

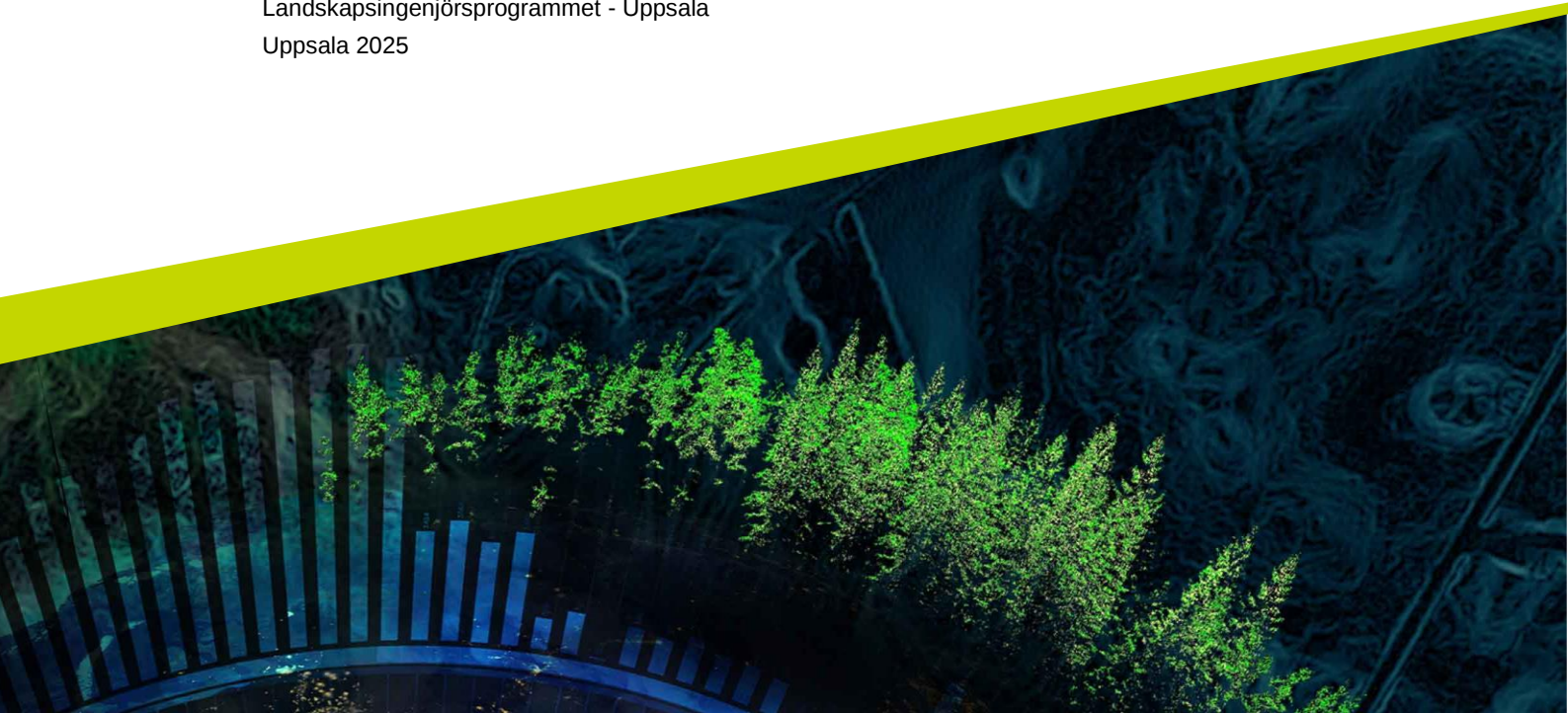


Planering med vegetations roll för släntstabilisering:

markarmering med gamla rotsystem

Niklas Flygare

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Landskapsingenjörsprogrammet - Uppsala
Uppsala 2025



Planering med vegetations roll för släntstabilisering: markarmering med gamla rotsystem

