



Statens geotekniska institut

Naturanpassade erosionsskydd i vattendrag

En förstudie

Per Danielsson, Johan Kling, Bengt Rydell,
Ramona Kiilsgaard



SGI Publikation 28

Hänvisa till detta dokument på följande sätt:

Danielsson, P, Kling, J, Rydell, B & Kiilsgaard, R
2016, *Naturanpassade erosionsskydd i vattendrag.
En förstudie*, Statens geotekniska institut, SGI
Publikation 28, Linköping.

Diarienummer: 1.1-1303-0230

Uppdragsnummer: 15045

Beställning:

Statens geotekniska institut
Informationstjänsten
581 93 Linköping
Tel: 013-20 18 04
E-post: info@swedgeo.se

Ladda ner publikationen som PDF
www.swedgeo.se



Statens geotekniska institut

Naturanpassade erosionsskydd i vattendrag

En förstudie

Per Danielsson
Johan Kling
Bengt Rydell
Ramona Kiilsgaard

SGI Publikation 28

Linköping 2016

Förord

Statens geotekniska institut (SGI) ska som statens sakkunnigorgan i skred-, ras- och stranderosionsfrågor medverka till att minska riskerna inom det geotekniska området i samhället. Utgångspunkten för verksamheten är att människor ska kunna bo på säker grund, så att liv och egendom inte går till spillo vid naturolyckor av typen skred och ras eller vid stranderosion. SGI har också ansvar för samordning av stranderosionsfrågor i Sverige.

SGI bedriver forskning och utvecklingsarbete i syfte att FoU-resultaten ska leda till konkreta förbättringar av metoder, konstruktioner, åtgärder, bedömningar och beslut. De geotekniska riskerna ska minska, plan och byggprocessen effektiviseras, belastningen på miljö och naturresurser minska och förorenade områden bli efterbehandlade.

Att bo strandnära är populärt, en stor del av befolkningen i Sverige bor längs våra vattendrag, många samhällen finns etablerade längs vattendrag, det finns infrastruktur längs vattendrag som vägar, järnvägar, kraftanläggningar, etc. Strandnära bebyggelse kommer i ett framtida klimat vara sårbar med avseende på erosion, ras, skred och översvämning.

Erosion i vattendrag har traditionellt sett oftast åtgärdats med erosionsskydd i form av stenskonung. Erosion är en naturlig process som skapar förutsättningar för många värdefulla och hotade arter. Erosionsskydd och andra förebyggande åtgärder i vattendrag kan i många fall innebära en negativ påverkan på de naturvärden som finns i och utmed vattendragen. Idag efterfrågas därför, i samband med erosionsförebyggande arbete, en större hänsyn till de naturvärden som finns i och utmed vattendragen. Det finns därför anledning att utreda förutsättningarna för naturanpassade erosionsskydd som är gynnsamma för miljön samtidigt som de är motståndskraftiga mot erosion.

Denna rapport är ett resultat av en förstudie (litteraturstudie) om naturanpassade erosionsskydd i vattendrag med några exempel på erosionsskydd som har konstruerats i Sverige, och på utvalda platser i Europa och Nordamerika. Rapporten kan fungera som inspirationskälla då kommuner, organisationer, eller privata aktörer planerar att anlägga erosionsskydd i vattendrag.

Projektet har genomförts i samarbete med Havs- och vattenmyndigheten (HaV), Trafikverket (TrV) och Naturvårdsverket (NV), uppdragsledare har varit Per Danielsson (SGI). En referensgrupp bestående av Niklas Egriell (HaV), Johan Kling (HaV), Mats Lindqvist (TrV), Christina Rappe (NV), Karin Lundström (SGI) och Gunnel Göransson (SGI) har regelbundet haft möten samt bistått projektet. Studiebesök har genomförts på Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) i Tyskland.

Som en del i projektet har Malin Leth Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) genomfört ett examensarbete om naturanpassade erosionsskydd med fältstudier i Rönne å (Leth, 2014). Därtill har Ola Sjöstedt på Norconsult beskrivit fem naturanpassade erosionsskydd i olika vattendrag i västra Sverige. Johan Kling (HaV), Ramona Kiilsgaard (SGI) och Bengt Rydell (SGI) har medverkat som författare och extern och intern granskare av dokumentet. Vi vill rikta ett varmt tack till dessa personer och organisationer och övriga som direkt eller indirekt medverkat i projektet.

Samtliga foton, bilder och illustrationer är publicerade med tillstånd från respektive upphovsman.

Undertecknad har beslutat att ge ut publikationen.

Linköping i juni 2016.

David Bendz, Forskningschef

Innehållsförteckning

Summary	8
Sammanfattning	9
1. Inledning	10
1.1 Bakgrund	10
1.2 Syfte med förstudien	10
2. Vattendrag	12
2.1 Vattendragets utseende och erosion	12
2.2 Förändring nedströms i avrinningsområdet	17
2.3 Vattendragstyper	18
2.4 Biologisk mångfald i och utmed vattendragen	28
3. Förutsättningar och krafter	29
3.1 Förutsättningar	29
3.2 Påverkan av krafter	32
4. Metodik för val av erosionsskydd	37
4.1 Metodik	37
4.2 Val av erosionsskydd	40
4.3 Alternativa lösningar	41
4.4 Samverkan	41
4.5 Mjuka erosionsskydd	41
4.6 Kombinerat erosionsskydd	44
4.7 Hårda erosionsskydd	44
4.8 Utformning	45
5. Ansvar och regler för erosionsskydd	47
6. Olika typer av erosionsskydd	49
6.1 Mjuka erosionsskydd	49
6.2 Kombinerade erosionsskydd	58
6.3 Hårda erosionsskydd	69
7. Slutsats	71
Referenser	72

Bilagor

1. Fältbesök i Karlsruhe och Rhen
2. Fältarbete vid Rönne å i Ängelholm
3. Fältbesök i Umeälven
4. Fältbesök vid Göta älv nära Surte
5. Naturanpassade erosionsskydd i fem vattendrag i västra Sverige

Summary

It is attractive to live near the water. A large part of the Swedish population lives close to rivers and waterways, and many cities are located along rivers. Infrastructure, such as roads, railroads, bridges, power plants, is often situated along river banks. But living close to water also involves some vulnerability with regard to erosion, landslides and flooding; vulnerability which is expected to increase in the future with a changing climate.

Erosion in rivers has traditionally been addressed with bank protection made of boulders, rip-rap construction. Erosion is a natural process that creates conditions for many valuable and rare species. Bank protection and other preventive measures can often have a negative impact on the environment in and around the river. Today when planning and building bank protection there is a demand to consider the ecosystem values in and around the river. There is also a need to look into the possibilities to use nature friendly bank protection measures that are environmentally friendly and at the same time protect the river banks from erosion.

To fully understand erosion problems in a river, it is important to understand the morphological processes along the whole river. For example, erosion problems downstream in the river could be caused by activities upstream. This report covers briefly the geomorphological processes that form a river, the ways in which erosion affects the river, and the most common types of rivers in Sweden.

Erosion occurs when forces from the water, streaming water or waves, get in contact with erodible soil, and sediment from the river bank or river bottom erodes away. There is a need for strategies in order to be able to address erosion in rivers in a sustainable way. The strategy could be to do nothing or to build some kind of river bank protection.

There are three types of bank protection: soft structures, combined structures, and hard structures. Nature friendly bank protection measures could be both soft structures and combined structures. Nature friendly bank protection is built in harmony with the environment, and increases the probability for a good ecological status along the rivers and reduces the negative impact on the biodiversity.

This report covers some soft structures, some combined structures and some hard structures, to give the reader an idea of various possible solutions. The report compiles the literature on nature friendly bank protection in Sweden, Europe, and North America, mainly from a geotechnical perspective. It also addresses the issue of why it is important to further develop the use of nature friendly bank protection. The report is an overview and source of inspiration when planning for nature friendly bank protection in rivers. The report also summarises the outcome of study visits in Sweden and Europe, with the purpose to see how nature friendly bank protection has been used in rivers.

The work has been carried out in collaboration with the Swedish Agency for Marine and Water Management (Havs- och vattenmyndigheten), the Swedish Transport Administration (Trafikverket), and the Swedish Environmental Protection Agency (Naturvårdsverket).

Sammanfattning

Att bo strandnära är populärt, en stor del av befolkningen i Sverige bor längs våra vattendrag, många samhällen finns etablerade längs vattendrag, det finns infrastruktur längs vattendrag som vägar, järnvägar, broar, kraftanläggningar, etc. Men det kan också vara sårbart att bo strandnära, med avseende på erosion, ras, skred och översvämning, och det kommer att bli mer sårbart i framtiden med ett förändrat klimat.

Erosion i vattendrag har traditionellt sett oftast åtgärdats med erosionsskydd i form av stenskonung. Erosion är en naturlig process som skapar förutsättningar för många värdefulla och hotade arter. Erosionsskydd och andra förebyggande åtgärder i vattendrag kan i många fall innebära en negativ påverkan på de naturvärden som finns i och utmed vattendragen. Idag efterfrågas därför, i samband med erosionsförebyggande arbete, en större hänsyn till de naturvärden som finns i och utmed vattendragen. Det finns därför anledning att utreda förutsättningarna för naturanpassade erosionsskydd som är gynnsamma för miljön samtidigt som de är motståndskraftiga mot erosion.

För att få en förståelse för erosionsproblemen i ett vattendrag måste processerna som styr formen av hela vattendraget beaktas. Till exempel kan erosion i de nedre delarna av vattendraget ha sin förklaring i aktiviteter i de övre delarna av vattendraget. Rapporten beskriver kortfattat de olika geomorfologiska processerna som styr ett vattendrags utseende, på vilket sätt erosionen påverkar vattendraget och vilka som är de vanligast förekommande typerna av vattendrag i Sverige.

Erosion i vattendrag förekommer då eroderbara jordarter utsätts för strömmande vatten och vågor som rycker loss sediment från stranden eller botten av vattendraget. För att kunna hantera erosionsproblem i ett vattendrag på ett hållbart och effektivt sätt bör det finnas en strategi för hur problemen skall lösas. Strategin kan leda till att lämpligaste åtgärden är ingen åtgärd eller att det måste anläggas ett erosionsskydd av någon form.

Behöver ett erosionsskydd anläggas finns det tre typer av erosionsskydd att välja mellan, mjuka erosionsskydd, kombinerade erosionsskydd och hårda erosionsskydd. De naturanpassade erosionsskydden kan vara antingen mjuka skydd eller kombinerade skydd. Naturanpassade erosionsskydd byggs i samklang med naturen och ökar möjligheterna för en god ekologisk potential längs stränderna och minskar den negativa inverkan på den biologiska mångfalden.

Rapporten beskriver ett antal mjuka, kombinerade och hårda erosionsskydd för att läsaren skall få en inblick i de olika möjligheterna som finns att tillgå. Rapporten sammanfattar litteraturstudien om naturanpassade erosionsskydd i svenska, europeiska och nordamerikanska vattendrag främst utifrån ett geotekniskt perspektiv. Den ger också information om varför det är angeläget att arbeta vidare med att utveckla naturanpassade erosionsskydd. Rapporten är avsedd att ge en översikt och vara en inspirationskälla i samband med planläggningen av erosionsskydd i olika typer av vattendrag. Rapporten sammanfattar även resultaten från de studiebesök som har gjorts i både svenska och europeiska vattendrag i syfte att se hur man arbetar med naturanpassade erosionsskydd.

Förstudien har genomförts i samarbete med Havs- och vattenmyndigheten (HaV), Trafikverket (TrV) och Naturvårdsverket (NV).

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Erosion längs vattendrag är en naturlig process vilket innebär att jordmaterial lossnar och transporteras från stränder och kan därmed orsaka ras och skred och bidra till översvämningar. Erosion längs våra vattendrag kommer att bli vanligare i ett förändrat klimat med kraftigare regn och större flöden. Orsaken är att vattendragets form alltid anpassar sig efter rådande hydrologiska regim. Slänter till vattendrag kan i vissa fall behöva förses med skydd mot erosion för att motverka att människor, infrastruktur eller andra samhällsvärden kan komma till skada.

Erosion är en naturlig process som skapar fysiska förutsättningar för många värdefulla och hotade arter. Erosionsskydd och andra skredförebyggande åtgärder kan i många fall innebära en negativ påverkan på de naturvärden som finns i och utmed vattendragen. Erosionsskydd innebär också en störning i den naturliga utvecklingen av vattendraget vilket kan innebära konsekvenser både nedströms och uppströms erosionsskyddet. I samband med erosionsförebyggande arbete efterfrågas därför idag att en större hänsyn tas till de naturvärden som finns i och utmed vattendragen. Det finns därför anledning att utreda förutsättningarna för naturanpassade erosionsskydd som är gynnsamma för miljön samtidigt som de är motståndskraftiga mot erosion.

Traditionellt har hårda erosionsskydd av typen stenskoning med sprängsten eller betongelement använts men på senare år har dessa metoder ifrågasatts. Hårda skydd ger ett effektivt skydd mot erosion på den plats där de anläggs men leder ofta till att problemet flyttas till en annan plats. Dessutom ger de ofta stor påverkan på de naturliga förhållandena och hårda skydd kan upplevas mindre estetiskt tilltalande.

Att använda sig av naturanpassade erosionsskydd kan, med tanke på tidigare erfarenheter av traditionella metoder, vara lämpligare utifrån flera synvinklar då dessa erosionsskydd är långsiktigt mer hållbara och efterhand blir en del av det naturliga skyddet. Denna typ av skydd är också mindre skadliga för den biologiska mångfalden och ekosystemet i och längs vattendragen.

Erosionsskydd har i denna rapport delats in i tre grupper:

- Mjuka erosionsskydd
- Kombinerade erosionsskydd
- Hårda erosionsskydd

Naturanpassade erosionsskydd kan bestå av enbart växter men ofta består erosionsskyddet av en kombination av växter och hårda skydd, och möjligheterna att kombinera dessa är väldigt stor. Rapporten visar på olika typer av erosionsskydd som används i Sverige, Europa och internationellt, samt belyser vilka fördelarna och nackdelarna är med de olika alternativen för olika tillämpningar och miljöer.

1.2 Syfte med förstudien

Syftet med förstudien är att kortfattat beskriva de geomorfologiska processerna, de förutsättningar och krafter som kan leda till erosion i vattendrag, samt inventera befintliga naturanpassade metoder som används i Sverige, Europa och internationellt, samt att beskriva hur de olika metoderna kan användas. Ett annat syfte har varit att etablera en dialog mellan berörda svenska myndigheter för att på bästa sätt kunna implementera användandet av naturanpassade erosionsskydd i Sverige. Förstu-

dien ligger som grund för den vägledning som skall tas fram om naturanpassade erosionsskydd i vattendrag.

Denna förstudie sammanfattar de erfarenheter som finns om naturanpassade erosionsskydd i svenska och internationella vattendrag utifrån ett geotekniskt perspektiv. Den ger också information om varför det är angeläget att arbeta vidare med att utveckla naturanpassade erosionsskydd. Rapporten är avsedd att ge en översikt och vara en inspirationskälla i samband med planläggningen av erosionsskydd i olika typer av vattendrag.

2. Vattendrag

Rinnande vatten är den viktigaste processen för att transportera löst material genom landskapet. Hur mycket löst material som kan transporteras beror i huvudsak på flöde och vattenhastighet som i sin tur beror av avrinningsförhållanden i hela avrinningsområdet. Tillsammans skapar dessa variabler olika förutsättningar för erosion och deposition. Det är viktigt att tidigt i processen förstå hur vattendraget fungerar i sin helhet för att åtgärder mot erosion skall bli hållbara över tiden.

2.1 Vattendragets utseende och erosion

De faktorer som påverkar sedimenttransporten inom ett avrinningsområde kan sammanfattas enligt följande (Strand & Pemberton 1982):

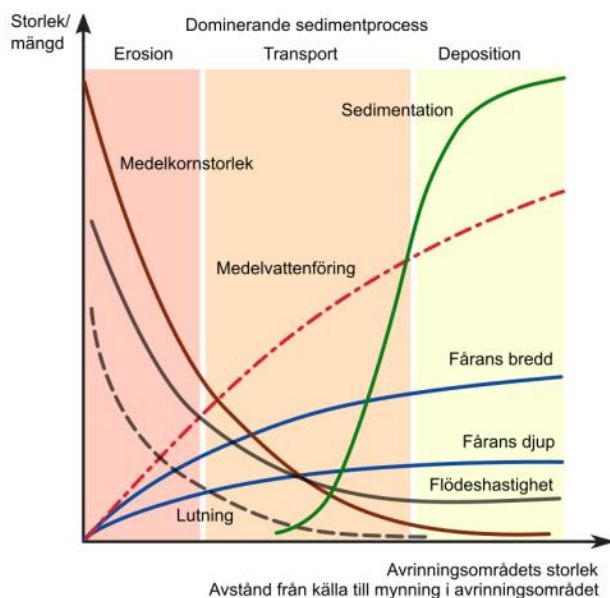
- Nederbördens storlek och intensitet
- Avrinning
- Jordarter och berggrundsgeologi
- Marktäcke
- Markanvändning
- Topografi
- Uppströms erosionshastighet
- Dräneringsnätets täthet, lutning, form, storlek
- Sedimentets karaktäristik
- Historisk utveckling

Dessa parametrar kan ses som yttre förutsättningar för tillförsel av sediment till fåran. Ökar dessa parametrar ökar även sannolikheten för en större sedimenttransport i vattendragen.

Hur mycket sediment som verkligen kommer att förflytta sig med vattendraget kommer också bero på vattendragsfåran och dalgångens karaktäristik. Ett vattendrag som till stor del rinner i en smal sluten dalgång kommer med sannolikhet tillföras en stor del av sedimenten genom sluttningsprocesser, medan ett vattendrag som rinner genom ett brett svämplan kommer framförallt transportera sediment som avsatts av vattendraget under tidigare skeden. Vattendragsfårans stabilitet, med andra ord förändring i lutning och sinuositet genom erosion, är beroende av jordartens motståndskraft mot erosion i fårans kanter och botten och hur mycket flödesenergi som är tillgängligt (US Army Corps of Engineers, 1994). Vattendrag med breda kantzoner kan fungera som filter för ytavrinning och minska sedimenttransporten. Markanvändningen nära vattendraget har därför stor betydelse. Det är därför viktigt att beakta både avrinningsområdets förutsättningar och vattendragsfårans egenskaper när man planerar för erosionsskydd.

I Sverige är det också viktigt att beakta historiken i vattendraget. Mycket av litteraturen kring vattendragsprocesser är framtagen i ett landskap som domineras av rinnande vatten. I Sverige har vi däremot ett landskap som domineras av nedisningar och isavsmältning. Det betyder att vattendragen kan ha en morfologi och bottensubstrat som motsvarar betydligt högre flöden i samband med isavsmältningen. Många vattendrag i Sverige rinner genom morän och det är inte ovanligt att fårans botten med tiden blir hårdgjord av block och sten från moränen när det finkorniga materialet har sköljts ur (Tait 1993). Vi har också vattendrag som är geologiskt mycket unga genom landhöjning. Dessa kan fortfarande vara under utveckling med aktiv erosion och deposition av sediment.

Förutom ovanstående naturliga faktorer kan det också förekomma fysiska hinder för sedimenttransporten till exempel dammar. Tillsammans skapar dessa variabler olika förutsättningar för erosion och deposition, något som är viktigt att beakta tidigt i processen när ett erosionsskydd planeras. De viktigaste faktorerna för att uppnå en viss typ av vattendragsmorfologi är vattenytans lutning eller på lite längre sträckor, vattendragets lutning tillsammans med flödet (Charlton 2008). Lutningen på vattenytan, eller det hydrotekniska fallet, anger hur mycket energi, i form av specifik flödesenergi (W/m^2), som finns tillgängligt för erosion, transport och deposition men också de hydrauliska förutsättningarna i form av flödes hastighet, turbulens och vattenstånd. Ju brantare lutningen är vid ett givet flöde, desto mer energi finns tillgängligt för erosion och transport, **Figur 1**. Hög tillgänglig energi är typiskt för vattendrag i övre delen av avrinningsområdena. När lutningen minskar längre ner i avrinningsområdet kommer tillgänglig energi minska vilket leder till att vattendragen domineras av deposition.



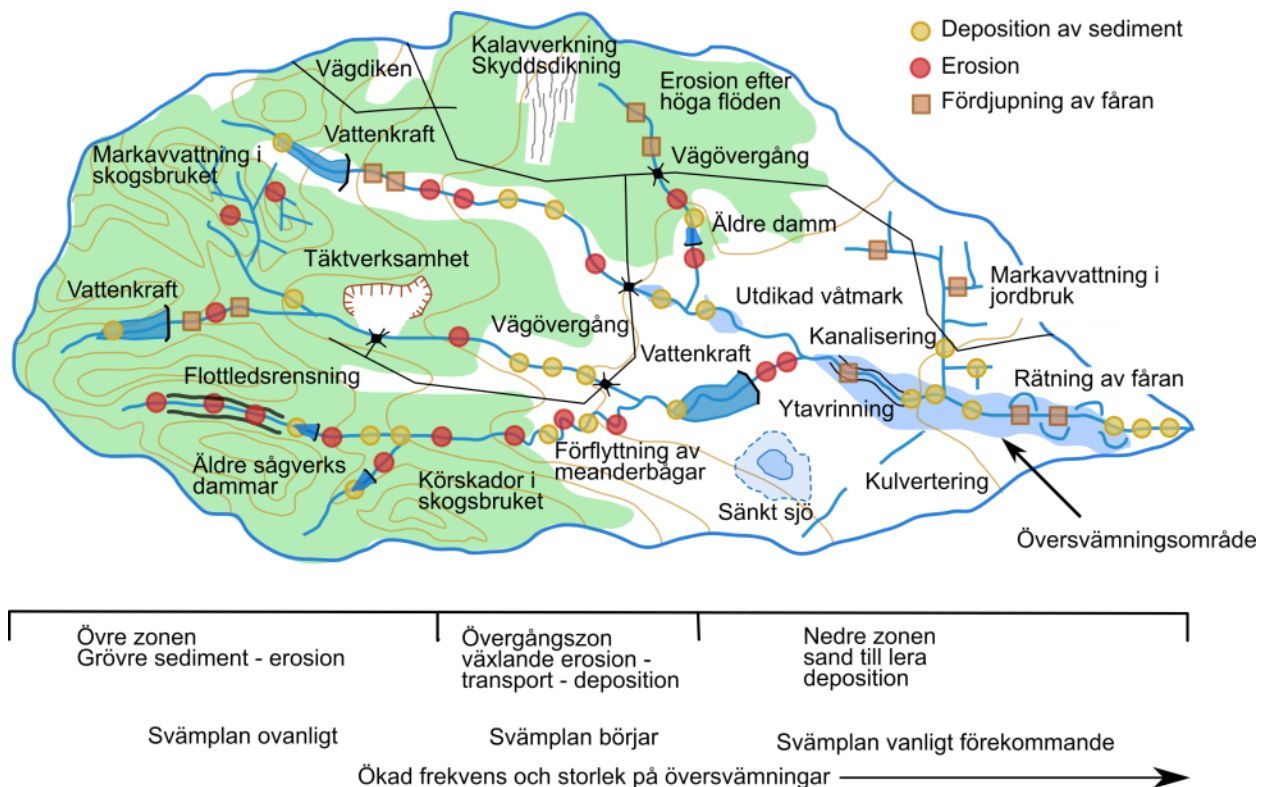
Figur 1 Förändring av vattendragsprocesserna i ett perfekt homogent avrinningsområde (Illustration: J. Kling, HaV, modifierad efter (Schumm 1977)).

2.1.1 Avrinningsområdet

Avrinningsområdets storlek vid en viss punkt, tillsammans med nederbörden, avgör den specifika avrinningen och medelvattenförlingen i vattendraget. Genom att markanvändningen, tillgången på sjöar och våtmarker samt att formen på avrinningsområdet varierar, får vi också olika typer av hydrologisk regim i vattendraget som i sin tur påverkar det effektiva flödet, dvs. det flöde som omformar vattendraget till största del. Om vi reglerar flödet eller avleder vatten kommer detta oundvikligen ge konsekvenser på vattendragets morfologi, även om det kan ta lång tid innan det ger synliga konsekvenser, **Figur 2**.

Markanvändningen i avrinningsområdet och närområdet till vattendraget har en stor betydelse för vattendragsprocesserna och om det förekommer erosion eller deposition. Om stor del av avrinningsområdet består av åkermark är det större risk att vattendragsfåran tillförs mer sediment än vad som är naturligt. Stor andel hårdgjorda ytor kan innebära snabbare avrinning med ökad risk för lokal erosion.

Det är dock inte alltid att det är dagens markanvändning som avspeglas i morfologin i vattendraget. I vissa fall kan en markanvändning för 20 till 100 år sedan ge betydligt bättre samband med de fysiska processerna men även ekosystemen. I alla vattendrag finns en fördröjning i processerna som varierar med typ av vattendrag, vilken process som dominerar och vilken skala systemet beaktas på.



Figur 2 Om en delsträcka domineras av erosion eller deposition av sediment kommer bero på var i avrinningsområdet man befinner sig men också förekomst av olika vattenverksamheter (Illustration: J. Kling, HaV).

2.1.2 Tillgänglig energi i vattnet

Den tillgängliga energin, den så kallade flödesenergin, är den viktigaste faktorn för att avgöra om det förekommer erosion eller deposition, se vidare Kapitel 3.2. Om tillgänglig energi i vattnet överstiger tillgången på sediment som tillförs fåran genom erosion i omkringliggande landskap och där energin i vattnet överstiger bottenmaterialets erosionsresistens, kan vattendragsfåran bli allt mer fördjupad med erosion i botten. I extrema fall kan vattendraget bli så djupt nedskuret att fårans kanter är i stort sätt lodräta och där inte ens de extremaste högvattenflöden leder till översvämningar. Denna typ av överfördjupade vattendrag kan uppstå av naturliga orsaker men tyvärr är denna typ av vattendrag ofta ett resultat av fysisk påverkan, till exempel rätningar av vattendrag i finkorniga sediment, dammar som fångar in sediment eller att sediment aktivt grävs bort, till exempel i samband med markavvattningar. Detta innebär att det blir ett underskott av sediment nedströms.

