Grundvattenerosion kan också uppstå i kontakten mellan finkornigare och grovkornigare jordlager. När det grovkornigare jordlagret för tillräckligt med vatten för att

kornen i det finkornigare jordlagret skall dras med i strömmen, och när dessa korn är tillräckligt små för att passera genom den grövre jordartens porer (filterkriterierna ej uppfyllda), sker en inre materialtransport. En okontrollerad inre materialtransport kan leda till stabilitetsproblem.

3. Erosionsskydd

Det finns många metoder för att förhindra erosion av slänter. Dessa kan grovt delas in i fem huvudgrupper:



Figur 3.1 Metoder för att förhindra erosion av slänter.

Det förmodligen enklaste sättet att förhindra erosion är om möjligt att *ändra släntens geometri*. En flack slänt är mindre erosionskänslig än en brant slänt.

Markanvändningen kan planeras med tanke på jordens erosionskänslighet. Förändringar av markanvändningen, t ex genom asfaltering, kan förändra förhållandet mellan mängden vatten som infiltrerar jorden respektive rinner av som ytvatten. Ytvatten som avbördas över ett bankkrön kan utsätta banken för erosionsangrepp.

Med *vegetation* avses plantering av gräs och växter längs vattendrag. Förutom att växternas rötter ”armerar” och på så vis förstärker bankarna, kan växterna också bidra till att minska flödeshastigheten närmast banken. Dessutom leder vegetation till att vatteninnehållet i jorden minskar, vilket är positivt ur stabilitetssynpunkt.

Erosionsskydd omfattar olika typer av beklädnad (filter, betongplattor etc) som läggs ut för att skydda bank- och bottenmaterialet mot erosion. Det är inte ovanligt att kombinationer av t ex erosionsskydd och vegetation används.

Till *övriga metoder* räknas t ex sänkning av grundvattenytan (sänker porvattentryckets gradient) för att motverka grundvattenerosion, anläggande av diken vid släntkrön (överdiken) för att undvika att ytvatten avbördas över bankkrön och olika typer av styrelement (barriärer) för att förändra flödesförhållandena.

I denna rapport beskrivs framförallt erosionsskydd (avsnitt 7), övriga metoder (avsnitt 8) och vegetation (avsnitt 9).

4. Krav på erosionsskydd

4.1 ALLMÄNNA FUNKTIONSKRAV

Följande allmänna funktionskrav kan ställas för erosionsskydd:

- *Erosionsskyddet skall ha tillräckligt hög hållfasthet.* Skyddet skall kunna ta upp dimensionerande laster samt eventuella exceptionella laster som påförs under konstruktionstiden.

- *Erosionsskyddet skall vara vattengenomsläppligt (ha tillräckligt hög permeabilitet)* Grundvatten måste kunna dräneras genom erosionsskyddet så att höga tryck inte byggs upp under skyddet. Vattenfall (1988) ger tumregeln att skyddet (eller filterlager närmast under detsamma) skall ha en permeabilitet som är minst 10 gånger större än det jordmaterial som skall skyddas.

- *Erosionsskyddet skall hindra finare partiklar att sköljas ur från underliggande jordlager*.

- *Erosionsskyddet ska ha en godtagbar vikt*. Erosionsskyddets vikt har framförallt betydelse då jorden som skall skyddas har låg hållfasthet liksom i områden med organisk jord. Belastning med tunga erosionsskydd kan leda till omfattande sättningar liksom brott i vattendragets bankar. Vid otillfredsställande stabilitetsförhållanden kan emellertid tunga erosionsskydd ge en positiv effekt. I starkt strömmande vattendrag kan det vara nödvändigt att använda relativt tunga erosionsskydd för att möjliggöra utläggningen.

- *Erosionsskyddet skall vara tillräckligt flexibelt* för att kunna forma sig efter underliggande jord, dels vid en initiell ojämnhet och dels i samband med sättningar och rörelser hos jorden.

- *Erosionsskyddet ska ge önskvärda flödesförhållanden efter installationen.* En förändring av de hydrauliska egenskaperna längs vattendragets bankar och botten påverkar flödesförhållandena. Effekterna är mer uttalade ju mindre vattendraget är. Övergången mellan naturligt bank- respektive bottenmaterial och erosionsskydd skall utföras så jämnt som möjligt för att undvika att strömningsförhållandena ändras lokalt.

- *Erosionsskyddet skall ha ett acceptabelt utseende*. Ur estetisk synpunkt skall

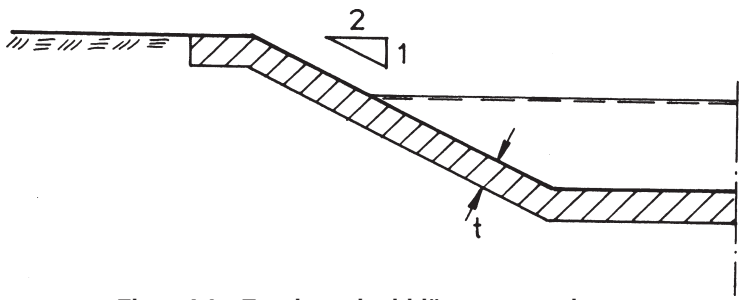
erosionsskyddet vara så väl anpassat som möjligt till omgivningen. I förekommande fall är det viktigt att återskapandet av ett vegetationstäcke underlättas.

- *Erosionsskyddet skall inte menligt inverka på miljön.* Miljöaspekter behandlas i avsnitt 5.

4.2 ALLMÄNNA KRAV PÅ UTFORMNING

Den exakta utformningen av erosionsskydd bestäms från fall till fall efter lokala bedömningar. I detta avsnitt ges ett antal allmänna krav på utformning av erosionsskydd.

Figur 4.1 visar schematiskt ett erosionsskydd längs ett vattendrag.



Figur 4.1. Erosionsskydd längs vattendrag.

4.2.1 Utsträckning

Det är svårt att ge allmängiltiga anvisningar för erosionsskydds utsträckning. Många lokala faktorer blir avgörande och en ingående analys och bedömning måste göras i varje enskilt fall. I det följande ges några generella riktlinjer. Dessa skall inte uppfattas som allmängiltiga, utan endast tjäna som vägledning.

Vid *släntkrön* avgörs erosionsskyddets utsträckning av dels bedömda vattennivåer och dels eventuell inverkan av vågor.

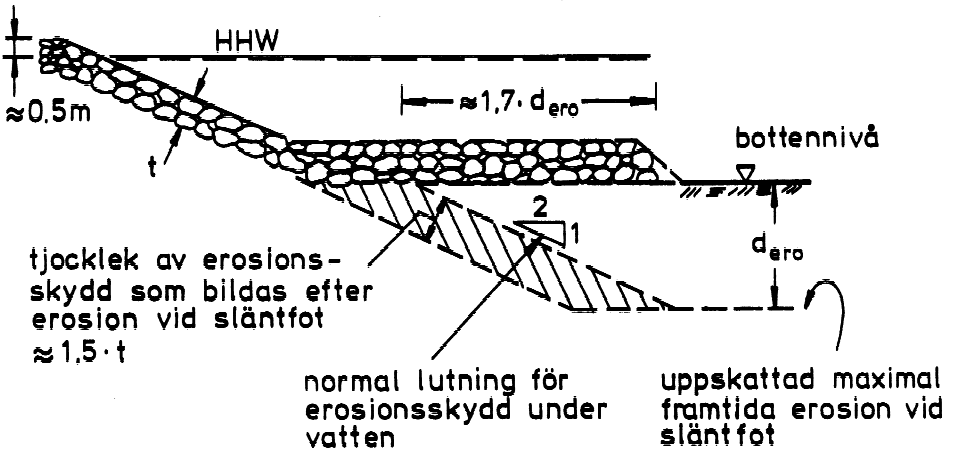
Om inverkan av vågor bedöms som liten dras erosionsskyddet i normala fall ut till cirka 0,5 m över högsta högvattenytan (HHW). I områden där stora krav på utseendet ställs, har ibland erosionsskydd avslutats en bit ovanför medelvattenytan (MW). Befintlig vegetation ovanför MW har bevarats för att klara högvattenflödena. För att kunna avsluta erosionsskydd lägre än 0,5 m över HHW krävs en särskild utredning som visar att detta är möjligt. Det kan i så fall bli nödvändigt att anordna

ett lämpligt vegetationstäcke från MW till 0,5 m över HHW. Erfarenheterna av denna typ av lösningar är emellertid mycket begränsade i Sverige.

Vid inverkan av vågor skall erosionsskyddets utsträckning vara minst 0,5 m högre än till den nivå den största vågen når, om inte särskild utredning visar annat. Exempel på dimensionering av erosionsskydd för vågor ges bl a av Vägverket (1987) och Vattenfall (1988).

Erosionsskyddets utsträckning vid *släntfot* och längs vattendragets *botten* vid *yterosion* bestäms av uppskattningar av framtida erosionsangrepp vid släntfot. Framtida erosionsdjup bedöms med ledning av bottenmaterialet samt de flödesförhållanden som kommer att råda efter det att skyddet har lagts ut. Som allmän riktlinje (Hemphill och Bramley, 1989) kan ges att erosionsskyddet dras ut en sträcka motsvarande $1{,}7 \cdot d_{ero}$ längs botten, där d_{ero} är det uppskattade framtida erosionsdjupet. Om ingenting annat är känt, kan erosionsskyddet dimensioneras för $d_{ero} \geq 1{,}0$ m. Tillräckligt mycket material skall läggas ut på vattendragets botten för att säkerställa en tjocklek av minst $1{,}5 \cdot t$ hos det erosionsskydd som utbildas efter erosion vid släntfot. t är erosionsskyddets tjocklek längs banken. Riktlinjerna visas i Figur 4.2. Alternativt kan bottenmaterial grävas ut och erosionsskyddet förlängas ned till uppskattat framtida erosionsdjup eller till dess att mindre erosionskänsligt material påträffas.

Vid *grundvattenerosion* bestäms först om vattenflödet är koncentrerat till skikt, eventuellt med höga porvattentryck. Om vattenflödet inte är koncentrerat till skikt görs en uppskattning av grundvattenytans högsta läge och den lägsta vattennivån i vattendraget. Som tumregel kan ges att erosionsskyddet skall dras ut åtminstone cirka 1,0 m över grundvattenytans högsta nivå, och åtminstone 1,0 m under lägsta lågvattenytan (LLW). Erosionsskyddet avslutas dock vid släntfot, om inte en uppskattning av framtida erosionsangrepp vid släntfot motiverar en utdragning av skyddet längs botten enligt ovan. Om slänten innehåller vattenförande skikt, eventuellt med porvattenövertryck, måste läget för var skikten mynnar ut, antingen i slänten eller längs botten, fastslås. Som tumregel kan anges att erosionsskyddet skall dras ut åtminstone 1,0 m på vardera sida om skiktets mynning.



Figur 4.2. Riktlinjer för erosionsskydds utsträckning.

4.2.2 Tjocklek

Erosionsskyddets tjocklek bestäms till uteslutande del av dimensionerande strömhastighet i vattendraget. Ju högre strömhastighet, desto större kornstorlek erfordras hos erosionsskydd av stenmaterial (se Figur 1.1), vilket leder till totalt tjockare skydd. Används någon annan typ av beklädnad (betongplattor, betongmadrasser etc) istället för naturliga stenmaterial som erosionsskydd, väljs den storlek som motsvarar den aktuella strömhastigheten. Ju högre strömhastighet, desto tyngre, dvs tjockare, måste elementen som bygger upp erosionsskyddet vara. Används stenmaterial i erosionsskyddet bestäms erosionsskyddets totala tjocklek, t_{tot}, av (Handboken Bygg, 1984)

$$t_{tot} = 3,0 \cdot D_{50}^{\text{övre skikt}} \qquad (4\text{-}1)$$

där $D_{50}^{\text{övre skikt}}$ motsvarar kornstorleken hos material som utgör 50 % av kornfördelningen (även kallad medelkornstorlek) i erosionsskyddets övre skikt. Det övre skiktet skall ha en tjocklek, t, av minst

$$t = 1,5 \cdot D_{max}^{\text{övre skikt}} \qquad (4\text{-}2)$$

där $D_{max}^{\text{övre skikt}}$ motsvarar maximal kornstorlek i det övre skiktet.

Om erosionsskyddet byggs upp av flera skikt skall varje enskilt skikt under vatten ges en minsta tjocklek enligt Tabell 4.1.

Tabell 4.1. Minimitjocklekar på ingående skikt i filter (Handboken Bygg, 1984).

Material	Kornstorlek	Minsta tjocklek
Sand	0,2 - 2 mm	0,10 m
Grus	2 - 20 mm	0,15 m
Grus och sten	30 - 100 mm	0,35 m
Sten	200 - 300 mm	0,40 m

Över vatten kan skikttjocklekarna minskas i enlighet med figur på sidan 26. Om erosionsskyddet byggs upp av samkrossmaterial bestäms skyddets totala tjocklek, t_{tot}, av det största av ekvationerna (4-1) och (4-2), dock minst $t_{tot} = 0,5$ m. Den största skillnaden i stenstorlek i ett skikt får vara 300 mm. Erfordras en större maximal stenstorlek, måste skyddet byggas upp i flera skikt. Den totala tjockleken, t_{tot}, liksom alla delskikts tjocklek utom det sista, bestäms i sådana fall som det största av ekvationerna (4-1) och (4-2). Det sista delskiktets tjocklek bestäms sedan som skillnaden mellan den erforderliga totala tjockleken och de övriga ingående delskiktens sammanlagda tjocklek.