Preparation with vegetation as slope stabilization: soil reinforcement with severed tree roots

Niklas Flygare

Handledare:	Daniel Valentini, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för stad och land
Examinator:	Petter Åkerblom, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för stad och land
Omfattning:	15 hp
Nivå och fördjupning:	Grundnivå, G2E
Kurstitel:	Självständigt arbete i landskapsarkitektur
Kurskod:	EX1004
Program/utbildning:	Landskapsingenjörsprogrammet - Uppsala
Kursansvarig inst.:	Institutionen för stad och land
Utgivningsort:	Uppsala
Utgivningsår:	2025
Upphovsrätt:	Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd
Elektronisk publicering:	https://stud.epsilon.slu.se
Nyckelord:	Geoteknik, Hållfasthet, Säkerhetsfaktor, Naturbaserade lösningar, Slänt stabilitet, Klimatförändringar & Planerande åtgärder

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institution för stad och land

Avdelningen för landskapsarkitektur

Förord

Denna uppsats är en del av min kandidat under programmet landskapsingenjör, på Sveriges lantbruksuniversitet (SLU).

Intresset för kandidatarbetet grundar sig i att jag ville utforska de mer ingenjörsmässiga faktorer som vegetation kan bidra till i anläggningsprojekt.

Intresset för stabilisering och kommunikation kommer från samtliga kurser på SLU, "markprojektering", "Marken som växtplats och markbyggnad", "grönblå infrastruktur", "Projektledning för landskapsingenjörer 2" och "Hållbar markprojektering och skötsel, fortsättningskurs"

Förhållning till olika yrkesgrupper är något som under min utbildning har lyfts fram som komplext. Som jag har funnit extra intressant och har funderat över hur det kan förbättras. Därför ser jag att kompetensen för andras yrkesgrupper blir givande för större projekt, för att förenkla dialog och planering.

Arbetsprocessen har varit svår och intensiv där jag har sökt vägledning från svenska myndigheter och institutioner. Vilket har varit en uppfyllande- och tillfredsställande tid med de märkbara framsteg som jag märkt av under arbetet.

Processen skulle inte ha gått lika bra och metodiskt utan vägledning och hjälp från min handledare Daniel Valentini; handledningsgrupp av studentkamrater; SLU:s bibliotekspersonal; examinator Petter Åkerblom och opponenterkamrater. Personer som för mitt arbete bär ett stort värde, som jag har stor uppskattning till och haft lärofyllda gruppmöten och diskussioner tillsammans med.

Tack för ert engagemang.

Sammanfattning

Denna kandidatuppsats utforskar geoteknik och hur vegetation bidrar till släntstabilisering och om döende rotsystems kan bidra till en temporär stabilisering, för att förenkla anläggning eller förebygga risker medförda av klimatförändring.

Slänter kommer bli mer utsatta för erosion, vilket kan hota samhällsbebyggelse för påskyndad förändring. Vilket kan medföra samhällsförstöring och kostnader.

I linje med att använda mer hållbara material och metoder utforskar denna uppsats alternativ, med användning av växter och rotsystem.

Uppsatsen är en litteraturgenomgång av vetenskapliga källor och publikationer av svenska myndigheter och institut. Som analyserar och sammankopplar olika yrkesfältets kompetens inom ramar för landskapsarkitekturen, för att nå en bredare förståelse mellan yrkesgrupper.

Geoteknik är ett ämnesområde som vanligen förlitar sig på en geotekniker. Men landskapsgestaltning och förvaltning är något som samspelar med landskapsarkitekturen, vilket kan förenkla dialog och planering mellan professioner för anläggning.

Rötter och gamla rötter förbättrar jordars skjuvhållfasthet. Även om gamla rotsystems förbättrande egenskaper blir temporära, på grund av förmultningen, bidrar de till en förbättring för att behålla strukturen.

Variationen av olika växter och klimatförhållanden, är variabler som inte är konstanta mellan geografiska faktorer. Med tanke på att det varierar mycket mellan arbetets litteraturs utvalda geografi och Sveriges, har endast spekulationer gjorts.