2.1.3 Jordarterna runt vattendraget

Jordarterna skapar randvillkor för morfologin i vattendraget. Grövre sediment kräver mer energi i vattnet för att mobileras och transporteras, se vidare Kapitel 3.1. Av den anledningen brukar steniga eller blockrika vattendrag associeras med brantare vattendrag. Meandrande vattendrag förutsätter sediment som kan mobileras lätt genom erosion. De mest välutvecklade meandrande vattendragen förekommer därför i finsand till silt. Lera är mer svåreroderad jämfört med sand och silt på grund av de kohesiva krafter som finns mellan lerpartiklarna.

Jordarten påverkar fårans form där vattendrag i sten och block ofta ger en bredare, mer rektangulär fåra medan vattendrag i finkorniga sediment ofta har en djupare parabelform. Alla vattendrag strävar efter en fåra som har en mer eller mindre halvcirkulär form vilket beror på att detta är den mest hydrauliskt optimala formen som ger minst friktionsmotstånd relativt tvärsnittsarean. I grövre sediment skapas ofta en bottenyta täckt med sten och block som inte kan rubbas mer än vid extrema högvattenflöden. Vattendraget kompenserar då det minskade vattendjupet med att öka bredden på fåran tills det blir ett jämviktsförhållande mellan jordarten och hydrologin.

Jordarterna styr också tillgängligheten på den mängd och de kornstorlekar som transporteras i vattendragen. Om jordarten runt vattendraget består av väl sorterat isälvs material är möjligheten att skapa finkorniga meandrande vattendrag också liten. Likaså om landskapet runt vattendraget domineras av tunt jordtäckte kan vi inte förvänta oss att finna hög sedimenttransport. Motsatsen förekommer i landskap dominerat av finsand till silt där halten suspenderat material kan vara mycket hög. Tillgången på sediment styr vattendragets morfologi och förekomsten av landskapsformer i fåran, till exempel olika typer av sedimentbankar. Ett extremt exempel på vattendrag med en sedimenttransport som vida överstiger transportkapaciteten är flätflodsystemen, se Avsnitt 2.3.4.

2.1.4 Dalgångens inneslutning

Dalgångens inneslutning av vattendraget har stor betydelse för sedimentprocesserna och morfologin (Brierley & Fryirs, 2005). Dalgångens inneslutning definieras som andelen av vattendragsfåran som är i direkt kontakt med dalgångens sluttningar.

Om dalgången har en hög grad av inneslutning betyder det att en stor del av fårans kanter, minst 90 %, är i kontakt direkt med dalgångens sluttningar (Brierley & Fryirs, 2005). Ras, skred, slamströmmar, ytavrinning och andra sluttningsprocesser för material direkt ner i fåran. Det material som förs in i vattendragsfåran består ofta av både organiskt material och osorterad jord bestående av alla kornstorlekar. Om en dalgång har en måttlig inneslutning, anger det att 10-90 % av fårans kanter är i kontakt med dalgångens sluttningar, men att det också delvis förekommer ett svämplan runt fåran. Svämplan är flacka ytor runt vattendrag med framförallt sand som avsätts i samband med översvämningar eller genom att meanderslingorna sakta förflyttar sig nedströms. Slutligen innebär en dalgång med liten inneslutning av fåran med andra ord att mindre än 10 % av fårans kanter är i kontakt med dalgångens sluttningar och att det förekommer ett brett svämplan som vattendraget rör sig inom. Fåran tillförs till största del sorterade sediment som vattendraget själv har transporterat.

Dalgången och dess inneslutning av fåran har stor betydelse för vattendragets morfologi. Branta vattendrag i fast berg eller vattendrag med sten och block är ofta inskurna i en V-formad dalgång med branta kanter. Meandrande vattendrag förekommer nästan uteslutande i en bred dalgång med en flack botten fylld med svämsediment, det så kallade svämplanet. Vattendrag i riktigt finkorniga jordarter, såsom lera, meandrar inte lika mycket som vattendrag i finsand till silt. Detta beror på att lera har starka sammanhållande krafter som gör att detta material är svåreroderat.

Inneslutning i en dalgång styr med andra ord vattendragets utseende. Om vattendraget rinner i en djupt nedskuren ravin får vattendraget svårt att förflytta sig i sidled eller utveckla en form på fåran som är optimal för jämviktsförhållandet med hydrologin. Vattendraget kan därmed tvingas in i ett mer instabilt förhållande. Ett tydligt exempel på detta är Klarälven som delvis meandrar i en smal sprickdal som begränsar möjligheten till meandring. Effekter blir därför en stor dynamik och snabb förflyttning av meanderslingorna nedströms. Det ger i sin tur en stor mångfald i antal habitat, vilket är en orsak till varför vi bland annat återfinner många hotade insektsarter i Klarälvens dalgång som är specialiserade på dessa dynamiska habitat. Erosionsskydd i denna typ av vattendrag kan leda till storskaliga morfologiska förändringar som kan leda till stora negativa konsekvenser nedströms.

2.1.5 Vegetationen

Vegetation har länge betraktats som underordnad de fysiska processerna. Forskning på senare tid visar dock att i vissa fall kan det vara tvärtom (Polvi & Wohl 2013), dvs. att vegetation styr till största del geomorfologin. Ett typiskt exempel på detta är flätflodsystem som koloniserar av vegetation och som snabbt kan stabilisera hela systemet så vattendraget övergår till kvillsystem, se Avsnitt 2.3.4, med flera parallella fåror.

Gräsvegetation, till exempel rörflen, ger mycket bra erosionsskydd längs vattendrag. Ofta är vattendrag i finkorniga sediment med gräsvegetation längs kanterna både smalare och djupare jämfört med de som förekommer i skogsområden. Att rörflen ger ett exceptionellt bra skydd beror på att den har ett mycket kraftigt rotsystem som binder jorden på ett effektivt sätt. Invasiva arter såsom jättebalsamin och jätteloka har ofta motsatt effekt genom att de beskuggar marken kraftigt så att grässvålen löses upp och möjliggör mer erosion.

Träd längs vattendrag har ofta en stabiliserande effekt på vattendraget. Vilket trädslag som förekommer är dock avgörande. Alträd är ett av de bästa trädslagen för att skydda vattendragstränder. Al har stort rotsystem som kan tränga djupt ner i sedimenten. Rotmassan är ofta mycket kraftig och kan bilda palissader som helt stoppar erosionen i sidled. I meandrande vattendrag kan alträd ses växa uppemot en meter in i fåran. Detta beror på att trädet skyddar mot erosion medan omkringliggande kanter sakta förflyttar sig nedströms genom erosionen.

Enligt de geomorfologiska principerna ökar fårans bredd nedströms i avrinningsområdet som en kompensation för den ökade tillrinningen. Trots denna grundprincip finns det rikligt med rapporter som visar på att så inte alltid är fallet. Sweeney med flera (Sweeney et al. 2004) visar till exempel att vattendrag i skogsområden generellt sett är bredare än vattendrag med gräsvegetation längs fåran när hydrologin hålls konstant. I dag är det många jordbruksvattendrag som under lång tid har haft gräsvegetation längs vattendragskorridoren med kontinuerligt bete som övergår till skog antingen naturligt genom avtagande beteshävd eller genom plantering. Beroende på tid från det att betesbruket slutade kan det ge olika resultat på vattendragets morfologi.

2.1.6 Byggnader och infrastruktur

Fysiska förändringar i form av infrastruktur och annan mänsklig aktivitet är naturligtvis en mycket viktig faktor att beakta, se **Figur 2**. Av olika skäl är fysisk påverkan i svenska vattendrag mycket omfattande, vilket gör det svårt att hitta helt opåverkade vattendrag, speciellt i finkorniga sediment. Fysisk påverkan kan radikalt ändra morfologin i ett vattendrag till att inte passa in under någon naturlig vattendragstyp. Ofta leder detta till att vattendraget blir instabilt vilket ger andra konsekvenser nedströms och uppströms.

Innan ett erosionsskydd planeras bör alltid en studie genomföras för att klarlägga vilken vattendragstyp som borde ha förekommit naturligt och vilken fysisk påverkan som förekommer på den aktuella platsen, samt även uppströms och nedströms. Till exempel: om vattendraget regleras kraf-

tigt kan den förstärkta erosionen, som skall åtgärdas, spåras tillbaka till regleringen. Enbart erosionsskydd kommer sannolikt inte vara tillräckligt om inte regleringen ändras. Om vattendraget har rätats är det stor sannolikhet att det förekommer erosion i övre delen av vattendragssträckan. Detta problem måste sannolikt först åtgärdas innan ett erosionsskydd planeras. I vissa fall kan problemet vara underskott på sediment eftersom dessa fastnar i dammar långt uppströms i avrinningsområdet.

2.2 Förändring nedströms i avrinningsområdet

I ett landskap dominerat av erosion från rinnande vatten kommer vattendragets morfologi och dess processer som bildar vattendraget att förändras nedströms beroende på att medelvattenföringen ökar nedströms, men också på grund av att landskapets och vattendragets lutning oftast minskar.

Ju längre ner i avrinningsområdet man kommer desto större är det område som tillför vatten till vattendraget. Medelvattenföringen kommer därmed att öka nedströms i avrinningsområdet. När medelvattenföringen ökar kommer vattendraget att anpassa sin tvärsnitt efter ökat behov av att transportera mer tillrinnande vatten. Det betyder att fårans djup och bredd kommer öka nedströms. Fårans djup och bredd beror också på vilken jordart som vattendraget rinner igenom. Teoretiskt sätt minskar medelkornstorleken nedströms på grund av att tillgänglig flödesenergi, i form av fårans lutning minskar nedströms. Vattendragsfåran kommer därmed bli allt större nedströms. Eftersom jordarterna runt fåran och sedimenttransporten i fåran blir allt finkornigare kommer fårans form ändras mot en mer perfekt halvcirkel. Kvoten mellan bredd och djup kommer att bli allt mindre.

När vattendragsfårans lutning minskar nedströms i avrinningsområdet kommer det påverka den tillgängliga energin och därmed förutsättningar för erosion och deposition av sediment. I övre delen av avrinningsområdet kommer erosion att dominera sedimentprocesserna. Längre ner i avrinningsområdet övergår denna process till växlande erosion och deposition för att slutligen helt domineras av deposition.

I verkligheten är bilden betydligt mer komplex. Fårans lutning är kraftigt styrd av berggrundstopografin. I södra Sverige har vi ofta vattendrag som är flacka i de övre delarna av avrinningsområdet på grund av att berggrundsytan har planats av under miljarder år av nedisningar och tropisk vitt-ring. Denna plana yta övergår sedan till ett relativt brant parti ned till en flackare kustslätt. Berggrundsyntans form gör att vi kan finna flacka meandrande vattendrag, inte minst i torvjordarter i övre delen av avrinningsområdet, branta sten- och blockrika vattendrag i mitten och relativt raka större vattendrag i nedersta delen av avrinningsområdet. Berggrundstopografin styr också processerna genom att många vattendrag rinner bitvis i sprickdalar vilket styr fårans morfologi. Vattendraget kan vara helt inneslutet i en smal sprickdal utan att kunna röra sig fritt fram och tillbaka som tidigare nämnts.

Vid erosionsstudier längs ett vattendrag är det därför viktigt att hela vattendraget studeras och dess variationer under året. Vattendragets förhållanden på en plats kan bero på processer som har skett långt bort i tid och rum och förändringar kan påverka avlägset belägna platser för en lång tid framöver (Andersson et al., 2008).

Ett vattendrag kan delas in i tre zoner (se även **Figur 2**):

- en övre zon, erosionszon, där mycket av erosionen sker;
- en mellanzon, transportzon, där sedimenttransport sker; samt
- en nedre zon, depositionszon, där sedimentation sker.

Naturligtvis kan det inom varje zon pågå såväl erosion, transport som sedimentation men huvuddelen av de olika processerna sker inom sina respektive zoner.

I SGI:s publikation ”*Erosion och sedimenttransport i vattendrag*” (Andersson et al. 2008) beskrivs olika typer av vattendrag och deras karakteristika. Här följer en kort beskrivning av vanliga typer av vattendrag. Vattendragen är presenterade från övre till nedre zon.

2.3 Vattendragstyper

I Havs- och vattenmyndighetens föreskrift HVMFS 2013:19 (Havs och vattenmyndigheten, 2013) anges en förteckning av olika hydromorfologiska typer av vattendrag som förekommer i Sverige. Varje typ av vattendrag karaktäriseras med ett visst utseende och dominerande processer. Vattendragstyperna kommer att utvecklas mer i kommande vägledning till föreskriften.

2.3.1 Vattendrag i fast berg

Vattendrag i fast berg är helt dominerade av erosion och har lite eller ingen deposition av sediment på berggrunden över vilken den flödar. Vattendrag i fast berg förekommer i alla lutningar (Tinkler & Wohl 1998), oftast är lutningen mellan 1 till 10 %, se **Figur 3** för exempel. Även om tillrinningen ofta är begränsad blir det stor flödesenergi när vattendragen är branta.

Vattendragen förekommer framförallt i de mest branta delarna av avrinningsområdet, men kan ibland förekomma i låglänta system där bergryggar sticker genom de lösa jordarterna. I södra Sverige förekommer ofta kvarnar eller vattenkraftverk på dessa klackar och nedströmssidan har sprängts ut för att öka fallhöjden.

Eftersom vattendraget rinner genom fast berg finns det sällan anledning att tillföra erosionsskydd i denna typ av vattendrag.



Figur 3 Vattendragstå i fast berg med lutning kring 1 % (Foto: J. Kling, HaV).

2.3.2 Branta vattendrag med sten och block med turbulent flöde

Denna typ av vattendrag ligger oftast i den övre delen av avrinningsområdet som domineras av erosion och transport av sediment. Vattendragstypen innebär relativt branta vattendrag med en lutning oftast mellan 2 till 4 %. Botten består ofta av sten eller block men det kan även förekomma finkornigare sediment i fickor mellan det grövre materialet.

I denna typ av vattendrag förekommer ofta större stenar eller block som når över vattenytan vilket bryter upp flödet och skapar turbulens (**Figur 4**). Detta i sin tur skapar en varierad hydraulisk miljö. Finkornigare sediment såsom sand och grus är ofta mycket mobila och transporteras snabbt nedströms. Fåran är ofta bred och grund. Formen på tvärsnittet är mer eller mindre rektangulär till svagt parabelformad. Sinuositeten, med andra ord fårans längd jämfört med dalgångens längd, understiger oftast 1,2. Denna typ av vattendrag kan mycket väl vara intermittenta, dvs. att de torkar ut under sommarperioden.

Även i denna typ av vattendrag finns det sällan behov av erosionsskydd i och med att materialet är så pass grovt. Eventuella erosionsskydd, även om det utgörs av sten, har begränsad negativ påverkan på vattendraget. Anläggs erosionsskydd i denna typ av vattendrag kommer hållbarheten att vara begränsad. Morfologin i denna typ av vattendrag brukar kraftigt förändras med ett 5 till 100-årsflöde som skakar om hela systemet. Mellan dessa perioder är vattendraget relativt stabilt (Chin 1998).



Figur 4 Brant vattendrag med block och sten samt kraftig turbulens (Foto: J. Kling, HaV).

2.3.3 Breda vattendrag med regelbundet växlande strömsträckor och höljor

Denna typ av vattendrag domineras av så kallade riffle-pool system vilket innebär strömsträckor med grus till sten eller i sällsynta fall block, med mellanliggande djupa erosionshål, pooler eller höljor, ofta med finkorniga material. Varje strömsträcka förekommer med ett relativt konstant avstånd med mellan 5-7 gånger fårans bredd (Keller & Melhorn 1978). Ofta har riffle-pool systemen både en tämligen konstant våglängd och amplitud. Oftast är denna vattendragstyp svagt sinusformad i relativt breda dalgångar samt med trädbevuxna vattendragsskorridorer. Se **Figur 5** för exempel.

Vattendragstypen förekommer oftast i samband med isälvsmaterial från sten ned till grus. Vattendragsfåran är ofta en bred och grund fåra med bredd/djup-kvot över 12. Vattendragets lutning varierar ofta mellan 10 cm till 2 m/100 m.

Vattendraget är ofta relativt stabilt avseende lutningen när fårans kanter och svämplanet är opåverkat. I övrigt är denna typ av vattendrag bland de mesta aktiva vattendragen som vi har i Sverige. Vattendragstypen domineras ofta av en sedimenttransport som är knuten till högvattenflöden. I vissa fall kan stora mängder sediment förflyttas nedströms genom bottenstransport. Vattendragens stabilitet är ofta beroende av vegetation eller träd längs fårans kanter för att vara stabila med bibehållet bredd/djup förhållande. Erosion i fårans kanter kan därför indikera en fysisk påverkan. Om sedimentbankar blir allt mer vegetationstäckta kan detta indikera att hydrologin är förändrad. Ökad mängd mittbankar utan vegetation i fåran kan indikera att systemet har övergått till ett mer instabilt tillstånd och att sedimenttransporten har ökat.

Begränsning av vattendragets rörelse eller förekommande sedimentbankar, till exempel genom erosionsskydd, kan öka instabiliteten i hela systemet. Kanalisering av fåran kan leda till kraftigt reducerad stabilitet vilket helt bör undvikas.



Figur 5 Med växlande strömsträcka och djuphåla utbildat i en vattenväg nedströms ett vattenkraftverk. Notera hur strömsträckorna har en abrupt början som löper tvärs över fåran och med en gradvis övergång till höljan. Avståndet mellan varje strömsträcka är 6 till 7 gånger fårans bredd och avståndet mellan varje strömsträcka är relativt konstant (Foto: J. Kling, HaV).

2.3.4 Vattendrag med flera parallella fåror

Flätflod och vattendrag med kvillsystem innebär att vattendraget delas upp i flera parallella mindre fåror runt sedimentbankar för att åter flyta samman nedströms (**Figur 6**). Stora flätflodssystem kan i vissa fall ha tjugo eller fler fåror i bredd. Ofta migrerar hela flätflodssystemet fram och tillbaka i dalgången och kan då bilda stora flodslätter. Vattendrag med kvillsystem motsvarar flätflodssystem men där öarna ofta är helt stabiliserade och inte ovanligt trädbevuxna.

Vattendrag med flätflodssystem utgör vår mest aktiva vattendragstyp med mycket kraftig dynamik i processerna. Att tillföra erosionsskydd i denna typ av vattendrag är ofta dömt att misslyckas och kan dessutom ge stora konsekvenser nedströms. Flätflodssystem förekommer uteslutande i fjällkedjan medan vattendrag med kvillsystem kan förekomma även i södra Sverige. Vattendrag med kvillsystem är ofta helt stabila varför inte erosionsskydd behövs.



Figur 6 Typiskt flätflodssystem i fjällkedjan där fåran grenar upp sig i flera mindre fåror. Sedimenttransporten är mycket hög genom glaciärernas erosion tillsammans med frostvittringen (Foto: J. Kling, HaV).

2.3.5 Meandrande vattendrag i finkorniga sediment

Meandrande vattendrag i finkorniga sediment förekommer primärt i flackt landskap i nedre delen av avrinningsområdet. Typiska vattendrag av denna typ är de meandrande jordbruksåarna i kornstorlekarna silt till finsand och i viss mån lera.

Formen på vattendragsfårans tvärsektion är ofta parabelformad förutom vattendrag i sandiga jordarter där fåran är mer trapetsoid. Den djupa parabelformade fåran gör denna typ av vattendrag till en effektiv sedimenttransportör. Kanthöjden till fårans breddflöde varierar men det är inte ovanligt att vissa vattendrag är djupt nedskurna i en ravin, framförallt i silt. Vattendragen karaktäriseras av flack lutning under 0,2 m/100 m, men ofta ned mot ett par cm/100 m. Fårans bredd är ofta väl korrelerad med avrinningsområdets storlek, medelvattenföringen och breddflödet. Kvoten mellan fårans bredd och djup understiger 12. Sinuositeten är ofta över 1,5 i silt, med andra ord att vattendragsfårans längd är 1,5 gånger dalgångens längd, se Avsnitt 2.3.2. I vattendrag i grovsand och lera kan sinuositeten vara lägre, medan den i finsand kan vara mycket kraftig med en kaotisk meandring genom det lättroderade materialet.

Denna typ av vattendrag har ofta en utvecklad rytmisk variation i bottendjup, där de djupaste partierna finns i ytterkurvorna och de grundaste partierna i raksträckan mellan två meanderslingor. Erosion är därför knuten till ytterkurvorna i meanderslingorna medan den raka biten mellan kurvorna ofta utgörs av deposition. Översvämningar är vanligt förekommande i denna typ av vattendrag vilket avspeglas av breda svämplan. Se **Figur 7** och **Figur 8** för exemplifiering.

Fårans morfologi är ofta under ständig utveckling medan graden av stabilitet varierar. Meandrande vattendrag med träd eller betesbruk brukar vara mindre dynamiska genom att vegetationen stabili-

serar kanterna, även om enstaka ras och skred kan förekomma. I många fall rör sig meanderslingorna långsamt nedströms genom erosion i ytterkurvorna med någon centimeter till decimeter varje år. Erosion och deposition förekommer ständigt i samband med högvattenflöden.

Genom att vattendragen är relativt stabila och med låg flödesenergi, kommer inte enstaka erosions-skydd att ge någon nämnbar inverkan på de fysiska processerna och de ger liten inverkan på vattendragets tvärsektion. Om erosionsskydd anläggs i denna typ av vattendrag är det dock viktigt att beakta nedströmseffekter. Det är också viktigt att beakta den totala förekomsten av erosionsskydd. Om andelen vattendragslängd som erosionsskyddas blir stor finns det risk att vattendraget börjar erodera sin botten vilket kan förvärra risken för skred och ras på lång sikt. I aktivt vattendrag, med naturlig erosion i ytterkurvorna, bör erosionsskydd genomföras. Även för vattendrag i finsand bör den morfologiska utvecklingen följas noga innan erosionsskydd planeras.



Figur 7 Meandrande vattendrag med ett tydligt svämplan som är avgränsat av en dalgång. Vid detta tillfälle är vattenflödet precis vid breddflödet innan översvämningen börjar (Foto: J. Kling, HaV).



Figur 8 Meandring och korvsjöar längs Öreälven (Från Sveriges nationalatlas, 1995).

2.3.6 Överfördjupade vattendrag

Denna typ av vattendrag förekommer naturligt i finkorniga sediment där erosionen i vattendragsfårans botten har varit mycket kraftig (**Figur 9**). Med överfördjupad menas att vattnet aldrig når över fårans kanter för att svämma över på svämplanet inom en normal återkomstperiod för översvämningar.

Vattendragstypen kan förekomma naturligt genom snabb landhöjning eller på annat sätt där basnivån har sjunkit snabbt. Det är dock betydligt vanligare att denna typ av vattendrag har uppstått på grund av fysisk påverkan, till exempel rätningar och sjösänkningar. Eftersom allt vatten, även vid mycket höga flöden kommer att transporteras i fåran, är ofta fårans kanter mycket branta och skred och ras är vanligt förekommande. Om kanterna är trädbevuxna är det vanligt att se att träden på båda sidor lutar eller har rasat in mot fårans mitt.

Denna typ av vattendrag är instabila vilket innebär att vattendragsfårans lutning inte är i jämvikt med hydrologin och jordarten, vilket innebär att vattendraget försöker återskapa en lutning och en form på vattendragsfåran som är vid ett nytt jämviktstillstånd. Utan att förstå de bakomliggande orsakerna till överfördjupningen kan erosionsskydd vara en åtgärd som endast leder till en temporär lösning eller till och med förstärker effekten.



Figur 9 Överfördjupat vattendrag i jordbruksområde. Vattendraget har tappat kontakt med sitt svämplan och omfattande erosion förekommer i vattendragsfåran med skred (Foto: J. Kling, HaV).

2.3.7 Vattendrag i torvjordar

Vattendrag i torvjordar kan ha en eller flera parallella fåror, ofta svagt meandrande och med ore-gelbunden bredd och djup. Kanthöjden är ofta obefintlig och lutningen är mellan 0,1 till 0,0001 % (**Figur 10**). Vattendragen är starkt påverkade av grundvatteninflöde. Sedimenten är som namnet säger, framförallt torv, men det kan förekomma sandtransport från uppströms liggande områden. Det finns ytterst få anledningar till att använda erosionsskydd i vattendrag i torvjordarter.



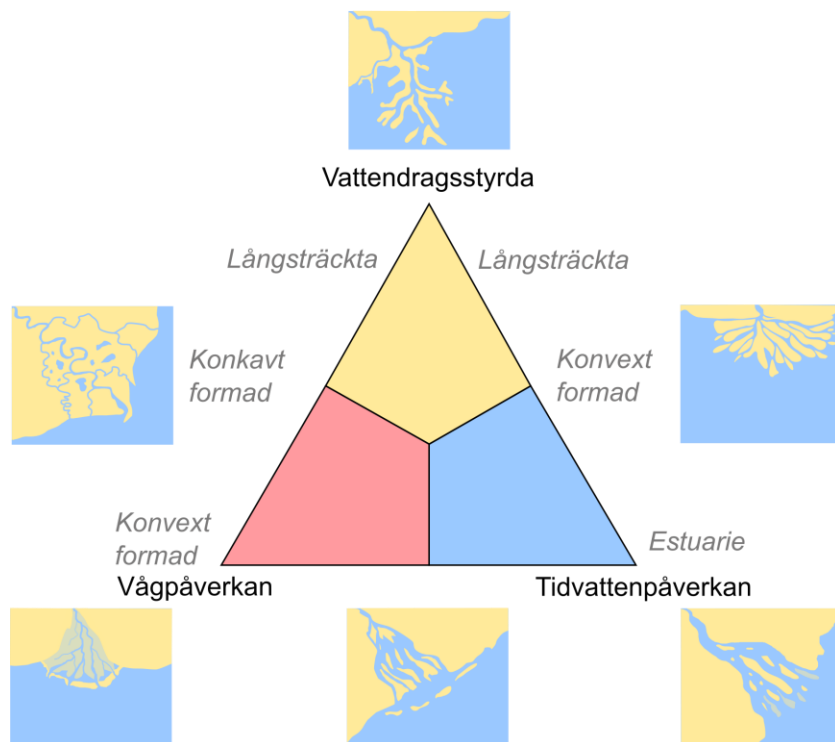
Figur 10 Vattendrag i torvjordar har ofta mycket låg lutning. Vattendragsfårans bredd varierar betydligt liksom djupet (Foto: J. Kling, HaV).

