



Erosionens naturliga skydd

– Växtens egenskaper och inverkan på yterosionsbildning vid slänter.

The natural protection of erosion / The plant's properties and impact on the formation of surface erosion on slopes.

Felix Dahlbäck

Självständigt arbete • 15 hp

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Landskapsingenjörsprogrammet

Alnarp 2021



Erosionens naturliga skydd – Växtens egenskaper och inverkan på yterosionsbildning vid slänter

The natural protection of erosion / The plant's properties and impact on the formation of surface erosion on slopes

Felix Dahlbäck

Handledare: Eva-Lou Gustafsson, SLU, institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Examinator: Frida Andreasson, SLU, institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i Landskapsarkitektur

Kurskod: EX0841

Program/utbildning: Landskapsingenjörsprogrammet

Kursansvarig inst.: institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2021

Omslagsbild: Felix Dahlbäck

Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se/>

Nyckelord: Erosion, yterosion, slänter, ingenjörbiologi, water erosion, erosion control, vegetation coverage

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

Sammanfattning

Vårt landskap utsätts hela tiden för förändringar, där både naturliga processer och mänsklig påverkan kan orsaka stora problem. Erosion är en naturlig process men kan påskyndas av mänskliga aktiviteter, markanvändning och klimatförändringar. Arbetets syfte var att genom en litteraturstudie undersöka och sammanfatta de bildande processerna av yttlig vattenerosion i slänter, samt hur växters tekniska egenskaper påverkar och motverkar erosion.

I studien framgick det att yttlig vattenerosion påverkas av flera olika faktorer och har olika bildningsprocesser, morfologiska karaktär och kapacitet att transportera bort material från slänter. Avgörande faktorer som visades påverka erosion vara bland annat jordens sammansättning, nederbördens mängd och intensitet, släntens lutning och längd, samt om markytan är exponerad eller täckt av vegetation. Vidare visade resultatet av studien att växter har en betydande roll för bildningen av erosion i slänter. Vegetations egenskaper kan påverka både genom att effektivt reducera erosion, men även bidra till att erosionen ökar. Bland annat visades egenskaper som höjd över mark, täthet, rotdensitet, tillväxthastighet och förna kunna ha en betydande inverkan på bildningen av yttlig vattenerosion.

I studien framgår det tydligt att erosionsprocesser och växters egenskaper har ett komplext förhållande där flera faktorer kan spela viktiga roller. Det här kan vara viktigt att ha kännedom om för att förutse risker med exponerad jord, samt för att värdesätta vegetationens betydelse vid planering, byggnation, etablering och förvaltning.

Abstract

Our landscape is constantly exposed to changes, where both natural processes and human impact can cause major problems. Erosion is a natural process but can be accelerated by human activities, land use and climate change. The main purpose of this paper was to examine through a literature study the formation processes of surficial water erosion on slopes, as well as how the technical properties of vegetation affect and counteract erosion. The material for this paper that have been

In the study it was shown that surficial water erosion is affected by several different factors and has different processes of formation, morphological character and capacity to transport materials away from slopes. Decisive factors that were shown to affect erosion was including soil composition, the precipitations amount and intensity, the slope gradient and length, and whether the soil surface is exposed or covered with vegetation. Furthermore the result of this study showed that plants plays a significant role in the formation of erosion on slopes. The properties of vegetation can affect both by effectively reducing erosion but also contribute to increasing erosion. Properties such as the height above ground, density, root density, growth rate and litter, was shown to have a significant impact on the formation of surficial water erosion.

The study clearly shows that erosion processes and plant properties have a complex relationship where several factors can play important roles. This can be important to be aware of in order to anticipate risks with exposed soil, as well as to value the importance of vegetation in planning, construction, establishment and management.

Förord

Under utbildningen på landskapsingenjörsprogrammet har vi fått en väldigt bred och samtidigt detaljerad kunskap om vegetationen i våra städer och landskap. Då vi tidigare under utbildningen endast ytligt gått in på ämnet med erosion och växters förmåga att hindra erosion, har jag tagit tillfället i akt under mitt självständiga arbete att fördjupa mig i ämnet och skriva detta arbete.

Att skriva och färdigställa arbetet har under en tid i pandemi inneburit svårigheter på olika sätt. Det är därför många som har varit till stor hjälp och som jag skulle vilja tacka, inte minst min familj, vänner och klasskamrater.

Jag skulle vilja rikta ett särskilt stort tack till min sambo Matilda, som har funnits vid min sida och gjort det möjligt för mig att färdigställa detta arbete.

Jag vill såklart rikta ett stort tack till min handledare Eva-Lou Gustafsson som under hela arbetets gång alltid ställt upp, stöttat och hjälpt mig.

Jag vill även passa på tacka SLU:s bibliotek som varit mycket behjälpliga genom att köpa in material som varit svårt att få tag i.

Slutligen skulle jag vilja tacka min opponent Montagu för den konstruktiva feedbacken under redovisning, vilket var till stor hjälp.

Innehållsförteckning

1. Inledning	8
1.1. Bakgrund	8
1.2. Syfte.....	9
1.3. Frågeställning	9
1.4. Avgränsningar	9
2. Metod	10
3. Litteraturstudie	11
3.1. Ytererosionsbildning och styrande faktorer	11
3.1.1. Klimat och hydrologiska faktorer	11
3.1.2. Vattenerosion	11
3.1.3. Typer av vattenerosion.....	13
3.1.4. Slänten	16
3.1.5. Vegetationens roll	17
3.2. Växtegenskapernas betydelse	19
3.2.1. Tillväxt ovanför markytan	20
3.2.2. Rötter.....	23
3.2.3. Förna	25
3.3. Vegetationen	27
3.3.1. Pionjärarter.....	27
3.3.2. Kvävfixering.....	27
3.3.3. Växter	27
3.4. Växtanvändning och metoder.....	30
3.4.1. Ingenjörsbibliografi	30
3.4.2. Metoder för att reducera och minska ytererosion.....	32
3.4.3. Etablering	32
4. Diskussion	33
Källförteckning	36

1. Inledning

1.1. Bakgrund

Förändringar i vårt landskap har alltid skett och kommer att fortsätta ske. Erosionsprocesser som orsakas av bland annat vatten kan leda till stora konsekvenser för våra miljöer, även om processerna är naturliga kan de påskyndas av mänsklig aktivitet (Morgan & Rickson 2005). Även kommande klimatförändringar med ökad mängd nederbörd och intensivare regn kommer ytterligare att påskynda erosionen (MSB 2019) Då erosionen kan väntas att öka i så väl våra landskap som städer (Bullock 2005), kan det komma att ställas nya krav på hur vi projekterar, förvaltar och värdesätter miljöer i våra landskap och städer.

Problemen med erosion har länge varit kända. Mycket litteratur har skrivits inom ämnet och många studier har gjorts inom jordbruk och för vägkonstruktioner. Erosionsproblematiken är också ett ämne där flera aspekter vägs in. Det har därför behandlats av författare med olika bakgrunder, fokus, detaljeringsnivå och teknisk grad. En del litteratur är väldigt förenklad medan flertalet är omfattande och mycket tekniska. Mångfalden av bakgrunder gör även att benämningar och språk kan skilja sig åt mycket.

Att använda vegetation som tekniska lösningar kan bidra till flera ekosystemtjänster, bland annat den reglerande tjänsten erosionsskydd (Boverket 2019a). Användning av vegetation som erosionsskydd är inte direkt någon ny företeelse. Växter har använts som tekniska lösningar för att stabilisera slänter och motverka erosion i länder runt alperna som Tyskland, Österrike och Schweiz, metoder har även senare beskrivits i USA och England (Svensson 1987; Gray och Sotir 1996; Morgan & Rickson 2005; Coppin och Richards 2007). Idag finns mer litteratur översatt och erfarenheter från flera platser i världen. Mängden litteratur och forskning kan göra ämnet svårt att överblicka, samt större fokus har legat på hur vegetationen kan ge djupare stabilisering och motverka massrörelser. Det finns därför ett behov av att sammanställa litteraturen, som endast behandlar erosion i slänter och hur den påverkas av vegetationens egenskaper, på ett övergripligt sätt.

1.2. Syfte

Syftet med arbetet är att studera erosionsbildande processer vid slänter, samt att identifiera hur växters tekniska egenskaper påverkar och motverkar ytlig vattenerosion i slänter. Syftet är även att sammanställa, klargöra och jämföra vetenskapen inom området på ett övergripligt sätt. Det skulle i sin tur kunna ge en inblick i ämnet för andra studenter på landskapsingenjörsprogrammet och landskapsprojektörer. Arbetet ämnas inte att användas som underlag vid beslutsfattning gällande projektering utan ge en inblick i ämnet för vidare fördjupning.

1.3. Frågeställning

- Hur bildas ytlig vattenerosion i slänter?
- Hur kan växters egenskaper motverka bildningen av erosion?

1.4. Avgränsningar

Arbetet har avgränsats till att endast sammanställa delar av den fakta och vetenskapliga litteratur som finns tillgänglig inom ämnet. Vidare behandlas endast ytlig vattenerosion och dess bildande processer i slänter. Processer som djupare erosion, vinderosion, erosion vid vattendrag och stränder, massrörelser och skred har därför inte studerats i detta arbete. Arbetet har ytterligare avgränsats till att studera vegetationens betydelse för att motverka ytlig vattenerosion, samt redogöra för olika tekniska egenskaper av vegetation, dess påverkan för erosionsbildning och funktion som erosionskydd.