Slutsatsen som uppsatsen kommit fram till är att ämnet bör studeras vidare.

Nyckelord: geoteknik, säkerhetsfaktor, naturbaserade lösningar, hållfasthet, släntstabilitet, landskapsarkitektur, klimatförändring & planerande åtgärder.

Abstract

This bachelor's thesis explores geotechnics and how vegetation contributes to slope stabilization, as well as whether decaying root systems can provide temporary stabilization to facilitate construction or prevent risks associated with climate change.

Slopes will become more vulnerable to erosion, which can threaten civil infrastructure and buildings due to accelerated change, potentially leading to societal endangerment and economic costs.

In line with using more sustainable materials and methods, this thesis explores alternatives involving the use of plants and root systems.

The thesis is a literature review of scientific sources and publications from Swedish authorities and institutes. It analyzes and connects expertise from various professional fields within the framework of landscape architecture, to achieve a broader understanding between disciplines.

Geotechnics is a subject area that typically relies on geotechnical engineers. However landscape design and management interact with landscape architecture, which can facilitate dialogue and planning for construction.

Roots and dead roots have a positive effect on the shear strength of soils. Even though the beneficial effects of dead root systems are temporary due to decomposition, an improvement in soil strength is still present.

The variation in plant species and climatic conditions are variables that are not constant across geographical factors. Considering the significant differences between the literature's geographical context and that of Sweden, due to that only speculations have been made.

The conclusion of the thesis is that the topic should be further studied.

Keywords: geotechnical engineering or geotechnics, safety factor, nature-based solutions, soil strength, slope stability, landscape architecture, climate change & planning measures.

Innehåll

Tabellförteckning	7
Förkortningar	8
1. Inledning	9
1.1 Syfte	10
1.2 Huvudfrågor	10
1.3 Avgränsningar	10
2. Metod och material	12
2.1 Litteratursökning	13
3. Förutsättningar för markstabilisering	15
3.1 Jord	15
3.1.1 Hållfastheten i jord	16
3.2 Skred & ras	16
3.2.1 Skjuvhållfasthet	17
3.2.2 Falsk kohesion	18
3.3 Vattnets rörelse i marken	18
3.3.1 Erosions koppling till ras och skred	19
3.4 Säkerhetsberäkning	20
3.4.1 Markanvändning	21
3.4.2 Direktmetod	23
3.4.3 Lamellmetod	23
3.4.4 Kontroll och efterföljning	24
4. Växters roll för släntstabilisering	25
4.1 Rötters förstärkande egenskaper	25
4.1.1 Olika rötter ger varierande stabilitet	26
4.1.2 Mekanisk förstärkning	27
4.1.3 Hydrologi	27
4.1.4 Interception & erosion resiliens	28
4.2 Rötter stabiliserar även efter avskogning	28
4.2.1 Problem och risker med rötter som förmulnar	29
4.3 Alternativa metoder med växter	29
4.3.1 Alternativ till vegetation som stabilisering	30
4.4 Nederbörd och hållbarhet	30
5. Diskussion	32
5.1 Kritik av metod och resultat	33
6. Slutsats	35
Referenser	36

Tabellförteckning

"Tabell 1: Europeisk standard för säkerhetsfaktorn för olika markanvändnings områden.	22
--	----

Förkortningar

Förkortning	Betydelse
IEG	Implementeringskommission för Europastandarder inom geoteknik.
MSB	Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
Sgi	Statens geotekniska institut
SGU	Sveriges geologiska undersökning
SLU	Sveriges lantbruksuniversitet
SMHI	Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut
SVT	Sveriges television

1. Inledning

Geoteknik är läran om jord- och bergs tekniska egenskaper (SGI 2019).

Sambandet mellan samhällsutveckling och geoteknik är en tekniskt omfattande fråga, som kan få stora samhällskonsekvenser om åtgärder, planering och kontroller inte följs (Nomleni 2023; SGI 2020).