2.3.8 Deltaområde

Den slutliga avsättningen för vattentransporterat material sker där vattendraget möter lugnvatten, ofta i en sjö eller i havet. Området där avsättningen sker kallas deltaområde och detta är den mest dynamiska av alla vattendragsmiljöer. Avlagringen av material börjar vid vattendragets mynning och sprider sig sedan utåt i en konform, se **Figur 11**. Ett deltaområde kännetecknas ofta av ett mer eller mindre tydligt mönster av mynningsarmar kring öar och sandbankar uppbyggda av tidigare deponerat material.

Deltaområden brukar delas upp i två typer: fågelfotsdeltan och vågpåverkade deltan (**Figur 11**). Fågelfotsdeltan bildas i relativt grunda områden utan större påverkan från vågor. Utseendet blir därför många olika grenar som växer var för sig ut i vattenområdet likt en fågelfot. Vågpåverkade deltan har istället en relativt bågformad front där inte olika grenar är tydligt. Ofta utsätts dessa för omfattande vågerosion i fronten och bildas vanligen när vattendrag når djupare vatten. En beskrivning av hur ett deltaområde bildas ges bland andra av Strahler (Strahler 1963).

I Sverige är deltaavlagringarna relativt små. Rapaälvens delta i Laitaure och Klarälvens i Vänern är exempel på svenska inlandsdeltan och är båda av typen fågelfotsdelta. Andra exempel på kända kustdeltan är Indalsälvens delta norr om Sundsvall och Umeälvens delta utanför Holmsund. Om sedimenttransporten minskar i vattendragen, som det har gjort i flera älvar, kommer tillväxten av kustdeltan att minska.



Figur 11 Deltatyper efter olika dominerande processer (Illustration: J. Kling, modifierad efter Galloway, 1975).

2.3.1 Alluvialkoner och alluvialslätter

På vissa platser kommer vattendrag med hög sedimenttransport från en delsträcka med hög inneslutning till ett område där det inte alls finns någon begränsning i sidled av en dalgång. I dessa fall kommer vattnet vid höga flöden täcka stora markområden utan tydlig avgränsning.

Om vattendraget finns i relativt brant terräng kan det bildas en solfjäderformad alluvialkon. Det som är typiskt är att vattendraget kommer ut vid en punkt, apex, och därefter sprider sig ut i många vattendragsfårar ungefär som flätflodsystem. De flesta aktiva alluvialkoner byter aktiva fårar regelbundet genom att det saknas vegetation som stabiliserar vattendragsfårorna. Det som är typiskt för alluvialkoner är att det grövsta materialet avsätts längst upp, där alluvialkonen börjar, och blir allt finkornigare ju längre bort man kommer.

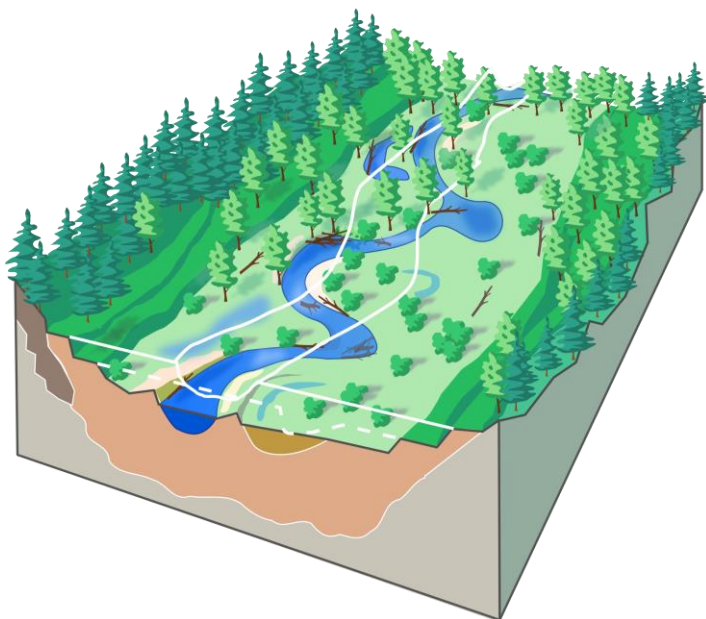
Alluvialslätter bildas på liknande sätt som alluvialkoner, men utbredningen av vattnet sker längs en huvudfåra istället för solfjäderformat. I dessa fall kommer ett meandrande vattendrag med väldefinierat svämplan och dalgång ut på ett område som är mycket flackt och utan någon tydlig dalgång. Ofta är kanthöjden liten vilket gör att översvämningar är vanliga. Dessa översvämningar kommer inte begränsas av en dalgång utan kan breda ut sig över ett mycket stort landområde. Ursprungligen var många alluvialslätter våtmarker, men idag har dessa dikats ut och används ofta för jordbruksproduktion som ofta drabbas av översvämningar. Alluvialslätter domineras helt av deposition av sediment. Ofta förekommer dessa i sandiga till leriga områden nära kusten.

2.3.2 Vattendrag i områden under högsta kustlinjen

Inlandsisens avsmältning har haft stor påverkan på vattendragens form och utsträckning under högsta kustlinjen, det vill säga den nivå till vilken landområden varit täckta av vatten. Vid avsmältningen avsattes stora mängder sediment vid vattendragens dåtida mynning i havet. I takt med att

landet successivt höjdes flyttades mynningen längre uppströms, vilket innebar att flodplan och delataytor bildades på olika nivåer. Dessa plana ytor som återfinns på olika nivåer under högsta kustlinjen, se **Figur 12**, bildar terrasser som är mer eller mindre tydliga beroende på vilken älv som studeras. Terrasserna begränsas oftast av en brant lutning ned mot vattendragen. Älvterrasser och delataytor förekommer framförallt i de norrländska älvorna men även i exempelvis Klarälven och Dalälven.

I områden där sedimenten består av finkornigt material förekommer aktiv erosion i branterna. Branterna är ofta sönderskurna av små ravinformationer som bildats genom erosion orsakad av strömmande grund- eller ytvatten. Även i de södra delarna av Sverige finns många raviner, främst i de områden där stora mängder finsediment finns lagrade, vilket är fallet i framförallt de västra delarna av landet bland annat längs med Göta älv.



Figur 12 Äldre fluviala terrasser förekommer vanligt längs vattendrag som rinner genom isälvmaterial (Illustration: J. Kling, 2015).

2.3.3 Reglerade vattendrag

Många av Sveriges vattendrag är reglerade. Reglering av vattendragen innebär att höga flöden uppstår mindre ofta och att lågvatten inträffar oftare jämfört med de oreglerade vattendragen. Dessa förändringar innebär oftast att erosionen minskar och att material avsätts utmed stränderna och på botten i form av finmaterial. Dock kan problem med erosion uppstå om vattendraget tidigare transporterat stora mängder sediment och detta nu samlas upp i ovanförliggande vattenkraftsdamm. Nedströms vattenkraftsdammen kommer då vattnet att innehålla en mindre andel sediment än tidigare. Vattendragets transportkapacitet (vid ett givet flöde) är dock lika stor som tidigare vilket kan leda till en ökad erosion nedströms. Effekten av regleringen är därför komplex och beror på de förhållanden som rådde före regleringen och på storlek och typ av reglering. Korttidsreglering, när flödet plötsligt stryps, innebär att vattnets mothållande kraft snabbt minskar. Är omgivande marker vattenmättade kan detta utlösa skred. Korttidsreglering kan också på ett onaturligt sätt innebära att is i kanterna av vattendraget skaver sönder strandzonen inom det reglerade intervallet.

2.4 Biologisk mångfald i och utmed vattendragen

Vattenmiljön och stränderna är artrika miljöer som skapas och påverkas av en rad processer. Många vattendrag i Sverige ingår i Natura 2000, EU:s nätverk av skyddade områden. Ett ingrepp i ett sådant vattendrag kan enligt habitatdirektivet inte tillåtas om det får en negativ påverkan på aktuella naturtypers och arters bevarandestatus.

Mer än 270 arter på den svenska rödlistan är knutna till stränder. Naturlig vattenståndsvariation och naturliga substrat är viktiga delar i ett fungerande ekosystem. Särskilt bar sand längs stränder är en minskande livsmiljötyp (Bjelke & Sundberg 2014), (Naturvårdsverket 2004). Skredärr och andra av erosion skapade miljöer ger blottade substrat till gagn för exempelvis många insekter såsom den rödlistade strandsandjägaren (VU). Rasbranter skapar häckningsförutsättningar för fågelarter såsom den rödlistade backsvalan (NT) och den rödlistade kungsfiskaren (VU). Den sistnämnda är också beroende av uthängande grenar att spana från vid födosök. Rötter, nedfallande träd och grenar skapar värdefulla miljöer för bottenfaunan och olika fiskarter.

Strandängarna utgör värdefulla lekområden för många fisk- och groddjursarter samt utgör häckningsmiljöer för många ovanliga fågelarter. Änder är ofta beroende av att naturligt kunna röra sig mellan vatten- och strandmiljön. Det är viktigt att dessa djur kan röra sig mellan djupare vattenområden och strandmiljön. Konnektiviteten bör därför alltid beaktas vid planering av erosionsskydd. Sammantaget finns en rik biologisk mångfald i och utmed vattendragen. För att värna denna mångfald finns det anledning att noggrant utvärdera om, när och hur erosionsskydd ska utföras utmed vattendragen (Lindqvist & Sjöstedt 1995).

3. Förutsättningar och krafter

I Kapitel 2 beskrivs vattendraget i sin helhet och hela avrinningsområdet med avseende på erosion. I detta kapitel ser vi närmare på förutsättningarna och de krafter som genererar erosionen lokalt, på en specifik plats. De förutsättningar som främst påverkar erosionsförhållandena i ett vattendrag är geologin, geomorfologin, topografin, växtligheten och strandbrinkens lutning. De krafter som främst påverkar erosionen är vattenhastigheten i vattendraget, men erosionen kan också påverkas av isbildning, vågor från vind och fartygsgenererade vågor och avsänkningar. De krafter som påverkar erosionen kommer att förändras i ett förändrat klimat, genom ökad nederbörd som leder till ökade flöden i vattendragen.

3.1 Förutsättningar

3.1.1 Geologiska och geotekniska förutsättningar

De geologiska och geotekniska förhållandena är de som ger förutsättningarna för erosion, ras och skred längs ett vattendrag och är således fundamentala vid planeringen av åtgärder mot erosion. Erosion förekommer främst i jordarter som sand och silt men vid höga vattenhastigheter även i morän och i lera. SGI har översiktligt karterat förutsättningarna för erosion i cirka 100 större vattendrag i Sverige (Rydell et al., 2009).

Erosion är ofta den vanligaste utlösande faktorn vid ett ras eller skred. Konsekvenserna av erosionen kan bli stora om den utlöser ett skred, och värst blir det om det finns kvicklera i området, och ett kvicklereskred startar, som vid Surte- och Tuveskreden i Göta älvs dalgång.

De geologiska förhållandena är några av de villkor som styr valet av växter som används i ett naturanpassat erosionsskydd. Växter måste vara anpassade till de lokala förhållandena som jordart samt vara tåliga både för vatten och torka beroende på årstidsväxlingarna.

Geotekniska fältundersökningar och beräkningar bör utföras innan val av erosionsskydd bestäms i syfte att fastställa de geotekniska förhållanden som har betydelse för erosion som till exempel jordlagerföljd och jordlagrens egenskaper, exempelvis hållfasthet, tunghet, sensitivitet.

3.1.2 Topografiska och geomorfologiska förutsättningar

Vattendragets topografi och geomorfologi är av stor betydelse vid planerandet av erosionsskydd. Vattendragets lutning och fallhöjd påverkar hastigheten på vattnet som i sin tur påverkar erosionen längs vattendraget. Förutom vattendragets lutning i strömriktningen kan strandbrinkarnas (sidoslänternas) topografi i många fall vara avgörande vid val av erosionsskydd (USDA 1996), (Coppin & Richards 2007).

Vattendrag med låg fallhöjd och därigenom låga vattenhastigheter kan passa bra för mjuka erosionsskydd, se Kapitel 6.1. Vattendrag med stor fallhöjd genererar ofta höga vattenhastigheter och då kan det vara problematiskt att etablera ett erosionsskydd som består av enbart växter, varför ett kombinerat erosionsskydd eller hårt erosionsskydd kan vara att föredra, se Kapitel 6.

Morfologin längs med ett vattendrag påverkar också valet av erosionsskydd. I ett vattendrag som meandrar förekommer normalt erosion i yttre kurvorna medan sediment ackumuleras i innerkurvorna.

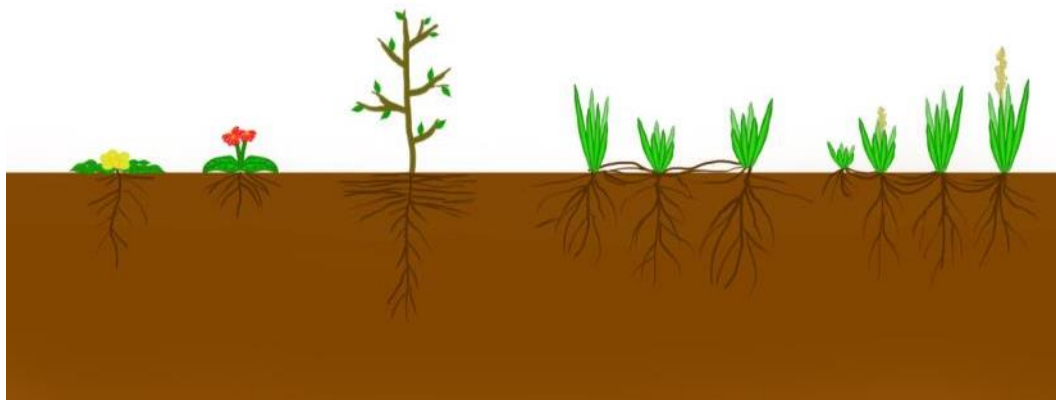
Strandbrinkens lutning är ytterligare en faktor som påverkar erosionen. En flodbrink som är flack klarar ofta erosion bättre. Vid ökade flöden blir det en lägre hastighet om vattendragets tvärsnitt ökar på grund av flacka flodbrinkar. Är flodbrinken brant kommer ett ökat flöde innebära mer erosion, ofta med ras som följd. Växtlighet har ofta svårt att etablera sig i allt för branta brinkar, vilket leder till att flodbrinkarna har lite vegetation och sediment kan erodera.

Biflöden, förgreningar och öar påverkar också erosionsförloppet i vattendraget.

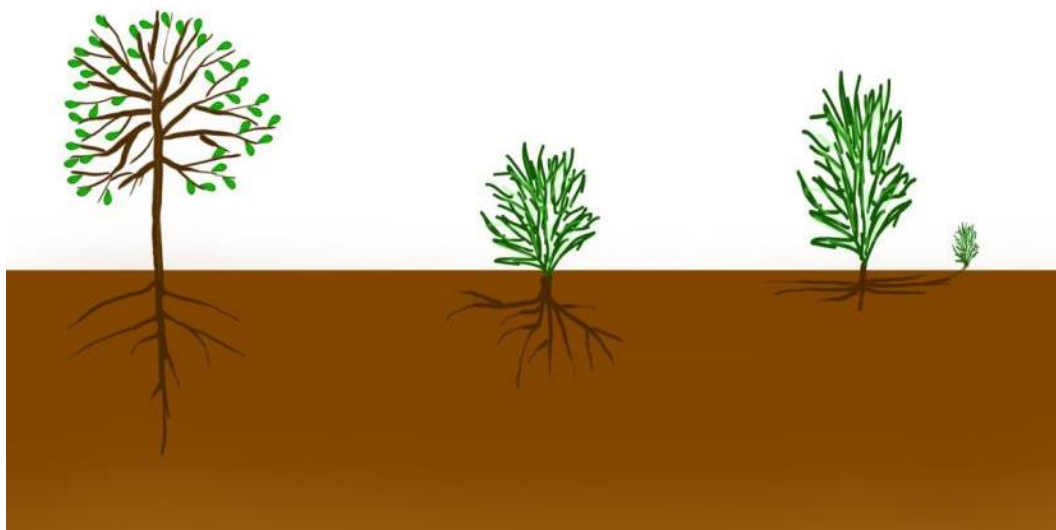
3.1.3 Vegetation

Vegetationen längs ett vattendrag påverkar förutsättningarna för erosion. Växternas rötter binder och armerar sediment längs strandbrinken. Växternas stam och grenar minskar vattenhastigheten och dämpar vågor. Växternas lövverk kan ibland också minska de eroderande krafterna, till exempel när lövverket ligger i vattnet och dämpar vattenhastigheten eller vågorna. Växter har också en positiv effekt genom att absorbera vatten i marken, och på detta sätt minska avrinningen till vattendraget (Coppin & Richards 2007; Rankka 2002).

Gräs och örter täcker marken och har ofta relativt grunda rotsystem, se **Figur 13**, medan buskar och träd har djupare rotsystem med starkare rötter, se **Figur 14**.



Figur 13 Rotsystem hos örter och gräs (Illustration: K. Gellerstam).



Figur 14 Rotsystem hos träd och buskar (Illustration: K. Gellerstam).

Rotsystemen varierar mellan gräs, örter, buskar och träd. Likaså varierar draghållfastheten i olika växters rotsystem. Rotsystemen armerar jordlagren och genom detta ökar skjuvhållfastheten i marken, som därigenom blir mer motståndskraftig mot erosion. Det är främst växternas rotsystem som skyddar mot erosion men andra faktorer bidrar också till att minska erosionen, se vidare avsnitt 6.1.

Vattendrag med växtlighet längs stränderna har ofta ett bra naturligt skydd mot erosion, se **Figur 15**. Växtligheten längs vattendragen är dessutom viktigt för fisk och livet i vattnet, och för fåglar och insekter i strandkanten.

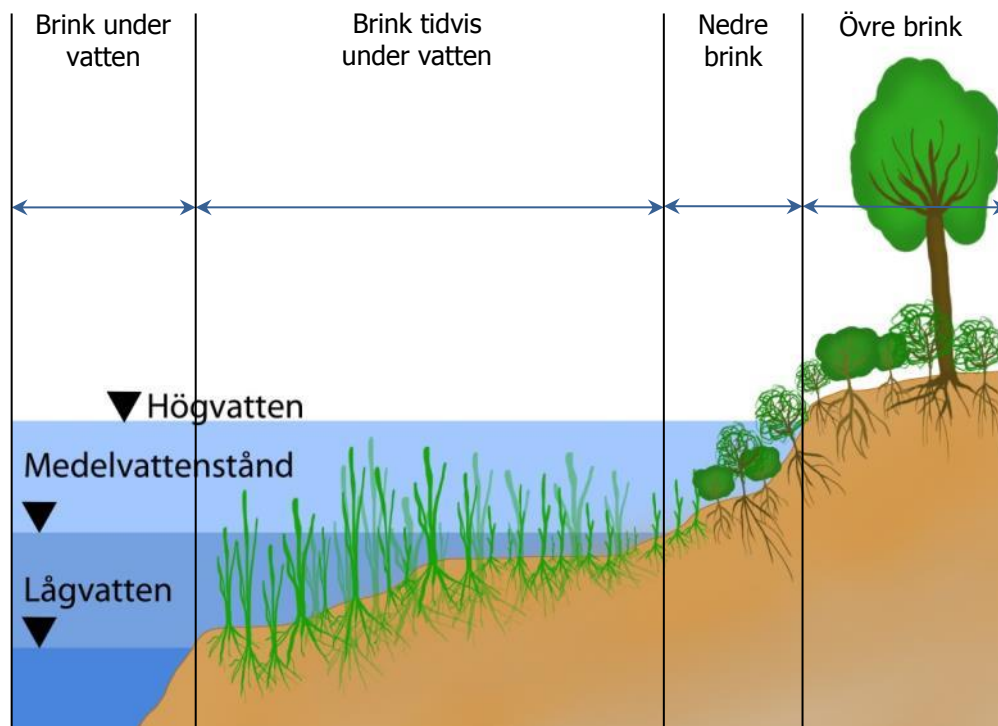


Figur 15 Växtlighet längs Suseån i Halland (Foto: P. Danielsson, SGI).

3.1.4 Typsektion av strandbrink i vattendrag

Tvärsektionens utformning i ett vattendrag påverkar också erosionsförloppet, jämför Kapitel 2. En typisk tvärsektion genom en strandbrink i ett vattendrag illustreras i **Figur 16**.

Längst ner mot vattendraget finns en zon som alltid ligger under lägsta lågvattenytan och där kan enbart vattenväxter trivas. Denna zon kallas brink under vatten, zonen mellan lågvatten och medelvattenytan är en zon som periodvis kommer vara torrlagd men mestadels ligger under vatten. Zonen är beväxt med vattenväxter eller växter som tål mycket vatten. Mellan medel- och högvatten-nivåerna finns en zon som periodvis är belägen under vattenytan och de växter som finns här kan klara både att stå under vatten och att stå torrt. Över högvattenytan finns en zon som ofta är torr men vid extremflöden kan komma att stå under vatten. Högre upp finns det område som oftast inte svämmas över och som kan utgöras av till exempel åkermark, skog, etc.



Figur 16 Typsektion av strandbrink i vattendrag (Illustration: K. Gellerstam, efter (Allen & Leech 1997))

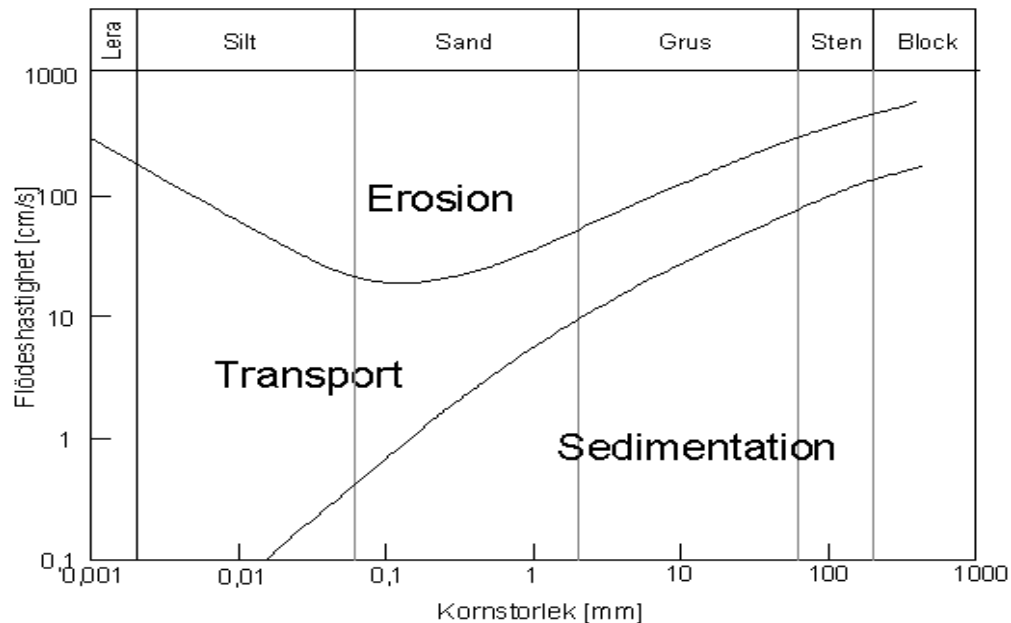
3.2 Påverkan av krafter

3.2.1 Påverkan av vattenhastighet

Vattenhastigheten i vattendraget är ofta avgörande för vilken typ av skydd som kan användas. Vattenhastigheten beror av flödet i vattendraget och tvärsnittsarean i den aktuella sektionen.

Den friktionskraft som vattnet utövar mot vattendragets botten och kanter kallas skjuvspänning, eller botten-skjuvspänning, och beskriver vattenströmmens förmåga att föra med sig material från botten och kanter. Storleken på skjuvspänningen beror av vattnets densitet, vattnets hastighet, bottenens lutning, och tvärsnittsarea. Erosion uppkommer när den skjuvspänning som vattnet orsakar överskrider jordmaterialets så kallade kritiska skjuvspänning. Den kritiska skjuvspänningen varierar beroende på kornstorleksfördelning, packningsgrad, innehåll av organiskt material etc., men också på grund av turbulensen. Förutsatt att jordarten och vattenhastigheten är kända kan erosions-

förutsättningarna uppskattas i Hjulströms diagram, se **Figur 17**. Exempelvis börjar sand erodera vid en vattenhastighet på cirka 0.5 m/s och grus vid en vattenhastighet på cirka 1 m/s. En mer detaljerad beskrivning av erosionsförloppen ges av (Andersson et al. 2008).



Figur 17 "Hjulströms diagram" beskriver samband mellan medelvattenhastighet och kornstorlek med avseende på erosionsrisk (Andersson et al. 2008).

Det är främst vattnets medelhastighet över tid som har störst betydelse för erosionen. Vid kraftiga vattenflöden kan dock kraftig erosion uppkomma lokalt. Om medelhastigheten är på en sådan nivå att den kritiska skjuvspänningen för materialet överskrids och erosion uppkommer enligt diagrammet ovan, bör anläggandet av ett erosionsskydd övervägas.

Det är främst jordarten, vattenhastigheten, befintlig vegetation, och brinklutningen som styr vilken typ av erosionsskydd som bör väljas. Naturanpassade erosionsskydd kan anläggas då vattenhastigheten är relativt låg, mindre än 1-2 m/s (Iowa Department of Natural Resources (IDNR) 2006), och en brinklutning lägre än cirka 1:3. Är den dimensionerande vattenhastigheten högre än 1-2 m/s, eller är brinklutningen brantare än 1:3, behöver troligen ett kombinerat erosionsskydd anläggas. Ju högre vattenhastighet desto mer hårda komponenter, som sten och stockar, behövs i erosionsskyddet, likaså om brinklutningen blir brantare bör ett kombinerat erosionsskydd med större andel hårda komponenter, så som sten och stockar, anläggas.

Vid ett bestämt vattenflöde ökar vattenhastigheten då tvärsnittsarean minskar, vilket betyder att hastigheten ökar då ett vattendrag blir smalare och grundare. På motsvarande sätt minskar vattenhastigheten om vattendraget blir bredare och djupare. Erosionsskyddet kan påverka dessa förhållanden.

Vattenhastigheten ökar även i ytterkurvorna av vattendrag som meandrar, vilket gör att det normalt eroderar i ytterkurvorna och sedimenterar i innerkurvorna.