2. Metod

Arbetet har genomförts i form av en litteraturstudie, där olika former av litteratur och kunskapsområden som är relevanta för ämnet har studerats och jämförts. Materialet till studien bygger dels på tidigare genomförda kurser på Landskapsingenjörsprogrammet, exempelvis föreläsningar, kurslitteratur och erfarenheter. Vidare har omfattade sökningar av litteratur, vetenskapliga artiklar, rapporter, branschstandarder och hemsidor genomförts. Material har delvis anskaffats genom SLU:s bibliotek, som i vissa fall har hjälpt till med att köpa in material som har varit svårt att få tag i. Ytterligare har material anskaffats genom SLU:s databas Primo, Google Scholar, MDPI, Elsevier, Springer samt från olika myndigheters hemsidor. Urval har gjorts till att endast ta med de artiklar som varit vetenskapligt granskade.

Sökord har bland annat varit: vattenerosion, jorderosion, yterrosion, ingenjörbiologi, water erosion, erosion control, slope stabilization, soil bioengineering, vegetation coverage, surface run-off

3. Litteraturstudie

3.1. Ytererosionsbildning och styrande faktorer

3.1.1. Klimat och hydrologiska faktorer

Enligt SMHI (2020) kommer, i takt med en stigande temperatur i världen till följd av klimatförändringar, troligtvis mer energi att omsättas i vattnets kretsloppscyklar. Det sker eftersom varmare luft och atmosfär kan innehålla mer vatten, vilket skapar kraftigare regn. Enligt Nationalencyklopedin (2020) kommer medelnederbörden troligtvis att öka främst i de områden som tidigare har haft hög nederbörd och i tempererade områden, som stora delar av Europa. Samtidigt väntas områden som redan är utsatta för torka att få mindre nederbörd. Därtill väntas ett ökat antal varma extremväder och ökad intensitet av dessa extremer vilket medför kraftigare regn. Vissa förändringar har idag redan skett varav intensivare regn i samband med extremer och översvämningar har visats ökat. SMHI (2020) menar att hela Sverige väntas få mer intensiva regn samtidigt som de södra delarna och kuststäder får fler dagar med högsommarvärme. Enligt MSB (2019) kommer framtida klimatscenarier leda till att benägenheten för erosion att öka på flera platser i landet.

3.1.2. Vattenerosion

Erosion är ett geologiskt fenomen och processer som sker naturligt. Processerna kan däremot påskyndas av mänsklig påverkan på miljöer och genom felaktig markanvändning (van Beek et al. 2008). Skillnaden mellan naturlig erosion och jorderosion, är att det senare är påverkat av människan och kan orsaka markförstöring (Nationalencyklopedin 2020). Ashman och Puri (2002) beskriver att problemen med erosion kan skapas när de eroderande processerna sker fortare än de jordbildande processerna. Van Beek et al. (2008) tillägger att om erosionshastigheten är högre än själva förvittringen av på platsen, leder det på sikt till att stora delar av jordmaterialet kommer att försvinna, något som händer på flera platser idag.

Van Beek et al. (2008) menar att slänter och dess lutningar i sig själv kan möjliggöra borttransport av material genom enbart gravitation. Material som saknar tillräckliga egenskaper att hålla sig kvar och stå emot gravitationen börjar att färdas ner för slänten.

Vidare menar van Beek et al. att vatten som har satts i rörelse och vind ytterligare kan påverka materialets egenskaper att hålla sig kvar, och på så vis dra med sig material ner för slänten. Materialet ges möjlighet att stanna upp och ansamlas först när släntlutningen blir svagare och flackare.

Erosionsprocesser kan delas upp i två delar, frigörandet av jordpartiklar och transporten av löst material (Gray Leiser 1982; Ashman och Puri 2002; Morgan och Rickson 2005). Ashman och Puri menar att de aggregatstrukturer som finns i marken kan brytas och frigöra jordpartiklar om de utsätts för energi, exempelvis vatten och vind. De menar vidare att regndroppar, speciellt vid kraftiga tropiska regnoväder, kan ha en betydande påverkan. Gray & Leiser (1982) beskriver att regndroppar som träffar barmark kan med sin kraft lösa upp och flytta partiklar oväntat långt. Faktorer som nederbördens varaktighet och intensitet avgör till största del hur pass erosivt ett regn kan vara (Gray & Leiser 1982; Ashman och Puri 2002). Ashman och Puri förklarar även att hög nederbörd i sig inte behöver betyda problem med erosion, eftersom olika jordar är olika benägna för erosion. De menar att det delvis beror på sammansättning och texturegenskaper i jorden. Jordar vars innehåll har hög andel silt eller sand har mycket känsliga aggregat och är mer erosionsbenägna än andra jordar. De menar vidare att jordar till viss del går att göra mindre erosionsbenägna genom att tillsätta organiskt material, som på så vis kan hjälpa till med att binda partiklar till stabilare aggregat. Boverket (2019b) benämner de mest erosionbenägna jordarna som välsorterade jordar, av fin- och mellansand, som har ett innehåll med jämn kornstorleksfördelning. De beskriver även att de mångraderade jordarna som morän är mindre erosionbenägna, dock ej om de innehåller för hög andel silt eller sand. Gray & Leiser (1982) samt Gray och Sotir (1996) sammanfattar en hierarki efter USCS-systemet för olika jordarters benägenhet för erosion enligt ordningen nedan i tabell 1.

Tabell 1. Sammanfattning av jordars erosionkänslighet efter hierarkin presenterad av Gray & Leiser (1982), och Gray och Sotir (1996).

ML	Low plasticity silt	Most erodible	
SM	Silty sand		
SC	clayey sand		
MH	high plasticity silt		
OL	Low plasticity organic soil		
CL	low plasticity clay		
CH	high plasticity clay		
GM	silty gravel		
SW	Silty sand		
GP	poorly graded gravel		
GW	well graded gravel		Least erodible

Enligt Ashman och Puri (2002) sker transporten av det lösa materialet oftast genom vatten i form av ytavrinning. Om regnets intensitet är större än den mängd som infiltreras ned genom marken, kommer vattnet istället att ledas längs med ytskiktet och benämns då som ytavrinning. Vattnet kan på så vis transportera bort löst materialet som tidigare har frigjorts. Partiklar som silt och ler kan frigöras när aggregatstrukturer bryts upp. Dessa partiklar kan sedan sköljas ner och täppa igen porer i marken. En skorpa bildas på ytan och hindrar därmed ytterligare infiltration. Vatten rinner istället längs med ytan och ansamlas i mindre kanaler.

Slänters morfologiska karaktär kan enligt van Beek et al. (2008) påverka ytavrinningsenergi, ju längre eller brantare en slänt är desto erosivare blir vattnet som färdas och ges större möjlighet att dra med sig material. Brady (2018) beskriver att det lösa materialet som dras med ytvattnet ökar den frigörande kraften av vattnet, flödet kan på så sätt frigöra och dra med sig ytterligare partiklar. Steenhuis et al. (2005) menar att endast ställningstagande till regnintensitet och infiltrationshastighet ej behöver leda till ytavrinning. De menar att fler aspekter påverkar ytavrinning, som topografin i området och exempelvis jorddjupet vilket kan variera inom samma område. Blanco och Lal (2010) kompletterar erosionsprocessen med ett ytterligare steg, deposition. De menar att deposition avgör hur materialet som frigjorts och transporterats fördelar sig. Morgan och Rickson (2005) beskriver att i takt med att finmaterialet i större mängd transporterats bort kommer de material som finns kvar bestå av större fraktioner. De större fraktionerna står emot erosion bättre och kan på så vis göra att markytan skyddas mot vidare erosion. Denna effekt kallas för stenpås och är förekommer främst i månggraderade jordar (SGI 2019).

3.1.3. Typer av vattenerosion

Det finns olika typer av vattenerosion som kommer att tas upp här för att skapa en bild av vilka de bildande processerna är och hur deras morfologiska karaktärer skiljer sig åt. De typer av yttlig vattenerosion som är främst förekommande vid slänter beskrivs i litteraturen vara av fyra följande typer:

Regndroppserosion

Flakerosion

Rännilserosion

Ravinerosion

Regndroppserosion

Gray & Leiser (1982) menar att regndroppserosion är den inledande eroderande processen och sker på grund av att regndroppar träffar markytan. Kraftiga regn kan vara fördömande för markstrukturer som aggregat och porer. Nedslagen på barmark kan leda till att stora mängder material och partiklar frigörs från markytan. Vid nedslag på plan mark kan kraften bidra med att stänka partiklar upp mot 60 cm upp i luften och mer än dubbelt så långt i sidled. Vid slänter med brant lutning kommer en del av de partiklar som frigörs att bidra till vidare rörelse nedåt.



Figur 1: "Sheet Erosion" (SoilScience.info 2005) (CC BY 2.0). Foto av John A. Kelley, USDA Natural Resources Conservation Service, visar hur flakerosion eller sheet erosion har, efter flödet lämnat kvar de större partiklarna efter ett regn.

Flakerosion

Gray & Leiser (1982) beskriver flakerosion som en process där material transporteras bort i tunna skikt från markytan. Det sker genom att vatten som rinner över släntens yta drar med sig material som tidigare har frigjorts i tunna skikt eller lager. Den här typen av erosion är inte lika dramatisk som andra erosionsprocesser och har ett långsammare flöde. Van Beek et al. (2008) menar att vatten rinner mer eller mindre sammanhängande över ytor istället för att ledas ner i kanaler, vilket gör att den här typen av erosion kan täcka stora ytor. De menar även att flakerosion kan vara svår att upptäcka om ingen ytterligare erosion är närvarande. Gray & Leiser (1982) menar att eftersom processen kan vara svår att upptäcka under tiden den sker, kan flakerosion på sikt transportera stora mängder finmaterial och sediment. Van Beek et al. (2008) menar att stora delar av näringsämnen och humus, som jordar innehåller, återfinns strax under det ytliga skiktet.