Enligt flera källor, som Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI), Svenskt vatten, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) och Statens geotekniska institut (SGI), står mänskligheten för kommande klimatförändringar som kommer påverka jord- och bergs egenskaper och öka risker för att hållfastheten vid anläggningar försämrars.

Utmaningen med att bedöma säkerheten i ett markunderlag för byggnation- och anläggningsprojekt är inte alltid lätt. Mätningar och kontroller av hållfastheten utförs vanligen av en geotekniker genom olika provborrningar och analyser av landskapet (Larson 2017; SGI 2023c).

Planering och utföranden sätter stora krav på beprövade metoder för att stabilisera slänter och mycket av branschpraxis är under diverse europakoder för utförande och kontroller, något som Implementeringskommissionen för Europastandarder inom geoteknik (IEG) jobbar med.

Hållfastheten kan variera mycket beroende på typen av jordmaterial, förhållandet till topografi och vegetationen som är beläget vid projekten (SGI 2020). Jordars förmåga att hantera tyngder och avvattnings, är fysiska förmågor som beror på jordens egenskaper och lutning, vilket vårt samhälle börjar bli relativt duktiga på att mäta och beräkna för att minimera risker, vilket en analys av det insamlade materialet indikerar.

Utmaningen med att förespå fenomenen, om när ras och skred inträffar, består. Då den stora variationen av risker och brott i hållfastheten grundar sig till fall-till-fall och förhåller sig till ingenjörsmässiga bedömningar, som grundar åtgärder och beräkningar för vad som kan användas för att stärka jordstabiliteten (SGI 2023c).

Även inom ämnet geoteknik kan naturbaserade lösningar implementeras som ett alternativ för vissa fall, för att stärka och skydda våra slänter.

Alternativa stabiliserande material är kostsamma och kanske inte exakt estetisk tilltalande. Vilket växter kan substituera, men också medföra mervärden som ekosystemtjänster (Rankka 2005).

Naturen har över en längre period lyckats stabilisera sig till ett jämviktsläge (SGU 2023), som bland annat mänskliga ingrepp har påverkat för anläggning och byggnation, vilket i vissa fall har resulterat i katastrofala konsekvenser. Detta kan illustreras genom skredet som inträffade på E:6an vid Stenungssund 2023.

Skredets sägs ha påbörjat från byggnation högre norrut, som hade belastat slänten med för mycket fyllningsmassa som fundament för nya kontorsbyggnader. Enligt Sveriges television (SVT) var det en eventuell felbedömning av ett

kartfarmtagningsföretag som hade ritat in berg nära ytan som SGI hade som underlag för beräkningarna, vilket gjorde att motvikten av slänten inte kunde hålla uppe vikten. Slutnotan för skredet uppkom till en halv miljard kronor (SVT nyheter 2024).

Geoteknik är ett ämnesområde som landskapsarkitekturen berör och kan påverka genom förståelse för hur jordars och bergs fysiska egenskaper och användning kan utnyttjas för hållbar utveckling när det gäller infrastruktur, bebyggelse och anläggningar. Landskapsarkitekter och landskapsingenjörer uppmanas för att fylla människans behov av rekreativa grönområden, naturvård och ett ökat välmående för samhället (Sveriges Arkitekter u.å.; SLU u.å.b).

Läran om geoteknik har och kommer få en stor/större betydelse i framtiden, med klimatförändringarna och pågående samhällsutveckling. Rötter har en stabiliserande påverkan och stärker slänter enligt flera källor i mitt material.

Till exempel är inkluderingen av vegetation även ett miljövänligt, hållbart och kostnadseffektivt alternativ (Nomleni 2023), vilket landskapsarkitekter och landskapsingenjörer kan medverka för och bygga vidare på.

1.1 Syfte

Denna uppsatts utforskar idén med att använda gamla rotsystem som en typ av temporär förstärkning för släntstabilisering. Med ”gamla rotsystem” menas nyligen avskogad skogs rotsystem, som genomgår förmultning.