3.2.2 Påverkan av is

Is i vattendrag kan orsaka erosion när isen sätts i rörelse av olika orsaker. Vanligt förekommande är att isen rycker loss växtlighet vid islossning under våren, vilket är ett naturligt förlopp som kan orsaka erosion. Är vattendraget reglerat kan isen rycka loss växter och sediment då vattennivån sänks och isen rör sig vinkelrät ut från stranden, se **Figur 18**.



Figur 18 Erosion på grund av isrörelse i reglerade vattendrag, Umeälven (Foto: P. Danielsson, SGI).

Förekommer det dygnsreglering kan snabba variationer av vattenytans nivå orsaka isrörelser som kan medföra påtaglig erosion på utsatta ställen (se **Figur 19**). Förekommer det sjöfart och isbrytning i vattendraget kommer isbrytningen att påverka isen som i sin tur rycker loss den växtlighet som frusit fast i isen.



Figur 19 Erosion på grund av isrörelse i reglerade vattendrag, Umeälven (Foto: P. Danielsson, SGI).

3.2.3 Påverkan av fartygsvågor

Vissa vattendrag och kanaler är också farleder för sjöfarten. Fartyg som trafikerar vattendragen och kanalerna påverkar stränderna, ofta med erosion som en följd. Vågenergin som eroderar stränderna beror av fartygets storlek, skrovform, djupgående och fart, samt farledens djup och bredd.

Vissa fartygstyper kan generera stora svallvågor som eroderar stränderna, andra fartygstyper kan ge lite svall men en kraftig avsänkning som också kan orsaka erosion av stränderna, se **Figur 20**.

Fartygsgenererade vågor påverkar växterna längs stränderna på olika sätt. Vissa typer av växter klarar svallvågor väl men inte avsänkning av vattennivån medan andra har sämre motståndskraft mot svallvågor men klarar en avsänkning bättre.



Figur 20 Fartygsgenererade vågor i Göta älv (Foto: P. Danielsson, SGI).

3.2.4 Påverkan av klimatförändringar

Framtida klimatförändringar ändrar förutsättningar för erosion och kan därför även påverka valet av erosionsskydd. Ökad nederbörd och fler tillfällen med extrema regn förväntas i delar av landet i framtiden och detta medför ökade flöden och högre vattenhastigheter i vattendragen. Erosionsskydd behöver därför dimensioneras för ökade flöden och högre vattenhastigheter.

Naturanpassade erosionsskydd kan, i förhållande till mer traditionella erosionsskydd, ha en bättre anpassningsförmåga till ett förändrat klimat. Detta har bland annat studerats i det Holländska projektet "Building with nature" där det konstateras att åtgärder måste göras i samklang med naturen för att vara hållbara i ett framtida förändrat klimat (De Vriend & Van Koningsveld 2012).

Blir de prognostiserade dimensionerande flödena och vattenhastigheterna stora, kan även ett naturanpassat erosionsskydd konstrueras med en större andel av hårda material som sten och stockar.

4. Metodik för val av erosionsskydd

Det är viktigt att det finns en hållbar strategi för att hantera erosionsproblem i vattendrag. I detta kapitel presenteras en metodik som kan vara användbar när erosionsskydd skall planeras. Metodiken bygger på att behovet analyseras stegvis och olika strategier diskuteras under processen. Erosionsskydd har delats in i tre olika grupper; mjuka erosionsskydd, kombinerade erosionsskydd, samt hårda erosionsskydd. Naturanpassade erosionsskydd består vanligen av mjuka erosionsskydd eller en kombination av mjuka och hårda erosionsskydd.

4.1 Metodik

Erosionsskydd i vattendrag kan behöva anläggas om det finns risk för att människor, infrastruktur, eller andra samhällsvärden kan komma till skada till följd av erosion. Erosionsskydd kan också behöva anläggas om naturvärden är hotade eller för att uppnå god ekologisk potential, till exempel i reglerade vattendrag där kraftbolagen måste sörja för att god ekologisk status finns längs vattendragen och magasinen. Finns det inget hotat objekt bör erosionsskydd inte anläggas utan de naturliga processerna kan ha sin gång. Ingår vattendraget i ett Natura 2000-område, kan ett ingrepp i form av erosionsskydd försvåras med hänsyn till habitatdirektivet.

Traditionellt har hårda erosionsskydd, av typen stenskonung, använts men på senare år har de hårda metoderna ifrågasatts. Naturanpassade metoder har förespråkats och olika metoder har utvecklats och använts. Våldigt få studier och tester av naturanpassade metoder har genomförts i Sverige, däremot har naturanpassade erosionsskydd testats i Tyskland på flera ställen (se Bilaga 1). Fördelen med hårda erosionsskydd är att de löser erosionsproblemet på den aktuella sträckan men ofta kan erosionen förvärras uppströms eller nedströms det anlagda erosionsskyddet. I vissa fall är dock inga andra åtgärder möjliga, om erosionen måste stoppas.

Naturanpassade erosionsskydd är gynnsamma för den biologiska mångfalden, mer skonsamma och följsamma till naturen, är estetiskt mer tilltalande än hårda skydd, och leder ofta inte till att det uppstår erosion på andra platser. Däremot är naturanpassade erosionsskydd som består av stor del växter ofta känsliga för erosion när de är nyanlagda och innan rotsystem kunnat etableras.

I detta kapitel beskrivs en metodik som kan användas vid arbete med erosion i vattendrag (Johansson 2003). Metodiken illustreras i **Figur 21**.

4.1.1 Steg 1 – Värden

Det första steget är att identifiera stränder med förutsättningar för erosion, och på dessa platser klargöra om samhällsekonomiska värden eller miljövärden är hotade och om dessa behöver skyddas. Finns det inga samhällsekonomiska värden eller miljövärden som hotas kan den naturliga erosionen fortsätta. Finns det däremot värden som står på spel måste en lämplig strategi tas fram. Det första steget kan också vara en sårbarhetsutredning eller en riskbedömning av området, där sannolikheten för erosion och konsekvenserna av erosionen bedöms.

4.1.2 Steg 2 – Strategi

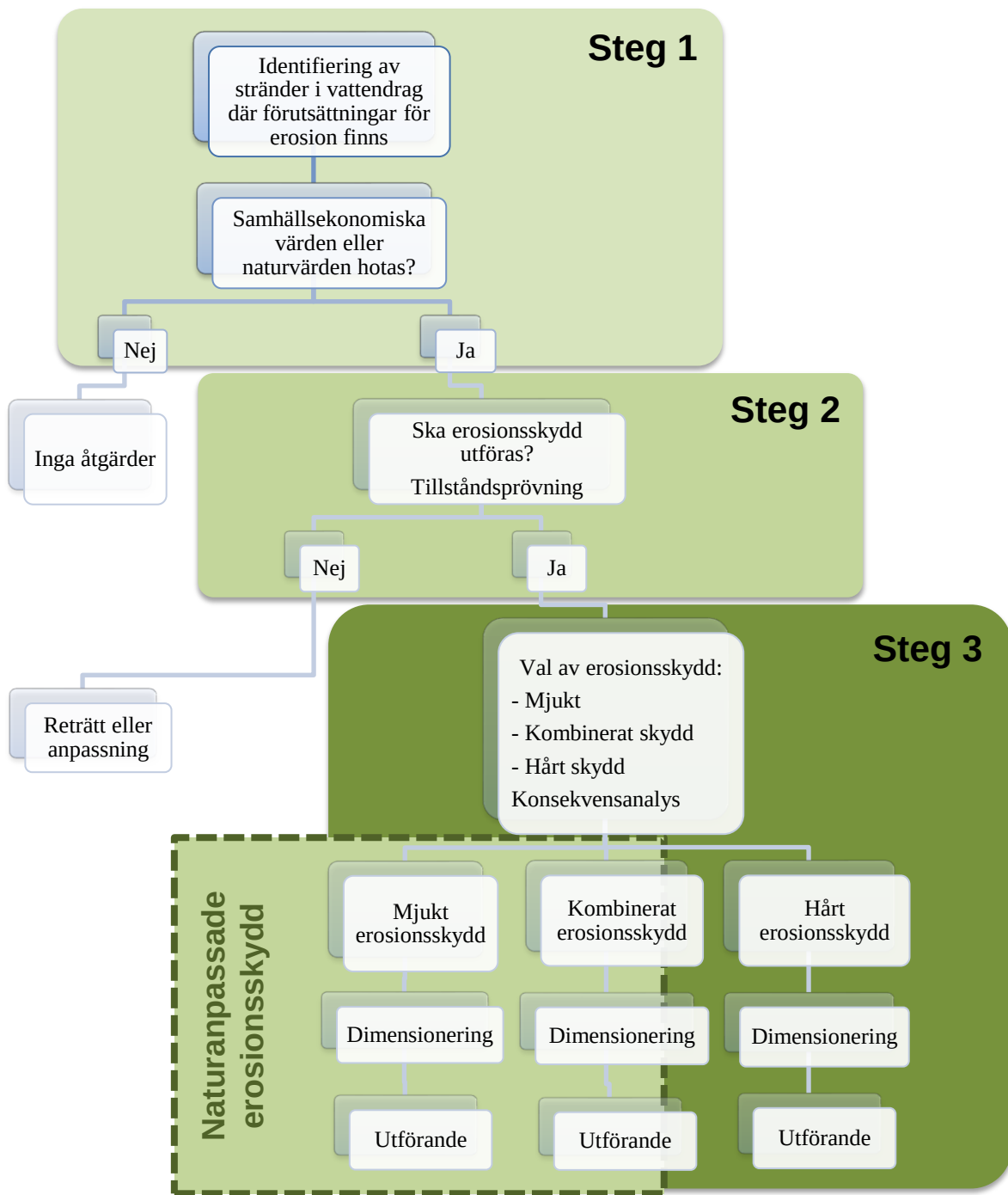
Finns det risk för att samhällsekonomiska värden eller miljövärden skadas måste en strategi tas fram för att hantera detta. Beslut måste tas om erosionsskydd skall anläggas eller om reträtt eller annan anpassning skall användas som åtgärd. För att kunna skapa en effektiv lösning måste det finnas en kunskap om hur hela vattendraget fungerar och åtgärderna måste göras på ett integrerat och holistisk sätt, se vidare Kapitel 2.1.

4.1.3 Steg 3 – Erosionsskydd

Blir beslutet att anlägga ett erosionsskydd måste tillstånd sökas enligt miljöbalken § 11:9. Tre olika typer av erosionsskydd kan användas: mjuka erosionsskydd, kombinerade erosionsskydd eller hårda erosionsskydd. Det som styr valet av erosionsskydd är de naturliga förhållandena på platsen och den påverkan som kommer att göras genom strömmande vatten och mänskliga aktiviteter enligt beskrivningen i Kapitel 3. Det måste finnas en förståelse för hur vattendraget fungerar i sin helhet, se Kapitel 2.

Erosionsskyddet dimensioneras utifrån de platsspecifika förutsättningar som gäller. Generellt kan sägas att ett skydd som medför en mer variationsrik miljö är mindre skadligt för den biologiska mångfalden än ett monotont och slätt skydd, se vidare Kapitel 4.2.

Därefter påbörjas byggprocessen, som har föregåtts av tillståndsprövning, som vid naturanpassade erosionsskydd ofta styrs av växtsäsongen och av flödesvariationer i vattendraget.



Figur 21 Strategi för val av erosionsskydd (Efter Johansson, 2003).

4.2 Val av erosionsskydd

När steg 3 i metodiken lett fram till ett beslut om att erosionsskydd skall anläggas är det främst följande parametrar som styr valet av erosionsskydd:

- Vattenhastigheten eller vattenflödet.
- Geologiska och geotekniska förhållanden, främst jordart (sand, silt, lera, etc.) och jordens fasthet.
- Vattendragstyp med dominerande processer.
- Biologiska förhållanden (typ och omfattning av befintlig växtlighet etc.).
- Topografiska förhållanden (vattendragets bottenlutning, släntlutning etc.).
- Förekomst av is.
- Förekomst av fartygstrafik.

Det är viktigt att erosionsskyddet är hållbart och står emot erosion under lång tid. Skyddet bör byggas av material och växter, som har så liten påverkan på miljön som möjligt. Erosionsskyddet bör uppföras på ett säkert och skonsamt sätt med avseende på omgivningen. Ett kontrollsystem bör finnas för att kontrollera egenskaper och funktion i skyddet. Slutligen måste det finnas en drift- och underhållsplan för att erosionsskyddet skall hålla under sin livslängd.

Exempel på några krav som bör anges för ett erosionsskydd med avseende på beständighet:

- Metod (erosionsskydd)
- Materialkrav
- Utförande
- Beskrivning av miljöpåverkan
- Metoder för efterkontroll
- Drift och underhåll

Olika typer av erosionsskydd kan utföras, dessa kan presenteras på en skala från mjuka erosionskydd bestående av enbart växter till hårda erosionsskydd bestående av sten, betong eller stål, se

Figur 22. Växter, sten och ved kan kombineras på många olika sätt och spannet mellan mjuka och hårda skydd är stort.



Figur 22 Olika typer av erosionsskydd i en skala från mjuka till hårda (Illustration: P. Danielsson).

4.3 Alternativa lösningar

I steg 1 och 2 i metodiken finns möjlighet att välja alternativa lösningar så som reträtt, omledning av vattendrag, avschaktning av strandbrink, minskad vattenreglering, flytt av anläggningar. Dessa alternativa lösningar bör alltid beskrivas för att tydliggöra vilka avvägningar som gjorts när beslut om erosionsskydd fattas och särskilt med avseende på skyddets livslängd. Denna studie har inte omfattat alternativa lösningar till erosionsproblematiken, utan fokuserar på naturanpassade erosionsskydd som en möjlig åtgärd.

4.4 Samverkan

Ett bra samarbete mellan berörda myndigheter, kommuner, organisationer och fastighetsägare förbättrar förutsättningarna för en lyckad etablering av ett naturanpassat erosionsskydd.

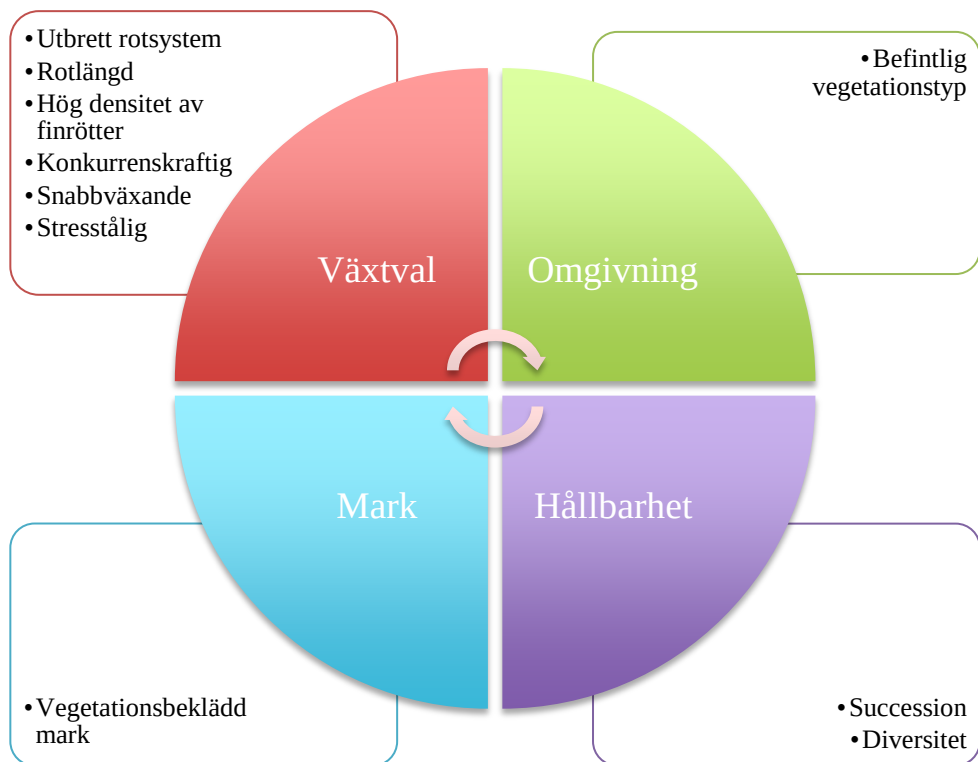
De myndigheter som kan vara aktuella i samband med erosion och etableringen av erosionsskydd i vattendrag är; Boverket, Havs- och vattenmyndigheten, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), Naturvårdsverket, Sjöfartsverket, Statens geotekniska institut (SGI), Sveriges geologiska undersökning (SGU), Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI), Trafikverket, samt länsstyrelser och kommuner. I samband med erosion i reglerade vattendrag bör också vattenkraftsindustrin medverka i samband med planeringen av erosionsskydd.

För att ett naturanpassat erosionsskydd skall etablera sig bra och bli hållbart på sikt måste olika aktörer samverka från planeringsskedet genom projekteringsskedet och byggskedet till förvaltnings/underhållsskedet. Många exempel visar på att brister i denna kedja gjort att naturanpassade erosionsskydd inte blivit så hållbara som planerat från början.

4.5 Mjuka erosionsskydd

Med mjuka erosionsskydd menas erosionsskydd som byggs enbart av växter, och dessa kan i många fall ge en bättre biologisk mångfald i och kring vattendraget, jämfört med hårda erosionsskydd (Allen & Leech 1997; Cramer & Bates 2003; von Bahr 2013).

Ett mjukt erosionsskydd som består av växter av olika slag kan väljas om förutsättningarna i och kring vattendraget är de rätta, exempelvis måttlig vattenhastighet, små variationer i vattennivåer och flack släntlutning. I så hög grad som möjligt bör man använda sig av vegetation som finns naturligt i omgivningen. I ett examensarbete inom projektet Naturanpassade erosionsskydd anges att fyra faktorer bör beaktas vid val och planering av ett mjukt erosionsskydd: växtval, omgivning, mark och hållbarhet (Leth 2014). Detta illustreras i **Figur 23**.



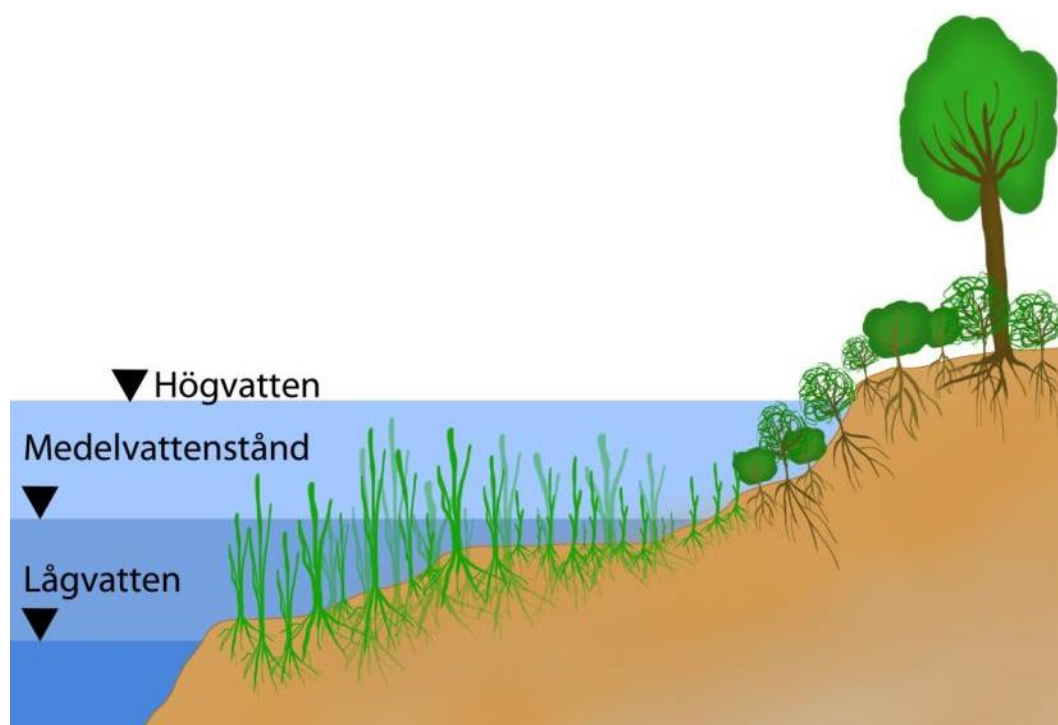
Figur 23 Teoretisk modell vid planering av mjuka erosionsskydd (Leth 2014).

Ett mjukt erosionsskydd är känsligt för yttre påverkan under de första åren och kan behöva skyddas under denna period för att vegetation ska kunna etableras. Exempel på olika typer av mjuka erosionsskydd finns i Avsnitt 6.1.

Exempel på mjuka erosionsskydd:

- Gräsvegetation
- Gräs och buskar
- Buskvegetation
- Träd och buskar
- Kokosmattor med vegetation
- Geotextil med vegetation
- Dött växtmaterial

En illustration av principen för ett mjukt erosionsskydd bestående av växter visas i **Figur 24**.



Figur 24 Mjukt erosionsskydd i vattendrag (Illustration: K. Gellerstam).

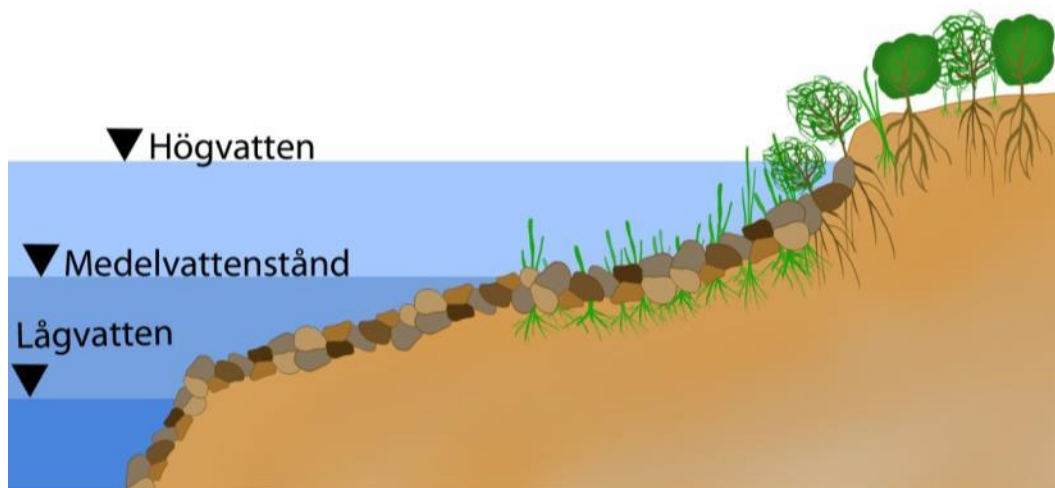
4.6 Kombinerat erosionsskydd

Det finns en stor mängd olika kombinerade erosionsskydd utifrån principen med en kombination av mjuka och hårda metoder (se **Figur 25**). Nedan finns ett antal typexempel på kombinerade erosionsskydd och exempel på sådana erosionsskydd finns i Kapitel 6.2. Mer information finns i (Allen & Leech 1997; Cramer & Bates 2003; Rankka 2002; von Bahr 2013).

Vid val av växter bör, precis som för mjuka erosionsskydd, faktorer så som växtart, omgivning, mark samt hållbarhet, beaktas. Vid val av sten måste hållbarhetsaspekterna beaktas och i första hand skall samma kornstorlek och rundhet som förekommer naturligt i vattendraget användas.

Exempel på kombinerade erosionsskydd:

- Stenskoning med vegetation
- Stenskoning under medelvattenytan och vegetation över
- Gabioner med förplanterade växter
- Betong-hålblock med vegetation
- Träpålar med vegetation
- Stockar, stockmurar, eller död ved
- Faskiner, flätverk, eller faskiner i kombination med sten
- Block i vattendraget för att reducera vattenhastigheten
- Block i vattendraget för att fixera isen
- Olika typer av flödesändring och överfall



Figur 25 Kombinerat erosionsskydd i vattendrag (Illustration: K. Gellerstam).

4.7 Hårda erosionsskydd

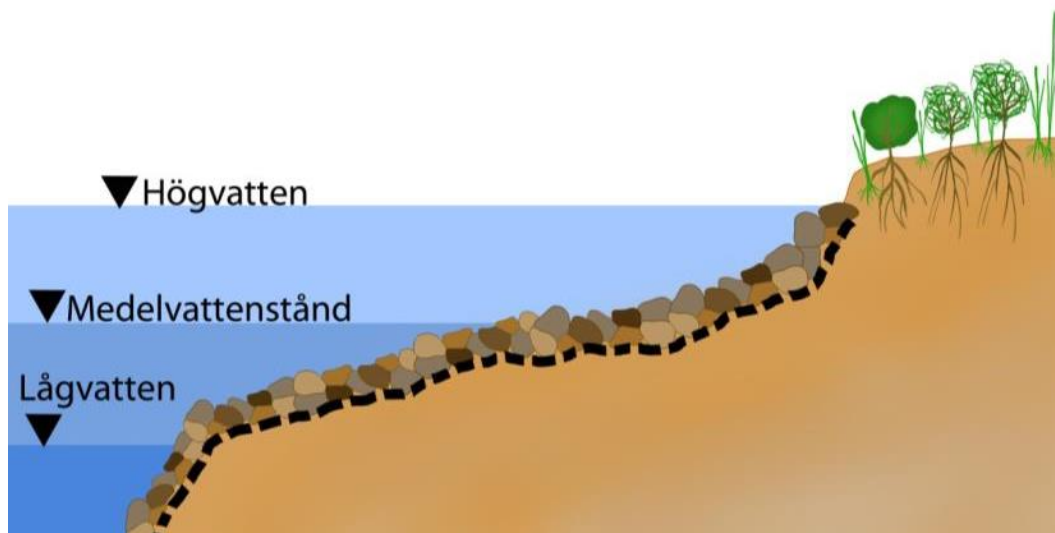
Hårda erosionsskydd är den traditionella metoden att förhindra erosion i vattendrag. Skydden är effektiva för att förhindra erosion på just den specifika platsen och kan vara nödvändiga vid höga vattenflöden eller vid stor påverkan av fartygstrafik. Men hårda erosionsskydd kan också medföra vissa problem genom att ökad erosion kan uppkomma i anslutning till skydden och nedströms skydden. Dessutom är hårda erosionsskydd ofta ogynnsamma för den biologiska mångfalden och miljön i stort.

Exempel på olika typer av hårda erosionsskydd är:

- Stenskoning i kombination med fiberduk
- Gabioner
- Betongblock
- Spont av stål eller trä

Illustrationen i **Figur 26** visar principen för utformning av ett hårt erosionsskydd, bestående av sprängsten med en underliggande fiberduk.