Den här typen av erosion riskerar att transportera bort partiklar innehållande näringsämnen och organiskt material, vilket leder till att jorden blir mindre bördig. Eftersom erosionen sker gradvis upptäcks den oftast först när det undre jordlagret redan är exponerat. Ytterligare tecken på flakerosion kan enligt Norris et al. (2008) vara att ytliga rötter träder fram ur jorden och att högar ser ut att ha bildats där vegetation som träd och buskar växer. Van Beek et al. (2008) menar även att igentäppning av porer och skorpbildning är vid flakerosion vanligt och kan ses som en inledande process som i sin tur kan leda vidare till allvarligare erosioner se figur 1.

Rännilserosion

Ytvattnet följer ojämnheter i marken och enligt van Beek et al. (2008) koncentreras flödet till små kanaler, vilket skapar högre hastighet av avrinningen och ökar dess erosiva kapacitet. De beskriver rännilserosion som den vanligast förekommande typen av vattenerosion och att det är ett mellanstadium mellan flakerosion och ravinerosion. När kanalerna väl har bildats på ytan kommer dessa kanaler att bli den prioriterade vägen för efterföljande vatten. Rännilarna kan få ett djup på 30 cm men har oftast ett djup på bara några centimeter. Brady (2018) beskriver att ytterligare ytvattenavrinning till följd av regn pådriver de erosiva processerna och gör befintliga rännilar bredare och djupare. Bli rännilen tillräckligt stor leder det slutligen till ravinerosion. Gray & Leiser (1982) menar att även om rännilarna är visuellt tydliga (se figur 2 & 3 nedan) är de oftast små och lätta att åtgärda genom plöjning. Vidare menar van Beek et al. (2008) att trots att rännilarna är enkla att åtgärda görs det sällan åtgärder förrän problem med rännilserosion har blivit för stora. Kännetecknande för rännilserosion är enligt Norris et al. (2008) att processen kan resultera i att stora mängder material transporteras bort. De beskriver även att rännilar och raviner är tydliga indikatorer på att erosionsprocesser är närvarande.



Figur 2 & 3: Foton av Felix Dahlbäck (2020). Bilderna visar hur rännilserosion har bildats på exponerad jord på en anlagd trafikvall intill E6:an vid Åkarp.

Ravinerosion

Blanco och Lal (2010) beskriver att ravinerosion skapar större rännilar med minst 300 cm djup och bredd, se figur 4. De menar att dessa rännilar oftast får utseendet antingen likt ett V eller ett U. Gray och Leiser (1982) menar att raviner är större än rännilar och går därför inte heller att åtgärda genom plöjning. De menar vidare att trots att de är större och mer dramatiska eroderar inte nödvändigtvis ravinerosion mer material än rännilerosion. Gilley (2005) menar att intilliggande stigar eller vägar kan möjliggöra att ytavrinningen koncentreras och på så sätt pådriva processer som leder till ravinerosion. Enligt Gray och Leiser (1982) kan kännetecknen för att ravinerosion är närvarande och pågående att kanterna består av bar jord utan skydd och att ravinen blir bredare med tiden. De menar att ett tecken på att en ravin som har börjat återhämtat sig och som är mindre aktiv kan vara att växtlighet börjat etablera sig i botten.



Figur 4: Mindre ravinerosion. Foto av Felix Dahlbäck (2020). Påbörjad ravinerosion i en slänt i samband med nybyggnation av ett villa område i Bara. Även om slänten inte är så lång så har mycket finmaterial kunnat transporteras och ansamlats nedanför.

3.1.4. Slänten

Själva lutningen på slänter kan påverka de erosiva processerna och bildning av erosion på olika sätt, som tidigare behandlats är gravitation en av aspekterna. Enligt Norris et al. (2008) har slänters utseende en betydande roll för erosionsprocesserna, däribland är lutning, längd och böjningar avgörande. De menar att känsligheten för erosion ökar med längden på sluttningen och vid brantare släntlutningar. Gray och Sotir (1996) bekräftar det och menar att släntens längd får allt högre betydelse för erosionsprocesserna när lutningen på slänten ökar. De förklarar bland annat förhållandet att vid en dubbling av längden på en slänt, tillsammans med en brantare lutning, blir resultatet att andelen jord som kommer att försvinna blir högre, i jämfört med om samma längd hade applicerats på

en flackare lutning. I ett exempel förklarar Gray och Sotir förhållandet mellan att en ökning i längd från ca 30,5 m till 61 m, genererar vid 6 % lutning en ökning av förlusten med ca. 30 %, medan en lutning på 20 % genererar en ökad jordförlust på närmare 50 %.

Enligt Morgan och Rickson (2005) påverkar släntlutningen även den planyta regndropparna träffar, så att en brantare lutning leder till en reducerad planyta i jämförelse med den faktiska ytan. De menar att lutningar över 33° generellt sett bidrar till denna effekt och gör att regnets intensitet minskas effektivt. Däremot menar de att samtidigt kommer erosion på grund av gravitationen istället att öka med en brantare lutning. Petschek et al. (2014) menar att sluttande landskapselement antingen kan vara naturliga eller konstruerade av människan genom markarbete. Oavsett om slänten är naturlig eller anlagd kommer jord att rasa om släntlutningen är brantare än vad markens skjuvhållfasthet tillåter. Enligt Petschek et al. är även slänter med flack lutning i behov av skydd och vid lutningar mellan 0° - 33,7° kan vegetation vara lämpligt att använda. De menar att på slänter mellan 33,7° - 45° kan vegetation användas genom ytterligare förstärkningsåtgärder eller genom stabiliserande ingenjörbiologiska metoder. Ingenjörbiologi och dess metoder är något som i mer detalj kommer tas upp i senare del av det här arbetet.

3.1.5. Vegetationens roll

Vegetation kan på flera olika sätt påverka och reducera de erosiva processernas inverkan på jordar. Enligt Svensson (1987), Keller och Blodgett (2008), Norris et al. (2008), och samt Blanco och Lal (2010) kan vegetation fungera som ett skyddande lager som bromsar nedslagskraften hos regndroppar, men även stoppa upp och sakta ner flödes hastigheten på det vatten som rinner längs med ytskiktet på marken. De menar även att vegetation med sina rötter kan bidra till förbättrad infiltration av vatten ner i marken. Ytterligare menar Svensson att i och med växternas upptagning av vatten, kan även dränering ske av överflödigt vatten.

Blanco och Lal (2010) menar att vegetationens roll för att motstå jorderosion är betydande. De beskriver att vegetation ökar halten av organiskt material, skapar bättre förutsättningar för markfauna och förbättrar strukturen i jorden. De menar även att med ett minskat vegetativt skydd ökar frigörelsen av partiklar från jorden. Enligt Lundqvist (2001) kan borttagning av vegetation i form av avskogning orsaka stora problem med erosion av jordar då det naturliga skyddet tas bort. Jordbildande processer har bildat jord- och humuslager under lång tid, lager som tidigare har skyddats av vegetationen blir snabbt exponerat för erosionsprocesser av exempelvis vind och vatten. Liknande menar Lundqvist att vegetation kan slitas och avlägsnas på grund av för hög betning, vilket leder till att markyta blir exponerad för erosion. Ett annat vanligt scenario är erosion i samband med jordbruk. Markytan kan då vara exponerad mellan odlingsperioder vilket kan medföra stora problem med erosion till följd av vatten eller vind. Enligt Gray & Leiser

(1982) kan vegetation på lång sikt ge det bästa skyddet av slänter mot ytlig erosion till följd av regn. Ett exempel på hur skillnaden kan se ut mellan vegetation och exponerad jord i slänt syns i figur 5.

Fem sätt ett vegetativt skydd kan hindra ytlig erosion (Gray & Leiser 1982).

1. Binder och håller jordpartiklar på plats
2. Filtreerar jordpartiklar från avrinningen
3. Fångar upp regndroppar
4. Minskar avrinningshastigheten
5. Bibehåller infiltration

Följande avsnitt kommer att närmare ta upp och förklara växternas egenskaper och hur de kan påverka de erosiva processerna.



Figur 5: Foto Felix Dahlbäck (2020). Bilden visar ytterligare rännilserosion vid trafikvallen i Åkarp. En tydlig skillnad mellan den bara jorden som är högst eroderande i jämförelse med de etablerade växterna vid planteringen. Viktigt att påpeka att markduken inne i planteringen förmodligen har en stor roll i skyddet mot regndroppar, samtidigt i kanterna av planteringen, visar växterna tydligt dess betydelse för erosionen i jämförelse med den bara jorden.

3.2. Växtegenskapernas betydelse

Växter kan på flera olika sätt påverka huruvida erosion uppstår. Deras växtsätt och egenskaper bidrar på olika sätt till att effekten av de erosiva processerna kan minska, men i vissa fall även förstärkas, vilket kan leda till ökad erosion. Morgan och Rickson (2005) delar in växternas olika tekniska egenskaper i vilken påverkan och effekt de har hydrologiskt, hydrauliskt och mekaniskt. De hydrologiska effekterna är de effekter växter har på hur vatten samt mängden vatten som transporteras från atmosfären ned till marken. Till de hydrologiska effekterna räknas bland annat evapotranspiration, interception, stamflöde, bladdränering och infiltration. Morgan och Rickson beskriver att de hydrauliska effekterna är vegetationens möjlighet att tillföra tröghet till ett vattenflöde. På så vis kan vattnets hastighet saktas ned och partiklar som färdas med kan stanna upp. Exempel som de tar upp är bland annat ytsträvhet och sedimentering. De mekaniska effekterna är växters egenskaper att stärka jorden och hålla kvar markpartiklar. De mekaniska effekterna som tas upp är bland annat markförstärkning och organiskt material.