4.2.3 Erforderlig kornstorlek

Erforderlig kornstorlek definieras som ett minsta värde på D_{50}, som bestäms av (Vägverket, 1987)

$$D_{50} = 0,02 \cdot v_{dim}^2 \qquad (4\text{-}3)$$

där D_{50} = kornstorleken vid en passerande viktmängd av 50 %.

v_{dim} = dimensionerande strömhastighet i m/s (1,5 gånger medelhastigheten).

Detta uttryck förutsätter en korndensitet av $\rho_s = 2,65$ t/m^3 (en god approximation för de vanligast förekommande jordarna) och vattenströmning över horisontell yta. Ett mer generellt uttryck, som tar hänsyn till skillnader i kornens kompaktdensitet och vattenströmning över lutande ytor ges i Bilaga 1, ekvation (B1-3).

4.2.4 Lutningar

Generellt för erosionsskydd gäller att största godtagbara lutning under vatten är 1:2. Vissa typer av erosionsskydd (t ex betongplattor, betongmadrasser etc) kan förankras, varvid maximal lutning kan ökas. Med hjälp av gabioner kan i princip helt vertikala erosionsskydd byggas upp.

5. Miljöaspekter

Anläggande av erosionsskydd kan i känsliga och värdefulla naturområden komma i stark konflikt med olika miljöintressen, t ex fiske, värden för flora- och faunavård. Det är därför viktigt att hänsynen till olika miljöaspekter kommer in så tidigt som möjligt i planerings- och projekteringsarbetet, i vissa fall till och med så tidigt att dessa blir vägledande för den tekniska utformningen.

Miljöer i å- och bäckraviner kan generellt sett sägas vara känsliga för ingrepp. Mötet mellan land och vatten är en intressant miljö som många växter och djur är anpassade till, eller beroende av på olika sätt. I naturlandskapet har de fungerat som brandrefuger, dvs branden har inte nått hit tack vare de fuktiga förhållandena. Miljöerna har därför lämpat sig för arter som kräver stabila, fuktiga och relativt opåverkade förhållanden.

Å- och bäckraviner har också viktiga funktioner som vandringsområden och spridningskorridorer för olika växt- och djurarter. Laxfiskarna brukar föras fram som det mest slående exemplet på detta. Lax och havsöring utnyttjar vattendragen som lek- och uppväxtområde och vandrar sedan ut för ett vuxet liv till havs, för att sedan återvända till samma vattendrag för att leka. Det är viktigt att vattendragets funktion som vandringsområde inte störs och att lek- och uppväxtområdena kan bevaras.

Många fåglar är knutna till vattenmiljöer och kan beröras av strandskoningsåtgärder. Kungsfiskaren är beroende av strandbrinkar där den bygger sitt bo. Här kan strandskoning vara ett direkt överlevnadshot. I strömmande vattenmiljöer återfinns strömstare och forsärla, vilka brukar vara goda indikatorer på att området har höga naturvärden. Bland däggdjuren är det vanligt att söka sig till strandområden efter vatten eller för att jaga. Mer specialiserade till vattendragen är bävern, som idag sprider sig alltmer, och uttern som betraktas som hotad. Hänsyn till den högre faunan kan också vara aktuell.

Det gäller alltså att tidigt ta fram kunskapsunderlag som belyser naturvärdena i området och att ta kontakt med myndigheter, enskilda eller organisationer som har lokal kännedom.

Den kunskapen finns hos *länsstyrelsens miljövårds- och fiskeenheter, fiskeriverket, kommunens miljö- och hälsoskyddsförvaltning,* eventuella *kommunbiologer* och hos *sportfiskarnas* och den *ideella naturvårdens lokalorganisationer*.

Ofta behöver den information man kan få från tidigare inventeringar och kontakter kompletteras med en fältinventering där värdefulla trädbestånd, lokaler för hotade djur- och växtarter samt uppgifter om lek- och uppväxtområden för havsvandrande fisk tas fram.

Från miljösynpunkt är det viktigt att miljön kring det vattendrag där erosionsskydd lagts ut återanpassas så fort som möjligt. Ofta handlar det om att återskapa ett naturligt vegetationstäcke. Det är även önskvärt att i så stor utsträckning som möjligt kunna bevara befintlig vegetation då erosionsskyddet anläggs. Olika typer av erosionsskydd möjliggör detta i olika stor utsträckning. Detta anges i avsnitt 7, där olika typer av erosionsskydd beskrivs. Det kan också vara åtgärder för att vattendrag skall kunna utnyttjas som tidigare även efter det att erosionsskydd lagts ut (t ex med avseende på fiske, båttrafik och bad).

Här följer några exempel på skadeförebyggande åtgärder att ta hänsyn till i samband med anläggande av erosionsskydd:

- Så mycket som möjligt av den naturliga vegetationen i området bör sparas. Det kan t ex innebära att sådana fordon används vid utförandet att träd inte behöver avverkas i onödan. Ofta kan erosionsskyddet kombineras med att en del befintliga träd i strandkanten bevaras.

- Områdets vegetation återskapas så lång möjligt. De naturliga förutsättningarna och markanvändningshistoriken bör vara vägledande. Vid vattendrag med fiskeribiologiska värden är det värdefullt att skapa en zon med trädvegetation.

- Natursten kan utnyttjas för erosionsskyddets ytligare delar. Förutom estetiska värden har det betydelse för vandrande fisk som lax och öring, i den mån dessa finns i vattendraget.

- I den mån bottnarna i lax- eller öringförande vattendrag skadas kompenseras detta genom att nya lekbottnar skapas. Natursten i olika fraktioner utnyttjas. Större stenar med funktion att skapa ståndsplatser och strömbildning för fisk kan också placeras ut.

6. Tillämplig lagstiftning

Vid projektering och etablering av erosionsskydd måste utföraren av åtgärderna beakta olika lagar före och i samband med genomförandet. Prövning enligt miljölagstiftningen kan t ex modifiera de tekniska åtgärder man tänkt sig, varför det är klokt att tidigt bedöma vilka juridiska aspekter utförandet av erosionsskydd kan komma att få.

Beskrivningen i detta avsnitt behandlar främst juridiska aspekter av olika miljöintressen. Även andra juridiska aspekter behöver naturligtvis också beaktas. Ras- och skredfrågor i plan- och byggprocessen har beskrivits av Skredkommissionen i en rapport daterad februari 1990. Ansvars- och ersättningsfrågorna har också belysts i Rapport 1:90 från kommissionen samma år. En uppdatering av detta material kommer under hösten 1994.

De lagar som ur miljösynpunkt är intressanta i samband med erosionsskydd är:

- Naturresurslagen (SFS 1987:12)
- Plan- och bygglagen (SFS 1987:10)
- Vattenlagen (SFS 1983:291)
- Naturvårdslagen (SFS 1964:822)
- Kulturminneslagen (SFS 1988:950)

Naturresurslagen (NRL) är en s k paraplylag och innehåller allmänna och särskilda hushållningsbestämmelser. Dessa kan ha stor betydelse för miljö- och planmyndigheternas prövning enligt olika NRL-underställda lagar. Detta gäller lagar under NRL-paraplyet som plan- och bygglagen, vattenlagen och naturvårdslagen (se nedan).

Av särskilt intresse är att framhålla de *riksintressen* i form av olika företeelser och värden som anges i NRL. Dessa berör t ex yrkesfisket, kulturminnesvården, naturvården och friluftslivet, för vilka det finns specifikt angivna geografiskt lokaliserade riksintressen. Vattendomstolen tillämpar NRL i sina avgöranden med beaktande av länsstyrelsens yttrande om t ex ett riksintresse påverkas av ett vattenföretag. Områden av riksintresse skall skyddas mot åtgärder som påtagligt kan skada natur- och kulturmiljön eller yrkesfisket.

Även begreppet ekologiskt känsliga områden anges i NRL:s hushållningsbestämmelser (NRL 2:3). Här sägs att dessa så långt som möjligt skall skyddas mot åtgärder som kan skada naturmiljön.

Plan- och Bygglagen (PBL) reglerar markanvändning, planering och byggande. Om utläggande av erosionsskydd berör ett *detaljplanelagt* område kan det finnas planbestämmelser som reglerar vad som får göras på marken. Det finns också möjligheter att genom planbestämmelser säkerställa hur erosionsskydd skall utföras, höjdsättning, material m m. *Marklov* kan erfordras för de olika åtgärderna. Bestämmelser om trädfällningsförbud kan finnas. En kontroll hos kommunen beträffande aktuell plansituation skall alltid göras, så att fullständig kunskap om att vattenföretaget inte strider mot gällande detaljplan erhålls. PBL:s andra planinstitut, översiktsplan, kan också få betydelse i detta sammanhang. Genom denna kan riksintresse säkerställas och olika intressekonflikter klarläggas. Kommunala prioriteringar skall framgå.

Vattenlagen (VL) och naturvårdslagen är de ur miljösynpunkt mest centrala lagarna för byggande i vatten. Vid anläggande av erosionsskydd kan vi i allmänhet utgå från att tillstånd enligt vattenlagen, *vattendom*, krävs. Ofta är etableringen av erosionsskydd en av flera åtgärder, som sker i samband med annat byggande i vatten, vilket också fordrar tillstånd enligt vattenlagen. Ansökan görs hos Vattendomstolen. Endast om det är uppenbart att varken allmänna eller enskilda intressen skadas genom företagets inverkan på vattenförhållandena, erfordras ej tillstånd enligt vattenlagen. Det ankommer på utföraren att göra denna bedömning. För den som utför en åtgärd är det alltid säkrast att ha ett tillstånd att falla tillbaka på om fråga avseende försummelser och skadestånd skulle väckas av myndigheter eller enskilda sakägare.

Miljöer vid sjöar och vattendrag är betydelsefulla ur naturvårds- och fiskesynpunkt. Länsstyrelsens miljövårdsenhet liksom fiskeriverket och fiskesakkunniga på länsstyrelsen har därför en nyckelroll i sådana ärenden. Även betydande sportfiskeintressen kan vara knutna till dessa områden.

Till en vattendomsansökan skall numera även en miljökonsekvensbeskrivning (MKB) fogas (VL 13 kap19 §). Där beskrivs de värden som finns i området, konsekvenserna av ingreppen i miljön liksom förslag till skadeförebyggande åtgärder.

Det finns ännu inga detaljerade bestämmelser för vad som skall ingå i en MKB, utan det får bedömas från fall till fall och efter rådande omständigheter vad den ska innehålla. Vattendomstolen liksom länsstyrelsen och andra myndigheter har dock, i egenskap av beslutande eller yttrande instanser, möjlighet att ange om de anser att MKB:n uppfyller de krav som kan ställas.

Naturvårdslagen (NVL) är tillämplig då större eller mindre ingrepp (arbetsföretag) ska göras i naturmiljön. Om själva vattenmiljön påverkas i så liten omfattning att

ansökan om vattendom av utföraren inte anses nödvändig, kan det istället bli aktuellt med samråd enligt 20 § naturvårdslagen. Förutsättningen är dock att värdefulla naturmiljöer inte berörs. Även här kan ställas krav på att en MKB upprättas. Enligt naturvårdsförordningen ska en MKB göras ”i den utsträckning som behövs i det enskilda fallet”. Eftersom anmälan om samråd görs till länsstyrelsen, är det också denna som får bedöma om en MKB behövs.

I ***lagen om kulturminnen m m*** anges bl a att såväl enskilda som myndigheter ska visa hänsyn och aktsamhet mot kulturmiljön. Uppförande av erosionsskydd kan komma att påverka olika äldre lämningar utefter strandlinjen. Enligt fornminneslagen är fasta fornminnen och fornfynd skyddade. Det är således förbjudet att utan tillstånd rubba, ta bort, gräva ut, täcka över eller genom bebyggelse, plantering eller på annat sätt ändra eller skada en fast fornlämning. Inför ett arbetsföretag bör man därför alltid i god tid förvissa sig om det finns fornlämningar i området. Vill man ändra eller ta bort en fast fornlämning ansöks om tillstånd hos länsstyrelsen.

Förändringar i den miljölagstiftning som beskrivits ovan kan förväntas från och med 1995 i och med förslag i den ***miljöbalk*** som regeringen avser lägga under 1994.

7. Erosionsskydd

I detta avsnitt beskrivs de vanligast förekommande typerna av erosionsskydd. För varje typ av erosionsskydd redovisas lämpligt användningsområde, nödvändigt förarbete innan utläggning, förfarande vid utläggning, för- och nackdelar, samt i förekommande fall dimensioneringsanvisningar samt hänvisning till annan litteratur.

De erosionsskydd som beskrivs är:

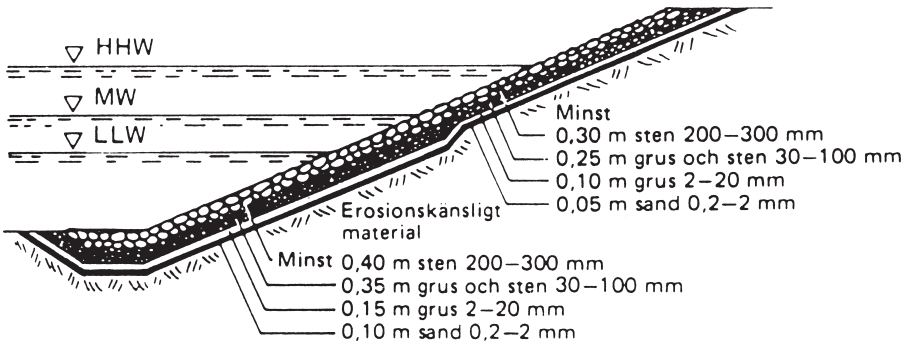
- *Filter*
- *Samkross*
- *Geotextiler*
- *Tredimensionella plastnät*
- *Gabioner*
- *Betongblock*
- *Betongmadrasser*

I beskrivningarna benämns jordmaterialet som skall skyddas mot erosion *basmaterial*.