Mer information om hårda erosionsskydd finns i bland annat Erosionsskydd i samband med förstärkningsåtgärder för slänter, Skredkommissionen, Rapport 1:94, (Ohlsson et al., 1994) Erosionsskydd i vatten vid väg- och brobyggnad, Vägverket, Rapport 1987:18, (Vägverket 1987), samt i Trafikverkets tekniska krav och råd för geokonstruktioner, (Trafikverket 2011; Trafikverket 2014a; Trafikverket 2014b), med flera.



Figur 26 Hårt erosionsskydd i vattendrag (Illustration: K. Gellerstam).

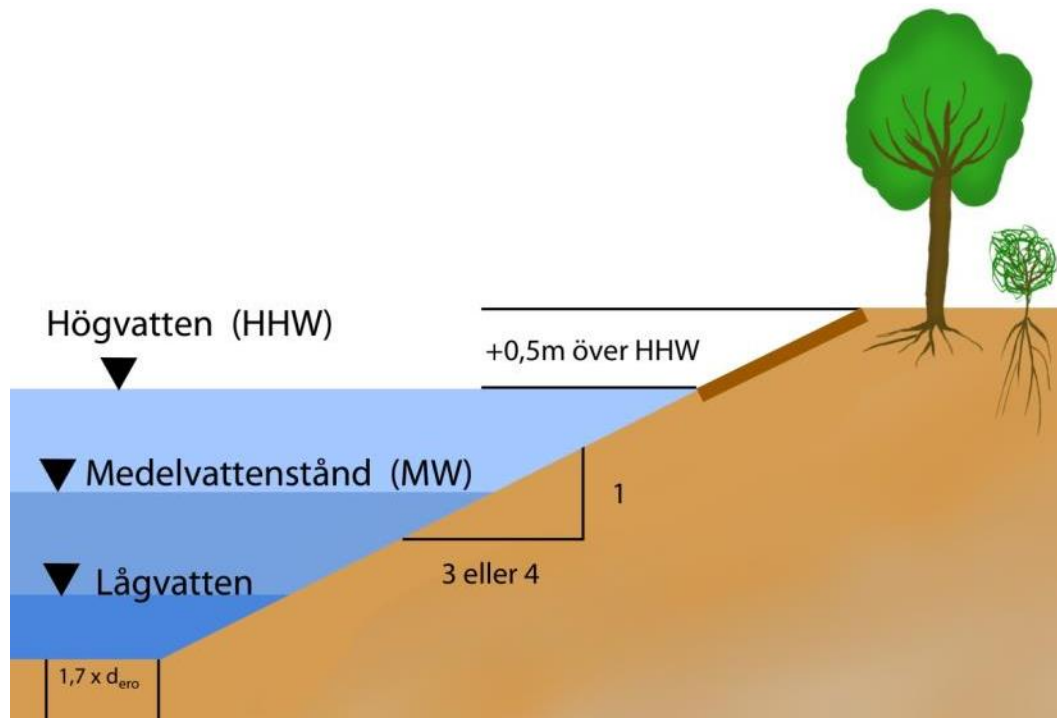
4.8 Utformning

Erosionsskydd utformas olika beroende på de specifika förutsättningar som finns på platsen som ska skyddas och vilken typ av skydd som behövs. I första hand bör de naturliga referensförhållandena efterliknas, så att den biologiska mångfalden behålls. Skredkommissionen har angett riktlinjer för lutningar och utsträckning av erosionsskydd längs vattendrag (Ohlsson et al. 1994). Strandbrinkens lutning i ett naturanpassat erosionsskydd bör i de flesta fall vara 1:3 eller flackare (Allen & Leech 1997). Lutningen i ett kombinerat erosionsskydd, med stenskoning, bör normalt inte överstiga 1:2. Används hårda erosionsskydd kan lutningen vara 1:2 eller brantare beroende på vilken teknik som används.

Lutningen kan också variera över tvärsnittet, till exempel genom att lutningen vid medelvattenytan är flackare för att högre upp bli brantare, se **Figur 25**. Detta kan vara gynnsamt i de fall vattendrag (under vissa tider på året) har stora flöden som ger stor utbredning på omgivande mark.

Ett erosionsskydd av sten skall enligt Skredkommissionen (Ohlsson et al. 1994) dras upp +0,5 m över högsta högvattennivån (HHW), se **Figur 27**. Om erosionsskyddet över medelvattenytan skall utgöras av ett naturanpassat erosionsskydd i stället för sten, som Skredkommissionen anger, behöver hållfastheten och beständigheten bedömas.

Är vattendraget utsatt för vågor från exempelvis fartygstrafik, skall erosionsskyddet dras upp till +0,5 m över den nivå som högsta vågen når till, om inte en särskild utredning visar annat (Ohlsson et al. 1994).



Figur 27 Strandbrinkens utformning i vattendrag (Illustration: K. Gellerstam).

Erosionsskyddets utsträckning vid släntfot bestäms av uppskattningen av framtida erosionsangrepp vid släntfot. Som allmän riktlinje kan ges att erosionsskyddet dras ut en sträcka motsvarande $1,7 \times$ det uppskattade framtida erosionsdjupet (d_{ero}) (Ohlsson et al. 1994).

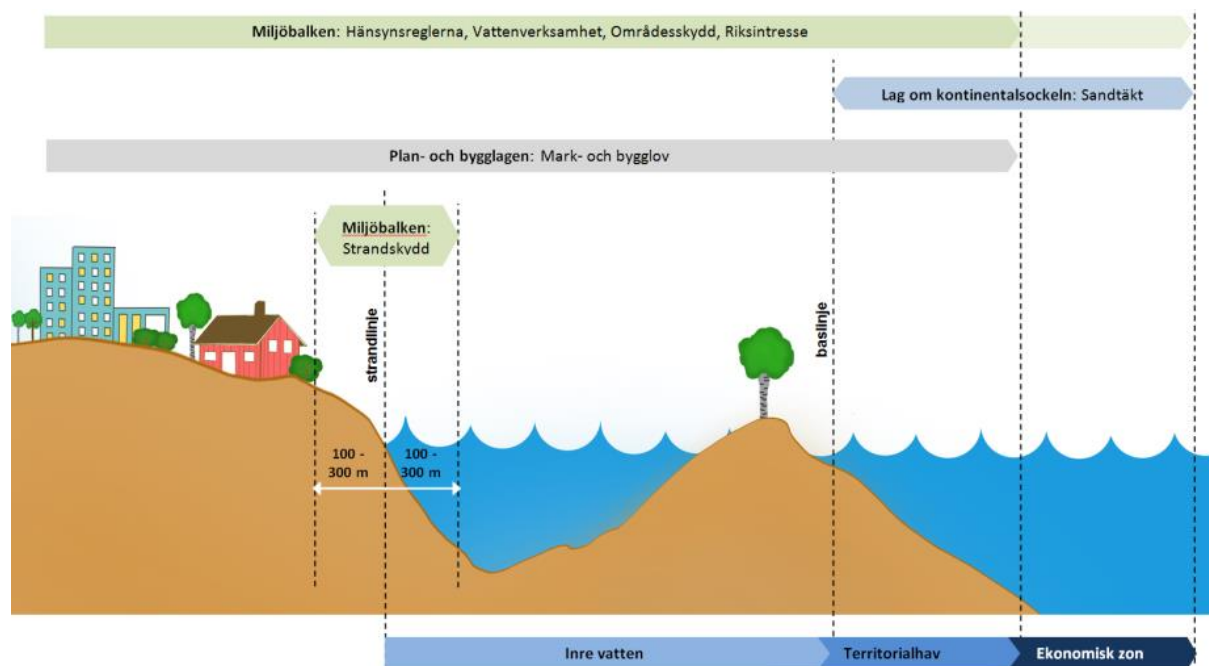
De allmänna kraven på utformning av erosionsskydd enligt Skredkommissionen tar inte hänsyn till klimatförändringar i form av framtida högre flöden och vattennivåer i vattendragen.

5. Ansvar och regler för erosionsskydd

Att anlägga erosionsskydd i vattendrag innebär att ett flertal förhållanden i den naturliga miljön kommer att påverkas. I detta kapitel görs en mycket översiktlig redovisning av några av de regelverk som kan behöva beaktas för erosionsskydd i vatten. En detaljerad genomgång av ansvar och regler vid erosionsskydd finns i (Lerman & Rydell 2003).

Samtliga åtgärder mot stranderosion som genomförs i vatten definieras som vattenverksamhet enligt Miljöbalken. Normalt krävs tillstånd enligt 11 kap 9 § miljöbalken för att få anlägga ett erosionsskydd. Ansökan prövas då av mark- och miljödomstolen. Erosionsskydd av mindre omfattning kan i vissa fall anläggas efter anmälan till länsstyrelsen.

Strandskyddsregler gäller längs kuster, sjöar och vattendrag. Generellt gäller 100 meter på land och i vatten och efter beslut av länsstyrelsen upp till 300 meter. Syftet är dels att trygga förutsättningarna för allmänhetens friluftsliv, dels att bevara goda livsvillkor på land och i vatten för djur- och växtlivet. Strandskyddet innebär ett generellt förbud mot anordningar som avhåller allmänheten från att beträda området (till exempel inhägnad, plantering, stenskoning), eller som väsentligen försämrar livsvillkoren för djur- eller växtarter. När det gäller livsvillkoren omfattar förbudet även åtgärder som grävning och utfyllnad. Dispens från strandskyddsregler kan i vissa fall ges om det finns särskilda skäl, Miljöbalken 7 kap 18 §. Detta prövas av kommun, länsstyrelse, eller mark- och miljödomstolen.



Figur 28 Exempel på lagar som bör beaktas vid planering av erosionsbegränsande åtgärder (Illustration: K. Gellerstam)

Det finns ytterligare ett antal regler som behöver beaktas exempelvis om området utgör ett Natura 2000-område, är skyddat som naturreservat eller med ett speciellt biotopskydd. Berörs ett Natura 2000-område krävs i många fall en ansökan om tillstånd enligt 7 kap 28 a § miljöbalken. Denna ansökan kan samordnas med ansökan om tillstånd till vattenverksamhet. Även föreskrifterna i EU:s

vattendirektiv är aktuella. I Havs- och vattenmyndighetens föreskrifter (HVMFS 2013:19, bilaga 3) finns bland annat angivet vilka parametrar som särskilt ska beaktas vid en bedömning av påverkan på det morfologiska tillståndet i vattendrag. Ambitionerna i miljö kvalitetsmålet ”Levande sjöar och vattendrag” bör även beaktas. Vid fysisk planering finns möjligheter att förebygga att erosions-skydd ska behöva anläggas. Plan- och bygglagen (PBL) anger att bebyggelse ska anläggas på mark som är lämpad för ändamålet utifrån ett flertal kriterier. Genom att ta hänsyn till dagens och framtida erosionsförhållanden i ett vattendrag kan åtgärder som kan komma att kräva erosionsskydd och andra skredförebyggande åtgärder i vatten undvikas.

Ansvar för att förvalta, bevara och skydda naturen ligger på flera olika administrativa nivåer och hos flera aktörer. Ett stort ansvar ligger hos kommunerna som kan styra markanvändningen genom översikts- och detaljplanering. Länsstyrelserna ska se till att risker och säkerhet beaktas i kommunernas samhällsplanering och även samordna vissa mellankommunala frågor. Enskilda fastighetsägare har också ett ansvar för att skydda sin egendom mot skador, framförallt befintliga fastigheter som eventuellt måste anpassas efter nya förhållanden. Det kan krävas skyddsåtgärder som fastighetsägaren själv måste vilja ha genomförda och även kunna samordna med omkringliggande fastighetsägare.

6. Olika typer av erosionsskydd

I detta kapitel ges exempel på olika typer av erosionsskydd och dess förutsättningar och användning för olika förhållanden. Erosionsskydden har delats in i tre grupper; mjuka erosionsskydd, kombinerade erosionsskydd och hårda erosionsskydd. Nedan anges principer och exempel på olika typer av erosionsskydd inom de tre grupperna. Som bilagor finns ytterligare exempel redovisade för ett antal utförda erosionsskydd i vattendrag.

Det har inte ingått i denna förstudie att redovisa uppgifter om kostnader för anläggning samt för drift och underhåll och inte heller detaljerade uppgifter för projektering och dimensionering av skydd.

Naturanpassade erosionsskydd kan tillhöra både gruppen mjuka erosionsskydd och kombinerade erosionsskydd. Typexemplen i detta kapitel är endast till för att illustrera mångfalden av olika typer av skydd och dessa kan med fördel användas som inspirationsskälla i planeringsfasen för att anlägga ett erosionsskydd.

6.1 Mjuka erosionsskydd

I detta avsnitt beskrivs hur olika typer av växter, och kombinationer av dessa, kan användas som erosionsskydd, och ett antal olika typexempel på mjuka erosionsskydd. Det finns många olika sätt på vilket ett erosionsskydd kan konstrueras och det är upp till konstruktören som designar erosionsskydden att skapa det mest fördelaktiga erosionsskyddet. Normalt används en kombination av olika växter som skydd. I detta avsnitt beskrivs egenskaper och användningssätt för olika vegetationstyper, fysikaliska egenskaper samt val av växter och tidpunkt för plantering av växter (Rankka 2005; Gurnell 2014; Tix et al., 2008; Rolf 2005; Wells 2002; USDA 1996; USDA 1992).

6.1.1 Vegetation som erosionsskydd

Att använda olika typer av vegetation har blivit alltmer efterfrågat som erosionsskydd. Det är främst växternas rötter som binder sediment, men växtligheten ovan mark har också en positiv inverkan på till exempel vågdämpning.

Följande krav bör ställas på de växter som skall användas till erosionsskydd (Morgan & Rickson 1995):

- Växtens rötter skall vara snabbväxande
- Växten skall vara vattentålig
- Växten skall vara slitålig mot vågor och annan nötning
- Växten skall vara konkurrenskraftig, men inte konkurrera ut övriga befintliga arter
- Växten skall finnas lokalt

Det är främst rotsystemen hos växtligheten som motverkar erosion, men även växtdelar ovan mark är viktiga för att minska erosionen.

Olika typer av vegetation kan användas beroende på förutsättningarna på platsen, problemställningar och förväntat slutresultat. Vegetationen bevarar den biologiska mångfalden i och runt vattendraget och ger bättre förutsättningar för fiskar, fåglar, och insekter jämfört med ett hårt erosionsskydd.

6.1.2 Gräs- och örtvegetation

Gräs har ett rotsystem som binder jord och sediment ner till ett djup på 30-40 cm. Gräset måste slå rot i god tid innan större vattenflöden belastar slänten och spolar bort gräsfröna. Noterbart är att de flesta grässorter har merparten av rotsystem i de översta 25 cm (Coppin & Richards 2007). Detta medför att gräs inte binder sediment på djupet. Det finns dock grässorter med djupa rotsystem, men dessa är inte vanligt förekommande i Sverige.



Figur 29 Gräs som erosionsskydd i en vägbank, Nissan (Foto: P. Danielsson, SGI).

Lokala örter kan vara ett bra alternativ till gräs men också lämpligt i kombination med gräs. Örter har liksom gräs grunda rotsystem, 30-40 cm djupa (Coppin & Richards 2007).



Figur 30 Örter och gräs som erosionsskydd längs Rhen, Tyskland (Foto: P. Danielsson, SGI).

Låg vegetation med grunda rotsystem, till exempel gräs (**Figur 29**) och örter (**Figur 30**), fungerar bra om erosionen är måttlig, vattenhastigheterna är låga i vattendraget och där strandbrinken är flack. Gräs och örtvegetation passar ofta bäst i den torrare delen av strandbrinken (Cramer & Bates 2003). Gräs och örter som erosionsskydd kräver mer underhåll än till exempel buskvegetation. Slänter med gräs och örter kan ofta utsättas för yttre påverkan i form av betande kreatur och rörligt friluftsliv, vilket sliter på vegetationen som därigenom blir mer erosionsbenägen.

Gräs och örter kan inte reducera vågenergi i samma utsträckning som buskar och träd och används mer som erosionsskydd i de övre delarna av strandbrinken.

Gräs- och örtvegetation har ett fullt utvecklat rotsystem först efter 3-5 år och är under de första två växtsäsongerna extra känslig för erosion och kräver därmed ofta extra underhåll. Om strandbrinken betas av kreatur eller slås/klipps manuellt, och ingen näring tillförs, kommer rotsystemet bli kraftigare än om det växer naturligt. Gräs- och örtvegetation kräver ofta regelbundet underhåll för att kunna utgöra ett bra erosionsskydd (Verhagen 2000), oberoende av om det växer naturligt eller betas/slås.

Gräs och örter har rötter med något lägre draghållfasthet än buskar och träd. Gräs och örter med starka rötter (hög draghållfasthet) är till exempel kvickrot, lusern, och rödklöver (Coppin & Richards, 2007; Rankka, 2002). Gräs och örter med täta rotsystem (hög rotdensitet) har bättre motståndskraft mot erosion än de gräs och örter som har glesa rotsystem (Verhagen 2000).

6.1.3 Buskar och träd

Buskar har djupare rotsystem än gräs och örter. Ofta når rötterna ner till cirka 3 m och ibland även djupare. Olika buskar har olika rotsystem, vissa är grunda och breder ut sig horisontellt och andra växer mer på djupet.

Videbuskar (*Salix*) har använts vid flera olika försöksanläggningar både i Sverige och utomlands med gott resultat. *Salix*släktet är allmänt känt som snabbväxande med ett rotsystem som breder ut sig både horisontellt och på djupet. Orotade grenar (sticklingar) från videbuskar kan placeras direkt i en slänt och där både slå rot och få nya skott, se vidare sticklingsmetoden Avsnitt 6.1.6.



Figur 31 Videbuskar som erosionsskydd längs Rhen i Tyskland (Foto: P. Danielsson, SGI).

Buskvegetation som erosionsskydd har använts på många håll i världen med gott resultat, bilden ovan illustrerar ett försöksområde i Tyskland (**Figur 31**). I Sverige har buskvegetation använts för att stabilisera vägbankar mot erosion och ras. Ett mindre test har gjorts i Göta älv nära Surte (se Bilaga 4) men inga mer omfattande försök eller studier i vattendrag har hittills genomförts i Sverige.

Buskvegetation anläggs med fördel genom att hela mattor av grenar, ofta från salix-familjen (vide), läggs ut på slänten och fixeras i marken med träpålar, se Avsnitt 6.1.7.

Gräs och örter kan med fördel kombineras med buskvegetation, för att få ett bättre skydd mot erosion. Buskvegetation har ofta ett starkare och djupare rotsystem som tål större påfrestningar (**Figur 32**).

Träd har precis som buskar olika rotsystem. Vissa arter har rotsystem som växer på djupet andra har rotsystem som utbreder sig horisontellt under marken. Buskar och träd har kraftigare rötter och därigenom större draghållfasthet. Träd och buskar med starka rötter är till exempel al, björk och rödvide (Coppin & Richards 2007).

Grenar på träd och buskar har dessutom en reducerande effekt på vågor som genereras av bland annat fartygstrafik. I kombination med andra erosionsskydd kan emellertid träd ha den nackdelen att rötterna kan bli väldigt tjocka och kan då var till mer skada än nytta för erosionsskyddet. Träd i en befintlig stenskoning kan försämra skyddet genom att det bryter sönder erosionsskyddet, men riskerna varierar beroende på skyddets lokalisering och utformning.



Figur 32 Exempel på hur rotsystem skyddar mot erosion i den erosionsutsatta strandbrinken, Rönne å (Foto: P. Danielsson, SGI).

Buskvegetation kan också kompletteras med träd för att få ytterligare erosionsskydd (**Figur 33**). Träden måste finnas lokalt och vara anpassade till olika vattenstånd, i perioder kommer träden stå under vatten och i perioder kommer de att utsättas för torrperioder.



Figur 33 Träd och buskar som erosionsskydd längs Rhen vid Worms, Tyskland (Foto: P. Danielsson, SGI).

6.1.4 Val av växtlighet och planteringsperiod

Jordarten styr ofta vilken typ av växtlighet som kan användas. Växter som finns lokalt ska främst användas och det bör undvikas att introducera nya växter som inte redan finns på platsen. Valet av växter måste också anpassas till klimatzonen och väderstrecket (Lundström & Andersson, 2008; Coppin & Richards, 2007).

Växternas rotsystem och grenar har en stor inverkan på erosionen och vågbilden. Buskar tar upp vågenergin och minskar på detta sätt erosionen.

Tidpunkten för plantering av växter är avgörande för naturanpassade erosionsskydd. Växterna måste planteras under rätt period för att kunna etablera sig innan stora flöden uppstår, till exempel i samband med snösmältning och vårflood. Kan inte växterna etablera sig innan stora flöden uppkommer, spolas ofta växter och frön bort med resultatet att växtligheten blir undermålig (Coppin & Richards 2007).

6.1.5 Geotextil med vegetation

Gräs- och örtvegetation tillsammans med en geotextil har en bättre motståndskraft än vad växterna har utan den armerande funktion som geotextilen medför. Det finns flera fabrikat av geotextil på marknaden, både biologiskt nedbrytbara och syntetfiber som har en längre hållbarhet. I första hand skall biologiskt nedbrytbara geotextiler användas.

Det är viktigt att geotextilen fixeras i marken så att växterna kan rota sig ordentligt innan större krafter påverkar strandbrinken (**Figur 34**). Det tar 3-5 år för gräs och örter att fullt utveckla sina rotsystem (Verhagen 2000). Därför är det extra viktigt med underhåll av slänterna de första tre åren.



Figur 34 Geotextil med växter längs Rhen vid Worms, Tyskland (Foto: BAW).

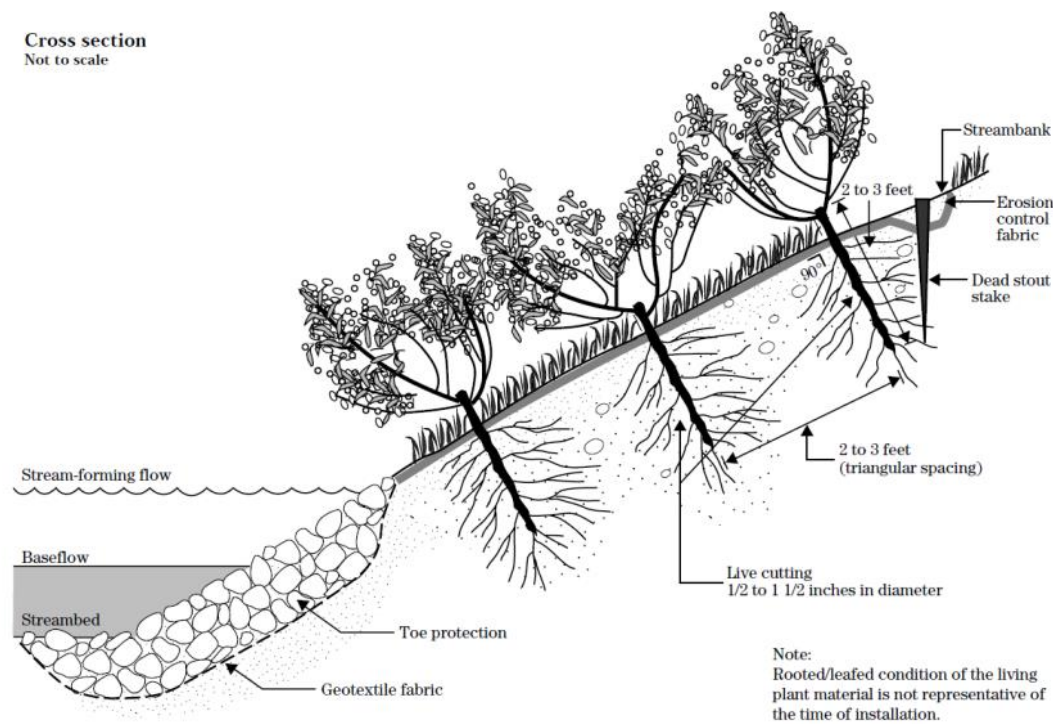
6.1.6 Sticklingsmetoden

Sticklingsmetoden bygger på att levande sticklingar trycks ner i strandbrinken. Sticklingarna slår rot och rotsystemet binder sedimentet i marken (USDA 1996). Sticklingsmetoden fungerar i vattendrag med små eller måttliga vattenhastigheter. Erosionsskyddet är känsligt i etableringsfasen innan sticklingarna slagit rot och börjat växa.

Metoden bygger på att en geotextil fixeras i strandbrinken med hjälp av sticklingar som trycks ner på jämna mellanrum i marken. Sticklingsmetoden kan också kombineras med gräs och örter, eller med mattor av grenar. Metoden är enkel och billig att använda.

Det är viktigt att geotextilen fixeras i vattnet på ett hållbart sätt så att höga flöden inte rycker loss geotextilen. I illustrationen **Figur 35** är geotextilen fixerad nertill genom en stenskonung. Geotextilen kan också fixeras med andra metoder, så som stockar, faskiner, träpålar, etc.

Sticklingsmetoden kan också användas för att förstärka en strandbrink som delvis utsatts för erosion och marktäckande vegetation har försvunnit. Sticklingar placeras ut i området som behöver vegetation eller där vegetationen behöver kompletteras.



Figur 35 Sticklingsmetoden förstärkt med sten under vatten (Illustration: USDA, 1996).