Växternas olika delar bidrar med olika egenskaper, vilket har en inverkan på effekterna av de erosiva processerna. Morgan och Rickson (2005) menar att vegetationens delar över mark bidrar till att stå emot de erosiva krafterna från vind och vatten, medan delar under mark främst stärker jorden mekaniskt. Vidare menar Morgan och Rickson att växternas möjlighet att motverka erosion som orsakas av vatten främst är genom de hydrologiska faktorerna. Stokes et al. (2008) menar även de att vegetation har en avsevärd betydelse för hydrologin vid slänter, därmed benägenheten för att erosion samt även skred uppkommer. Coppin och Richards (2007) beskriver även de att växter främst påverkar hydrologiskt men belyser även dess mekaniska betydelse.

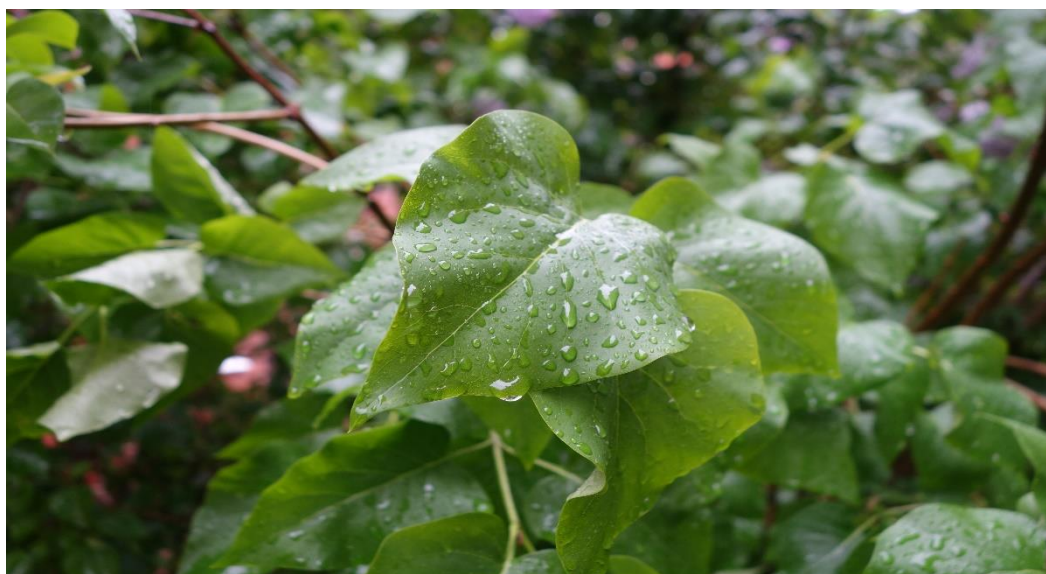
Evapotranspiration

Evapotranspiration är de olika fukt borttagande processer som sker av det vatten som växter fångar upp vid nederbörd (Coppin & Richards 2007). Grip och Rodhe (2016) samt Morgan och Rickson (2005) beskriver att evapotranspiration är ett samlat begrepp för det vatten som återgår till atmosfären genom evaporation och transpiration. Grip och Rodhe förklarar att evaporation är det vatten som avdunstar från exempelvis vegetationens ytor, men kan även vara från andra ytor som exempelvis markytor, stående vatten, sjöar, hav och snötäcke. Transpiration är istället det vatten som tas upp av växternas rötter, för att sedan avges via växternas klyvöppningar i bladen som del i gasutbytet av koldioxid och syre.

3.2.1. Tillväxt ovanför markytan

Interception

Interception är det vatten som vid nederbörd träffar vegetationen och hålls kvar i lövverk, blad och trädkronor för att senare avdunsta genom evaporation (Morgan & Rickson 2005). Stokes et al. (2008) menar att genom interception kan det vatten som fångas i exempelvis trädkronor leda till att mängden och intensiteten av regnet som når marken minskar. Växters förmåga att hålla kvar regnvatten på stam- och bladytor, det vill säga deras interceptionskapacitet, kan enligt Grip och Rodhe (2016) variera mellan 0,5 - 2,5 mm. De menar att mängden vatten som kan hållas kvar genom interception varierar beroende på typ av växt, växtsätt och hur bladens ytor ser ut.



Figur 6: Foto Felix Dahlbäck (2021). Regndroppar fångade och ombildas i bladverket av en syren.

Blad- och stamdränering

Morgan och Rickson beskriver att den del av vattnet som inte hålls kvar istället kommer att rinna ner mot marken längs med stam och grenar, eller genom att droppa från blad, vilket benämns som stamflöde respektive bladdränering. Bladdränering kan leda till att regndroppar i själva verket koncentreras och intensifieras till vissa punkter. Enligt Morgan och Rickson sker bladdränering genom att regndroppar först träffar bladytan och går sönder, för att sedan ombildas och få nya proportioner. De ombildade regndropparna kan vara mindre men även större än de ursprungliga regndropparna. De menar att större droppar har högre rörelseenergi när de träffar marken då de är tyngre och får högre hastighet. Coppin och Richards (2007) beskriver att små vattendroppar ursprungligen kan vara mindre än 1 mm innan de träffar vegetationen, i förhållande till de ombildande droppar som kan bli större än 5 mm.

Morgan (2005) förklarar även att växternas blad- och grenverk påverkar, inte bara genom vattendroppars ombildning och förändring i storlek. Ytterligare kan den spatiala förändring och distribution som tillkommer av att droppar koncentreras till vissa punkter, ha en betydande roll lokalt för hur avrinningen bildas under vegetationen. Morgan och Rickson (2005) förklarar stamflöde som den del vatten som fångas upp i växten löv och grenverk genom interception för att sedan rinna ned längs med stammen. De menar att vanligtvis skapar stamflöde ingen större kraft som möjliggör att jordpartiklar kan frigöras. Däremot belyser Coppin och Richards (2007) att både bladdränering och stamflöde kan resultera i att det under vegetationen skapas variationer i regnet, där intensiteten vid vissa punkter kan bli mycket hög. Vidare menar de att om regnvattenmängden koncentreras till vissa punkter kan markens kapacitet att infiltrera vattnet överskridas lokalt och på så vis leda till att avrinning bildas. De beskriver att de växter som är utmärkande för att bilda stamflöde, är de växter som har ett växtsätt där flera grenar möts vid samma punkt på stammen.

Ytsträvhet

Gräs växer oftast snabbt och kan ge ett tätt skydd för markytan (Stokes et al. 2008). Zuh och Zhang (2016) menar att gräs med sin tillväxt ovan mark kan stå emot rörelseenergin vid ytavrinning på en slänt och på så vis reducera ytavrinningens erosiva kraft. Denna typ av egenskap kan även benämnas som ytsträvhet. Enligt Morgan och Rickson (2005) är ytsträvhet den tillförda friktionen som vegetationens löv, stjälkar och stammar bidrar med till flödet. Morgan och Rickson menar att hur pass effektiv ytsträvheten är, och hur mycket friktion som skapas av vegetationen för flödet, till stor del beror på växtsätt och täthet av vegetationen. Morgan och Rickson menar att en enhetlig och tät vegetation är bättre på att reducera flödes hastighet än en vegetation som är mer öppen, glesare och utspridd i klumpar. En glesare vegetation kan till och med komma att leda till ökad flödes hastighet eftersom avrinningen då kan koncentrera sig mellan växterna. Morgan och Rickson beskriver även att ytsträvheten inte behöver vara statisk utan friktion kan även vara dynamisk under ett flöde. De menar att friktionen ökar när flödesdjupet stiger eftersom stjälkarna då rör på sig mer. Dessutom förklarar de att när flödet avtagit och flödesdjupet minskat, leder det till att växterna oftast lägger sig ned och därmed ger minskad ytsträvhet. Turbulens kan skapas kring enskilda växter när flödet är mer ytligt vilket även kan skapa variationer i friktionen, dock menar Morgan och Rickson att denna variation oftast inte är lika markant.

Sedimentering

Enligt Morgan och Rickson (2005) påverkar inte bara vegetation hydrauliskt genom att reducera avrinnings hastigheten, utan kan även fungera som ett filter. De benämner denna hydrauliska effekt som sedimentering. Vegetationen kan, speciellt om den är tät, möjliggöra att sediment som transporteras i vattnet vid ytavrinning fastnar och på så vis tas bort från flödet. Den del av det vegetativa filtret som flödet når först, tenderar

sedimentet att fastna och ansamlas vid. Morgan och Rickson menar att ansamlingen av sediment leder till att ett kilformat lager byggs på vilket även kan ändra lutningen på slänten. Ändringen i lutning resulterar i att kraften i flödet kan påverkas, såväl före som efter filtret. För att säkerställa en effektiv filtrering menar de att höjden på vegetationen är viktig, eftersom ansamlingen gör att markytan kommer att höjas.

Höjd, struktur & täckt yta

Blanco och Lal (2010) menar att hur pass effektiv en växt är på att skydda mot vattenerosion beror på vegetationens höjd och struktur på kronan. De menar att vegetation som är lågt växande och tät ger ett skydd som är mer effektivt än vegetation som är längre och glesare. Morgan och Rickson (2005) bekräftar och menar att vad som avgör hur effektivt ett vegetativt skydd är, är dess täthet och avstånd till markytan. För ett maximalt skydd ska vegetationens löv- och grenverk vara nära eller i kontakt med marken. De menar att effektiviteten av vegetationen reduceras linjärt ju högre upp från marken man kommer. Vidare förklarar de att täthetens skyddande effekt reduceras redan vid 1 m över marken, samtidigt som den frigörande kraften av bladdräneringen ökar. Lågt växande vegetation resulterar i att droppar får lägre nedslagskraft, medan högre kronor kan möjliggöra att dropparnas hastighet och nedslagskraft blir högre än vad den var innan (Coppin & Richards 2007).