Vidare syftar uppsatsen till att undersöka om denna metod går att utnyttja, för att underlätta anläggningsarbeten. Användning av skogs kan ses som ett hållbart alternativ för släntstabilisering och teoretiskt sett skulle en förplantring av skog på slänter både bidra med stabilitet och andra mervärden.

1.2 Huvudfrågor

- Hur påverkas en slänts stabilitet av gamla rotsystem genom förmultningsprocessen, kan slänters hållfasthet förbättras temporärt tills anläggning startar och hur utvärderas risker runt stabiliteten?
- Under vilka förutsättningar är befintlig vegetation givande för stabiliteten av slänter samt vad bidrar vegetation och dess rotsystem för stabiliseringen?

1.3 Avgränsningar

- Klimatförutsättningar och olika typer av jordar är något som har stor betydelse, men för denna uppsats avgränsas resultatet till svenskaförhållanden.

- Nackdelar med rötter i växtbädden behandlas ytters sparsamt, då informationen inte har dykt upp i materialet och endas spekulationer kan göras.
- Klimatförhållanden avgränsas till nederbörd för att det är den främsta anpassningen organisationerna och instituten nämner.

2. Metod och material

Arbetet består av en litteraturgenomgång koncentrerad till forskning, utredningar och analyser över inträffade skred och ras och hur avskogning eller plantering kan förhålla sig till varandra.

Eftersom ras och skred kan innebära stora samhällskostnader (se SVT 2024 som exempel), finns ett intresse för utredningar och analyser av ledande och byggbranschen i länder. Informationen om stabilitet för slänter är också en väsentlig grund för nybyggnation och anläggning (MSB 2025).

Eftersom arbetet syftar till att undersöka döende rotsystems påverkan för stabiliseringen av slänter som en typ av naturbaserad lösning, involveras viss växtkunskap. Denna information är samlad från olika källor som presenterats genom landskapsingenjörsprogrammet på SLU.

För att försöka hålla arbetet i en lättare förståelig följd läggs huvudfrågan om i arbetet och hanteras efter andra huvudfrågan, ” Under vilka förutsättningar är befintlig vegetation givande för stabiliteten av slänter samt vad bidrar vegetation och dess rotsystem för stabiliseringen?” hanterats. Eftersom det måste funnits ett rotsystem innan de börjar förmultna. Detta blir tydligare upplagt genom att presentera grundförhållanden först, om hur jord stabiliserar sig enligt litteraturen. För att sedan se vad vegetation bidrar med för släntstabiliteten och att avsluta med hur gamla rotsystem förhåller sig med stabiliteten av slänter.

Genom arbetsprocessen har chattbot ChatGPT används som stöd vid inläring, förbättring av grammatik och översättningar. Ingen text är genererad av chatbotten, men frågor och alternativa förklaringar, översättningar och synonymer har övervägts och analyserats. Anledningen till användningen av AI har övervägts för att hjälpa till med inläring och skrivprocessen, för att skynda på vissa delmoment och skrivandet.

Geoteknik är ett beräkningstungt ämnesområde som vanligen förlitar sig på en geotekniker med en högskoleingenjör- eller civilingenjörsutbildning.

Beräkningar utförs på vinklar och kraftfördelningar som inkluderar trigonometri och förståelse inom fysik, byggnadsmekanik, strukturmekanik, hållfasthetslära, geologi och matematik (Dahlblom & Tudsico 2022). Några av dessa är ämnesområden som går utanför grundkraven och innehållet i landskapsingenjörsprogrammet förutsättningar. Mycket av informationen är analyserad genom analysen av materialet och fel och missförstånd kan ha uppstått.

Upplägget för insamlingen av bakgrundsinformationen var planerat att ta upp de fyra första veckorna av arbetet, för att få bättre förståelse till litteraturen och kunskapsbristen. Flertalet källor användes, som startade från kurslitteratur från Bjerking om geoteknik, som refererades inom kursen ”markprojektering” på SLU.