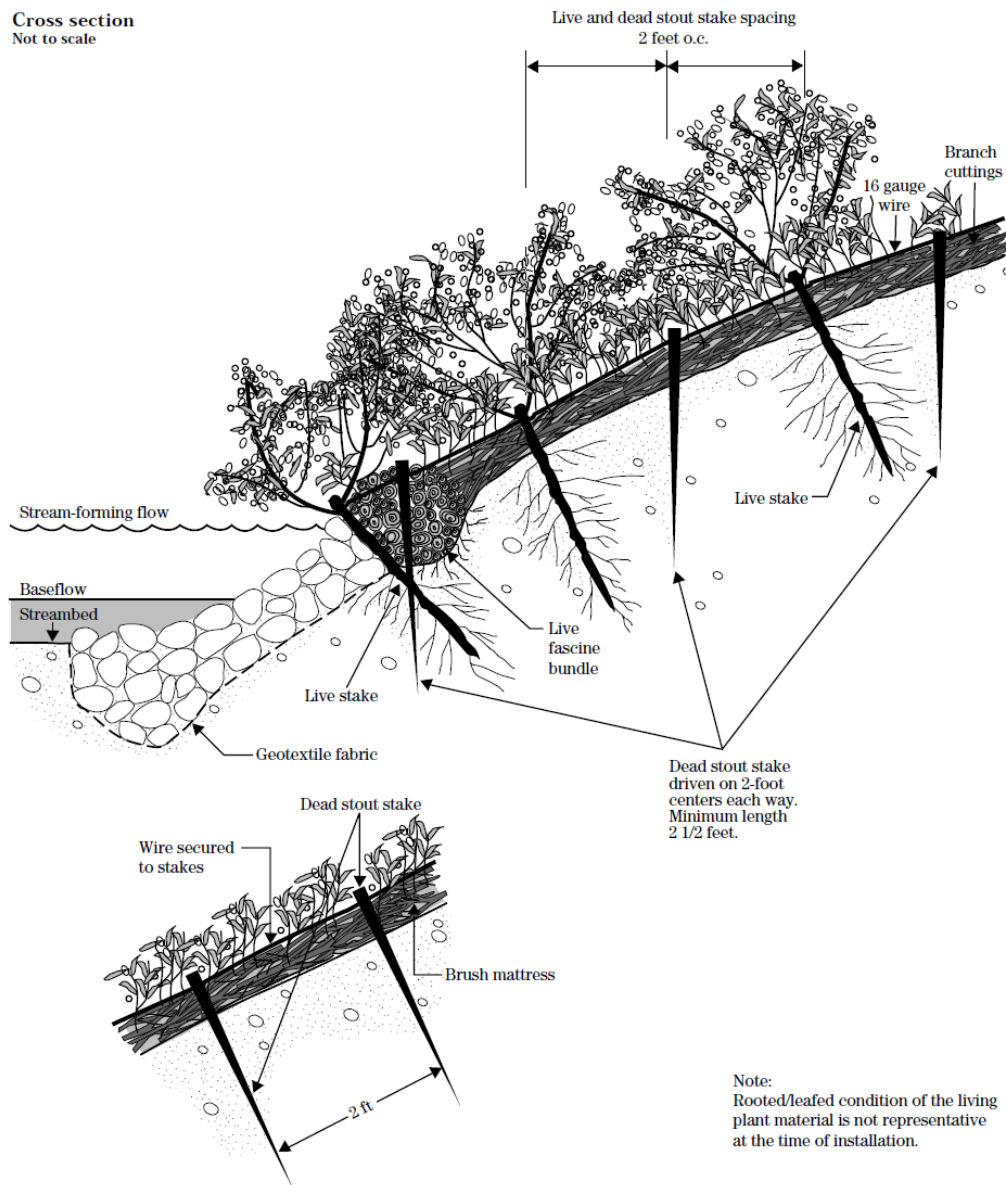
6.1.7 Mattor av levande grenar

Mattor av levande grenar fixeras vid masken med pinnar av både döda och levande grenar (USDA 1996). Mattorna av grenar binder sedimentet och minskar kraften från det strömmande vattnet, mattorna kommer också fånga sediment som kommer med vattnet vid höga flöden. Grenarna kommer slå rot och börja växa redan första säsongen, det är viktigt att använda växter från trakten och inte introducera nya växter (**Figur 38**). Foten av erosionsskyddet bör skyddas om det utsätts för höga vattenhastigheter. I exemplet nedan har foten förstärkts med sten och en faskin.

Grenarna måste vara böjliga för att kunna forma sig efter strandbrinkens utformning, lämplig tjocklek på grenarna är 2-3 cm, samt 2-3 m långa, grenarna placeras ut vinkelrät mot strandkanten, se **Figur 37**. Mattorna fixeras sedan med antingen wire som spänns diagonalt över grenarna eller med kraftigare grenar som läggs ut vinkelrät mot de tunnare grenarna och fixeras vid marken med pinnar.



Figur 36 Mattor av grenar fixerade med trädgrenar (Foto: BAW).



Figur 37 Mattor av levande grenar i strandbrinken för att hindra erosion (Illustration: USDA, 1996)

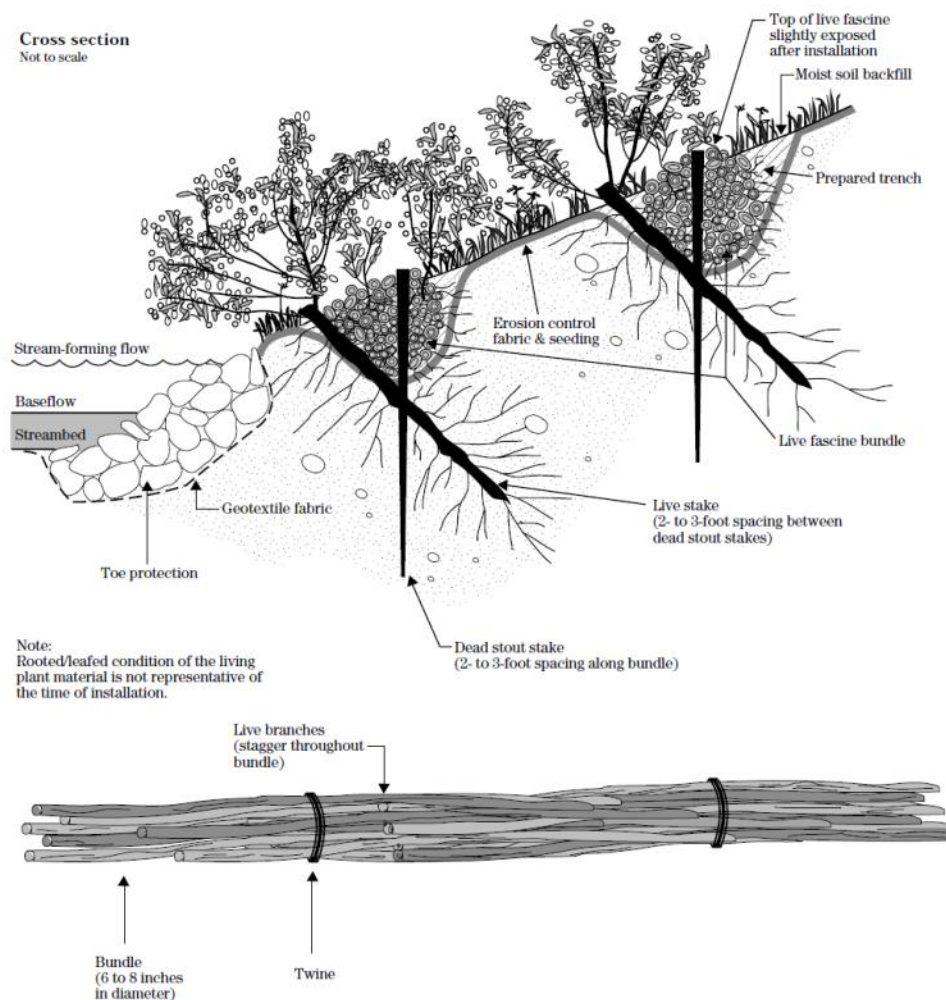


Figur 38 Mattor av levande grenar som etablerat sig (Foto: P. Danielsson, SGI).

6.1.8 Faskiner

Faskiner, buntar av levande grenar och kvistar som knyts samman, bildar ett cylinderformat knippe av grenar, cirka 0,5 m i diameter och 2-3 m långa, som kan användas som erosionsskydd, ofta används faskiner i kombination med andra mjuka lösningar. Faskinerna tillverkas ofta av vide (Salix), som har lätt att etablera sig utan förplantering. Grenarna som bildar faskinen tas med fördel från närområdet för att inte introducera nya växter.

Faskinerna placeras vanligen parallellt med vattendraget och fixeras i botten med träpålar av dött eller levande material. Faskiner fungerar bäst i ganska grunda vatten och kan kombineras med en stenskoning vid släntfoten för att stabilisera. Flera rader av faskiner kan placeras ut längs vattendraget efter behov. I exemplet nedan (**Figur 39**) har erosionsskyddet förstärkts vid foten med en stenskoning.



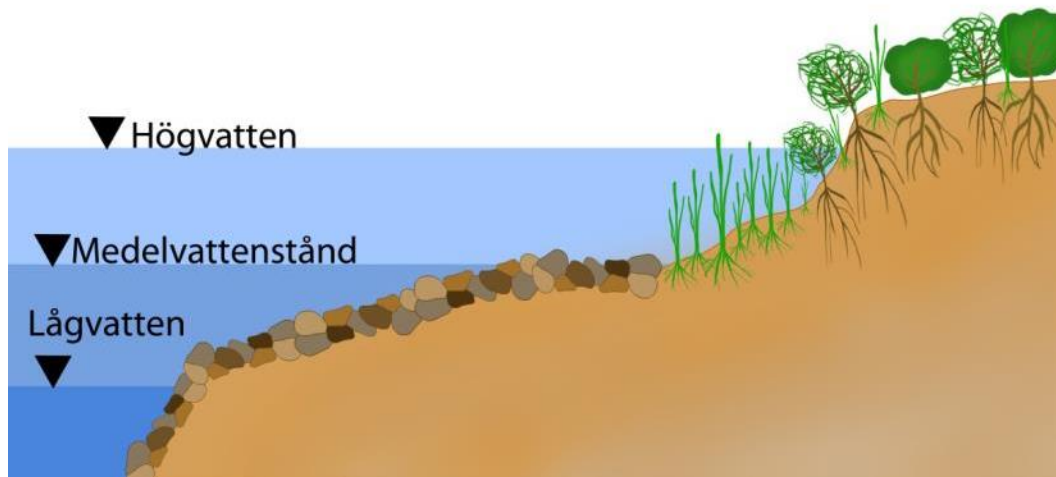
Figur 39 Faskiner i kombination med sticklingar och levande grenar (Illustration: USDA, 1996)

6.2 Kombinerade erosionsskydd

I detta avsnitt beskrivs olika exempel på kombinerade erosionsskydd. Flera av dessa är ofta naturanpassade erosionsskydd med en kombination av växter och sten. Det finns många varianter av kombinerade erosionsskydd och här beskrivs ett urval av olika typer för att illustrera mångfalden (GDNR, 2011; Cramer & Bates, 2003; USDA, 1996).

6.2.1 Stenskoning under vatten vegetation över vatten

Erosionsskyddet byggs upp med en traditionell stenskoning upp till medelvattenytan eller strax under medelvattenytan. Över medelvattenytan planteras växter i form av gräs, örter, buskar och träd (**Figur 40**). Växterna bör väljas utifrån de förutsättningar som gäller för den aktuella platsen. I strandbrinken som är tidvis under vatten skall växterna vara anpassade för detta. Högre upp i strandbrinken behöver växterna inte vara lika vattentåliga, men de skall kunna stå emot vågor och klara erosion.



Figur 40 Kombinerat erosionsskydd, stenskoning under medelvattenytan och växter över (Illustration: K. Gellerstam).

Planteringsperioden är lika viktig vid anläggandet av kombinerade erosionsskydd som vid mjuka erosionsskydd. Blir inte växterna planterade under rätt period kommer få växter att överleva det första året och underhållskostnaderna blir högre. Det är också viktigt att växterna hanteras på ett skonsamt sätt före etablering, för att uppnå ett gott resultat.

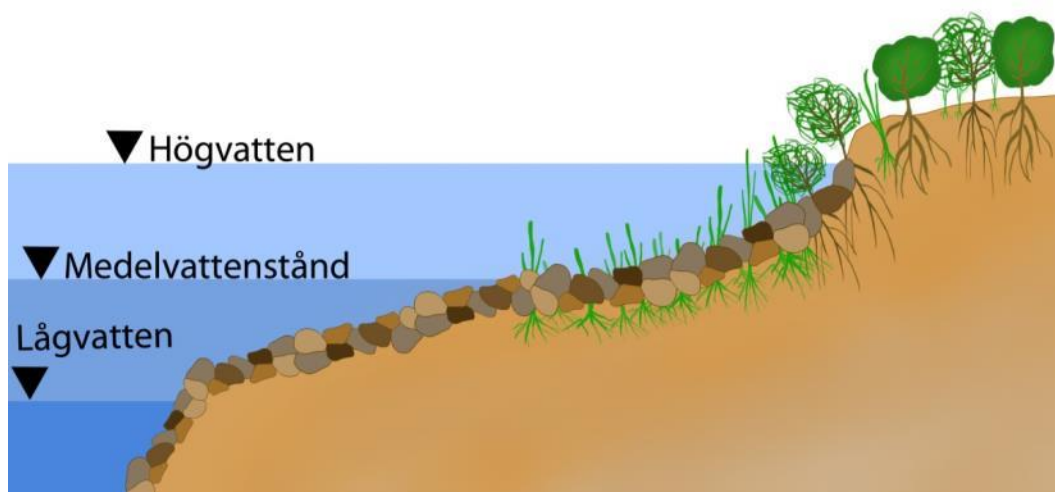


Figur 41 Stenskonig med växter över medelvattenytan (Foto: BAW).

Olika kombinationer av stenskonig under medelvattenytan och växter över medelvattenytan testas i floden Rhen, Tyskland, och finns beskrivna mer i detalj i Bilaga 1 (**Figur 41**). Olika typer av kombinerade erosionsskydd har också anlagts på några ställen i Sverige, bland annat i Göta älv, Lerån, Sävån, Åtran, Taske Å och i Dalsälven, se vidare i Bilaga 4 och 5.

6.2.2 Stenskonig i kombination med växter

Erosionsskyddet byggs upp med en traditionell stenskonig. Träd och buskar planteras in bland stenarna. Även här måste växter väljas utifrån de förutsättningar som gäller för den aktuella platsen. Denna typ av erosionsskydd har en större motståndskraft mot erosion redan under de första åren innan växterna har hunnit etablera ett fullgott rotsystem (**Figur 42**). Stenarna kommer skydda växternas rotsystem under etableringsfasen.



Figur 42 Buskvegetation och träd mixat bland stenskonigen (Illustration: K. Gellerstam).

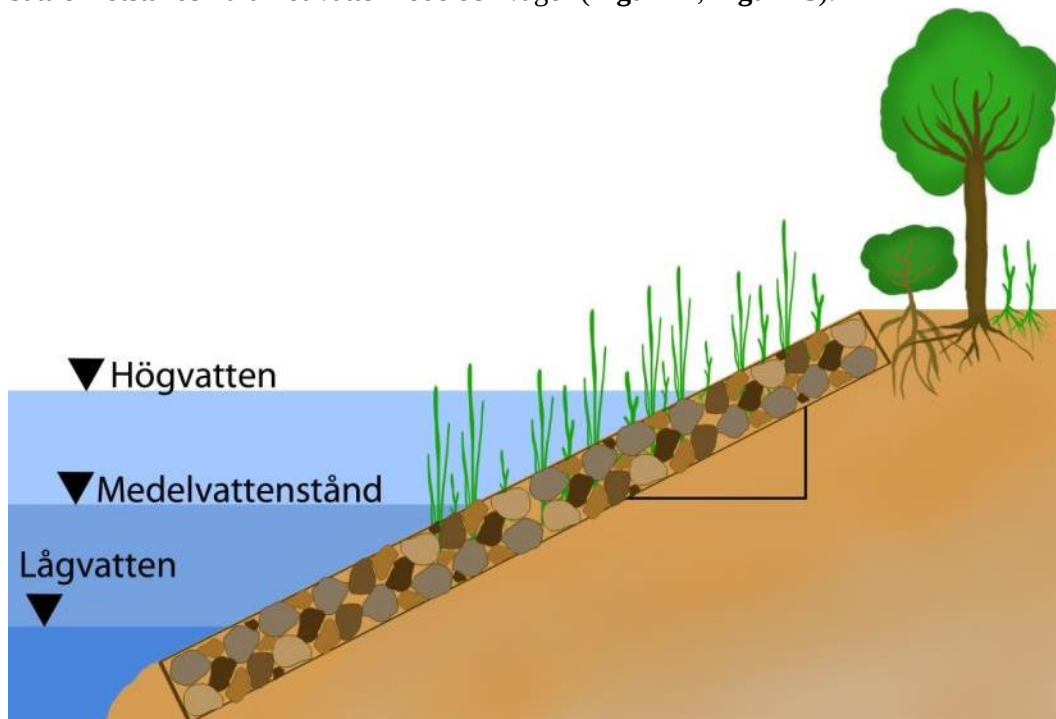


Figur 43 Stenskoning i kombination med träd och buskar (Foto: BAW).

En existerande stenskoning kan på olika sätt kompletteras med växter, så som buskar och träd. Exempel på detta finns i testområdet i Rhen, se vidare Bilaga 1 (**Figur 43**).

6.2.3 Gabioner med växter

Prefabricerade gabioner med jord och växter placeras ut på strandvallen med lutning 1:3 eller 1:4. Växterna kan utgöras av gräs, örter, och buskar. Denna typ av konstruktion kan bli ganska monoton och jämn i sin utformning och minskar möjligheterna till en varierande miljö. Fördelen med metoden är att växterna redan har etablerat sig innan gabionerna lyfts på plats och har därigenom en bättre motståndskraft mot vattenflöde och vågor (**Figur 44**, **Figur 45**).



Figur 44 Prefabricerade gabioner med växter (Illustration: K. Gellerstam).



Figur 45 Exempel på prefabricerade gabioner med växter (Foto: BAW).

6.2.4 Betonghålblock med växter

Denna typ av erosionsskydd anläggs med olika typer av betongblock med hål i, där tanken är att växter skall kunna etablera sig i hålen. Betonghålblocken är flexibla och kan röra sig beroende på hur marken förändras över tiden, utan att minska sin funktion som erosionsskydd (**Figur 46**). Med tiden kommer växtligheten att täcka betonghålblocken och även buskar och träd kan växa i hållrummen.



Figur 46 Betonghålblock med växtlighet (Foto: P. Danielsson, SGI).

6.2.5 Stockar och död ved

Stockar, stockmurar, och död ved kan användas på många sätt i ett vattendrag för att minska erosionen, minska vattenhastigheten, ändra riktningen på strömmande vatten och samtidigt vara gynnsamt för den biologiska mångfalden och djurlivet.

I exemplet från Lerån i **Figur 47** har stockar placerats ut för att minska vattenhastigheten och på så sätt minska erosionen. Samtidigt är stockarna gynnsamma för den biologiska mångfalden. Stockar-

na måste placeras på ett sådant sätt att inte erosion uppstår på andra ställen nedströms erosions-skyddet. Oftast används stockar som en del av ett naturanpassat eller kombinerat erosions-skydd.



Figur 47 Stockar nedgrävda i sida på vattendraget för att minska vattenhastigheten samt ge andra biologiska effekter (Foto: P. Danielsson, SGI).

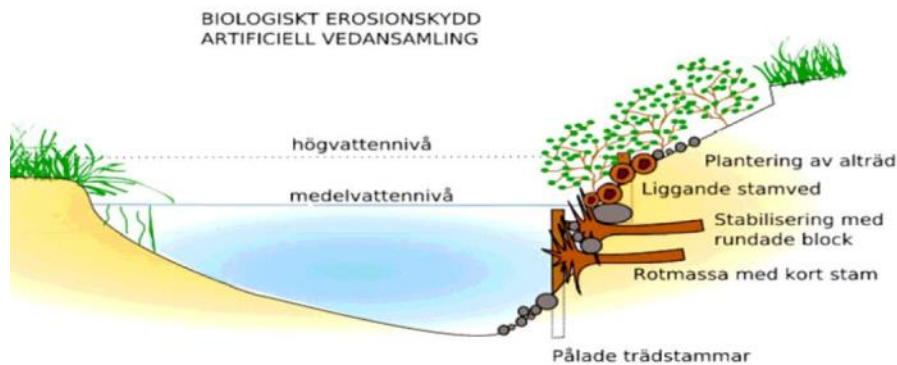
Träd faller naturligt ner i vattendrag och utgör ett naturligt erosions-skydd och minskar dessutom vattenhastigheten i vattendraget. Idag finns det en tradition av att ofta rensa vattendrag från död ved för att få tillräckligt flöde i vattendraget. Om det inte får andra skadliga effekter kan istället död ved lämnas kvar i vattendraget och bidra till lägre vattenhastigheter och minskad erosion. Död ved är värdefullt för att erbjuda skydd och varierande substrat. Detta medför naturliga livsmiljöer för vissa arter och ökar den biologiska mångfalden.

Död ved eller trädstammar kan också användas för att manuellt bygga erosions-skydd på olika sätt, **Figur 48** visar hur trädstammar och rotmassa med stam kan användas som erosions-skydd.



Figur 48 Exempel på stockar och rötter som erosions-skydd (Foto: Norconsult, 2014).

Död ved kan också kombineras med andra erosionsskydd enligt **Figur 49** där ett erosionsskydd konstruerats med liggande stockar längs vattendraget och rotmassa med kort stam vinkelrät vattendraget. Stammarna har stabiliserats med runda stenar och pålar, vidare har buskar och träd planterats i den övre delen av strandbrinken.



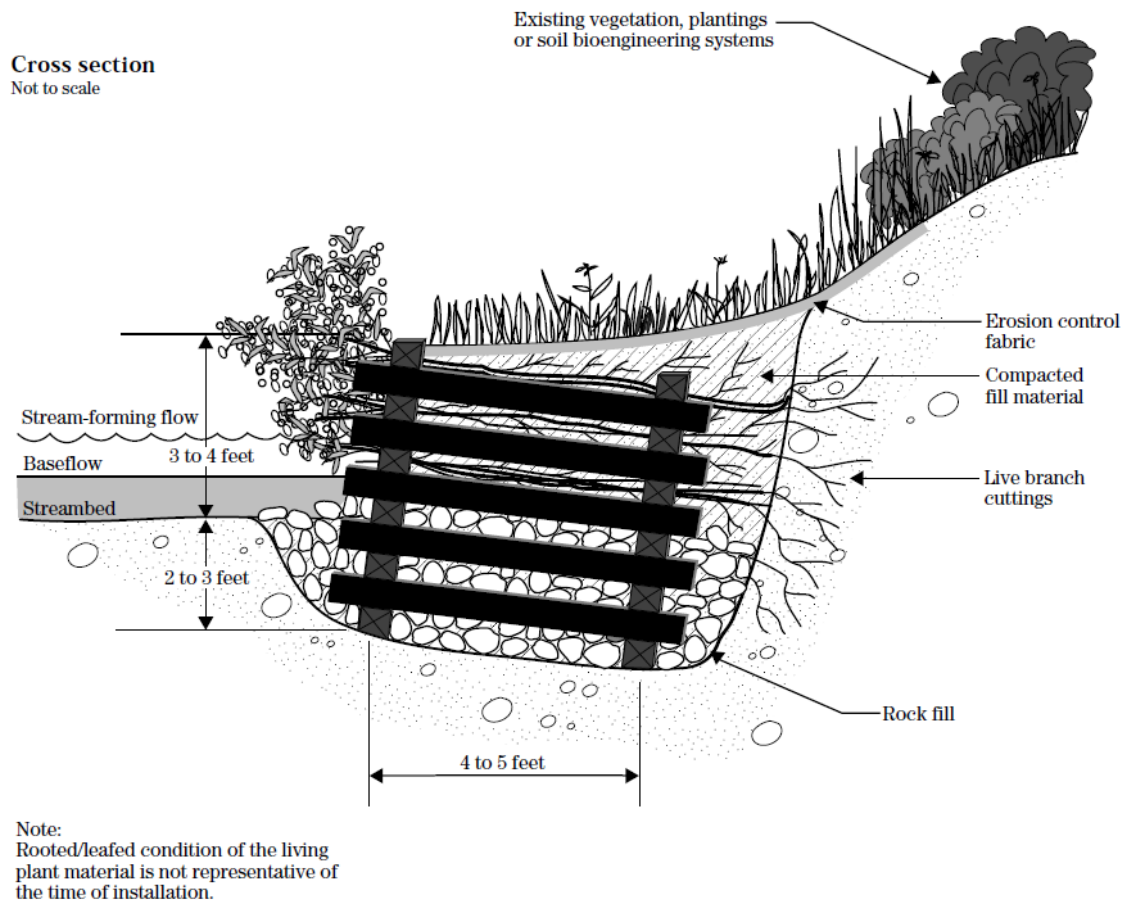
Figur 49 Död ved/timmer som erosionsskydd, typsektion (Illustration: J. Kling, HaV).

6.2.6 Stockmurar

Stockmurar, med levande grenar, kan med fördel användas vid branta strandbrinkar och kraftig erosion. Denna konstruktion liknar till vissa delar den lösning som presenterades i Avsnitt 6.2.5.

Stockarna byggs samman i fyrkantiga boxar, och fixeras vid botten med sten. Foten av strandbrinken kan förstärkas med sten om erosionen är kraftig. Levande grenar byggs in mellan lagren i stockkonstruktionen, vilka kommer växa in i brinken och öka hållfastheten. Grenarna kommer också växa ut mot vattendraget och bilda ett naturligt skydd som förstärker stockkonstruktionen (**Figur 50**).

Ovanpå stockmuren återfylls marken till lämplig höjd och tåliga växter planteras ovanpå konstruktionen.



Figur 50 Illustration av stockmur med levande grenar (Illustration: USDA, 1996).

6.2.7 Flödesändring

Ett annat sätt att minska erosionen är att minska vattenhastigheten genom att placera ut olika typer av hinder i vattendraget, till exempel block och större stenar, träpålar, stockar, etc. Detta förutsätter att det är möjligt att ändå avbörda den vattenmängd som transporteras i vattendraget utan att andra negativa effekter uppkommer. Vattnet kan då riktas från strandkanten som eroderas, eller från båda sidorna mot mitten av vattendraget. Innan åtgärder för flödesändring vidtas ska en analys av hur detta kan göras på ett naturligt sätt. Monotona likformade trösklar ska exempelvis undvikas. Risken finns dock att problemet flyttas till ett annat ställe längre nedströms (Cramer & Bates 2003).

Hövder

Hövder (eng. groynes) byggs från strandkanten vinkelrätt ut i vattendraget med avsikt att vattnet ska styras ut i strömfåran och minska vattenhastigheten längs stranden och därigenom minska erosionen (Cramer & Bates 2003). Hövder har vanligen en höjd som motsvarar vattennivån vid det högsta vattenflödet. Hövder kan anläggas på antingen bara ena sidan eller båda sidorna i ett vattendrag, för att minska stranderosionen (**Figur 51**).



Figur 51 Exempel på hövd av död ved (Cramer, 2003. Foto: WDFW.)