7.1 FILTER

Användning: Skydd mot strand-, bank- och bottenerosion
Skydd mot grundvattenerosion

Strömhastigheter: Låga till medelhöga (< 3 m/s)



Principuppbyggnad av filter som erosionsskydd (Handboken Bygg, 1984).

Beskrivning:

- Erosionsskyddet byggs upp i olika skikt med friktionsjord. De finare skikten kan ersättas med fiberduk, jfr avsnitt 7.3 Geotextiler.
- Antalet erforderliga skikt beror på *strömhastigheten* och *basmaterialets kornstorleksfördelning*.
- Vid *bank- och bottenerosion* ges de olika skikten successivt ökande kornstorlek. Vid *grundvattenerosion* placeras skikten så att vattenströmmen först möter de finaste kornen.
- De olika skiktens kornstorleksfördelningar bestäms med utgångspunkt från filterkriterier. Olika filterkriterier beskrivs i Bilaga 2.
- Skikttjocklekar framgår av avsnitt 4.2.2.

Förarbete:

- Inget speciellt förarbete krävs.
- Branta slänter måste flackas ut innan erosionsskyddet läggs ut. Vid endast måttligt brantare lutning än maximalt tillåten kan massorna i erosionsskyddet användas för att justera lutningen.

Utläggning:

- Material får inte tippas i vatten, eftersom risk för separation av grövre och f i - nare fraktioner då föreligger.
- Konventionella grävmaskiner kan användas vid vattendjup upp till cirka 4 m. Vid större djup kan gripskopa, självtömmande baskar etc. användas. Skall stora områden täckas kan självtömmande pråmar utnyttjas. För de finare fraktionerna kan rör användas vid utläggningen.
- I allmänhet används lättarbetade massor. Tjockleken skall kontrolleras regelbundet. Vid större vattendjup dirigeras utläggningen av dykare.
- Vid utläggning i strömmande vatten kan avskärmning av vattenströmmen bli nödvändig.
- Flera material med olika kornstorleksfördelningar används. Materialen måste kunna hållas åtskilda på arbetsplatsen.

Erfarenheter:

- Det är svårt att lägga ut tunna materialskikt med hjälp av maskiner.
- Det finns några exempel där filter har misslyckats, i samtliga fall beroende på att uppbyggnaden (t ex skikttjocklekar) inte varit korrekt.
- Underhållsåtgärderna bedöms som mindre omfattande. Ofta kan nytt stenmaterial fyllas på i de fall håligheter har uppstått.

Miljöaspekter:

- Materialet i filter utgör en bra grogrund för vegetation. Befintliga träd, buskar etc. kan oftast bevaras vid utläggningen av erosionsskyddet.

Dimensionering, litteratur:

- Handboken bygg, kapitel G22 (1984).
- Vägverkets handbok 1987:18 *Erosionsskydd i vatten vid väg- och brobyggnad.*
- Vattenfalls publikation *Jord- och stenfyllningsdammar* (1988).

7.2 SAMKROSS

Användning: Skydd mot strand-, bank- och bottenerosion
Skydd mot grundvattenerosion
Strömhastigheter: Låga till medelhöga (< 3 m/s)

Beskrivning:

- Samkross är ett samtaget krossmaterial. Erosionsskydd byggs upp i skikt med en största skillnad i kornstorlek av 300 mm. Ofta erfordras enbart ett skikt.
- Erosionsskydd av samkross bygger på principen att en naturlig stenpäls bildas i friktionsmaterial under inverkan av strömmande vatten.
- Största stenstorleken bestäms av *strömhastigheten*.

Förarbete:

- Inget speciellt förarbete krävs.
- Branta slänter måste flackas ut innan erosionsskyddet läggs ut. Vid endast måttligt brantare lutning än maximalt tillåten kan massorna i erosionsskyddet användas för att justera lutningen.

Utläggning:

- Massorna måste kontrolleras så att separation av grövre och finare fraktioner inte har uppstått under transporten.
- Material får inte tippas i vatten, eftersom risk för separation av grövre och finare fraktioner då föreligger.
- Konventionella grävmaskiner kan användas vid vattendjup upp till 4 m. Vid större djup kan gripskopa, självtömmande baskar etc. användas. Skall stora områden täckas kan självtömmande pråmar utnyttjas. Utläggning kan även ske genom rör.
- Tjockleken skall kontrolleras regelbundet. Vid större vattendjup dirigeras utläggningen av dykare.
- Vid utläggning i strömmande vatten kan avskärmning av vattenströmmen bli nödvändig.

Erfarenheter:

- Det finns inga kända exempel där erosionsskydd av samkross har misslyckats. Underhållskostnaderna bedöms som mycket små. I stort sett kan nytt samtaget material fyllas på vid behov.
- Samkross är relativt lätt att lägga ut maskinellt.

Miljöaspekter:

- Samkross utgör en bra grogrund för vegetation. Befintliga träd och buskar etc. kan oftast bevaras vid utläggningen av erosionsskyddet.

Exempel på erosionsskydd med samkross (Kåhög).

Exempel på erosionsskydd från Marks kommun.

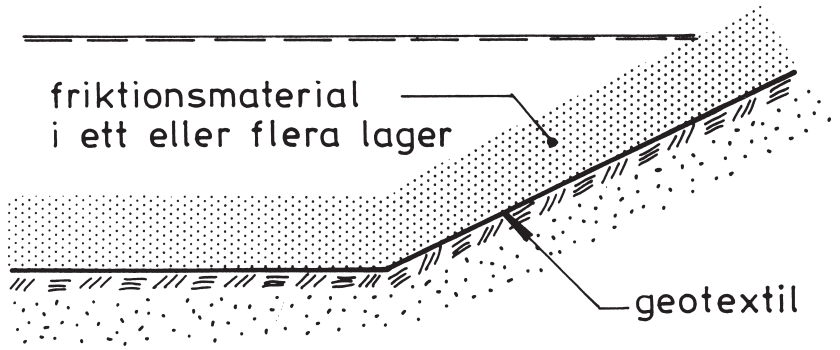
Dimensionering, litteratur:

- Vägverkets handbok 1987:18 *Erosionsskydd i vatten vid väg- och brobyggnad.*
- Förslag till dimensioneringsanvisningar ges i Bilaga 2.

7.3 GEOTEXTILER

Användning: Skydd mot strand-, bank- och bottenerosion
Skydd mot grundvattenerosion

Strömhastigheter: Låga till medelhöga (< 3 m/s)



Principuppbyggnad av erosionsskydd med geotextiler.

Beskrivning:

- Geotextiler används oftast som ersättning för de finkornigaste fraktionerna i filter. Geotextil kan även användas separat som temporärt strand- och bankskydd.
- Det finns många olika typer av geotextilduk på marknaden. Dukarna är vävda, pressade eller nålade och tillverkade av olika plastmaterial.
- Egenskaperna hos geotextilen beror dels på använt plastmaterial, dels på tillverkningsmetod (vävd, icke vävd (nålfiltad, termostabiliserad etc.), blandningsförhållanden av olika plastsorter, tillsatser (t ex kol för stabilisering mot ultraviolett strålning) etc.)
- Geotextil har låg vikt, och är därför speciellt lämplig där restriktioner i tillåten lastökning finns.

Förarbete:

- Innan geotextilen läggs ut måste underlaget jämnas av. Träd, buskar och övrig vegetation måste röjas.
- Geotextilen måste alltid förankras, även vid flackare sluttningar än 1:2.

Utläggning:

- Textilen rullas ut och förankras med t ex bockade armeringsjärn som trycks ned i jorden. Ytterligare sätt att förankra textilduken är genom att fästa kanten i en slits som fylls med sand/grus. I starkt strömmande vatten kan förankringen vara besvärlig. Ofta måste dykare användas. Eventuellt kan det vara nödvändigt att skärma av vattenströmmen också vid måttliga strömhastigheter.

- Geotextilen täcks först med ett lager av jämnt graderat grus eller sten innan t ex sprängsten läggs på som ytlager. Erforderlig stenstorlek bestäms av *strömhastigheten*.

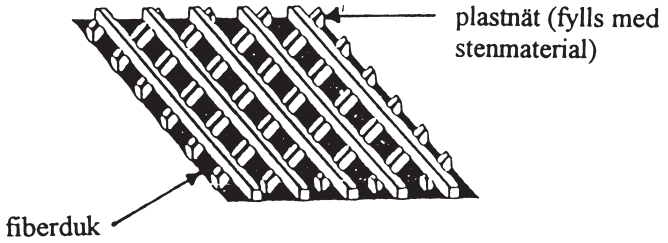
Erfarenheter:
- Geotextil tillverkas av plast. Det är svårt att bedöma långtidsegenskaperna e f tersom tillräcklig erfarenhet saknas. Det kan också vara svårt att värdera den information tillverkarna av geotextil lämnar om sina produkter.
- Vid kontroll av utlagda erosionsskydd har det många gånger visat sig att stenar och block har penetrerat duken. Detta innebär att en fullgod funktion inte har uppnåtts.
- Det finns risk för att geotextilens porer täpps igen av finkornigt material. Detta ökar risken för att höga vattentryck skall byggas upp under textilen (ensidigt vattentryck).
- Omfattande för- och kringarbeten (röjning, förankring etc.) erfordras, vilket kan bli kostsamt.
- Tveksamt med mekanisk hållfasthet och beständighet i strandzonen, där erosionsskyddet utsätts för stora påfrestningar.

Miljöaspekter:
- Det är svårt att bevara befintlig vegetation.
- Materialet som används för att täcka geotextilen utgör en bra grogrund för a t t återskapa ett vegetationstäcke.

Dimensioneringsanvisningar, litteratur:
- Tillverkare av geotextil ger dimensioneringsanvisningar för sin produkt.

7.4 TREDIMENSIONELLA PLASTNÄT

Användning: Skydd mot bank- och bottenerosion
Strömhastigheter: Låga till medelhöga (< 3 m/s)



Principen för erosionsskydd av tredimensionella plastnät.

Beskrivning:

- Tredimensionella plastnät för erosionsskydd tillverkas av polyamid.
- Näten kan vara fyllda med bitumenbunden makadam (2-6 mm) eller utan fyllning med ena sidan täckt med fiberduk. Näten kan även fyllas efter utplacering.

Förarbete:

- Innan plastnätet läggs ut måste underlaget jämnas av. Träd, buskar och övrig vegetation måste röjas.
- Plastnätet måste alltid förankras. I brantare slänter (> 1:2) måste tät förankring ske med stor förankringslängd.

Utläggning:

- Nätet placeras ut och förankras. Om nätet är fyllt med bitumenbunden makadam är tyngden tillräckligt stor för att installeras också i strömmande vatten.
- Ofyllda nät med ena sidan täckt av fiberduk kan fyllas med makadam efter att de lagts ut.

Erfarenheter:

- Erosionsskydd av plastnät har använts under mycket kort tid. Erfarenheterna är därför begränsade.
- Nät med bitumenstabiliserad makadam är godkänt för användning i dricksvattenreservoarer i EU-länderna.
- Resistensen mot ultraviolett strålning är god. Draghållfastheten kan ökas genom armering.

- Nätet har sannolikt tillfredsställande hållfasthet även i strandzonen, där erosionsskyddet utsätts för stora påfrestningar, t ex ispåverkan.

Miljöaspekter:

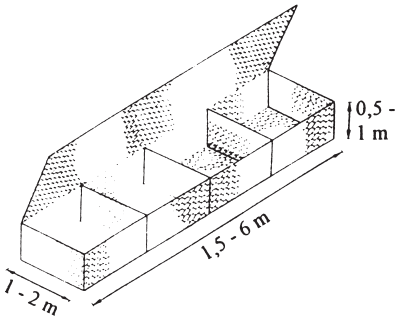
- Det är svårt att bevara befintlig vegetation.
- Nätet ger möjlighet till återskapande av vegetationstäcke.

Dimensionering, litteratur:

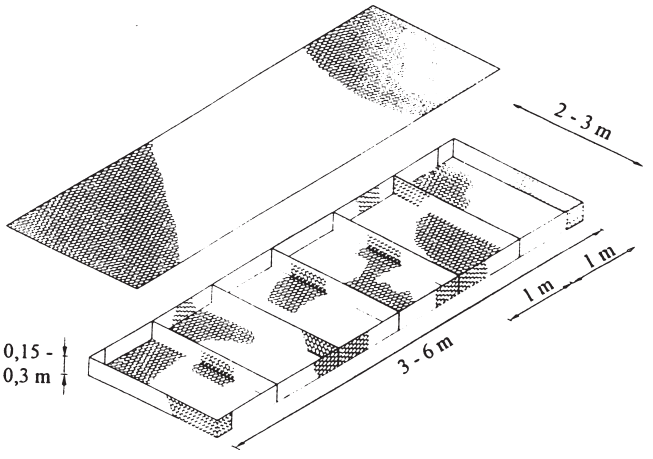
- Tillverkare av plastnät tillhandahåller dimensioneringsanvisningar.

7.5 GABIONER

Användning: Skydd mot bank- och bottenerosion
Strömhastigheter: Höga (< 7 à 8 m/s).



Princip för gabionkasse.



Princip för gabionmadrass.