Coppin och Richards (2007) menar vidare att höjden är av betydande roll, samtidigt som den andel täckt yta som växten utgör, hur löv- och grenverk ser ut spelar stor roll för frigörelsen av jordpartiklar. De förklarar att förhållandet mellan lågt växande buskar och gräs, och deras andel täckta yta, förhåller sig så att förlusten av jordpartiklar reduceras exponentiellt. De menar även att förlusten av jord under höga kronor har ett mer varierande förhållande till procent av täckt yta. Denna variation beror dels på kronans höjd ovanför mark, men även huruvida vegetationen är kapabel att ombilda större droppar när bladdränering uppstår. De menar att om vegetationen endast producerar mindre droppar minskar proportionen av jordförlust med ökad procent skyddad yta. Vidare menar de att om större droppar istället tillåts ombildas i bladverken, kan kronor med en höjd på 2 meter och trots att det har en yttäckning på 90 - 100 %, ha jordförlustproportioner som är dubbelt så stor jämfört med bar jord.

Liang et al. (2020) studerade hur, och förhållandet mellan, släntlutning, regnintensitet och vegetationens täckningsgrad påverkade erosion på slänter av sandjordstyp. Studien belyser vegetationens innebörd på slänter med sandjord, till exempel hur de påverkar släntmorfologin och reducerar erosionsbildning av raviner. Sandjorden som studerades var av en specifik sandsten (*Pisha sandstone*) från Odrosplatån, Inre Mongoliet, Kina. Sandstenen är mycket känslig för erosion och kommer från ett område som bland annat är ett upptagningsområde till Gula floden. I studien byggdes slänterna upp inomhus, lutningarna som testades var 20°, 30° och 40°. Ett regnfallssimulerande test gjordes med

intensiteter på 20, 50 och 80 mm/h. Vegetationen utgjordes av *Cynodon dactylon* (hundtandsgräs/bermudagräs), med täckningsgrader på 0, 10, 30 och 50 %. Resultatet visade att regnintensitet hade en stor påverkan på avrinningsbildningen, där ökad intensitet ledde till mer ytavrinning och transport av sediment på slänterna. Avrinning visades främst reduceras vid låg regnintensitet och lägre täckningsgrad av vegetation, runt 20 mm/h och 10 %. Vid ökning av intensiteten uteblev istället denna effekt på avrinningen. Däremot visade resultatet att sedimenttransporten reducerades vid ett högre vegetativt skydd på 50 %. Då effekten endast visade sig reducera avrinning vid låg intensitet och inte när intensiteten ökade, rekommenderar Liang et al. en täckningsgrad på minst 50 %.

Morgan och Rickson (2005) menar även att infiltrationsförmågan i en jord täckt av vegetation oftast är högre än en jord utan vegetation. Stabilare porer och markstrukturer kan bildas med hjälp av biologisk aktivitet, organiskt material, rottillväxt, nedbrytning av växtmaterial och rötter. De menar att med en högre infiltrationsförmåga i vegeterade jordar kan vattenmättnad och avrinning förskjutas, samt mängden ytavrinning minska i jämförelse med en jord utan vegetation.

3.2.2. Rötter

Rotsystem kan se mycket olika ut och bidra med sina egenskaper på flera olika sätt till minskad erosion. Kanske den mest tydliga är den armerande egenskapen som gör att den övre biomassan av växten hålls på plats. Enligt Stokes et al. (2008) kan växter med sina rötter skapa bättre strukturer i marken, ge bättre förutsättningar för den biologiska aktiviteten och bidra till produktionen av förna. Genom rötternas främjande egenskaper bildas makro- och mesoporor som i sin tur gör att kapaciteten för infiltration blir högre i marken. Kangas (2003) nämner bland annat att växternas rötter kan kontrollera erosion genom att förstärka jorden mekaniskt. Zuh och Zhang (2016) beskriver att en jord som är genomträngd av rötter har en högre skjuvhållfasthet än jordar utan rötter. De menar att rötter ökar vidhäftningen mellan rot och jordpartiklar.

Infiltration och kontroll av markfukt

Enligt Morgan och Rickson (2005) är en av de mest betydande faktorerna infiltrationsprocessen. De beskriver att rötter på flera olika sätt bidrar till förbättrad infiltration jämfört med bar jord. Vidare menar de att rottillväxt, markfauna och organiskt material bidrar till öppnande av porer och bildande av stabilare aggregatstrukturer i marken. Stabilare markstrukturer leder inte bara till ökad infiltrationsförmåga i marken utan minskar även benägenheten för material att brytas loss och för porer att täppas igen. Det medför att dessa strukturer i större utsträckning kan bibehålla sin infiltrationsförmåga.

Coppin och Richards (2007) skriver att växter kan i och med deras upptag av vatten genom rötterna, kontrollera markfukten genom underskottet som skapas. De belyser att med underskottet skapas på så vis en buffert och en ökad lagringskapacitet vilket kan påverka hur avrinningen bildas. Djupet på rötterna är för denna process därför intressant. De menar att ett mer djupgående rotsystem, kan i större utsträckning förebygga och förskjuta tiden det tar för avrinningen att bildas.

Rotkaraktäristik

Svensson (1987) menar att ett bestånd med blandad vegetation får en mer tät och oregelbunden rotbildning än ett bestånd som består av en art. I ett bestånd som består av flera arter kan olika rötter komplettera varandra och bilda en tätare genomrotning som armerar och binder partiklar bättre. I en studie av Pohl et al. (2009) jämförde man bland annat förhållandet mellan vegetations rotdiversitet och aggregat stabilitet i centrala Alperna, Schweiz. De studerade mark i skidbackar i Davos, Lenzerheide och Films-Laax som byggts och påverkats av maskiner, de jämförde med intilliggande opåverkad mark och vegetation. Studien visade bland annat att en högre mångfald av arter och en diversitet av rötter kan bidra till högre aggregat stabilitet i jordar. Studien visade även på att aggregat stabiliteten berodde i större utsträckning på mängden finrötter än vad den gjorde på de grövre rötterna. I studien kunde även Pohl et al. konstatera att effekten av ökad aggregat stabilitet inte endast kunde härledas till en växtgrupp, utan bestod av just kombinationen i blandade bestånd av gräs, örter och buskar.

Morgan och Rickson (2005) beskriver att rotsystem som är ytliga och täta är bättre på att hålla ihop jorden. De menar att rötter som växer nära markytan har störst inverkan på markförstärkningen av jordar eftersom jorden oftast är svagast nära markytan, samtidigt som växtens rotdensitet oftast är högre där. Vidare beskriver de att ett djupare rotsystem har större möjlighet att stabilisera på djupet.

Zhu och Zhang (2016) har i en studie undersökt tre vanliga gräsarter i Hong Kong och bland annat hur arternas rotmassa påverkar yttlig erosion. I studien kom man fram till att det finns ett samband mellan högre rotmassa och minskad känslighet för erosion. Vannoppen et al. (2017) jämförde i sin studie hur egenskaperna hos rötter i sandjordar påverkade effekten att reducera erosion av koncentrerade flöden, dvs. rännils- och ravinerosion. Finrötterna bestod av en gräsblandning innehållandes 75 % *Lolium perenne* (engelskt rajgräs), 15 % *Phleum pratense* (timotej) och 10 % *Poa pratensis* (ängsgröe). Den pålrötsbildande växten representerades i studien av *Daucus carota* (morot). Resultat av studien visade bland annat att rötter reducerade erosion effektivt i sandjord i jämförelse med sandjord utan rötter. Vidare visade studien att ytliga finrötter, diameter mindre än 5 mm, framför allt kunde reducera erosion framgångsrikt. Motsvarande visade resultatet att grövre pålrötter, diameter större än 5 mm, hade en negativ effekt på förmågan att reducera erosion i sandjord och kan istället öka hastigheten av erosionen. Vid jämförelse

av data från andra jordarter, visade resultatet ytterligare på att rötternas förmåga att reducera erosion beror till stor del på fraktionernas sammanhållning i en jord, men även vilken total volym eller torr skrymdensitet materialet har. Vidare menar Vannoppen et al att då finrötter visade sig vara effektivare i friktionsjordar, var istället pålrötter effektivare i kohesionsjordar.

3.2.3. Förna

Växter kan inte enbart bidra med sina egenskaper i ett levande skede för att motverka de erosiva processerna. Växtmaterial på markytan som är dött eller delvis nedbrutet, även kallat förna, kan påverka hydrologin och utgöra en betydande roll i att skydda mot droppar och motverka ytavrinning. Coppin och Richards (2007) beskriver att likt förhållandet med ökad andel täckt yta av en växt, kan ökad andel yta som är täckt av förna, reducera frigörelsen av jordpartiklar exponentiellt. De menar att i jämförelse med om jorden är bar, kan förna bidra till att frigörelsen av jord minskar upp till 93 %.

Zhu et al. (2020) har i en studie undersökt interceptionseffekten av förna. Med tester i naturliga slänter och simulerade tester skapade de en modell för infiltration och avrinning. I resultatet från testerna i fält konstaterades att förna både genom interception och absorption kan hindra nedslagskraften av regn. Ytterligare skapar förna bättre förmåga till infiltration, vilket påverkar avrinningsbildningen vid slänter. De förklarar att den skyddande effekten av förna motverkar att regndroppar som annars vid bar jord slår sönder markstrukturen, bildar skorpor, kompakterar och hindrar infiltrationen, vilket leder till ytavrinning och högre flödestoppar. Liknande såg Gomyo och Kuraji (2016) i studie av ett beskogat avrinningsområde i Japan att borttagning av förna ledde till reducerad effekt av interception och evapotranspiration, samtidigt som flödestoppar och avrinning ökade.