Styrfenor

Styrfenor eller strömstyrande fenor (eng. bards eller vanes) liknar hövder men byggs vanligen lägre så att vatten kan passera över styrfenorna. De behöver då inte byggas från stranden utan kan anläggas en bit ut i strömfåran, se **Figur 52**. Styrfenorna byggs så att de ändrar vattenflödet bort från stranden för att minska vattenhastigheten i strandkanten och därigenom minska erosionen (Cramer & Bates 2003).



Figur 52 Exempel på styrfenor av död ved (Cramer, 2003. Foto: WDFW).

Glest överfall

Ytterligare ett sätt att ändra flödet och minska vattenhastigheten är ett glest överfall enligt exemplet i **Figur 53**. Överfallet koncentrerar vattnet till mittfåran och hastigheten längs strandbrinken minskar, och därigenom också erosionen.

Biologiska fördelar med ett glest överfall är att fisk bland annat kan vandra upp och ner i vattendraget.



Figur 53 Exempel på glest överfall (Cramer, 2003. Foto: WDFW).

6.2.8 Erosionstrappor

Erosionstrappor, eller överfall, (eng. drop structures) kan anläggas för att minska vattenhastigheten i ett vattendrag, samt för att styra bort vattnet från den eroderande strandbrinken (Cramer & Bates 2003). Erosionstrapporna kan byggas av sten och block, betongblock eller stockar, som bildar mindre dammar längs vattendraget.

Skillnaden mellan ett glest överfall och en erosionstrappa är att det glesa överfallet inte bildar dammar uppströms överfallet. Dock kan en erosionstrappa ibland vara snarlik ett glest överfall, se **Figur 54**.



Figur 54 Exempel på erosionstrappa (Cramer, 2003. Foto: WDFW).

Precis nedströms en erosionstrappa kan det uppstå turbulens och bottenerosion, omfattningen på erosionen beror på fallhöjden. Blir erosionen i vattendraget stor precis nedströms erosionstrappan måste även botten skyddas, med till exempel en stenskonning.

6.2.9 Block som skydd mot isrörelse

I reglerade vattendrag där det förekommer dygnsreglering, kan det ibland förekomma erosion på grund av isens nötning i strandkanten.

I Umeälven pågår ett projekt med att bygga naturanpassade erosionsskydd. Metoden bygger på att isen längs stranden stabiliseras med hjälp av stora block som ligger en bit utanför stranden, se **Figur 55** och **Figur 56**. Avsikten är att blocken ska fixera isen vid stranden och att den nötning som orsakar erosion avstannar.



Figur 55 Naturligt förekommande stenblock i Umeälven som skyddar mot isrörelser som nöter på stranden (Foto: P. Danielsson, SGI).



Figur 56 Naturanpassat erosionsskydd i Umeälven. Stenblock utplacerade för att hålla isen stilla då vattendraget regleras varje dygn (Foto P. Danielsson, SGI).

Har isens rörelse påverkat strandbrinken negativt genom att bilda en onaturligt brant strandbrink, behöver ofta brinken återformas till sin ursprungliga flackare form. Återetablering av växter sker på naturlig väg och inga växter behöver alltså planteras längs stranden.

6.2.10 Strandfodring

Strandfodring används idag på många håll i världen för att hantera kusterosion på ett hållbart och ekonomiskt sätt (Hanson et al., 2006). Det innebär att sand läggs ut på stränder för att ersätta material som eroderats (se **Figur 57**). Metoden har använts med gott resultat för att skydda mot

kusterosion i Sverige vid Ystads sandskog och vid Löderups strandbad under 2011 och 2014. Metoden används fördelaktigast längs kuster som eroderas av vågorna i de fall stranden används för bad eller annat friluftsliv. Sanden flyttas sedan runt stränderna av erosionen och kan tillföras där den saknas genom strandfodringen, vilket blir till ett kretslopp.



Figur 57 Strandfodring längs kusten, exempel från Åhus i Skåne (Foto: SGI).

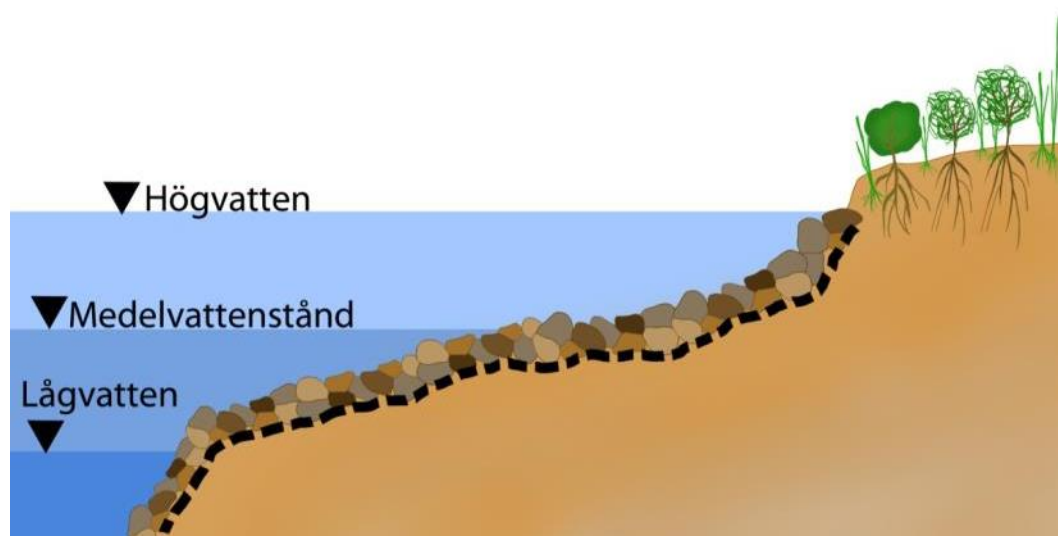
Metoden borde också kunna användas i vattendrag, men det görs sällan idag. En möjlig variant på strandfodring kan vara att ta sand från ackumulationsbottnar i vattendraget, eller från kraftverksdammar i reglerade vattendrag, och återföra sediment till stränder som eroderar.

6.3 Hårda erosionsskydd

I detta avsnitt presenteras exempel på hårda erosionsskydd. Denna typ av skydd är egentligen inte ett naturanpassat erosionsskydd men kan i vissa fall vara nödvändiga att anlägga för att skydda ett område mot erosion. I detta kapitel tar vi bara upp traditionell stenskoning och stålspons. Det finns mycket information att hämta om hårda erosionsskydd i handböcker och vägledningar utgivna av Skredkommissionen, Trafikverket, Banverket, etc. (Ohlsson et al., 1994; Trafikverket, 2011; Banverket, 2009).

6.3.1 Stenskoning

Stenskoning är ett beprövat erosionsskydd som ofta fungerar väl, men har en del effekter som inte är gynnsamma för naturen och ekosystemet. När en stenskoning anläggs kommer erosionsskyddet förhindra att sediment eroderas bort från just denna plats (**Figur 58**). I många fall finns emellertid risk för att ökad erosion strax nedströms erosionsskyddet. Användningen av sprängsten är bra ur ett geologiskt hållbarhetsperspektiv, men är inte lika gynnsamt för ekosystemet som natursten. Natursten är dock en ändlig resurs och kan av den anledningen vara mindre lämpligt.



Figur 58 Traditionell stenskoning i vattendrag (Illustration: K. Gellerstam).

6.3.2 Spont

Olika typer av spont av trä eller stål har traditionellt använts för att förhindra erosion, särskilt i hamnar och på andra platser där fartyg skall angöra, så som bryggor med mera.

Spont är också vanlig utmed kanaler och smala vattendrag med regelbunden trafik med fartyg, spontan är också till för att stabilisera strandslätten och förhindra ras och skred, se **Figur 59**. Spont är ofta inte gynnsamt för den biologiska mångfalden.



Figur 59 Spont som erosionsskydd, Amundön, Göteborg (Foto: P. Danielsson, SGI).

7. Slutsats

Studien har visat att naturanpassade erosionsskydd används i svenska vattendrag, men i liten omfattning. Andra länder i Europa och även Nordamerika har kommit längre när det gäller att använda och testa naturanpassade erosionsskydd i vattendrag. Naturanpassade erosionsskydd testas bland annat i floden Rhen i Tyskland och skall under en 5-årsperiod bland annat utvärderas med avseende på hållfasthet och beständighet. Det finns ett ökande intresse i att använda naturanpassade erosionsskydd då dessa har många fördelar jämfört med traditionella lösningar så som stenskonning. Etablering och uppföljning av naturanpassade erosionsskydd planeras i Umeälven, och längs Furusundsleden i Stockholms skärgård, i syfte att testa och utvärdera olika metoder.

Ett naturanpassat erosionsskydd skall både tillgodose den biologiska mångfalden och vara ett fullgott skydd mot erosion. Ett naturanpassat erosionsskydd behöver inte enbart bestå av växter utan kan med fördel vara ett kombinerat erosionsskydd, vilket ofta är en bra lösning där skyddet mot erosion tillgodoses samtidigt som påverkan på den biologiska mångfalden minskar.

Ett av problemen med naturanpassade erosionsskydd kan vara att växterna inte överlever under den första perioden efter att erosionsskyddet blivit byggt. För att ett naturanpassat erosionsskydd skall bli hållbart och klara påfrestningarna, krävs ett bra underhållsprogram de första 3-5 åren, fram till att växternas rotsystem har utvecklats. De naturanpassade erosionsskydd som anlagts i svenska vattendrag har inte följts upp på ett tillfredställande sätt, och några erfarenheter har inte kunnat dokumenteras. En första utvärdering av det ekologiska utfallet utfördes dock år 2015 av Norconsult på uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten (Sjöstedt 2014).

Idag finns det bara vägledningar för att bygga hårda erosionsskydd, dessa olika vägledningar har tagits fram av bland annat Trafikverket, Banverket, Vägverket, och Skredkommissionen. Det behövs en vägledning för naturanpassade erosionsskydd så att de projekteras och byggs på rätt sätt. Det finns också ett stort behov av att testa och utveckla naturanpassade erosionsskydd för erosionsproblem längs vattendrag.

För att användningen av naturanpassade erosionsskydd skall öka krävs att olika metoder testats och utvärderas med avseende på hållfasthet, hållbarhet över tid, samt den ekologiska påverkan. När olika metoder testats och utvärderats kan SGI ta fram en vägledning för naturanpassade erosionsskydd i vattendrag. Förslagsvis görs vägledningen i samarbete med till exempel Trafikverket, Havs och vattenmyndigheten och Naturvårdsverket.

Det finns planer på att anlägga testområden i olika vattendrag i Sverige. Ängelholms kommun har visat intresse att testa naturanpassade erosionsskydd i Rönne å. Projekt Umeälven kommer anlägga naturanpassade erosionsskydd i Umeälven. Sjöfartsverket och Vattenfall har visat intresse för att använda sig av naturanpassade erosionsskydd längs Göta älv. Trafikverket vill testa naturanpassade erosionsskydd längs Furusundsleden för att studera om denna typ av skydd fungerar i farleder som ett skydd mot fartygsgenererade vågor och avsänkningar.

Anläggandet av dessa testområden måste göras i samarbete med aktörerna för att säkerställa finansieringen och att erosionsskydden blir utförda på rätt sätt. Det är också viktigt att etableringen av naturanpassade erosionsskydd följs upp 5-10 år efter att skydden anlagts, för att se hur de fungerar och påverkas över tiden.

Referenser

- Allen, H.H. & Leech, J.R., 1997. *Bioengineering for Streambank Erosion Control, Report 1, Guidelines (Technical Report EL-97-8)*, Washington DC: US Army Corps of Engineers.
- Andersson, M. et al., 2008. *Erosion och sedimenttransport i vattendrag (Varia 592)*, Linköping: Statens geotekniska institut, SGI.
- von Bahr, C., 2013. *Konsekvenser på naturvärden av skred-, erosions- och översvämningsåtgärder, Ett steg mot en ökad naturvårdshänsyn i klimatanpassningsarbetet, Rapport 2013:49*, Göteborg: Länsstyrelsen Västra Götalands län.
- Behrendt, K. et al., 2014. *Einrichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen Rhein km 440,6 bis km 441,6 rechtes Ufer - 3. Zwischenbericht: Monitoringergebnisse 2013, (BfG-Nr.:1677, BAW-Nr.: 2.04.10151.00)*, Koblenz, Karlsruhe, Mannheim: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bundesanstalt für Wasserbau, und Wasser- und Schifffahrtsamt.
- Bjelke, U. & Sundberg, S. (red), 2014. *Sötvattenstränder som livsmiljö -rödlistade arter, biologisk mångfald och naturvård. ArtDatabanken Rapporterar 15*, Uppsala: ArtDatabanken SLU.
- Brierley, G. & Fryirs, K.A., 2005. *Geomorphology and River Management, Applications of the River Styles Framework*, Blackwell Publishing.
- Bundesanstalt für Wasserbau, 2011. BAW Letter No. 1/2011. *BAW Letter*, (1), p.15.
- Bundesanstalt für Wasserbau, 2012. BAW Letter No. 5/2012. *BAW Letter*, (5), p.12.
- Charlton, R., 2008. *Fundamentals of fluvial geomorphology*, London: Routledge Taylor & Francis Group.
- Chin, A., 1998. On the stability of step-pool mountain streams. *The Journal of Geology*, 106, pp.59–69.
- Coppin, N.J. & Richards, I.G., 2007. *Use of vegetation in civil engineering (C708)*, London: Construction Industry Research and Information Association, CIRIA.
- Cramer, M. & Bates, K., 2003. *Integrated Streambank Protection Guidelines* M. Cramer, ed., Arlington: Washington State Aquatic Habitat Guidelines Program.
- Fleischer, P. & Soyeaux, R., 2013. Technical-biological Bank Protection on Waterways with high Traffic Frequency - First Experience Gained from a Test Stretch at the River Rhine with regard to Bank Stability (Paper 111). *PIANC, Smart Rive*(September 2013), p.10.
- Galloway, W.E., 1975. Process framework for describing the morphological and stratigraphic evolution of deltaic depositional systems. In M. L. Broussard, ed. *Deltas: Models for Exploration*. Houston Geological Society, pp. 87 – 98.

- Georgia Department of Natural Resources (GDNR), 2011. *Streambank and shoreline stabilization - Techniques to control erosion and protect property*, Atlanta: Georgia Department of Natural Resources.
- Gurnell, A., 2014. Plants as river system engineers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(4-25).
- Hanson, H., Rydell, B. & Andersson, M., 2006. *Strandfodring, Skydd av kuster mot erosion och översvämning (Varia 562)*, Linköping: Statens geotekniska institut.
- Havs- och vattenmyndigheten, 2013. *Havs- och vattenmyndighetens föreskrift HVMFS 2013:19*, Havs- och vattenmyndigheten.
- Iowa Department of Natural Resources (IDNR), 2006. *How to Control Streambank Erosion*, Des Moines: Iowa Department of Natural Resources.
- Johansson, L., 2003. *Stranderosionsskydd Typer – Dimensionering – Modellerings (Varia 532)*, Linköping: Statens geotekniska institut.
- Keller, E.A. & Melhorn, W.N., 1978. Rhythmic spacing and origin of pools and riffles. *Bulletin of the Geological Society of America*, 89(5), pp.723–730.
- Lerman, P. & Rydell, B., 2003. *Ansvar och regler vid stranderosion (Varia 534)*, Linköping: Statens geotekniska institut.
- Leth, M., 2014. *Vegetationens roll i erosiva vattendrag*, Alnarp: Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU).
- Lindqvist, M. & Sjöstedt, O., 1995. *Naturvärden och miljökonsekvenser i samband med stabilitetsarbeten (Rapport 2:95)*, Linköping: Ingenjörsvetenskapsakademien, Skredkommissionen.
- Lundström, K. & Andersson, M., 2008. *Växter som skydd mot erosion och ytliga ras i branta jordslänter (Varia 593)*, Linköping: Statens geotekniska institut.
- Morgan, R.P.C. & Rickson, R.J., 1995. *Slope stabilization and Erosion Control: A Bioengineering approach*, London: E & FN Spon.
- Naturvårdsverket, 2004. *Skydd av vattenmiljöer i landskapet*, Stockholm: Naturvårdsverket.
- Ohlsson, F. et al., 1994. *Erosionsskydd i samband med förstärkningsåtgärder för slänter (Rapport 1:94)*, Linköping: Ingenjörsvetenskapsakademien, Skredkommissionen.
- Polvi, L.E. & Wohl, E., 2013. Biotic drivers of stream planform: implications for understanding the past and restoring the future. *Bioscience*, 63, pp.439–452.
- Rankka, K., 2002. *Slå rot - och väx upp, eller Vegetation som förstärkningsmetod, Litteraturstudie*, Karlstad: Räddningsverket.
- Rankka, K., 2005. *Vegetation som förstärkningsmetod, etapp 2 (Varia 552)*, Linköping: Statens geotekniska institut.
- Rolf, K., 2005. *Biologiskt erosionsskydd*, Alnarp: Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU).

- Rydell, B., Hågeryd, A.-C. & Axelsson, J., 2009. *Översiktlig inventering av förutsättningarna för erosion i vattendrag (Varia 602:1-3)*, Linköping: Statens geotekniska institut.
- Schumm, S.A., 1977. *The fluvial system*, Wiley.
- Sjöstedt, O., 2014. *Sammanställning av information gällande fem anlagda naturanpassade erosionsskydd*, Göteborg: Norconsult.
- Sjöstedt, O., 2012. *Stabilitetsåtgärder i och vid Lerån/Alingsåsvägen, Lerums kommun*, Göteborg: Norconsult.
- Sjöstedt, O., 2011. *Stabilitetsåtgärder vid Alingsåsvägen/Lerån, Lerums Kommun, MKB*, Göteborg: Norconsult.
- Strahler, A.N., 1963. *The Earth Science*, New York: Harper & Row Publisher.
- Strand, R.I. & Pemberton, E.L., 1982. *Reservoir Sedimentation Technical Guidelines for Bureau of Reclamation*, Denver, Colorado: U.S. Bureau of Reclamation.
- Sweeney, B.W. et al., 2004. Riparian deforestation, stream narrowing, and loss of stream ecosystem services. In *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. The National Academy of Sciences, pp. 14132–14137.
- Tait, S., 1993. *The physical processes of bed armouring in mixed grain sediment transport*. University of Aberdeen.
- Tix, D., Rexine, T. & Bijmagne, S., 2008. *Big River Bio-Engineering and Stabilization Techniques*, Mississippi Watershed Management Organization.
- Trafikverket, 2011. *Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner - TK Geo 11*, Trafikverket.
- Trafikverket, 2014a. *Trafikverkets tekniska krav för geokonstruktioner - TK Geo 13*, Trafikverket.
- Trafikverket, 2014b. *Trafikverkets tekniska råd för geokonstruktioner - TR Geo 13*, Trafikverket.
- US Army Corps of Engineers, 1994. Channel Stability Assessment for Flood Control Projects. *US Army Corps of Engineers*.
- USDA, 1992. Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction, Chapter 18. In *Engineering Field Handbook*. United States Department of Agriculture.
- USDA, 1996. Streambank and Shoreline Protection, Chapter 16. In *Engineering Field Handbook*. The United States Department of Agriculture, p. 143.
- Wells, G.W., 2002. Biotechnical Streambank Protection. *Agroforestry notes (AF Note - 23)*, (Special Applications - 6), p.4.
- Verhagen, J., 2000. *Grass covers on dikes and slope protections*, Delft: IHE Delft.
- De Vriend, H.J. & Van Koningsveld, M., 2012. *Building with Nature V*. Jones, ed., Dordrecht: EcoShape, Building with Nature.

Vägverket, 1987. *Erosionsskydd i vatten vid väg och brobyggnad (1987:18)*, Borlänge: Vägverket.

Vägverket / Banverket, 2009. *Tekniska kravdokument Geo - TK Geo 09 (BVS 1585.001) (VV 2009:46)*, Borlänge: Vägverket.

Mer att läsa

Länsstyrelsen Västernorrland. Internetlänk (2014-09-03):

<http://www.lansstyrelsen.se/vasternorrland/Sv/miljo-och-klimat/vatten-och-vattenanvandning/svensk-vattenforvaltning-vattendirektivet/Pages/default.aspx>

Naturvårdsverket (A). Internetlänk (2014-09-03): <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Skyddad-natur/>

Naturvårdsverket (B). Internetlänk (2014-09-03):

<http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Naturvard/Beskrivning-former-for-naturskydd/>

Miljömål. Internetlänk (2014-09-03): <http://www.miljomal.nu/sv/>

Bilaga 1-5

Fältbesök och fältarbete

Bilaga 1.

Fältbesök i Karlsruhe och Rhen

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) i Karlsruhe besöktes den 12-13 juni 2013 för att diskutera naturanpassade erosionsskydd och besöka en försöksanläggning i floden Rehn. Vid besöket deltog Per Danielsson och Bengt Rydell från SGI och från BAW medverkade Jan Kayser, Petra Fleischer och Renald Soyeaux.

BAW har arbetat med naturanpassade erosionsskydd under en längre tid och studerat olika typer av skydd i laboratorium, genom försök i testanläggningar samt anlagt försökssträckor i både floden Wesen och floden Rhen. Vid SGI:s besök studerades teststräckan i floden Rhen, där olika typer av erosionsskydd har etablerats på en sträcka på cirka 1 km i närheten av staden Worms, strax norr om Karlsruhe, se **Figur 60**.



Figur 60 Testområde i Rhen, strax utanför Worms i Tyskland.

BAW har studerat hållfasthet hos olika växter och rotsystem genom att utföra skjuvförsök i särskilt utformade boxar, se **Figur 61**.



Figur 61 Skjuvboxar för skjuvförsök i BAW laboratorium (Foto: P. Danielsson, SGI).

Försök har även utförts i vågbassäng där olika växter av salix har utsatts för påverkan av olika typer av vågor, se **Figur 62**.



Figur 62 Test av Salixplantors motståndskraft mot erosion i vågbassäng (Foto: P. Danielsson, SGI).

Mer information om resultat från försöket i Rehn finns att läsa i PIANC paper 111 – *Technical-biological Bank Protection on Waterways with High Traffic Frequency*, (Fleischer & Soyeaux 2013), samt i BAW-rapporten, *Einrichtung einer Versuchsstrecke mit Technisch-Biologischen Ufersicherungen*, (Behrendt et al., 2013).

Ytterligare erfarenheter från BAW:s arbete med naturanpassade erosionsskydd i olika vattendrag finns på BAWs webbplats <http://ufersicherung.baw.de/en/publikationen/index.html>.

Erosionsskydd har anlagts i full skala längs Rhen i närheten av Worms under perioden september - december 2011 (Bundesanstalt für Wasserbau 2012). Nio olika erosionsskydd testas och kommer att följas upp under cirka 5 års tid. Följande parametrar kommer att mätas och dokumenteras:

- geometri och bankstabilitet
- porvattentryck
- vattenflöde i Rhen
- vattennivåer i Rhen
- vegetation
- djurliv
- ekologi
- underhållsåtgärder
- skador och åtgärtningsarbete

Det kommer regelbundet att göras mätningar på alla delsträckor för att se förändringar av erosionsskydden och påverkan på omgivningen. Avsikten med dessa försök är att undersöka möjligheterna att använda naturanpassade erosionsskydd som alternativ till skydd av sprängsten som normalt används.

Vid besöket i juni 2013 var vattennivån i Rhen onormalt hög till följd av den omfattande nederbörd som drabbade delar av Mellaneuropa under våren och försommaren 2013. Det innebär att stora delar av erosionsskydden låg under vatten och de fotografier som SGI redovisar nedan endast visar övre delen av erosionsskydden. Fotografier efter anläggning av skydden har tagits av BAW och visar den ursprungliga utformningen.

Nio olika erosionsskydd testas och detta skall pågå under flera år. Det kommer regelbundet att göras mätningar på alla delsträckor för att se förändringar, foto BAW. Gemensamt för alla 9 teststräckor är att stenskoningen finns kvar under medelvattenytan. På 4 teststräckor (2,3,5 och 7) togs stenskoningen bort över medelvattenytan och ersattes med ett naturanpassat erosionsskydd. På 4 teststräckor (1,4,6 och 8) har stenskoningen över medelvattenytan kompletterats med växter för att erhålla ett naturanpassat erosionsskydd. Teststräcka 9 har lämnats helt oskyddad för att ha en referenssträcka.

Teststräcka Beskrivning**1**
(160 m)

Stenskning med inplanterad salix (vide) och andra buskar, knippen av grenar hårt sammanbundna, och dödaträdstammar.

Extra stenvall vid lågvatten strax utanför slänten.



Samma område i juni 2013. Notera det höga vattenståndet som gör att stora delar av erosionsskyddet inte syns.

**2**
(40 m)

Äldre stenskning borttagen.

Madrasser av salix grenar utplacerad och förankrade i slänten, diagonalt mot flödesriktningen.



3
(70 m)

Äldre stenskoning borttagen.

Madrasser av salix grenar utplace-
rad och förankrade i slänten, tvärs
flödesriktningen.



Samma område i juni 2013.



4
(50 m)

Stenskoning med inblandning av
större block, grus och sten, samt
dödved.



Samma område i juni 2013, notera
den höga vattennivån.



5

(110 m)

5a och 5b

Äldre stenskonings borttagen.

5a: Gabioner med inplanterad vass och andra växter i nedre slänten, övre slänten består av jordtäckta gabioner.



Område 5a i juni 2013.



Detalj av gabioner med förplanterade växter i juni 2013.



5b: Växtmadrasser i nedre slänten och övre slänten jordtäckta gabioner.



6 (75 m)	Stenskoning täckt med alginat inblandad i jord, och naturliga gräs och örter.	
7 (175 m) 7a¹ och 7a²	Äldre stenskoning borttagen. Olika typer av filtermattor testas på denna sträcka (ull, fleece, geotextil, kokosmatta) i olika kombinationer. Traditionella vassmattor på ull-fleece (7a¹), eller geotextil (7a²) i nedre delen och faskiner i mellandelen. Överdelen av slänten består av sprutsådd täckt av nät. Område 7a i juni 2013.	
	Område 7a, detalj på sprutsådd med nät, juni 2013.	 

7b och 7c	Olika typer av vegetationsrullar på kokosmatta eller fårull samt växtmattor på geotextil eller ullfleece.	
8 (100 m)	Äldre stenskoning förstärkt och kompletterad för att skydda existerande vass och annan växtlighet.	
9 (125 m)	Äldre stenskoning borttagen och inget nytt erosionsskydd anlagt.	
	Denna teststräcka används för jämförelse med om ingen åtgärd vidtas.	
	Område 9, äldre stenskoning borttagen med kraftig erosion som följd, juni 2013.	