Beskrivning:

- Gabioner består av kassar eller madrasser av galvaniserade eller PVC-beklädda ståltrådsnät, som fylls med stenmaterial (t ex sprängsten).
- Gabionerna levereras i olika tjocklekar avpassad efter största stenstorlek.
- Största stenstorleken bestäms av *strömhastigheten*.
- Gabioner är speciellt lämpliga att använda där det är viktigt att erosionsskyddet förblir i stort sett intakt även vid stora rörelser. Skydden är mycket resistenta mot nötning.
- Gabionerna fylls med sten och blir därmed relativt tunga. Detta måste beaktas när restriktioner i tillåten lastökning finns. Vid otillfredsställande stabilitet kan den stora tyngden dock inverka positivt.

Förarbete:

- Innan gabionerna läggs ut måste underlaget jämnas av. Träd, buskar och övrig vegetation måste röjas. Beroende på strömhastighet och kornstorleksfördelning måste ibland ett filter läggas ut mellan gabionen och basmaterialet för att förhindra att basmaterial sköljs ur genom gabionen.
- Maximal tillåten släntlutning för gabionmadrasser utan speciell förankring är cirka 1:1,5 - 1:2. I princip kan helt vertikala väggar byggas upp med gabionkassar, i förekommande fall med hjälp av förankring.

Utläggning:

- Gabionerna läggs ut på den jord de skall skydda och förankras. Eventuellt läggs ett filter ut mellan gabionen och basmaterialet. Upp till ett vattendjup av cirka 0,5 m kan gabionerna fyllas efter utläggningen. Vid större vattendjup måste de fyllas före utläggningen.

Erfarenheter:

- Gabioner anses normalt som mycket beständiga.
- Finmaterial kan transporteras genom gabionen från basmaterialet. Lokala erosionsangrepp under och längs kanterna kan vara svåra att upptäcka. Skyddet är relativt styvt och formar sig inte helt efter underliggande mark.

Miljöaspekter:

- Det är svårt att bevara befintlig vegetation.
- Gabioner ger ofta ett kalt, stelt och lite onaturligt intryck. Vegetation kan till viss del återskapas, speciellt om gabionerna täcks med jord. Ett medvetet stenval bidrar till att förbättra det estetiska intrycket.

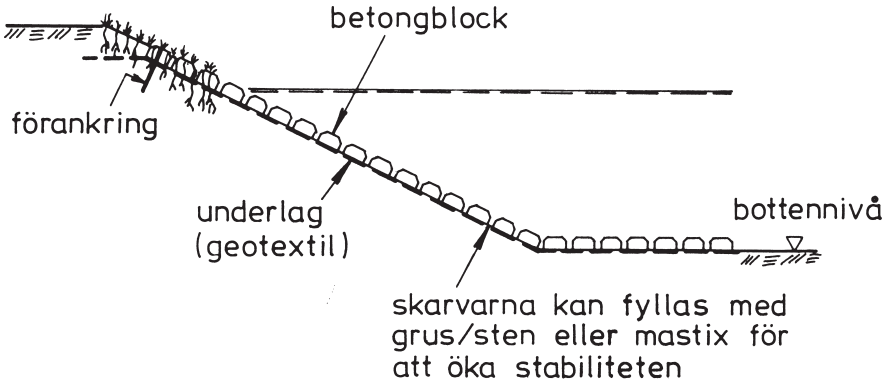
Dimensioneringsanvisningar, litteratur:

- Leverantörer av gabioner ger dimensioneringsanvisningar.

Exempel på användning av gabionkassar (SWEGAB, Höganäs).

7.6 BETONGBLOCK

Användning: Skydd mot strand-, bank- och bottenerosion
Strömhastigheter: Höga (< 7 à 8 m/s)



Principen för lösa betongplattor som erosionsskydd.

Beskrivning:

- Betongblock för erosionsskydd förekommer som lösa block, block som hakas i varandra vid utläggningen samt block som bundits samman som mattor före utläggningen.
- Betongblock kan med fördel användas för skydd i strandzoner, där erosionsskyddet utsätts för stora påfrestningar, t ex ispåverkan.

Förarbete:

- Innan betongblocken läggs ut måste underlaget jämnas av. Träd, buskar och övrig vegetation måste röjas. Jorden som skall skyddas täcks med geotextil (alternativt något annat filtermaterial). Betongblocken läggs sedan ut ovanpå geotextilen (filtermaterialet).
- Maximalt tillåten släntlutning är cirka 1:1 - 1:1,5.

Utläggning:

- Blocken läggs ut så att de täcker det område som skall skyddas efter att ett filter, alternativt geotextil, lagts ut.
- Mellanrummen mellan blocken kan fyllas med sand, grus eller mastix. Dock skall beaktas att skyddet blir styvare om mellanrummen fylls.
- I grunda vatten är det möjligt att lägga ut betongblock för hand. I djupare vatten måste utläggningen ske maskinellt.

Erfarenheter:

- Erosionsskydd av betongblock är känsligare för brott än många andra typer. Detta gäller särskilt om den enklaste varianten används, där blocken läggs bredvid varandra utan att låsas fast. Rubbas ett av blocken ur sitt läge, kan stora skador uppstå på erosionsskyddet.
- Erosionsskydd av betongblock är relativt flexibla, och formar sig efter underliggande jord. Flexibiliteten minskar dock om mellanrummen mellan blocken fylls.
- Används block som hakas fast i varandra vid utläggningen eller som före utläggningen har bundits ihop till mattor minskar risken för lokala brott hos erosionsskyddet, samtidigt som utläggningen tar kortare tid och blir enklare att utföra under vatten.

Miljöaspekter:

- Det är svårt att bevara befintlig vegetation vid utläggningen.
- Erosionsskydd av betongblock kan ge ett onaturligt intryck. Det är svårt att återskapa ett vegetationstäcke.

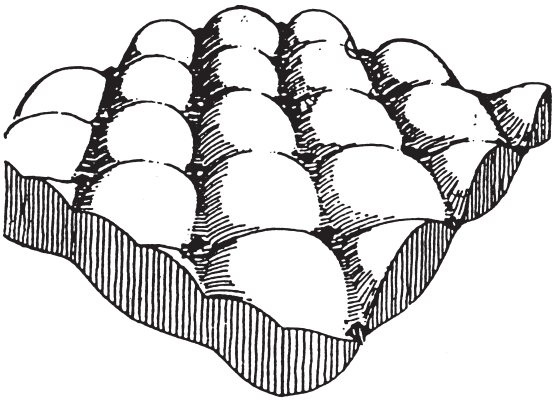
Litteratur, dimensioneringsanvisningar:

- Leverantörer och tillverkare av betongblock tillhandahåller dimensioneringsanvisningar.

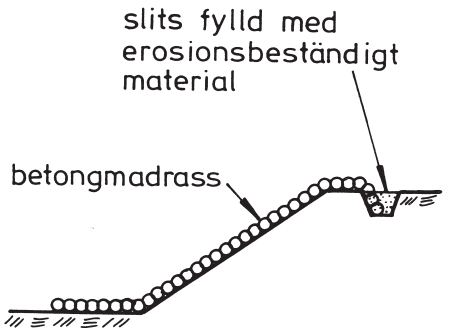
7.7 BETONGMADRASSER

Användning: Skydd mot strand-, bank- och bottenerosion, särskilt vid stora vattendjup (ned till cirka 50 m)

Strömhastigheter: Höga (< 7 à 8 m/s)



Betongmadrass.



Förankring.

Beskrivning:

- Betongmadrasser består av en dubbel fiberduk (geotextil) som är sammanvävd punktvis i ett regelbundet mönster.
- Sammanvävningspunkterna fungerar som dränering. De ger också madrassen en viss flexibilitet att forma sig efter underliggande jord.
- Vid mycket branta slänter måste speciella förankringsåtgärder vidtas, t ex långa förankringslängder, fotstöd etc.

- Betongmadrassen är relativt tung, vilket måste beaktas där restriktioner i tillåten lastökning finns. Den stora tyngden kan även inverka positivt vid otillfredsställande stabilitetsförhållanden.
- Betongmadrasser ger ett effektivt skydd även i strandzonen, där kraftig ispåverkan kan förväntas.

Förarbete:
- Innan betongmadrasserna läggs ut måste underlaget jämnas av. Träd, buskar och övrig vegetation måste röjas.
- Med hjälp av särskilda förankringsåtgärder är det möjligt att använda betongmadrasser längs näst intill vertikala väggar.

Utläggning:
- Dukens våder sys eller svetsas samman, varefter madrassen läggs ut så att den täcker hela den yta som ska skyddas.
- Längs kanterna förankras madrassen, genom att duken viks ned i schaktade slitsar som fylls igen med erosionsbeständigt material. Förankringslängden avpassas efter släntlutningen.
- Mellanrummen mellan sammanvävningspunkterna fylls därefter med betong.

Erfarenheter:
- Betongmadrasser har hög beständighet och är effektiva också i strandzonen där erosionsskydd utsätts för stora påfrestningar.
- Tyngden gör att god anliggning erhålls mot den jord som skall skyddas.
- Lokala erosionsangrepp under betongmadrassen är i princip omöjliga att upptäcka, och kan leda till kollaps av erosionsskyddet. En fullgod förankring runt hela betongmadrassen är viktig.
- Det är svårt att värdera långtidsbeständigheten av duken. Erfarenhet saknas.

Miljöaspekter:
- Det är svårt att bevara befintlig vegetation.
- Betongmadrasser uppfattas ofta som enformiga och inte speciellt estetiskt tilltalande. Duken kan färgas för att kompensera det enformiga utseendet. Växtlighet kan i viss mån dölja madrassen.

Dimensioneringsanvisningar, litteratur:
- Tillverkare av betongmadrasser tillhandahåller dimensioneringsanvisningar.

Exempel på erosionsskydd med betongmadrass (Kastenhof).

Exempel på erosionsskydd med betongmadrass (vid tennishallen, Kinna).

8. Övriga metoder

I detta avsnitt beskrivs några vanliga typer av erosionsskydd som enligt sammanställningen på sidan 13 definieras som övriga metoder. För varje typ av erosionsskydd redovisas lämpligt användningsområde samt för- och nackdelar.

De erosionsskydd som beskrivs är:

- *Grundvattensänkning*
- *Flödesändring/Strömstyrning*
- *Diken*

8.1 GRUNDVATTENSÄNKNING

Användning: Skydd mot grundvattenerosion

Beskrivning:

- Grundvattenytan avsänks under kontrollerade former för att minska skillnaden i porvattentryckets gradient mellan vattnet i släntens jordarter och den punkt där vattnet strömmar ut ur jorden.
- Grundvattenytan sänks genom dränering, t ex installation av filterrör (ofyllda eller fyllda med sand), olika typer av dräner, slitsar.

Erfarenheter:

- Erfarenheten är än så länge begränsad.
- Underhållsfria metoder bör väljas. Risken för igensättning hos dräneringsutrustningen liksom beständigheten hos ingående komponenter är viktiga aspekter.
- Metoder som kräver maskinell utrustning (t ex pumpar) bör endast användas om erforderlig säkerhet och kontroll kan upprätthållas.
- Kontrollprogram krävs för att säkerställa funktionen hos ingående komponenter samt garantera att grundvattenytan avsänks i tillräckligt stor utsträckning för att avsedda effekter skall uppnås.

8.2 DIKEN

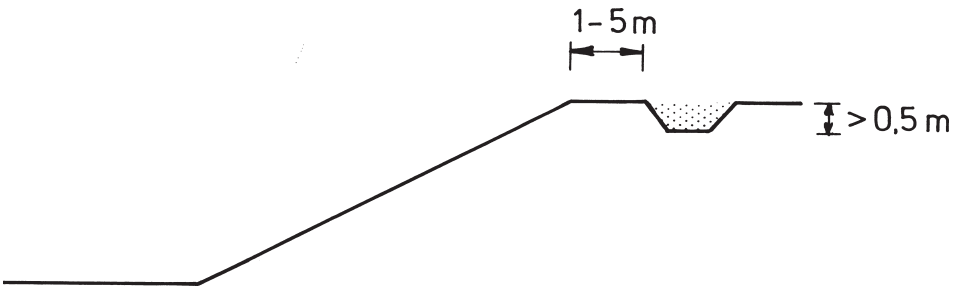
Användning: Motverka yterosion längs slänter.

Beskrivning:

- Diken kan användas för att förhindra att vatten strömmar över släntkrönet och ned längs slänten, då ytmaterialet är erosionskänsligt.
- Det vatten som rinner mot slänten kommer att avbördas genom dikena och endast den nederbörd som faller direkt på slänten kommer att påverka den.

Erfarenheter:

- Diken har inte använts i någon större utsträckning för att motverka erosion av naturliga slänter. I samband med nya skärningsslänter används diken (överdiken) ofta med tillfredsställande funktion.



Exempel på dike för att motverka erosion av skärningsslänt (överdike).