Förnan speglar ofta vegetationen, den återfinns under eller finns nära, dess egenskaper bör därför kunna vara olika beroende på sammansättningen av växtdelar och plats. Zhou et al. (2018) studerade i skogar av *Pinus massoniana* (kinesisk röd tall) hur olika tjocklek på förnalager och jordarter under relaterade till ytavrinning. Då skogen till största del utgjordes av tall med endast lite undervegetation, bestod förnan av barr. Zhou et al. pekar på att barren har en förlängd nedbrytningsprocess och en begränsad förmåga att styra vattnet. Resultatet i studien visade bland annat att den plats som hade tjockast lager med förna och ett jordmaterial med hög skrymdensitet, bildade mest avrinning, både under olika längd och intensitet av regnet. Zhou et al. menar att i jämförelse med de platserna med tunnare lager av förna med lägre skrymdensitet i jorden, att resultatet snarare visade påverkan av markförutsättningarna under förnalagret. Jorden med högre skrymdensitet hade för det första mindre porer vilket snabbare kunde fyllas till den gräns att ytlig avrinning bildades, för det andra bestod den även av sandsten. I jämförelse med de andra

jordarna som Zhou et al. menar var mer genomsläppliga då de utgjordes av kalksten och dolomit.

I tabell 2 nedan finns en sammanfattning av flera av de växtegenskaper som tagits upp och vilken påverkan egenskapen har.

Tabell 2. En förenklad version av Coppin och Richards (2007: 73) box 3.5 Summary of salient vegetation properties and their significance for engineering functions. Ett urval av vegetationens egenskaper och inverkan, tabellen är en omarbetning av originalet och förenklad för att visa de möjliga egenskaper som kan påverka yttlig erosion.

Influence	Vegetation properties									
	Ground cover %	Height	Leaf shape and length	Stem/leaf density	Stem/leaf robustness	Stem/leaf flexibility	Root depth	Root density	Root strength	Annual growth cycle
Soil detachment	x	x	x	x						x
Mechanical strength	x	x		x	x			x	x	x
Insulation	x			x						x
Retarding/arresting		x		x	x	x				
Erosion	x			x						x
Rainfall interception	x		x	x						
Overland flow/runoff	x			x						
Infiltration				x			x	x		
Subsurface drainage							x	x		
Surface drag	x	x	x	x		x				x
Evatranspiration			x	x						
Soil moisture depletion leading to increased soil suction, reducing pore-water and soil weight							x			x
Root reinforcement							x	x	x	x
Ancorage/restraint							x	x	x	

3.3. Vegetationen

3.3.1. Pionjärarter

Sjöman och Slagstedt (2015) beskriver att de växter som skyddar bäst mot yterosion är framför allt olika gräs och örter. Växter som har ett mer djupgående rotsystem som träd, är istället bättre på att förstärka slänter på djupet. De förklarar även att slänter som växtplats i branta terrängar kan se mycket olika ut, beroende på jordmån och klimat på platsen. De menar att platsens resurser som vatten är troligtvis till en början begränsade för växterna innan de har utvecklat sitt rotsystem. Sjöman och Slagstedt påpekar att växter som är pionjär i sitt växtsätt generellt är bra för slänter som växtplats. Pionjära växter har strategier att snabbare utveckla en kraftig rottillväxt i jakt på vatten och näring.

3.3.2. Kvävefixering

Enligt Sjöman och Slagstedt (2015) kan näringsbrist även vara ett faktum i branta terrängar. Snösmältningen och kraftigare regn gör att näringen kan minska, den näring som tillförs genom organiskt material transporteras istället ned för slänten och ansamlas där. Vidare förklarar de olika strategier växter kan ha i näringsfattiga habitat, bland annat förmågan att tillverka sin egen näring genom kvävefixering. Sjöman och Slagstedt menar att kvävefixerande bakterierna ofta lever tillsammans med träd i näringsfattiga miljöer, bakterierna omsätter luft till kväve och på så vis förser växterna med näring. Morgan och Rickson (2005) förklarar att i det flesta fall är kväve det näringsämne som är viktigast för att växterna ska kunna skapa en god utveckling och tillväxt. De menar att även om brist på kväve går att åtgärda genom tillsättning av gödsel, bör istället tillförsel av kväve baseras mer på ett holistiskt tillvägagångssätt. För att skapa en tillförsel av kväve som är hållbar på lång sikt kan kvävefixerande växter användas. Ärtväxter är enligt Morgan och Rickson mycket användbara i näringsfattiga miljöer, där de på långsikt kan tillföra kväve och organiskt material till ett bestånd. Däremot påpekar de att varsamhet vid etablering av kvävefixerandeväxter är nödvändigt. Rätt sort av den kvävefixerande bakterien måste ympas in för att processen ska fungera, eftersom inympning av bakterien kan vara svår att uppnå naturligt i näringsfattiga miljöer.

3.3.3. Växter

Gräs

Coppin och Richards (2007) menar att gräs är den vanligaste vegetationstypen som används i ingenjörsmässiga sammanhang. De beskriver att gräs etablerar sig snabbt, fungerar i flera olika sammanhang och kan skötas på flera olika sätt. Enligt Morgan och Rickson (2005) har gräs bra förmåga att mekaniskt skydda markytan mot nötning i större utsträckning än exempelvis buskar. Morgan och Rickson; Stokes et al. (2008) menar båda att gräs som efter att ha blivit utsatt för slitage har bättre förutsättningar att återhämta

sig. De menar att eftersom tillväxtpunkter för skott och blad är oftast mer skyddade för gräs eftersom tillväxtpunkterna är nära eller under markytan. Coppin och Richards (2007) belyser även de den låga tillväxtpunkten och menar att det är den viktigaste karaktären i gräsets växtsätt. Tillväxten kan antingen ske genom stolon och rhizom som sprider sig lateralt eller genom utlöpare från plantans bas som ger ett mer tubbildande växtsätt. De menar vidare att rhizomer eller jordstammar kan var speciellt användbara eftersom de växer under jord och kan på så vis bidra till ökad stabilitet i markens övre skikt.

Coppin och Richards (2007) skriver att gräsytor oftast innehåller blandningar av grässorter och örter. Gray och Sotir (1996) beskriver att fröblandningarna innehåller oftast en blandning grässorter för att skapa ett skydd på kort och lång sikt. De årliga grässorterna i blandningarna är snabbt växande och kan ge ett skydd på kort sikt. De perenna sorter som är mer långsamt växande kan istället skapa ett långvarigt skydd.

Örtartadvegetation

Örtartadvegetation innefattar bland annat olika ärt och baljväxter Coppin och Richards (2007). Stokes et al. (2008) menar att örtartadvegetation växer nära marken med ytligt rotsystem och kan på så vis bilda ett tätt markskikt.

USDA (1992) beskriver i Engineering Field Handbook att både örtartade växter och gräs har flera olika egenskaper att motverka ytligerosion vid slänter och skapa ett långvarigt skydd. De är effektiva på att binda och hålla kvar jordpartiklar, bibehåller och förbättrar infiltrationsförmågan i marken, fångar upp regndroppar, reducerar transporten av sediment och hastigheten av ytavrinningen.

Buskar och träd

Tillskillnad från gräs och örter, kännetecknas buskar av att dess grenar och stammar är vedartade med en tillväxt som är perenn (Coppin & Richards 2007). Stokes et al. (2008) beskriver att även om årliga växter kan bilda ved, dör det ned efter säsongen. Gränsen till vad som räknas som buske eller träd är inte alltid helt tydlig men ofta är buskar lägre växande och träd har en mer genomgående stam. Enligt Grip och Rodhe (2016) kan växters interceptions kapacitet variera mellan 0,5 - 2,5 mm. De menar att mängden vatten som kan hållas kvar genom interception varierar beroende på typ av växt, växtsätt och hur bladens ytor ser ut.

Städsegröna växter, det vill säga de arter som behåller löv och barr under vinter halvåret, behåller på så vis sin täthet året runt. Gray och Leiser (1982) beskriver att under sommaren har städsegröna växter och lövfällande likartad förmåga att stå emot regndroppar. De menar att städsegröna arter för det mesta är bra på att skydda mot regn. Men poängterar samtidigt att vissa lövfällande arter kan genom att ha ett kompakt växtsätt skapa en god förmåga att skydda mot regndroppar även vid olövat tillstånd.

Som tidigare nämnts, i studien av Pohl et al. (2009) kan buskar bidra tillsammans med gräs och örter till förbättrade egenskaper. Träd har istället möjligheten att bidra med ett djupare rotsystem som nämnts tidigare enligt Coppin och Richards (2007).

Sammanfattning av de kriterier och egenskaper som är viktiga för växter att fungera som skydd mot vattenerosion vid slänter (Morgan & Rickson 2005).

1. Ett kompakt och tätt skydd, med minst 70 % täthet och växa nära marken.
2. Ett tätt och lateralt spridande rot system.
3. Snabb tillväxt, både första året och vid inledningen av varje växtsäsong.
4. Möjlighet att producera effekt vid den tiden på året då mest nederbörd väntas.
5. Resistens mot mekanisk nötning, av exempelvis fotgängare, fordon eller boskap.
6. En hög grad en förna produktion, så att organiskt material kan byggas upp så snabbt som möjlig och skydda markytan med ett skyddande lager av hummus.
7. Förmåga att fixera kväve är fördelaktigt men inte nödvändigt för ett lyckat skydd.