Utvärdering av erosionsskyddens funktion och långsiktiga beständighet pågår och kommer troligen att redovisas under 2016/2017. Preliminära slutsatser är att det behövs tid för att vegetationen ska kunna etableras så att rotsystem kan utvecklas och växter få sådan höjd att de kan motstå vågor och förhöjda vattennivåer. Det är också viktigt med kontinuerligt underhåll av naturanpassade erosionsskydd.

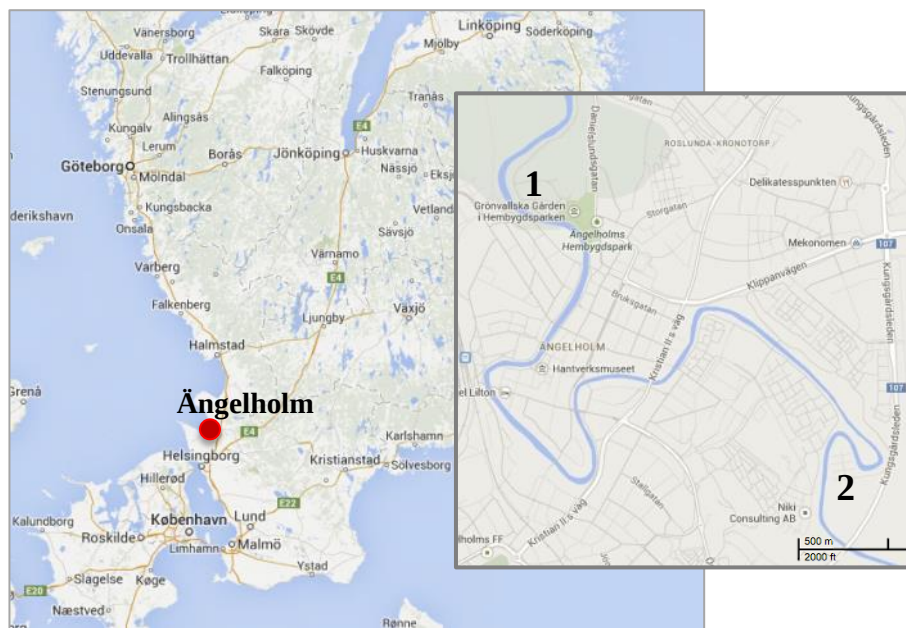
Test med naturanpassade erosionsskydd har också gjorts i floden Weser, nära Stolzenau, på en teststräcka av cirka 750 m (Bundesanstalt für Wasserbau 2011).

Bilaga 2.

Fältarbete vid Rönne å i Ängelholm

Under hösten 2013 genomfördes ett examensarbete av Malin Leth vid SLU i Alnarp (Leth, 2014) och behandlade vegetationens roll i erosiva vattendrag. Examensarbetet omfattade en litteraturstudie och en fältstudie av två nyckelområden i Rönne å.

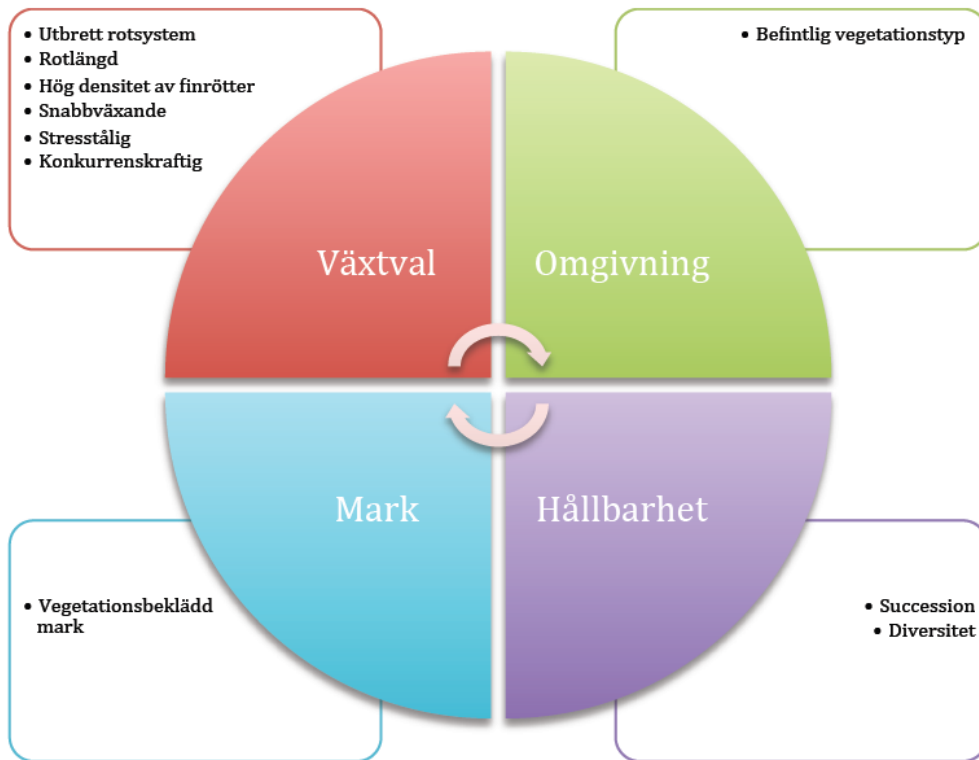
Två nyckelområden med måttlig erosion, där avsevärda samhällsvärden stod på spel och där förutsättningar fanns för att använda naturanpassade erosionsskydd, valdes ut, se **Figur 63**.



Figur 63 Karta över valda nyckelområden längs Rönne å (Leth, 2014).

Syftet med studien var att klargöra forskningen om biologiskt materialval i naturanpassade erosionsskydd i vattendrag, samt att applicera erfarenheterna i ett förslag till åtgärder. Avsikten var att dels underlätta för kommande forskning inom området, dels för att öka kunskapen inom området för praktiskt verksamma.

Inom examensarbetet utvecklades en metodik för val av växtlighet, som även användes vid nyckelområdena. Metodiken framgår av **Figur 64**.



Figur 64 Metodik för val av växtlighet (Leth, 2014).

Malin Leth drog slutsatsen att det var fördröjningen av vattenflödet ovan mark i kombination med stabilisering med hjälp av ett diversifierat rotsystem under mark, som är viktigt att beakta vid planering av naturanpassade erosionsskydd. Minst lika viktigt visade det sig även vara att analysera växtkompositionen på ytterligare en nivå, där hänsyn tas till beståndets infiltration och interception. Det för att koncentrationen vid höga vattenflöden är kraftig på de punkter där interceptionen är låg; en förstärkt infiltration och interception skulle bidra med en minskad koncentrerad belastning och en fördröjning av vattenflödet (Leth, 2014).

Vidare skriver Leth att givet diskussionen, hanterar den teoretiska modellen växternas strategier. Hur interceptionen och infiltrationen för aktuellt område skall behandlas styrs av omgivande kulturlandskap. Interceptionen och infiltrationen skall alltid söka förbättras för de lokaler som har erosionsskador, men växtkompositionen i det naturanpassade erosionsskyddet skall inte förändra landskapsbilden. De faktorerna kan därför inte ingå i den teoretiska modellen, men är mycket viktiga att beakta i arbetet med planering av naturanpassade erosionsskydd (Leth, 2014).

Bilaga 3.

Fältbesök i Umeälven

SGI tillsammans med Projekt Umeälven genomförde ett fältbesök i Umeälven nedströms Lycksele den 8 maj 2014, medverkande var Åsa Widen (Projekt Umeälven), Per Holmström (markägare), samt Per Danielsson (SGI). Fyra olika platser längs Umeälven besöktes för att studera erosion i olika typer av naturmiljö.

Erosionen längs stränderna i Umeälven orsakas främst av dygnsregleringen av vattendraget. Dygnsregleringen påverkar också vegetationen längs vattendraget och inom den reglerade zonen är det mycket mindre växtlighet, vilket illustreras i **Figur 65** nedan.



Figur 65 Älvstrand utan växtlighet i zonen där vattnet regleras, Umeälven (Foto: P. Danielsson, SGI).

Vattenytan regleras normalt 1-1.5 m per dygn, och under vintertid gör detta att isen eroderar stränderna. Växter och sediment fryser fast i isen och rycks loss då vattenståndet sjunker. Genom denna typ av erosion skapas stora håligheter längs strandbrinken, vilket illustreras i **Figur 66**.



Figur 66 Erosion på grund av isrörelse Granö, Umeälven (Foto: P. Danielsson, SGI).

När vattenytan höjs och isen flyttar sig i områden med sandstränder, kommer isen att trycka upp sediment på stranden och bilda vallar och branta slänter, se **Figur 67**.



Figur 67 Erosion på grund av isrörelse Vindeln, Umeälven (Foto: P. Danielsson, SGI).

Naturanpassade erosionsskydd kommer att anläggas vid olika platser längs Umeälven under 2015/2016, och resultatet kommer att följas upp under en 3-års period. Detta projekt genomförs av **Samverkansgruppen 3 regleringsmagasin**, som verkar i dämningsområdena Harrsele, Bjurfors Nedre och Bjurfors Övre. Projektet genomförs i samverkan med Statkraft.

Bilaga 4.

Fältbesök vid Göta älv nära Surte

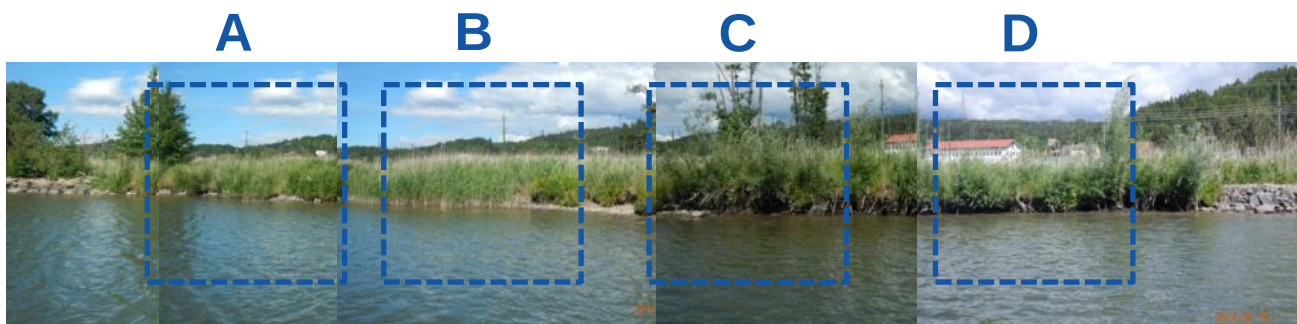
Naturanpassade erosionsskydd anlades i Göta älv strax uppströms Surte under 2001-2002, som en del av SLU:s forskningsprojekt *Erosionsskydd med ingenjörsmetoder – Pilotstudie Göta älv*, erosionsskydden bekostades av Banverket. En redovisning av projektet finns i SLU:s rapport **Biologiskt erosionsskydd** (Rolf, 2005).

Naturanpassade erosionsskydd anlades utmed en teststräcka på cirka 50 m, och fyra olika erosionsskydd testades som skydd av älvstranden:

- A. Fältskiktsvegetation med kokosfibermadrass i strandzonen.
- B. Fältskiktsvegetation med sprängsten i strandzonen.
- C. Salix etablerad med utbredningslager och faskiner.
- D. Salixstabiliserad sprängsten.

Området besöktes i samband med SGI:s årliga besiktning av Göta älv i juni 2014 med avseende på erosion, ras och skred. Fältbesöket vid erosionsskydden nära Surte har gjorts av Per Danielsson (SGI). Fotografierna nedan är tagna från båt och från älven mot stränderna och ingen närmare besiktning på land har utförts.

Idag är det svårt att se avgränsningen mellan de olika områdena. Nedan finns ett antal bilder från fältbesöket och ett försök att placera in delsträckorna A-D i en panoramabild, se **Figur 68**.



Figur 68 Panoramabild över naturanpassade erosionsskydd i Göta älv (Foto: P. Danielsson).

Varje delsträcka beskrivs mer i detalj nedan.

Delsträcka A

Fältskiktsvegetation med kokosfibernadrass i strandzonen.



Det finns tecken på återetablering av växtlighet till vänster i bilden, samtidigt som det finns tecken på erosion till höger i bilden.



Delsträcka B

Fältskiktsvegetation med sprängsten i strandzonen.



Delsträcka C

Salix etablerad med utbredningslager och faskiner.



Delsträcka D

Salixstabiliserad sprängsten.



Projektet genomfördes 2001-2002 och följdes upp under 2003 och 2004. Efter detta har det inte utförts något underhåll eller besiktning. Följande slutsatser kan dras av uppföljningen (Rolf, 2005).

Delsträcka A var den enda av delsträckorna som blev utförd enligt instruktionerna och etablerade sig väl enligt besiktningen 2004. Idag förekommer viss erosion längs stranden, men växtligheten är väl etablerad.

Delsträcka B utfördes inte enligt planen och började erodera då inte kokosmattan förankrades i botten med sprängsten. Viss erosion förekommer idag längs denna delsträcka.

Delsträcka C utfördes inte heller enligt planen, då erosionsskydd av sprängsten upp till medelvattenytan inte blev utfört. Salix har etablerat sig väl men det förekommer erosion och sediment eroderar bort mellan rötterna.

Delsträcka D utfördes inte heller enligt planen och merparten av växterna dog relativt snabbt. Salix har etablerat sig väl men det förekommer erosion och sediment eroderar bort mellan rötterna.

Vid besiktningen 2014 och 2015, kan det konstateras att underhållet av erosionsskydden är eftersatt, och en renovering skulle vara bra för att få erosionsskydden mer funktionsdugliga. Men med tanke på att de är etablerade för 14 år sedan har de haft en god hållfasthet mot erosion trots att 3 delsträckor av 4 inte blev rätt byggda enligt planen.

Slutsatsen som kan dras av detta projekt är vikten av att planera och budgetera för underhåll av naturanpassade erosionsskydd under 5-10 år, tills att alla växter har etablerat sig tillräckligt.

Bilaga 5.

Naturanpassade erosionsskydd i fem vattendrag i västra Sverige

Som en del i arbetet med att beskriva användningen av naturanpassade erosionsskydd i Sverige har Norconsult fått i uppdrag av Havs- och vattenmyndigheten att studera erosionsskydd längs fem vattendrag i västra Sverige med avseende på dess ekologiska funktioner (Sjöstedt, 2014; Sjöstedt, 2012; Sjöstedt, 2011). Ingenjörsmässiga och tekniska aspekter har inte belysts i rapporten. Nedan redovisas en kort beskrivning av respektive plats med fakta och illustrationer. Läget för vattendragen framgår av **Figur 69**.

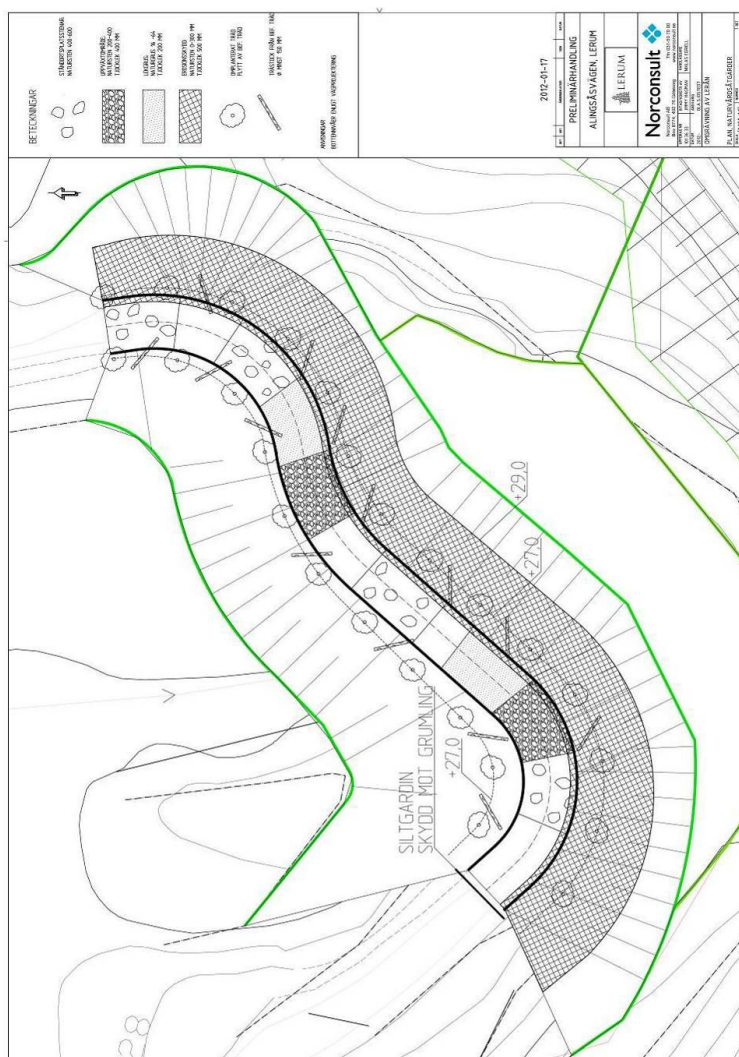


Figur 69 Översiktskarta för de 5 studerade områdena (© Lantmäteriet).

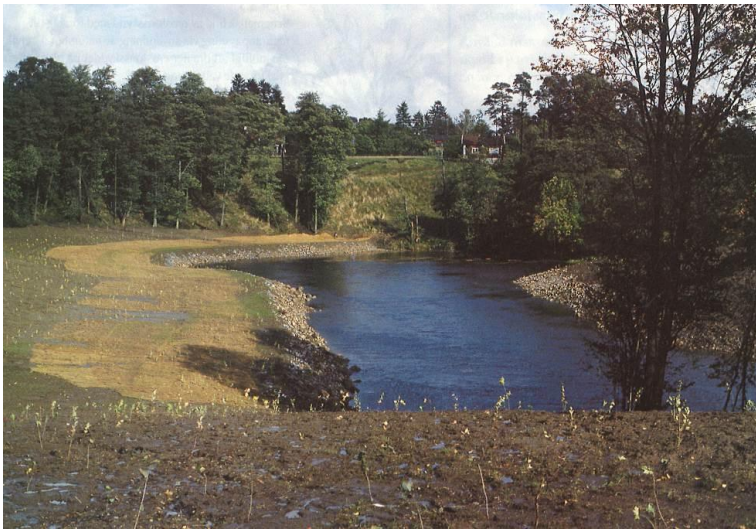
Erosionsskydd Lerån

Huvudvattendrag	Säveån
Kommun	Lerum
Typ av erosionsskydd	Natursten kombinerat med växter och dödved
Syfte med erosionsskyddet	Säkra stabiliteten för den intilliggande Alingsåsvägen
Årtal för anläggande	2012
Tekniska uppgifter erosionsskydd	Natursten 0-125 mm. Tjocklek 500 mm.
Erosionsskydd i Lerån strax efter att det anlagts 2012.	
Samma erosionsskydd i Lerån, 2014.	

Planskiss över erosionsskydd i Lerån.



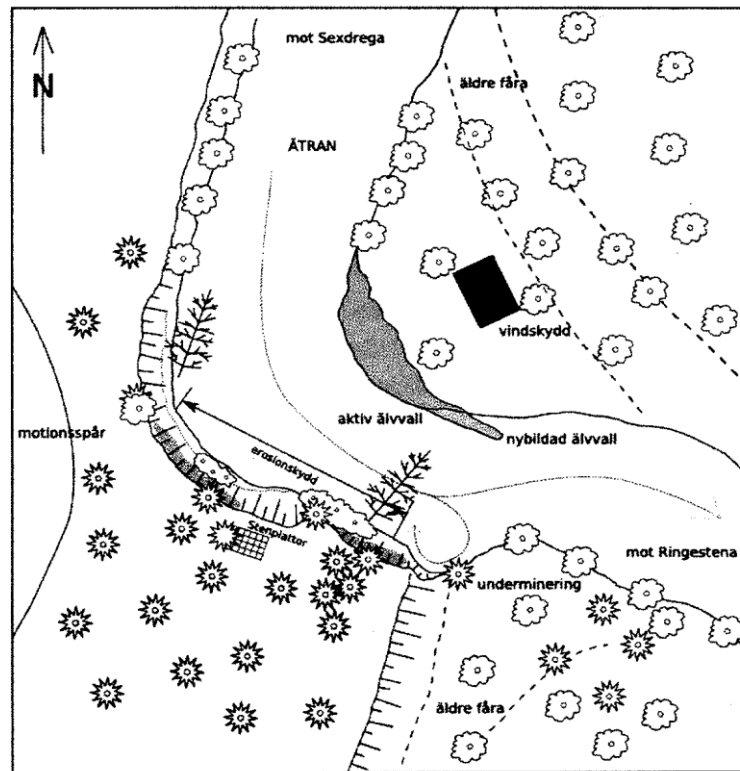
Erosionsskydd Säveån

Huvudvattendrag	Göta älv
Kommun	Lerum
Typ av erosionsskydd	Krossmaterial kompletterat med natursten i vattnet
Syfte med erosionsskyddet	Säkra stabiliteten för den intilliggande Västra Stambanan
Årtal för anläggande	Början av 1990-talet
Tekniska uppgifter erosionsskydd	Krossmaterial i strandkanten, upp till omkring 200 mm i storlek (närmare uppgifter saknas). Natursten i vattnet, sannolikt både i form av grus och större stenar (närmare uppgifter saknas).
Säveån strax efter omgrävning.	
Samma plats i Säveån 2014.	

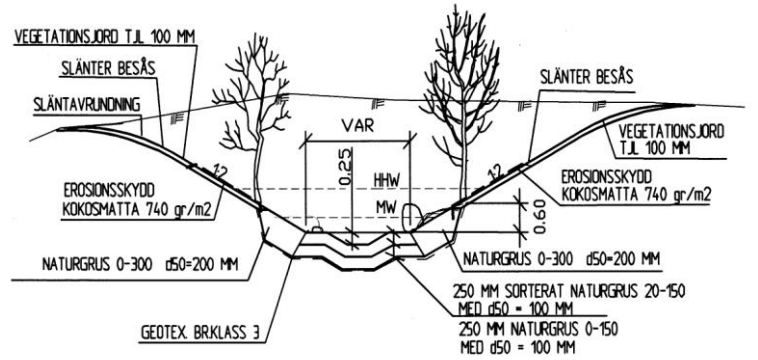
Erosionsskydd Ätran

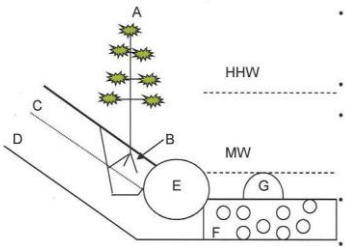
Huvudvattendrag	Ätran
Kommun	Svenljunga
Typ av erosionsskydd	Block och trädstammar med rötter
Syfte med erosions-skyddet	
Årtal för anläggande	2008
Tekniska uppgifter erosionsskydd	Block cirka 500 mm, pålade trädstammar $\varnothing$ ca 200 mm, rotmassa med trädstam cirka 3 m långa.
Foto taget strax efter att erosionsskyddet anlagts i Ätran, 2008.	
Foto taget 6 år senare i Ätran, 2014	

Planskiss över erosions-
skydd i Ätran.



Erosionsskydd Taske Å

Huvudvattendrag	Taske å (utlopp i Saltkällefjorden)
Kommun	Munkedal, Uddevalla
Typ av erosionsskydd	Natursten
Syfte med erosions-skyddet	Säkra stabiliteten för den intilliggande E6:an respektive Bohusbanan
Årtal för anläggande	cirka 2008
Tekniska uppgifter erosionsskydd	Kombinerat erosionsskydd, naturgrus, cocosmattoroch växter.
Foto taget strax efter att erosionsskyddet anlagts i Taske Å.	
Sektionsskiss över erosionsskydd i Taske Å.	

Erosionsskydd Dalsälven	
Huvudvattendrag	Byälven som mynnar i Vänern
Kommun	Arvika
Typ av erosionsskydd	Sprängsten och natursten
Syfte med erosions-skyddet	Säkra stabiliteten för den ombyggda väg 61
Årtal för anläggande	2007-2009
Tekniska uppgifter erosionsskydd	
Dalsälven före omgrävningen.	
	 - A = Klibbal (e-planta, höjd 125-150 cm eller lokalt material) cc 250 cm utmed erosionsskyddets nedre del, samt 1 st per var 10 m² i erosions- och släntskyddets övre delar (dock ej nära bron eller i stödfyllningen). - B = Planteringsgrop ca 0,4-0,5 m djup med 40% 0.18 bärlagergrus, 30 % jord med organiskt material, med 30 % natursten 0-300 mm enligt ovan. Materialet blandas ihop. Ytan täcks med lite större naturstenar 200-300 mm i ett lager. - C = Erosionsskydd, övre lager 0,3 m med natursten 0-300 mm d50 > 150 mm - D = Erosionsskydd, undre lager 0,9-1,0 m med sprängsten 0-500 mm d50>300 mm, ibland på 0,5 m kross - E = Storsten 500-700 mm placerade i rad som en del av erosionsskyddets nedre del och som en naturlig avgränsning mellan åfärans botten och strand- slänten (se foto) - F = Älvbotten med bottenmaterial, 500 mm tjockt med sorterat naturgrus/natursten 20-300 mm, samt med tätning (lerkörtel eller motsvarande) var 15:e meter. - G = Storsten (natursten) oregelbundet placerade på älvbotten 400-700 mm, 1 st per 2 m².

De slutsatser som redovisas i rapporten är bland annat att det finns god kunskap om att skapa naturanpassade erosionsskydd som fungerar bra ekologiskt och har samtidigt en god funktion för att minska erosion.

Vikten av samverkan från planering till byggande lyfts fram i rapporten som en viktig del för att få erosionsskydden att fungera väl.

Erosionsskydd uppbyggda av död ved och rotdelar ger bra miljöer för fisk och andra djur. Vidare betonas vikten av att den kala jorden efter nyetablering snabbt får ett skyddande vegetationstäck och att vegetationen skall vara av samma slag som i omgivningen.



Statens geotekniska institut

Postadress: 581 93 Linköping

Tel: 013-20 18 00

E-post: sgi@swedgeo.se

www.swedgeo.se