Det var från Bjerking's referenslista som SGI först dök upp och litteraturen började breda ut sig.

Från personlig svårighet med materialet söktes mer information från svensk byggtjänst, där ordsökning om "geoteknik" användes och ledde till "Introduktion till Geotekniken" av O. Dahlblom och E. Tudisco, för att komplettera litteraturen. Personlig åsikt om studentlitteraturen är positiv då den är lättare att förstå, vilket underlättade inläringen.

2.1 Litteratursökning

Mycket av bakgrundsinformation har samlats in från SGI, från att det var en referenslista från kurslitteratur från markprojekterings kursen på SLU. Detta ledde vidare till andra källor och organisationers publikationer som nämndes i materialet, bland annat IEG.

Datasökningen av de vetenskapliga artiklarna utfördes i de tillgängliga databaser som SLU har avtal med för att få tillgång till relevanta vetenskapliga artiklar, rapporter och skrifter. Databaserna som har används är: Google scholar, Primo, Scopus och Web of Science.

Justeringar och ändringar i sökordsammansättningen har ändrats med arbetsgången, med bättre kunskap om olika sökord och fraser som har smalnat av sökningarna. Genom att bland annat exkludera ämnesområdet "geoteknik" i sökorden och i stället sökt på det som ska förhindras, till exempel jordskred och ras och hur rötter och växter bidrar med ökad säkerhet och eller extra stabilitet.

Gemensamt för de olika sökorden i databaserna har varit:

- "Geotechnical engineering" eller Geotechnics
- Erosion
- Landslides
- Vegetation
- Aforestation
- Deforestation
- Silt
- Safety*
- Root*
- Dead

Med sökfraser som; "Geotechnical engineering" and vegetation and slit, "Geotechnical engineering" and deforestation, "Geotechnical engineering" and deforestation and slit, "Geotechnical engineering" and afforestation and erosion,

“Geotechnical engineering” And root* and safety* och Landslide* and deforestation and root* and dead.

Databasen Google scholar opererar lite annorlunda än de andra databaserna. Genom deras sökmotor kan användaren använda sig av fulla meningar och söka ämnesrelaterade artiklar och rapporter som i en vanlig sökmotor, som google. Fördelarna med att använda google scholar är att resultaten från sökningen ger väldigt många träffar, dessvärre betyder det inte att alla träffar är fullt relaterade till ens ämne (SLU u.å.a). På grund av de bristande resultaten genom de andra databaserna, på grund av fel val av sökord eller antalet träffar, användes google scholar mest.

En professor vid Institutionen för Mark och miljö, Markmekanik och jordbearbetning, på SLU har även skickat över 4 upplagor om släntstabilisering med rötter och bekräfta några av mina funderingar, sent in i framtagandet av uppsatsen. Var av 3 av 4 har hjälpte till att komplettera materialet.

Den fjärde vetenskapliga artikeln är publicerad på ”Canadian Geotechnical Journal” som inte var tillgänglig genom ett avtal med SLU. Vilket var anledningen till att den exkluderades.

Längre in i litteratursökningen började det uppmärksammas att många av artiklarna var refererade till ”R. Ziemer” som har bland annat studerat om just skjuvhållfastheten med gamla rötter som en tilläggande kraft för stabiliseringen. Vilket började en ”snowballing” effekt mellan källorna, vilket ledde till fördjupad förståelse och relevans.

3. Förutsättningar för markstabilisering

Jordstabilisering är ett komplext ämnesområde, där grunden till beräkningarna grundar sig i hur mark stabiliserar sig för att senare lägga till olika faktorer som förstärker eller bygger upp markskelettet och hållfastheten. Uppsatsen presenterar därför grunderna för markstabilisering utan pålagd vegetation, då det inte skulle finnas ett medium som växter kan växa i utan befintlig jord eller växtsubstrat. Som hur Stockholms stad (2025) definierar en växtbädd som en plats där växters rötter kan breda ut sig.

Bakgrunden introducerar även viss beräkning för rörelse av vatten, då det är en central del av hållfastheten och hur klimatförändringarna kommer påverka jorden vid slänter.