8.3 FLÖDESÄNDRING

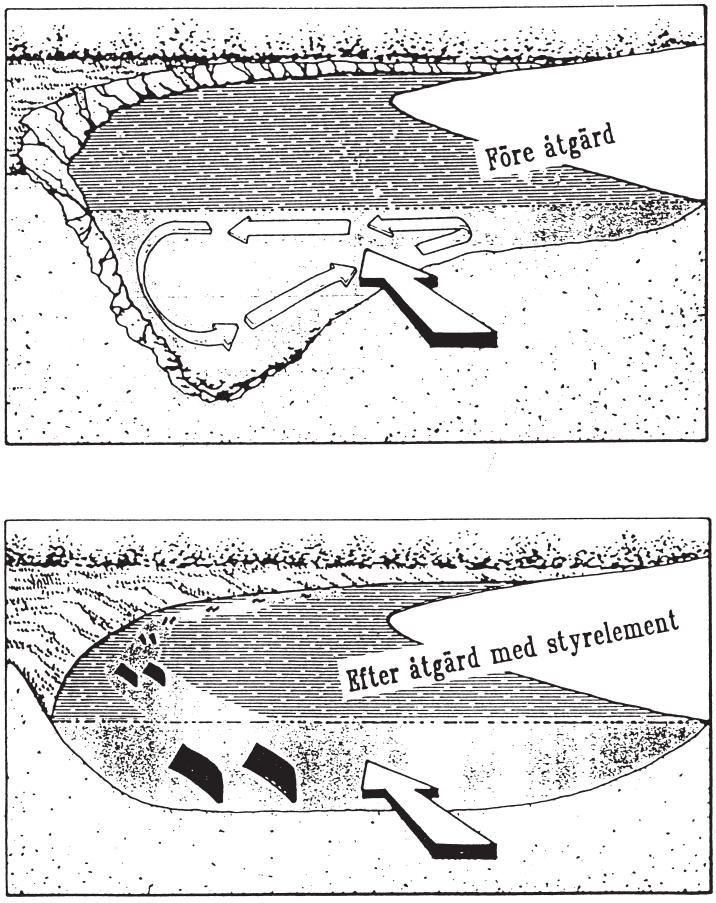
Användning: Skydd mot bank- och bottenerosion

Beskrivning:

- Olika typer av barriärer (styrelement) byggs upp i vattendraget för att förändra flödesförhållandena och på så sätt minska erosionsangreppen.

Erfarenheter:

- Skydd mot erosionsangrepp genom flödesändring har inte använts i någon större utsträckning i Sverige och erfarenheten är därför begränsad. Utomlands är tekniken dock relativt vanlig.



Exempel på användning av styrelement.

9. Vegetation

Användning: Skydd mot bankerosion

Beskrivning:

- Olika typer av gräs, buskar och träd planteras på bankarna. Företrädesvis används snabbväxande och väl täckande sorter.
- Vegetation verkar på tre sätt för att förhindra erosion. För det första ”armerar” rötterna jorden och håller den samman. För det andra utgör stammar och stjälkar ett strömningsmotstånd. Istället för att erodera jordpartiklar kommer det strömmande vattnet att deformera vegetationen. För det tredje kommer vatteninnehållet i jordar där vegetation planteras att minska, vilket inverkar positivt på släntstabiliteten.
- Generellt gäller att buskar och träd ger ett mer effektivt skydd, eftersom rötterna är både större och mer genomträngande än vad som är fallet för gräs. Omvänt kan träd, genom deras relativt stora tyngd, också inverka ogynnsamt på släntens stabilitet.

Erfarenheter:

- Utomlands används ofta vegetation för att förhindra erosion. I Sverige används inte nyetablerad vegetation i någon större utsträckning. Det har förekommit att befintlig vegetation bevarats vid förstärkningsarbeten i syfte att förhindra eller begränsa erosionsangrepp.
- Så länge vegetationen överlever kommer underhållsåtgärderna att vara små. Vegetation har en självläkande effekt. Kompletteringar av vegetationstäcket kan dock bli aktuellt.

Dimensionering:

- För att välja rätt typ av vegetation krävs kunskap om växters egenskaper. Kontakt bör tas med experter inom ämnet. Institutionerna för naturgeografi vid landets universitet, bl a vid Lunds universitet, har erfarenhet och kompetens inom området.

10. Litteratur

Agnew, W., 1991: *Erosion Control Product Selection*, Geotechnical Fabrics Report, Vol. 9, Nr. 3, april 1991, pp. 24-28.

Andersen, F.B., 1979: *Erosjonssikring av Elver og Bekker Praktiske Erfaringer*, Bidrag till Fjellsprengningsteknikk 1979, Oslo, 9 november 1979 (Tapir, ISBN 82-519-0377-7), pp. 30.1-30.20.

Boyes, R., 1982: *Protective Soil Stabilization for River Slopes*, Civil Engineering, Septemper 1982, pp. 19-25.

Cederwall, K. och Larsen P., 1976: *Hydraulik för väg- och vatenbyggare*, LiberLäromedel, Stockholm, ISBN 91-40-54300-5.

Chow, V.T., 1959: *Open Channel Hydraulics*, McGraw-Hill, London.

Frobel, R.K. et al, 1987: *Geotextiles as Filters in Erosion Control*, ASTM, Special Technical Publication, 952, pp. 45-54.

Gilje, S.A., 1981: *Stream Channel Degradation and Aggradation*, Public Roads, Vol. 45, No. 2, September 1981, pp. 45-52.

Goldman, S.J et al, 1986: *Erosion & Sediment Control Handbook*, McGraw-Hill Book Company, New York, ISBN 0-07-023655-0.

Handboken Bygg, Huvuddel 1B, Kap. 177, *Erosion*, AB Byggmästarens Förlag, Stockholm, 1972, pp. 459-464.

Handboken Bygg, Kap. G22**,** *Erosion och erosionsskydd*, LiberFörlag, Stockholm, 1984, ISBN 91-38-06077-9, pp. 538-546.

Hansson, G.J et al., 1986: *Gabions Used in Stream Grade-Stabilization Structures: A Case History*, Transportation Research Record nr. 1073, pp. 35-42.

Heerten, G. och Wittman, L., 1985: *Filtration Properties of Geotextile and Mineral Filters Related to River and Canal Bank Protection*, Geotextiles and Geomembranes, No. 2, 1985, pp. 47-63.

Hemphill, R.W. och Bramley, M.E, 1989: *Protection of River and Canal Banks*, Butterworths, London, ISBN 0-408-03945-0.

Henderson, F.M., 1966: *Open Channel Flow*, Macmillan, New York. (Refererad av Hemphill och Bramley, 1989).

Hjulström, F., 1935: *Studies of the morphological activity of rivers illustrated by the river Fyris*, Uppsala.

Honjo, Y. och Veneziano, D., 1989: *Improved Filter Criterion for Cohesionless Soils*, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 115, No. 1, pp. 75-94.

Izbash, S.V. and Khaldre, K.Y., 1970: *Hydraulics of River Channel Closure*, Butterworths, London.

Jakobsson, B, 1945: *Geotekniska problem i flottleder*, Svenska flottledsförbundets årsbok 1945.

Kenney, T.C. och Lau, D., 1985: *Internal Stability of Granular Filters*, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 22, pp. 215-225.

Keown, M.P, 1983: *Streambank Protection Guidelines for Landowners and Local Governments*, US Army Engineer Waterways Experiment Station.

Lane, E.W., 1955: *Design of Stable Channels*, Transactions of the American Society of Civil Engineers, 120, pp. 1234-1279.

Lawson, C.R., 1982: *Geotextile Requirements for Erosion Control Structures*, Symposium on Soil and Rock Improvement, Bangkok, december 1982, pp. C-8-1 - C-8-25.

Lefebvre, G. et al., 1992: *Field Performance and Analysis of Steep Riprap*, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 118, No. 9, pp. 1431-1448.

Loebotsjkov, E.A., 1969: *The Calculation of Suffosion Properties of Non-cohesive Soils when Using the Non-suffosion Analog*, International Conference of the Technical University of Brno, Czechoslovakia, Publication of the Technical University of Brno, Svazek B-5, pp. 135-148. (Refererad av Kenney and Lau, 1985).

Marek, C.R., 1984: *Quarried Stone for Erosion Control*, ASTM Standardization News, Vol. 12, Nr. 5, maj 1984, pp. 32-35.

Olafsdóttir, R., 1990: *Erosion i kontaktytan mellan jordlager*, Bulletin No. TRITA-VBI-150, Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm, Inst. för Vattenbyggnad, ISSN 0349-4489.

Petursdottir, B., 1989: *Inre erosion i lösa jordlager*, Bulletin No. TRITA-VBI-149, Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm, Inst. för Vattenbyggnad, ISSN 0349-4489.

Rohan, K. et al., 1994: *Damage Mechanisms and Influence of Gradation for Steep Riprap*, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 120, No. 3, pp. 514-527.

Räddningsverket, 1992: *Erosionsskydd i strömmande vatten* (rapport från VBB VIAK).

Sherard, J.L. et al., 1984a: *Basic Properties of Sand and Gravel Filters*, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 110, No. 6, pp. 684-700.

Sherard, J.L. et al., 1984b: *Filters for Silt and Clays*, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 110, No. 6, pp. 701-718.

Sherard, J.L. och Dunnigan, P., 1989: *Critical Filters for Impervious Soils*, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 115, No. 7, pp. 927-947.

Shields, A., 1936: Original på tyska. (Refererad av Hemphill och Bramley, 1989).

Smerdon, E.T. och Beasley, R.P., 1959: *Tractive Force Theory Applied to Stability of Open Channels in Cohesive Soils*, Agricultural Experiment Station Research Bulletin No. 715, University of Missouri, Columbia, Missouri. (Refererad av Hemphill och Bramley, 1989).

Stephenson, D., 1979: *Rockfill in Hydraulic Engineering*, Developments in Geotechnical Engineering Vol 27, Elsevier, Amsterdam, ISBN 0-444-41828-8.

Tesaker, E., 1979: *Start og Utvikling av Erosjon*, Bidrag till Fjellsprengningsteknikk 1979, Oslo, 9 november 1979 (Tapir, ISBN 82-519-0377-7), pp. 28.1-28.19.

Thanikachalam, V. och Sakthivadivel, R., 1973: *Rational Design Criteria for Protective Filters*, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 11, pp. 309-314.

Theisen, M.S., 1992: *Geosynthetics in Erosion and Sediment Control*, Geotechnical Fabrics Report, Vol. 10, Nr. 4, pp. 26-35.

U.S. Army Corps of Engineers, 1978: *The Streambank Erosion Control Evaluation and Demonstration Act of 1974 - Interim Report to Congress*.

U.S. Army Corps of Engineers, 1981: *The Streambank Erosion Control Evaluation and Demonstration Act of 1974 Section 32, Public Law 93-251 - Final Report to Congress*.

U.S. Bureau of Reclamation, 1952: *Progress report of studies on design of stable channels*, Hydraulic laboratory report Hyd-352, Denver.

Vattenfall, 1988: *Jord- och stenfyllningsdammar*, ISBN 91-7186-271-4.

Vaughan, P.R. och Soares, H.F., 1982: *Design of Filters for Clay Cores of Dams*, ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol. 108, No. GT1, pp. 17-29.

Vägverkets publikation nr 1987:91 *Utförande av erosionsskydd i vatten, Produktionsteknik: Bygghandling - Utförande - Kontroll*.

Vägverkets publikation nr 1987:18 *Erosionsskydd i vatten vid väg- och brobyggnad*.

Wooten, R.L. et al, 1992: *Dams Going Safely Over the Top*, Civil Engineering, January 1992, pp. 52-54.

Wörman, A., 1987: *Skydd mot lokal erosion i strömmande vatten - En studie av erosionsmekanismer i ett stenskydd kring en pelare*, Bulletin No. TRITA-VBI-136, Kungliga Tekniska Högskolan i Stockholm, Inst. för Vattenbyggnad, ISSN 0349-4489.

Yuen, K.W.H., 1988: *Study of boundary shear stress, flow resistance and momentum transfer in open channels with simple and compound trapezoidal cross-sections*, PhD Thesis, Dept. of Civil Engineering, University of Birmingham. (Refererad av Hemphill och Bramley, 1989)

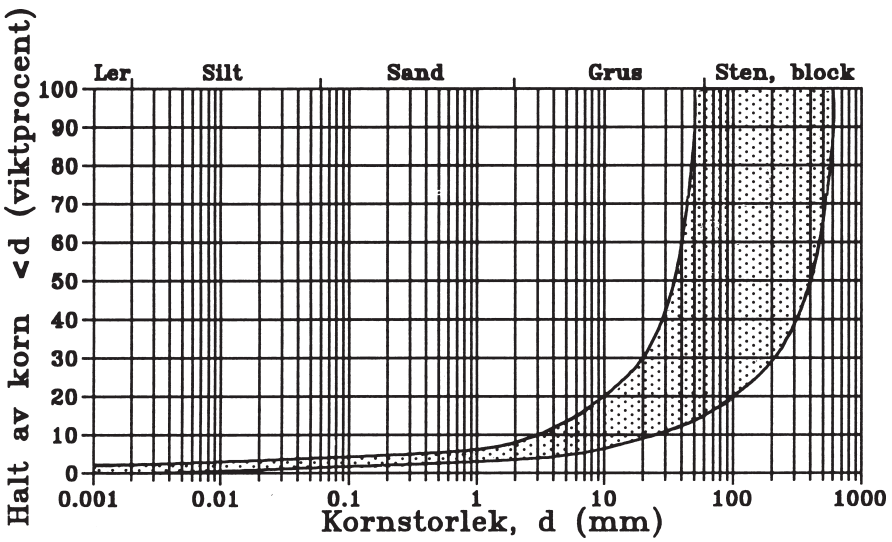
Bilaga 1

DIMENSIONERINGSANVISNINGAR
Erosionsskydd av samkross

DIMENSIONERINGSANVISNINGAR
Erosionsskydd av samkross

ALLMÄNT

Erosionsskydd av samkross består av samtaget krossmaterial. Materialet skall ha en jämn gradering med en ”hängande” kornfördelningskurva. Partikelsprång får inte förekomma. Kornen skall ha så nära kubisk form som möjligt. Största längden bör ej vara större än tre gånger minsta tvärmåttet. Större skillnad i stenstorlek än 300 mm i samma skikt i erosionsskyddet bör inte användas, eftersom massorna blir mer svårbearbetbara och risken för materialseparation ökar. Erfordras större stenstorlek måste erosionsskyddet byggas upp i flera skikt. Ofta erfordras emellertid enbart ett skikt. Gränser för acceptabla kornstorleksfördelningskurvor ges i Figur B1.1.