3.4. Växtanvändning och metoder

3.4.1. Ingenjörsbologi

Svensson (1987) menar att ingenjörsbologiska metoder är de metoder där materialet man använder sig av består av växter. Materialet som används är oftast levande växter men kan också kombineras med dött växtmaterial. Exempelvis på platser och situationer som vid branta slänter där enbart användandet av levande växter är otillräckligt för att bilda ett säkert skydd. Levande material kan användas för att skydda mot flera olika geologiska processer, t.ex. vattenerosion men även erosion genom vind och massrörelser i form av ras och skred (Svensson 1987). Andreu et al. (2008) skriver att även om ingenjörsbologiska metoder har använts länge så har intresset och utvecklingen av metoderna ökat markant de senaste årtiondena, i och med ett ökat intresse för miljövård.

Den mesta litteratur inom ingenjörsbologiska metoder är skrivet och har ett större fokus på massrörelser och djupare erosion. Då det här arbetet har inriktats till hur växter kan användas för motverka ytlig vattenerosion kommer inte metoder för övriga skydd att tas upp i närmare detalj. Däremot kan vissa av metoderna användas för flera olika skydd och ändamål. Andreu et al. (2008) tar upp flera olika ingenjörsbologiska metoder och ändamål, där bland annat flertalet av metoderna har visats sig vara effektiva mot ytlig vattenerosion, se sammanfattning i *tabell 3* på nästa sida.

Enligt Svensson (1987) har levande växter som material till skillnad från andra material fördelen och förmåga att utvecklas på egen hand. Även möjligheten att själv ersätta de material som på sina ställen dött, materialet förändras och utvecklas då på sikt genom så kallad succession. Svensson beskriver att själva anläggningen av dessa metoder är ofta ett första skede i steget att säkra slänten, där på sikt successionen kommer att utvecklas, förankra och ge ett beständigt skydd.

Kangas (2003) beskriver de första inledande momentet i en ingenjörsbologisk design och skapandet av slänter är markarbeten och schaktning. Släntens slutgiltiga form och utseende kommer att påverka energin slänten kommer att utsättas för. Kangas menar att med en ökad bredd på den energiupplösande zonen kommer energipåverkan av slänten att minska. Vidare menar Kangas att en flackar slänt på så vis är mer effektiv än brantare slänter.

Enligt Kangas (2003) involvera de ingenjörsbologiska metoderna en användning och tillämpning av växter på ett flertal olika sätt. Exempelvis genom att plantera rotat material eller sticklingar som får rota sig efterhand. Sticklingar kan sättas ihop i buntar så kallade faskiner.

Tabell 3 En förenklad variation av Andreu et al. (2008: 216) tabell 7-3 över ingengörbiologiska metoder och möjliga tillämpning i slänter. Förenklingen visar endast de nämnda eroderande processerna för arbetet. De markerade metoderna har visats vara framgångsrika för att hindra ytligerosion. Splash erosion (regndroppserosion), Overland flow erosion (flakerosion), Rill erosion (rännilerosion) och Gully erosion (ravinerosion).

	Splash erosion	Overland flow erosion	Rill erosion	Gully erosion
Bio-engineering technique				
Branch layering in gullies				x
Branchpacking	x	x	x	x
Brush mattress construction	x	x		
Brush wattles	x	x	x	
Brush layer construction		x		
Contour log terraces			x	x
Contouring, sloping, regrading	x			
Earth berm water bars		x	x	x
Furrowing, contour scarification	x			
Grassed waterways	x	x		
Gravel drains		x	x	x
Groove construction	x	x	x	
Live fascine drains		x	x	x
Live pole drains		x	x	x
Live shoring of open water canals		x	x	x
Live slope gratings	x	x	x	x
Live staking/live fascine	x	x		
Matchsticks	x	x	x	x
Mulching	x	x		
Placing of cuttings and wall-joint planting		x		
Sodding or turfing	x		x	x
Vegetated gabions			x	x
Vegetated palisade and pole construction				x
Wattle fences	x	x	x	

3.4.2. Metoder för att reducera och minska yterrosion.

De flesta metoder som används är för att reducera och minska yterrosion är till störst del olika yttäckande byggsätt, där bland grässådd, utbredningslager och marktäckande växter (Svensson 1987).

3.4.3. Etablering

Växter etablerar sig olika snabbt och det kan ta tid för växterna att kunna bidra med sina egenskaper till ett fungerande skydd. Morgan och Rickson (2005) menar att metoder på slänter där växter ska utgöra en teknisk roll för att kontrollera erosion till följd av vatten, är det viktigt att beakta den individuella växtens utveckling och den tid det tar till dess att den tekniska rollen är uppfylld. Där träd ska planteras och täckgröda användas, kan det vara lämpligt att så in gräsblandningar tillsammans med kvävefixerande örter. De kvävefixerande örterna möjliggör att näring i form av kväve tillkommer och behåller det tillgängligt för växterna på platsen. Liknande belyser även Svensson (1987) ärtväxters förmåga att fixera kväve och nämner att insådd av ärtväxter kan vara ett sätt för att tillföra näring, förbättra förhållanden i marken och därmed gynna resterande växters tillväxt. Vidare påpekar Morgan och Rickson (2005) att eftersom ärtväxter kan ta tid på sig att utveckla ett tillfredställande skydd, upp till två – tre år, belyser de vikten av kombinationen tillsammans med gräsarter som kan spridas snabbt med stolonier eller rhizomer och bilda ett tätt lågväxande skydd.

Som tidigare nämnts kan markförutsättningarna vid slänter vara olika och slänter kan vara näringsfattiga växtplatser. Svensson (1987) beskriver att vid anläggandet av eller åtgärder vid slänter är det ofta brist på humus och jord. Markförbättringar är ofta en förutsättning för att växterna ska kunna etablera sig på platsen. Vid tillförsel är det samtidigt viktigt att det tillförda materialet är anpassat till befintlig mark, så att rötter tillåts söka sig ner och genomrota slänten. Enligt Svensson finns risken att om för mycket jord tillförs eller om jorden är för näringsrik, att växternas rötter förblir i det påförda skiktet. Effekten av plantering kan då utebli och risk för mer erosion kan uppstå. Därför bör den jord som tillförs endast vara ett tunt skikt, mellan 5 - 10 cm, är i det flesta lägen tillräckligt där markförbättring behövs. Vidare menar Svensson att pionjära arter generellt sätt inte kräver någon extra jordförbättring av jord och gödsel.

4. Diskussion

Den här uppsatsen har haft till avsikt att genom en litteraturstudie undersöka hur yttlig vattenerosion bildas i slänter, samt hur växters olika egenskaper kan motverka bildningen av erosion.

Litteraturstudien visade bland annat att flera faktorer påverkar bildningen av yttlig vattenerosion i slänter. Däribland nederbördens intensitet och varaktighet, vilket material jorden består av, texturegenskaper och om jorden är exponerad eller inte. Resultatet pekar på att kraftiga eller långvariga regn på bara jordar bestående av silt eller sand kan skapa stora problem med erosion. Yttlig vattenerosion i slänter har olika bildningsprocesser och morfologiska karaktärer. Även om de olika typerna av vattenerosion bygger på varandra, påverkar de i sin tur marken och borttransporten av jordmaterialet på olika sätt. Vidare visade resultatet att slänters morfologiska förutsättningar, som lutning och längd är av stor vikt för vilken effekt yttlerosionen får. Även flacka slänter kräver skydd men risken för erosion blir allt större med längre eller branta slänter, framförallt kombinationen av en slänt som är lång och brant.

I studien var det tydligt att vegetation har stor betydelse på yttlerosionbildningen och kan påverka på flera sätt. Vegetation kan bidra till att reducera yttlig erosion samtidigt som det i vissa fall istället kan leda till en ökning. Typen av vegetation och dess växtkaraktär har betydande effekt på de erosiva processerna. Beroende på grenstrukturer och bladverk, kan växter ha olika kapacitet att fånga vatten och bromsa upp regndroppar genom interception. Samtidigt kan formen på olika växter, grenar och blad göra dem olika benägna att bilda stam- och bladdränering. Huruvida en växt är vintergrön eller hur bladen ser ut kan även det ha en betydande roll för om vattnet hålls kvar eller färdas vidare, samt vilken förmåga växten har att utgöra ett skydd under olika tidpunkter på året. Vegetationens täthet och höjd är två av de viktigaste aspekterna för minskad erosion. För en skyddande effekt föreslås vegetationen vara högst 1 m eller under, med en minsta täckning på 50 % enligt Liang et al. (2020), dock krävs högre andel täckning för att ett skydd ska vara effektivt.

Precis som innebörden av växtdelarna över mark, är rötternas utbredning och utseende viktiga aspekter. Beroende på jorden i slänten, kan rotsystem vara olika effektiva att reducera erosion. Det anses främst att de rötter som växer kraftigt och yttligt i det övre

skiktet av marken, är de som lämpar sig bäst att motverka erosion vid slänter. Samtidigt finns det viktiga aspekter med att mer djupt gående rötter i större utsträckning kan kontrollera markfukten på större djup, vilket kan vara förebyggande så att det tar längre tid innan porer fylls och ytavrinning bildas.

Ytterligare visades förna kunna bidra med viktiga egenskaper för att motverka erosion, främst genom att bromsa regnets nedslag, men även bidra till bättre markförhållanden och infiltration. Det visades även viktigt att beakta egenskaperna i de växtmaterial som faller ned till marken och bidrar till förnan. Förnans förmåga och betydelse har visats bero på vilken sammansättning den består av. Där studien av Zhou et al. (2018) visade att förnan bestående av barr hade en begränsad förmåga att kontrollera ytavrinningen. Samtidigt som Gomyo och Kuraji (2016) i sin studie kunde beläsa vikten av förnan i skogssystem för ytavrinningens bildning.