3.1 Jord

En jord är uppbyggd på många olika sätt, som har olika fysiska egenskaper beroende på vilken fraktion jorden är uppbyggd av, porvolymen, mängden organiskt material och vattenhalt (SGU 2020b; Larsson 2008). Jord är oftast uppbyggd av flera skikt, eftersom fraktionerna har sorterats över en längre tid och att organiskt material bryts ner i olika hastigheter. Dessa faktorer medför att jordar har olika resistens mot erosion.

Erosion är ett fenomen som pågår konstant. Det är en naturlig process som tar med sig de mer finkorniga fraktionerna av jord i vattenflöden och med vinden (SGU 2020a). Jordar har en viss resistens mot erosion, bland annat genom jordars egen kohesionskraft och genom växter (SGU 2020a).

Den varierande uppbyggnaden av jordar har därför olika geotekniska egenskaper, samt hydrologiska som bidrar med bärförmågan och stabiliteten av slänter.

Att en jord rör sig lite är fullt naturligt. Alla våra landskap har av någon extern faktor påverkats topografin, av till exempel vatten och vind. Det är även genom markrörelse som vi har fått olika topografiska skillnader (SGU 2020b). Erosionsprocessen stabiliserar jordar i slänter som hamnar i ett jämviktsläge. Jämviktsläget är den struktur som naturligt, med jordens geotekniska egenskaper, håller samman formen av slänten (SGU 2023; SGI 2023a). Förtydligade för vad den naturliga jämvikten beskriver, är simpelt den lutning en jord kan ha utan externa förstärkandekrafter. För exemplets skull kan det tänkas vara en hög med jord. Jorden i ett odränerat läge stabiliserar sig till en viss "kulle" vid normala omständigheter, där friktionen på backen och jordens egen kohesionskraft håller samman strukturen, alltså kullen. Introduceras extern energi, i form av vibrationer eller vatten, påverkar det fallvinkeln och stabiliserar sig genom att minska lutningen.

En jords geotekniska egenskaper påverkas av relationen av volymen av fast massa, porgas och porvatten (SGI 2017). Som konstant ligger och bygger upp markskelettet. Beräkningar för att visa på totalspänningen i markskelettet, som är belastningstycket av den jord som är ovan och andra ovanliggande tyngder, beskrivs för en vattenmättad jord genom ekvation (1).

(1)

$$\sigma_0 = \sigma'_0 + u$$

σ_0 = Totalspänningen

σ'_0 = Effektivspänningen

u = Portrycket

(Hultén et al. 2005:11) ekvation för beräkning av totalspänningen i en jord.

Jordars hållfasthet delas vanligen in i dränerad och odränerad hållfasthet, eftersom vatten och gas förhållanden i jorden är konstant reglerande. Det blir också viktigt att ta i hänsyn till vid anläggning av uppbyggnader. För att stabiliteten måste kunna hålla sin struktur över både längre torra perioder och under vattenmättade tillstånd.

3.1.1 Hållfastheten i jord

Jordars egenskaper att hålla samman förklaras inom fysiken med "Coulombs lag" (O'Loughlin 1974). Som menar till att markpartiklar hålls samman med växelverkan. Med det menas att det finns en laddnings överföringsgång mellan två olika partiklar, av en positiv och av en negativ laddning som binder sig till varandra med motsvarande laddning (NE u.å.c). Uppstår det en differens i kraftfördelningen där externa krafter rubbar stabiliteten, av exempelvis tyngder orsakas det rörelse i jorden.

3.2 Skred & ras

Skred

Vanligen förekommer skred i ler- och siltjordar i anslutning till vattendrag (MSB 2023).

Skred inträffar när en sammanhängande jordmassa kommer i rörelse och det har skett ett brott i glidytan (SGU 2023). Oftast blir brotten skålformade (Bayogul Flener & Johansson 2014).