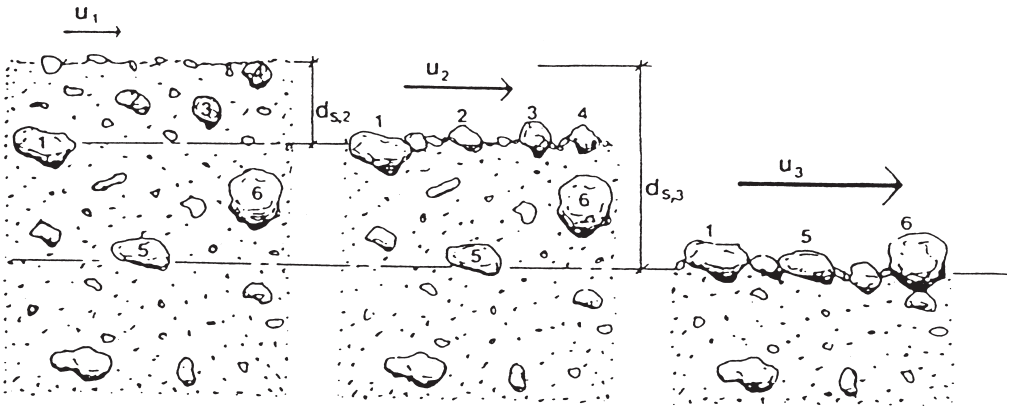


Figur B1.1. Exempel på kornfördelningskurva för samkross för erosionsskydd (efter Vägverkets publikation 1987:18).

Den maximala släntlutningen för erosionsskydd av samkross ges av materialets rasvinkel. Löst lagrat material ovanför vattenlinjen kan antas ha en rasvinkel av cirka 30^{o} - 35^{o} (välgraderat material). Under vattenlinjen antas rasvinkeln vara cirka 25^{o} (1:2).

FUNKTION

Erosionsskydd av samkross bygger på principen att en skyddande stenpäls bildas, då vatten strömmar över ett granulärt material, Figur B1.2.



Figur B1.2. Skyddslagerkorn (stenpäls) anrikas vid stegvis ökande vattenhastigheter. u_1, u_2 och u_3 anger successivt ökande strömhastigheter med motsvarande erosionsdjup $d_{s,2}$ och $d_{s,3}$ (Wörman, 1987).

Processen innebär att finmaterial kommer att sköljas ut ur ytskiktet, varvid grövre och mindre erosionskänsliga partiklar istället ansamlas vid ytan. Detta innebär att en avsänkning av erosionsskyddet, som måste ges en total tjocklek som medger detta. Utgör erosionsskyddet en del av en förstärkningsåtgärd, kan det ur stabilitetssynpunkt vara önskvärt att uppskatta storleken på avsänkningen. Wörman (1987) föreslår en approximativ metod för att bedöma storleken av avsänkningen.

Wörmans metod baseras på antagandet att anrikningen av skyddslagerpartiklar sker idealt efter successivt ökande storlek så länge inte stora partikelsprång förekommer. Det förutsätts därvid att samtliga skyddslagerkorn som är större än det minsta skyddskornet d_x anrikas (bevaras) från den volym som berörs av erosion. Alla korn mindre än d_x eroderas och medför en avsänkning av bäddnivån, d_s. Massfrekvensen av skyddslagerpartiklar med en kornstorlek större än d_x är $(1 - 0{,}01 \cdot x)$, där x är passerande viktmängd i procent.

Förhållandet mellan avsänkningen av bäddnivån och den minsta kornstorleken i skyddslagret kan approximativt tecknas som

$$\frac{d_s}{d_x} = C\frac{1}{1-0,01\cdot x} \qquad \text{(B1-1)}$$

där C är en proportionalitetskonstant som betecknar eforderlig yttäthet av skyddslagerpartiklar större än d_x ($0 < C < 1$). C bestäms i laboratorium, men kan i praktiskt bruk sättas till 1,0 (konservativt värde).

DIMENSIONERING

Kornstorlek

Erforderlig kornstorlek uttryckt som D_{50} (i meter) erhålls enligt Vägverkets Publikation 1987:18 som

$$D_{50} = 0,02 \cdot v_{dim}^2 \qquad \text{(B1-2)}$$

där D_{50} = kornstorleken vid en passerande viktmängd av 50 %.

v_{dim} = dimensionerande vattenhastighet (m/s) = 1,5 gånger vattnets medelhastighet.

Största kornstorlek skall uppgå till minst 1,5 gånger D_{50}.

Ekvation (B1-2) bygger på antagandet ρ_s = 2,65 t/m^3, och gäller i första hand för materialkorn på vattendragets botten. Ett mer allmänt uttryck har tagits fram av Izbasch (1970)

$$D_{50} = C \cdot \frac{v_{dim}^2}{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \cdot g \cdot \Omega_1} \qquad \text{(B1-3)}$$

där C = koefficient som beror på flödesförhållandet
- C = 0,3 låg turbulens (t ex normalt flöde i vattendrag)
- C = 0,7 hög turbulens (t ex vågor från båttrafik)
- C = 1,3 jetstrålar (t ex från båtpropellrar)

ρ_s = materialkornens kompaktdensitet (kan approximativt sättas till 2,65 t/m^3)

ρ_w = vattnets densitet

g = tyngdaccelerationen

Ω_1 = koefficient som tar hänsyn till banksläntens lutning, se ekvation (B3-4).

Kornstorleksfördelning

Kornstorleksfördelningskurvan skall följa de gränskurvor som anges i Figur B1.1.

Erosionsskyddets tjocklek

Erosionsskyddets tjocklek bestäms som det största av

$$t = 1{,}5 \cdot D_{max} \qquad \text{(B1-4a)}$$

och

$$t = 3{,}0 \cdot D_{50} \qquad \text{(B1-4b)}$$

där D_{max} = maximal kornstorlek
D_{50} = kornstorleken vid 50 % passerade viktmängd

Den största skillnaden i stenstorlek i ett skikt får vara 300 mm. Erfordras en större maximal stenstorlek, måste skyddet byggas upp i flera skikt. Den totala tjockleken, t_{tot}, liksom alla delskikts tjocklek utom det sista, bestäms i sådana fall som det största av ekvationerna (B1-4a) och (B1-4b). Det sista delskiktets tjocklek bestäms sedan som skillnaden mellan den erforderliga totala tjockleken och de övriga ingående delskiktens sammanlagda tjocklek.

Erosionsskyddets totala tjocklek skall dock alltid vara minst $t_{tot} = 0{,}5$ m.

Erosionsskyddets utsträckning

Erosionsskyddet ges en utsträckning enligt avsnitt 4.2.1. Efter särskild utredning kan annan utsträckning godtas.

Bilaga 2

FILTERKRITERIER

Filterkriterier

Erosionsskydd av granulärt material (sand, sten, grus) måste utföras så att de blir stabila. Dels får inte stora porvattentryck byggas upp bakom erosionsskyddet eller materialkorn från basmaterialet transporteras in i erosionsskyddets hålrum (yttre stabilitet), dels får det inte ske någon inre materialtransport i själva erosionsskyddet, alternativt borttransport av finkornigare materialfraktioner (inre stabilitet). Med basmaterial förstås det jordmaterial som skall skyddas mot erosion. Stabiliteten hos ett granulärt filter beror främst av:

- *kornstorlek och kornstorleksfördelning*
- *packningsgraden*
- *den påverkan erosionsskyddet utsätts för*

Krav vad det gäller yttre stabilitet specificeras i form av filterkriterier, dvs relationer mellan filtermaterialets och basmaterialets kornstorleksfördelningar. När det gäller inre stabilitet finns förslag på gränskurvor för erosionsskyddets kornstorleksfördelning.

Yttre stabilitet - filterkriterier

Ett antal olika filterkriterier har tagits fram för skilda fall. Gemensamt är att de ofta baseras på kornstorlekarna vid de passerande viktmängderna 15, 50 och 85 %, vilka betecknas d_{15}, d_{50} och d_{85} för basmaterialet och D_{15}, D_{50} respektive D_{85} för filtermaterialet. På senare tid (se t ex Sherard et al., 1984a) har filterkriterier baserade på 50 % passerande viktmängd, d_{50} respektive D_{50}, frångåtts, eftersom de inte längre anses relevanta.

För att höga portryck inte ska byggas upp mellan basmaterial och erosionsskydd anger t ex Vattenfall (1988) som tumregel att filtermaterialet ska ha minst 10 gånger bättre vattengenomsläpplighet än basmaterialet. Detta krav anses uppfyllt om

$$\frac{D_{15}}{d_{15}} > 4 \qquad \text{(B2-1)}$$

Uttryck (B2-1) är generellt och oberoende av basmaterialet. Ytterligare ett generellt filterkriterium har tagits fram av Honjo och Veneziano (1989), där hänsyn tas till basmaterialets gradering

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 5{,}5 - 0{,}5 \cdot \frac{D_{95}}{D_{75}} \qquad \text{(B2-2)}$$

för värden $D_{95}/D_{75} \leq 7$.

Övriga filterkriterier, som ska garantera att endast en obetydlig mängd finmaterial från basmaterialet transporteras in i erosionsskyddets hålrum, kan vara olika beroende på typ av basmaterial. I det följande redovisas tillämpliga filterkriterier för olika typer av basmaterial (Sherard et al., 1984b, Sherard och Dunnigan, 1989)

1. <u>Fin silt och lera</u> ($d_{85} \leq 0{,}06$)

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 9 \qquad \text{(B2-3)}$$

$$D_{15} \leq 0{,}5 \text{ mm} \qquad \text{(B2-4)}$$

2. <u>Sandig silt och lera</u> ($d_{40} \leq 0{,}06 \text{ mm} < d_{85}$)

$$D_{15} = 0{,}7 \text{ mm} \qquad \text{(B2-5)}$$

3. <u>Siltig och lerig sand med liten andel finjord</u> ($d_{15} \geq 0{,}06$ mm)

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 4 \qquad \text{(B2-6)}$$

4. <u>Lerig och siltig sand</u> ($d_{40} \leq 0{,}074 \text{ mm} \leq d_{15}$)

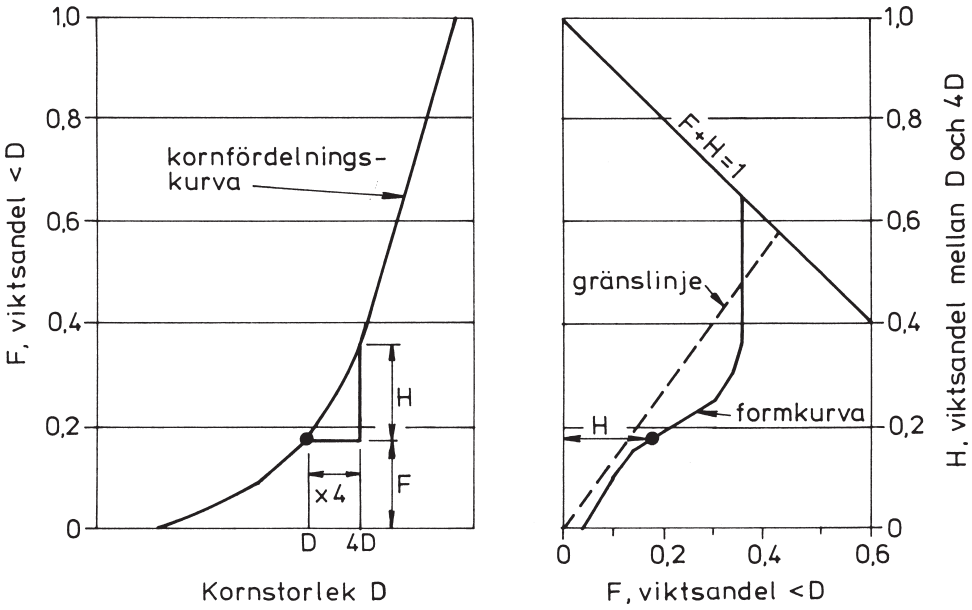
Utgående från andelen finmaterial, väljs kriterium från någon av grupperna 2 och 3.

5. Grus, sand och sten

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 5 \qquad \text{(B2-7)}$$

Inre stabilitet - gränskurvor för kornstorleksfördelning

Kenney och Lau (1985) definierar gränskurvor för erosionsskyddets kornstorleksfördelning för att säkerställa inre stabilitet. Metoden bygger på att en så kallad formkurva konstrueras med utgångspunkt från kornfördelningskurvan, Figur B2.1.



Figur B2.1. Konstruktion av formkurva med utgångspunkt från kornfördelningskurvan.

För varje kornstorlek, D, avläses ett värde på passerande viktandel för en kornstorlek 4 · D (vänstra figuren). Passerande viktandel för kornstorleken d respektive 4 · D avsätts som framgår av högra figuren. En gränslinje föreslås av Kenney och Lau, streckad linje i figuren. Denna gränslinje ansluter till tidigare resultat (Loebotsjkov, 1969). Den del av formkurvan som motsvarar finandelen av materialet i erosionsskyddet måste ligga ovanför gränslinjen för att inre stabilitet ska uppnås. Övriga delar av formkurvan kan ligga under gränslinjen.