Det framgick i studien att lågväxande vegetation och gräs har ansetts främst motverka ytlig vattenerosion. De tekniska egenskaperna kan däremot nyttjas i flera ingenjörbiologiska metoder där det visats kunna motverka de olika typerna av ytlig vattenerosion effektivt. Andra fördelaktiga egenskaper för växter i slänter visades även vara ett pionjärt växtsätt och förmåga att fixera kväve. Det finns stora fördelar med att växter är ett levande material som kan utveckla sig själva. De medför även att egenskaperna kan ändras under tiden och tar funktionen av egenskaperna olika tid på sig att utvecklas. För att ett hållbart skydd ska kunna föreslås och etableras krävs det förmodligen att flera växter och egenskaper kombineras för bästa resultat.

Studie kan bidra med en inblick i ämnet för vidare fördjupning. Samt vara intressant för landskapsprojektörer och studenter på Landskapsingenjörsprogrammet i de sammanhang som berör nybyggnation. Kännedomen om erosionsprocesserna och vilken påverkan olika växtegenskaper har kan vara viktigt för att värdesätta en vegetations betydelse för olika platser där slänter finns. Vidare är viktiga aspekter av att förstå de bildande processerna och vad de kan resultera i, är att kunna förutse eventuella risker av exponerad jord vid planering, byggnation, etablering och förvaltning. Borttransporten sediment och material kan inte bara orsaka en utarmning av näringsämnen för platsen, utan även bidra till kontaminering och uppdämningar där materialet till slut hamnar vilket kan leda till miljömässiga och ekonomiska allvarliga konsekvenser. Det är samtidigt viktigt att komma ihåg att eftersom ämnet är tvärvetenskapligt krävs det att kompetens samlas över flera områden, samt givetvis att mycket fler aspekters vägs in än de som ryms i den här uppsatsen.

I avgränsnings syfte har arbetet endast fokuserat på bildningen av ytlig vattenerosion i slänter och vilka växtegenskaper som påverka den. Det är viktigt att tänka på att givetvis fler eroderande processer som potentiellt kan vara problem för en plats. Därmed

kan andra egenskaper hos växter ha betydligt större betydelse, så som rötternas djup. I flera fall behövs förmodligen ett skydd som innebär en kombination av egenskaper, än endast de som är intressant för att motverka ytlig erosion.

Eftersom arbetet genomförts i form av en litteraturstudie, samtidigt som litteraturen inom ämnet generellt har tillägnat större fokus på djupare stabilisering i slänter, har omfattande sökningar av material krävts. Vidare har det blivit tydligt att mycket av den litteratur som ligger till grund för arbete är frekvent förekommande i andra studier inom ämnet och flertalet grundar sin information på varandra. Samtidigt som källorna är återkommande så baseras de till stor del på äldre forskning. De vetenskapliga artiklarna som lyfts fram har alla varit vetenskapligt granskade, vilket stärker dess trovärdighet.

Det borde därför finnas utrymme för framtida forskning att åter studerar och uppdatera det som tidigare litteratur behandlat. Men även vidare undersöka ämnet och gå mer in detalj på släntutformning, växtarter och metoder. Samt vilka konsekvenser klimatförändringar kommer att ha för slänter, med förväntade ökning i frekvensen och intensiteten av regn. Samt utvärdera hur det går att bygga hållbara slänter och minimera tiden jorden är exponerad.

4.1. Slutsats

Resultatet visade att det är flera aspekter som påverkar hur ytlig vattenerosion bildas. Även om de olika typerna av vattenerosion bygger på varandra har de olika bildningsprocesserna, morfologiska karaktär och förmåga att transportera material. Växter kan påverka bildningen av ytlig vattenerosion i slänter på flera olika sätt. Ett vegetativt skydd kan med rätt egenskaper för platsen vara mycket effektivt, samtidigt som vegetationens egenskaper kan i vissa fall istället leda till ökad erosion. Effektiva egenskaper för växter att minska ytlig vattenerosion visades framför allt vara snabb tillväxt, täthet, låg höjd, hög rotmassa, grunt rotsystem och gynnsam förna.



Figur 7: "Leaf of hope" (Gulfu 2015) (CC BY-NC-SA 2.0)

Källförteckning

- Andreu, V et al. (2008) Ecotechnological Solutions for unstable slopes: Ground bio- and eco-Engineering Techniques and Strategies. Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions. Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 211–276.
- Ashman, M.R. & Puri, G. (2002). Essential soil science: a clear and concise introduction to soil science. Oxford: Blackwell Science Ltd.
- Blanco, L. & Lal, R. (2010). *Principles of Soil Conservation and Management. Principles of Soil Conservation and Management* 1. Aufl. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Boverket (2019a). *Reglerande ekosystemtjänster*.
<https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/ekosystemtjanster/olika-grupper-av-ekosystemtjanster/reglerande/>
[2021-05-24]
- Boverket (2019b) *Erosion mark, sjöar och vattendrag*.
https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/lansstyrelsens-tillsyn/tillsynsvagledning_naturolyckor/sakerhetsfragor/erosion/ [2021-05-24]
- Brady R.H. (2018) Erosion. In: Bobrowsky P.T., Marker B. (eds) Encyclopedia of Engineering Geology. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-73568-9_114
- Gomyo, M. & Kuraji, K. (2016). Effect of the litter layer on runoff and evapotranspiration using the paired watershed method. *Journal of forest research*, vol. 21 (6), pp. 306–313 Tokyo: Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1007/s10310-016-0542-5>
- Gray, D.H. & Leiser, A.T. (1982). *Biotechnical slope protection and erosion control*. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc.
- Gray, D.H. & Sotir, R.B. (1996). *Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: A practical guide for erosion control*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Grip, H. & Rodhe, A. (2016). *Vattnets väg från regn till bäck*. 4. ed. Uppsala: Uppsala universitet.
- Kangas, P.C. (2003). *Ecological engineering: principles and practice*. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers.
- Keller, E.A. & Blodgett, R.H. (2008). *Natural hazards: earth's processes as hazards, disasters, and catastrophes*. 2 uppl., Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.
- Liang, Z., Liu, H., Zhao, Y., Wang, Q., Wu, Z., Deng, L. & Gao, H. (2020). Effects of rainfall intensity, slope angle, and vegetation coverage on the erosion characteristics of Pisha sandstone slopes under simulated rainfall conditions. *Environmental science and pollution research international*, vol. 27 (15), pp. 17458–17467.
<https://doi.org/10.1007/s11356-019-05348-y>

- Lundqvist, J. (2001). *Geologi : processer - utveckling - tillämpning*. 3 uppl., [rev.] uppl. Lund: Studentlitteratur.
- Morgan, R.P.C. & Rickson, R.J. (2005). *Slope stabilization and erosion control: A bioengineering approach*. Taylor & Francis e-Library 2005. E & FN Spon. Chapman & Hall 1995 London
- Morgan, R.P.C. (2005). *Soil erosion and consevation. Third edition*. Oxford: Blackwell publishing.
- MSB (2019) *Varför inträffar skred och ras*
<https://www.msb.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/naturolyckor-och-klimat/skred-ras-och-erosion/varfor-intraffar-skred-och-ras/> [2021-05-24]
- Nationalencyklopedin (2020), erosion.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/erosion> [2020-12-09]
- Norris, B. (2008). *Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions*. *Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions* 1. uppl., Dordrecht: Springer Netherlands.
- Norris, G. Hazard Assessment of Vegetated Slopes. *Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions*. Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 119–166.
- Pohl, M., Alig, D., Körner, C. & Rixen, C. (2009). Higher plant diversity enhances soil stability in disturbed alpine ecosystems. *Plant and soil*, vol. 324 (1/2), pp. 91–102 DORDRECHT: Springer. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-9906-3>
- Sjöman, H. & Slagstedt, J. (red.) (2015) *Träd i urbana landskap*. 1:2. uppl. Lund: Studentlitteratur.
- Steenhuis, T. S., Agnew, L., Gérard-Marchant, P. & Walter, M. T. (2005). OVERLAND FLOW, Hillel, D. & Hatfield, J.L. (2004). *Encyclopedia of soils in the environment*. New York, NY: Academic Press Imprint.
- Stokes, N. (2008). How Vegetation Reinforces Soil on Slopes. *Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions*. Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 65–118.
- Svensson, L. (1987). *Vägsälanten som teknikens biotop* [inkl. ingenjörbiologiska byggmetoder och förslag till vegetation längs E 3:an genom Lerum]. Examensarbete. Alnarp.
- USDA, Soil Conservation Service, (1992). Chapter 18, Soil Bioengineering for Upland slope Protection and Erosion Reduction. Part 650, 210- EFH. Engineering Field Handbook.
- van Beek et al. (2008), C. Hillslope Processes: Mass Wasting, Slope Stability and Erosion. *Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions*. Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 17–64.
- Vannoppen, W., De Baets, S., Keeble, J., Dong, Y. & Poesen, J. (2017). How do root and soil characteristics affect the erosion-reducing potential of plant species? *Ecological engineering*, vol. 109, pp. 186–195 Amsterdam: Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.08.001>

- Zhou, Q., Zhou, X., Luo, Y. & Cai, M. (2018). The effects of litter layer and topsoil on surface runoff during simulated rainfall in Guizhou Province, China: A plot scale case study. *Water (Basel)*, vol. 10 (7), p. 915– BASEL: MDPI.
<https://doi.org/10.3390/w10070915>
- Zhu, H. & Zhang, L.M. (2016). Field investigation of erosion resistance of common grass species for soil bioengineering in Hong Kong. *Acta Geotechnica*, vol. 11 (5), pp. 1047–1059 Berlin/Heidelberg: Springer Science and Business Media LLC.
<https://doi.org/10.1007/s11440-015-0408-6>
- Zhu, H., Wang, G., Yinglan, A. & Liu, T. (2020). Ecohydrological effects of litter cover on the hillslope-scale infiltration-runoff patterns for layered soil in forest ecosystem. *Ecological engineering*, vol. 155, p. 105930– AMSTERDAM: Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105930>