För att kunna avgöra hur stor del av formkurvan som kan tillåtas ligga under gränslinjen bestäms andelen grovkornigt material som bygger upp ett kornskelett och andelen finmaterial som kan transporteras i kornskelettets hålrum.

Andelen grovkornigt material som bygger upp ett kornskelett bestäms som

$$f_s \geq \frac{1}{1 + e_p(1 - n_l)} \qquad \text{(B2-8)}$$

där: e_p = kornskelettets portal

n_l = porositeten för det lösare materialet som kan transporteras i kornskelettets porer

Andelen löst finmaterial som kan transporteras i kornskelettets porer erhålls som

$$f_l = 1 - f_p \qquad \text{(B2-9)}$$

Bilaga 3

EROSIONSPROCESSEN

Erosionsprocessen

INTRODUKTION

Ordet erosion härstammar från de latinska orden *erodere,* som betyder ”gnaga”, och *erosus,* som betyder ”så småningom förstöra eller fräta bort”. Materialpartiklar kan eroderas under inverkan av bl a vind och vatten. I denna skrift behandlas endast erosion i vattendrag.

Praktiskt sett har ordet erosion en dubbel betydelse. Om mängden borttransporterat material är lika stor som mängden avsatt (sedimenterat) material, betecknas ett vattendrag som stabilt ur erosionssynpunkt. Är mängden borttransporterat material däremot större, sägs erosion pågå. I dagligt tal menas med erosion dock att *material längs botten och sidorna i ett vattendrag sätts i rörelse* genom inverkan av det strömmande vattnet.

Vattendrag kan delas in i två grupper:

- Vattendrag som står i något som skulle kunna betecknas som kvasijämviktstillstånd (skenbart jämviktstillstånd). Erosionsprocessen har pågått under lång tid och vattendragets form har i stort anpassats till rådande omständigheter, såsom strömhastighet, båttrafik etc.

- Vattendrag med pågående erosion, dvs inget jämviktstillstånd har ännu inställt sig under nu rådande förhållanden.

Av människan anlagda kanaler dimensioneras så, att de inte utsätts för erosion under aktuella vattenföringar, strömhastigheter och eventuell båttrafik. Sådana kanaler faller således in i den första gruppen av vattendrag enligt ovan.

Vattendrag genomgår mycket långsamma, naturliga förändringar. Det kan röra sig om tidsperioder på många tiotals, kanske hundratals år. Erosion förekommer mer eller mindre kontinuerligt i de flesta vattendrag, även om kvasijämviktstillstånd intställt sig som gör att erosionsprocessen tillfälligt avstannat eller bromsats. Ibland kan detta leda till skredbrott på helt oväntade ställen, där förhållandena utifrån sett inte är sådana att slänter bedömts som instabila.

Varje förändring av omgivande faktorer, vattenföring, strömhastighet, markanvänd-

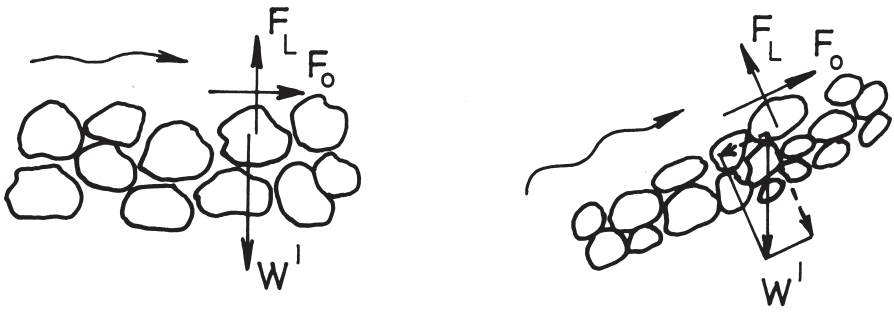
ning, uppförande av olika konstruktioner i vattendraget, båttrafik etc., innebär att kvasijämviktstillståndet rubbas, varvid erosionsprocessen kan ta ny fart. Inte sällan måste därför botten och bankar skyddas mot erosionsangrepp.

BOTTEN- OCH BANKEROSION

Beskrivning av erosionsprocessen

Mellan vattnet som strömmar i vattendraget och materialkornen på dess botten och bankar sker en ömsesidig påverkan. Det strömmande vattnet utsätter botten och bankar för en skjuvbelastning. Det kraftspel som utbildas är mycket komplext och beror av ett flertal faktorer.

Schematiskt kan kraftresultanterna som verkar på materialkornen i ett *icke-kohesivt material* längs vattendragets botten åskådliggöras som i Figur B3.1a. Materialkornen utsätts för eroderande krafter i form av en dragkraft horisontellt i strömningsriktningen (strömningsmotstånd), F_D och en lyftkraft, F_L, som beror av den osymmetriska strömningen runt kornen. Drag- och lyftkrafterna motverkas av stabiliserande krafter, kornets tyngd under vatten, W´, samt friktions- och normalkrafter som verkar mellan kornen. På bankarna kommer, eftersom underlaget lutar, en komposant av kornets egentyngd att verka i släntens riktning, Figur B3.1b. Materialkorn med samma diameter är därför i allmänhet mer erosionskänsliga på vattendragets bankar än på botten.



(a) *(b)*

Figur B3.1. Kraftresultanter på korn i strömmande vatten (a) längs botten (b) längs med vattendragets bankar.

I ett *kohesivt material* (lera) byggs de motverkande krafterna främst upp av kohesion och elektrokemiska bindningskrafter mellan partiklarna. Yterosion i kohesiva jordar sker ibland som borttransport av hopklumpade partiklar, t ex efter uttorkning. Klumparna kan ha en storlek av 1-10 mm och uppträder som svagt kohesiva partiklar.

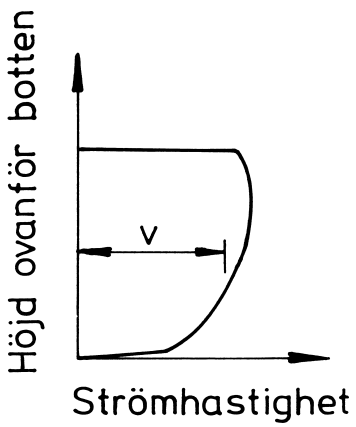
I en oändligt bred, rak kanal med tvådimensionellt, likformigt vattenflöde kan den medelskjuvspänning, , som det strömmande vattnet utövar runt den våta perimetern, P, beräknas med ekvation (B3-1). Den våta perimetern är summan av längden bank och botten som står under vatten i ett tvärsnitt av ett vattendrag.

$$\tau = \rho_w \cdot g \cdot d \cdot S \qquad \text{(B3-1)}$$

där ρ_w = vattnets densitet
d = vattendjupet
S = bottenlutningen

Eftersom bottenlutningen är konstant, följer av ekvation (B3-1) att medelskjuvspänningen varierar med vattendjupet och når sitt största värde vid maximalt vattendjup (maximal vattenföring).

I en rak kanal med ändlig bredd påverkas strömhastighetsprofilen av bankarna, varvid ett tredimensionellt strömningsmönster utbildas. En typisk strömhastighetsprofil visas i Figur B3.2.



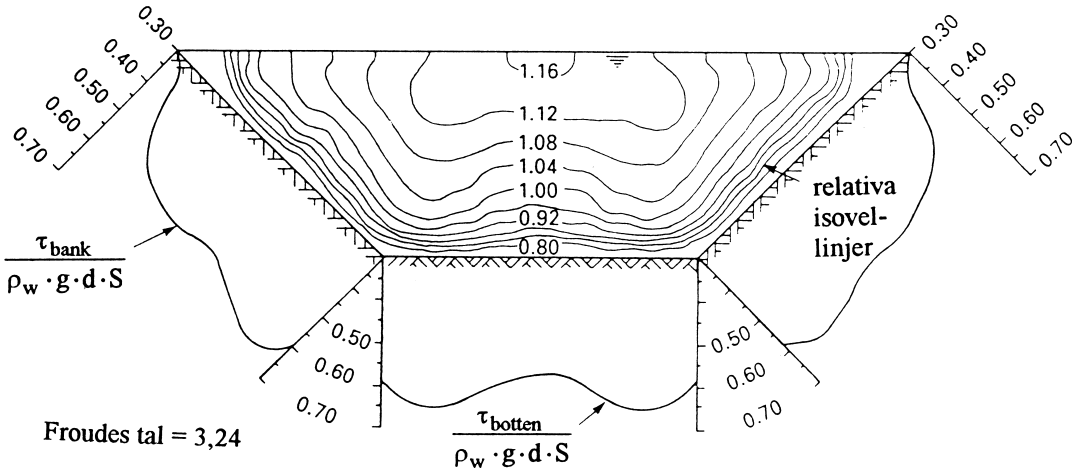
Figur B3.2. Strömhastighetsprofil längs mittlinjen i en rak kanal med ändlig bredd (Hemphill och Bramley, 1989).

De tredimensionella strömningsförhållandena tillsammans med kanalens tvärsnittsform bidrar till att skapa en komplex fördelning av medelskjuvspänningen, som för detta fall kan tecknas

$$\tau = \rho_w \cdot g \cdot R \cdot S \qquad \text{(B3-2)}$$

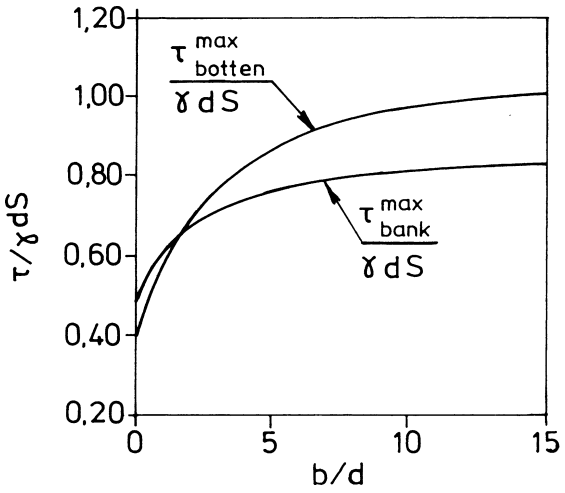
där R = den hydrauliska radien (R=A/P, där A är den våta sektionsarean och P är den våta perimetern).

I Figur B3.3 visas strömhastighets- och skjuvspänningsfördelningen uppmätt i en trapetsformad kanal. De största skjuvspänningarna noteras i de områden där tredimensionellt flöde dominerar, dvs nära bankarna där också hastighetsgradienten lokalt är hög.



Figur B3.3. Strömhastighets- och skjuvspänningsfördelning i en trapetsformad kanal. b/d = 1,52, där b=vattendragets botten och d är vattendjupet (Efter Yuen, 1988).

Värdet på den maximala skjuvspänningen vid vattendragets botten närmar sig med ökad kanalbredd det värde som gäller för en oändligt bred kanal. När vattendragets botten har en bredd $b \approx 7 \cdot d$, där d är vattendjupet, kan värdet på den maximala skjuvspänningen förväntas avvika med som mest 10 % från det värde som gäller för en oändligt bred kanal, se Figur B3.4, som visar resultat från mätningar i en trapetsformad kanal med sidolutningen 1:1.



Anmärkningar:

1. Resultaten baserade på experiment med underkritiskt och superkritiskt flöde i raka kanaler.
2. Den hydrauliska gradienten var lika stor på bankarna som på botten

Figur B3.4. Den maximala skjuvspänningens variation med bottenbredd. Kanalens sidor hade lutningen 1:1 (Efter Yuen, 1988).

Värdet på den maximala skjuvspänningen som utvecklas längs vattendragets sidor är mindre än längs dess botten. När bottenbredden $b \approx 5 \cdot d$ kan värdet på den maximala skjuvspänningen förväntas ligga mycket nära det för en oändligt bred kanal.

Initiering av erosion

Shields (1936) har empiriskt utvecklat ett kriterium för när icke-kohesivt, jämngraderat material längs botten på en kanal börjar röra på sig under inverkan av strömmande vatten, dvs när erosion initieras:

$$\psi_s = \frac{\tau_c}{\rho_w \cdot g \cdot (\rho_s - 1) \cdot d} = f\left(\frac{d \cdot \sqrt{\tau/\rho_w}}{\nu}\right) \qquad \text{(B3-3)}$$

där τ_c = kritisk skjuvspänning vid vilken partiklarna börjar röra sig
ρ_w = vattnets densitet
ρ_s = partiklarnas kompaktdensitet (2,65 t/m^3 för de flesta svenska jordar)
d = partikelstorleken[1]
τ = medelskjuvspänning
ν = vattnets kinematiska viskositet

[1]För naturligt graderat material kan d_{50} användas.

För partiklar med en storlek större än cirka 5 mm kan följande värden på ψ_s antas:

ψ_s = 0,03 - kornen rör sig inte överhuvudtaget
ψ_s = 0,04 - kornen är precis på gränsen att börja röra sig
ψ_s = 0,06 - kornen är i rörelse.

När den kritiska skjuvspäningen bestäms för partiklar på vattendragets bankar, måste hänsyn tas till tyngdkomposanten i sländens riktning. Ett uttryck för att bestämma den kritiska skjuvspänningen för partiklar på en slänt med lutningen α har utvecklats av Lane (1955):

$$\frac{\tau_c^{bank}}{\tau_c} = \left(1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \phi}\right)^{1/2} = \Omega_1 \qquad \text{(B3-4)}$$

där τ_c^{bank} = kritisk skjuvspänning vid vilken partiklar på banken börjar röra på sig
α = sländens lutning
ϕ = bankmaterialets inre friktionsvinkel

Den kritiska skjuvspänningen (och därmed erosionskänsligheten) för icke-kohesiva jordar bestäms framförallt av gradering och packningsförhållanden.

Det är inte lika lätt att beskriva initiering av erosion i kohesiva jordar med hjälp av matematiska uttryck. Storleken på den kritiska skjuvspänningen är beroende av kohesionen och elektrokemiska bindningar mellan lerpartiklarna. Andra faktorer som påverkar den kritiska skjuvspänningens storlek är hur lös eller fast jorden är, liksom det organiska innehållet. Ofta erfordras relativt stora skjuvspänningar för att initiera erosion. Ytterligare en viktig orsak till att kohesiva jordar utsätts för yterosion är uttorkning av ytskiktet, som spricker upp i små klumpar med en storlek upp till 20 mm. En liknande effekt får upprepad frysning och upptining av ytskiktet. Klumparna sitter betydligt lösare fast än den ursprungliga jorden, och kommer så småningom att hasa eller trilla ned i vattendraget, om inte förr så i samband med att jorden blöts igen. Endast lite material eroderas på detta sätt åt gången. Den kumulativa effekten på lång sikt kan dock vara betydande.

Dimensionering

Det finns två metoder för dimensionering av vattendrags botten och bankar i erosionskänslig jord:

- *skjuvspänningsmetoden*
- *gränshastighetsmetoden*

Enligt *skjuvspänningsmetoden* dimensioneras botten och bankar utifrån en maximalt tillåten skjuvspänning. Utgångspunkten är den kritiska skjuvspänningen vid villken jordpartiklarna börjar eroderas. För *friktionsjordar* kan t ex ekvation (B3-3) och (B3-4) användas för att uppskatta värdet på den kritiska skjuvspänningen. En annan möjlighet är att bestämma värden på den kritiska skjuvspänningen experimentellt i laboratorium eller i fält. För *kohesionsjordar* baseras vanligen den tillåtna skjuvspänningen på experiment. En sammanställning av olika rekommendationer över tillåten skjuvspänning visas i Figur B3.5. Notera den förhållandevis höga tillåtna skjuvspänningen som gäller för kohesionsjordar. Kornens kompaktdensitet har antagits till ρ_s=2,65 t/m^3. Nivån på tillåten skjuvspänning väljs utifrån den aktuella situationen. Om inga speciella krav ställs, kan det vara tillräckligt att reducera de experimentellt erhållna värdena något för att erhålla en viss säkerhet. En liten ursköljning av de finare materialfraktionerna kan accepteras, eftersom detta vanligtvis inte leder till instabilitet. I speciella fall, t ex vid utformning av intagskanaler till kraftverk och pumpstationer, kan ingen ursköljning av material accepteras, vilket leder till att en högre säkerhet måste tillämpas.

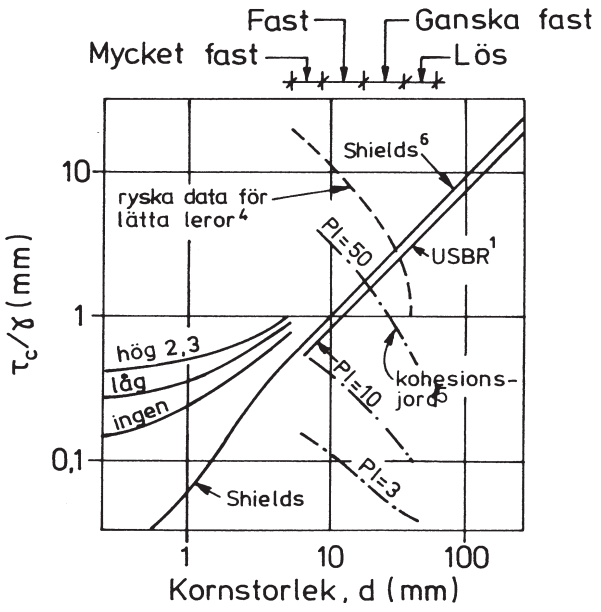
Enligt *gränshastighetsmetoden* dimensioneras botten och bankar utifrån en maximalt tillåten medelströmhastighet i vattendraget, den s k gränsströmhastigheten. Även om gränsströmhastigheten, vid vilken jordpartiklarna börjar eroderas, kan uttryckas approximativt som en funktion av partikeldiametern, baseras vanligtvis rekommendationer på experimentella försök, se Figur 1.1 och 1.2, som gäller för jordpartiklar på horisontell botten. Gränshastigheten måste, i likhet med tillåten skjuvspänning, reduceras för partiklar på de lutande bankarna. I Figur B3.6 visas gränshastigheten för partiklar på slänt i procent av gränshastigheten för partiklar på horisontell yta som funktion av släntlutning och materialets friktionsvinkel.

Medelhastigheten i ett vattendrag kan approximativt bestämmas med hjälp av Mannings formel:

$$v = \frac{R^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n} \qquad \text{(B3-5)}$$

där R = den hydrauliska radien
S = bottenlutningen
n = Mannings tal

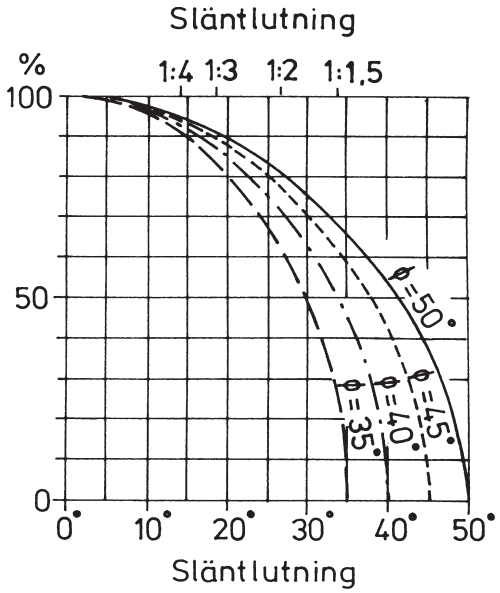
Mannings tal beskriver råheten hos den yta som vattnet strömmar över. Nedan ges exempel på typiska värden på Mannings tal (Hemphill och Bramley, 1989, Goldman et al, 1986).



Anmärkningar:

1 USBR rekommendationer för grov-kornigt ickekohesivt material.
2 USBR rekommendationer för fin-kornigt ickekohesivt material.
3 Hög, låg respektive ingen andel suspenderat material.
4 Ryska data återgivna av Chow (1959).
5 Kohesiva jordar med varierande plasticitetsindex och portal efter Smerdon och Beasley (1959).
6 Gäller för ρ_s=2,65 t/m^3 och Shields tal ψ_s=0,056.
7 För streckade och punktstreckade linjer gäller den övre axeln.

Figur B3.5. Kritisk skjuvspänning som funktion av kornstorlek för icke-kohesivt och kohesivt bottenmaterial. Kornens kompaktdensitet har antagits till ρ_s=2,65 t/m^3 (Huvudsaklig källa är Henderson, 1966. Efter Hemphill och Bramley, 1989).



Figur B3.6. Gränshastigheten för partiklar på slänt i procent av gränshastigheten för partiklar på horisontell yta som funktion av släntlutning och materialets friktionsvinkel (Vägverket, 1987).

Material	Mannings tal
Betong- eller asfaltsbeklädd kanal	0,011 - 0,015
Jämngraderad jord	0,018 - 0,025
Grus- och stenbeklädd kanal	0,020 - 0,025
Naturligt vattendrag med jämn yta	0,025 - 0,033
Naturligt vattendrag med ojämn yta (sand-dyner, håligheter etc)	0,035 - 0,045
Naturligt vattendrag, sidor täckt av vegetation. Relativt stora håligheter förekommer	0,05 - 0,10

GRUNDVATTENEROSION

Beskrivning av erosionsprocessen

Erosion förorsakad av grundvattenströmning kan vara dels *kontinuerlig* och dels *tillfällig*.

Den *kontinuerliga* grundvattenerosionen uppkommer vid grundvattenflöde genom vattendragets bankar. Strömhastigheten beror på den lokala hydrauliska gradienten och bankmaterialets permeabilitet. Då den hydrauliska gradienten är hög där grundvattenflödet mynnar ut i banken, kan grundvattenströmmen öka storleken på lyftkraften som verkar på materialkornen, detta speciellt om banken består av silt och sand. En ökning av lyftkraften gör kornen mer benägna att föras med vattenströmmen på grund av den dragkraft som verkar i strömningsriktningen. *Piping*, progressiv borttransport av ytmaterial, uppstår när den lokala hydrauliska gradienten ger upphov till en nettoeffektivspänning $\sigma' = 0$ i det permeabla materialet. Piping förekommer framförallt där skikt av sand eller silt med hög permeabilitet omges av mindre permeabelt material.

Grundvattenerosion kan också förekomma vid öppningar i jord, t ex i sprickor och kaviteter, samt vid kontakt mellan ett sprickigt berg och jord som innehåller finpartiklar som är mindre än sprickvidden.

Den *tillfälliga* grundvattenerosionen hör samman med förändringar i porvattentrycket i bankmaterialet, t ex på grund av fluktuationer av vattennivån i vattendraget. Vattennivån kan variera på lång sikt (normala fluktuationer under ett år) eller på kort sikt (vågor genererade av vind eller båttrafik). Grundvattenflödet varierar med vattennivån i vattendraget, jordens permeabilitet och våghöjden. Nära bankens yta

kan minskningen i porvattentryck beroende på en ständig eller tillfällig avsänkning av vattennivån i vattendraget vara stor, vilket leder till en relativt stor porvattentrycksgradient. Om bankmaterialet är mycket permeabelt, som t ex grovt grus, kommer grundvattennivån att snabbt ställa in sig mot den nya vattennivån i vattendraget. Således uppstår aldrig några höga porvattentrycksgradienter, och det är inte troligt att banken eroderas på grund av grundvattenströmning. I ett bankmaterial med mycket låg permeabilitet (t ex lera) kommer grundvattenflödet att vara så långsamt, att den lokalt höga porvattentrycksgradienten inte kommer att kunna förorsaka grundvattenerosion.

I siltiga och sandiga jordar däremot, sker utjämningen av höga porvattentrycksgradienter tillräckligt långsamt, samtidigt som flödeshastigheten hos grundvattnet kan vara tillräckligt hög för att grundvattenerosion ska kunna initieras.

Dimensionering

Den vanligaste åtgärden för att förhindra grundvattenerosion och piping är att lägga ut ett filter av något slag. Dimensioneringen följer de principer som anges i Bilaga 1 och 2.

Publikationer utgivna av Skredkommissionen

RAPPORT

1:89 **Mätning av spänningar och deformationer i slänter**
Karin Rankka, Björn Möller, Göran Sällfors

2:89 **Spänningar och deformationer i slänter - praktikfall**
Björn Möller, Karin Rankka, Göran Sällfors, Helen Åhnberg

1:90 **Ansvars- och ersättningsfrågor vid ras och skred**
Siv Ann Andermyr
Rapporten utarbetad på uppdrag av arbetsgruppen för kunskapsförmedling

2:90 **Ras och skred i Sverige**
Börje Stigler, Per Ahlberg, Curt Fredén, Sven Olofsson, Stig Sjöstedt

1:91 **Mätning av jordtryck och horisontalrörelse. Redovisning av tre projekt**
Hjördis Andersson, Inge Brorsson, Karin Rankka, Göran Sällfors

2:91 **Släntstabilitetsberäkningar med klassiska beräkningsmetoder En jämförelse mellan olika beräkningsprogram**
Lars Johansson, Kennet Axelsson

1:94 **Erosionsskydd i samband med förstärkningsåtgärder för slänter**
Folke Ohlsson, Anders Hallingberg, Lars Johansson, Marianne Nyberg

2:94 **Övervakningssystem för lerslänter. Beskrivning av förekommande istrument och metoder**
Folke Ohlsson, Anders Hallingberg, Lars Johansson, Marianne Nyberg

INFORMATION

1:90 **Säkerhet i grund och botten**
Arbetsgruppen för kunskapsförmedling

FAKTABLAD

April 1992 **Stabilitetsutredning, tekniskt faktablad**
Arbetsgruppen för släntbeteende

VIDEOFILM

Sept. 1992 **Ras och skred - säkerhet i grund och botten med tillhörande texthäfte**
Arbetsgruppen för kunskapsförmedling

ARBETSRAPPORT

Febr. 1990 **Åtgärdskalender - Exempel. Räddningsledares åtgärdskalender vid överhängande fara för skred eller ras**
Arbetsgruppen för kunskapsförmedling

Febr. 1990 **Ras- och skredfrågor i plan- och byggprocessen**
Arbetsgruppen för kunskapsförmedling

Febr. 1990 **Ras- och skredfrågor i plan- och byggprocessen**
Underlag för exempel på planbestämmelser som berör ras- och skredproblem
Arbetsgruppen för kunskapsförmedling

1:92 **Inventering av beräkningsprogram i Sverige inom området slänters stabilitet**
Hjördis Andersson, Per-Evert Bengtsson

1:94 **Anvisningar för släntstabilitetsutredningar** (Remiss)
Arbetsgruppen för släntbeteende

2:94 **Information om Anvisningar för släntstabilitetsutredningar** (Remiss)
Arbetsgruppen för släntbeteende

3:94 **Anvisningar för släntstabilitetsutredningar. Brukaranvisning** (Remiss)
Arbetsgruppen för släntbeteende

c/o Statens geotekniska institut
581 93 Linköping
Tel. 013-20 18 00, Fax. 013-20 19 14