Det finns flera faktorer som kan orsakar att brottet dyker upp, bland annat ökad belastning, minskad motvikt och försämrad hållfasthet i jorden, oftast är det en

kombination av de tre (MSB 2019). Brotten beskrivs genom Mohr- Coulomb's brottkriterium, när de samman hållande krafterna inte kan stödja omkring liggande jord (Labuz & Zang 2012).

Ras

Ras förekommer vanligen i mer bergiga områden. Som orsakas genom att jordmassor och större fraktioner, som block, släps fritt, från förlust av stabiliserande material eller pådrivande krafter. Orsakande anledningar kan bero på erosion, mänskligaktivitet eller avskogning (MSB 2023).

3.2.1 Skjuvhållfasthet

Skjuvhållfasthet är en jords motståndskraft att röra sig i förhållande till varandra, det vill säga friktionen och stabiliteten av omkringliggande massor (SGI 2023b). Jordas hållfasthet är däremot oftast anisotropisk, att jorden rörs sig i flera riktningar och är därmed uppehållen av omkringliggande jord (SGI 2023a; NE u.å.a).

I kohesionsjordar antas den odränerade skjuvhållfastheten kunna uttryckas som en konstant, oberoende av den rådande effektspänningen. Det är vanligen den korttidsstabiliserande anledningen i slänter av kohesionsjordar (Hultén et al. 2005).

Den dränerade skjuvhållfastheten (T_{fd}) uttrycks som den långtidsstabiliserande, det naturliga jämviktsläget, och är beroende av effektspänningen, jordens inre friktionsvinkeln ϕ' och ett kohesionsintercept'. Som uttrycks enligt ekvation (2) (Hultén et al. 2005:12).

(2)

$$T_{fd} = \sigma' + \sigma'_0 \tan \phi'$$

Ekvation (2) är en användning Mohr- coulomb's brottkriterium som beskriver när en jord når sin brottgräns (Labuz & Zang 2012).

Några av de större pådrivande faktorerna till att ras och skred inträffar är mänsklig aktivitet och genom erosion. På grund av exempelvis bebyggelse, avskogning eller schaktning påverkar människan jämvikten (MSB 2019). Genom att vi går in och ändrar på förhållanden som ligger och stabiliserar jämvikten av marken, kan påföljderna resultera i olika konsekvenser utanför arbetsområdena eller efter en längre period, med att rötter försvinner och att grundvattenförhållanden ändras (Krisinformation 2025).

Det finns tydliga resultat från regioner som har avskogat sina bergsslänter från vegetation, som inom några år har fått stå ut med konsekvenserna (World weather attribution 2024).

Vattensamlingar kan även assistera slänter som motvikt. Sänkning av vattennivån vid slänthöjden minskar då motvikten (MSB 2019). Detta kan orsakas av en period med mindre nederbörd eller dräneringsarbeten.

Ändringar i volym av vatten i vattendrag påverkar också grundvattnet, som bidrar med uppbyggandet av markskelettet, som ekvation (1) nämner är portrycket en faktor till totalspänningen. Vattenmättad jord är svår att konsolidera, att volymen minskar utan att massan ändras, på grund av att vattnet måste pressas ut i sidled, vilket tar längre tid (Larsson 2008).

3.2.2 Falsk kohesion

Markskelettet består av fast material, porvatten och porgas, genom kombinationen av de tre kan en jords hållfasthet hållas samman genom en sammandragande kraft mellan ytspänningen runt gasen och jordpartiklarna. Den sammandragande kraften ökar friktionskraften mellan jordpartiklarna, som brukas benämnas som den falska kohesionen (SGI 2023a). Det blir ”falsk” utav att det konstant regleras av nederbörd, avdunstning och växters röttersug för vatten. Jorden kan verka stabil men är mycket påverkad av klimatet.

Falsk kohesion är mest märkbar i silt- och sandjordar, exempel på låg kohesions jordar. Det är på grund av den falska kohesionen som det går att ha brantare slänter i dessa jordar, för exemplens skull kan ett sandslott ha nästan 90° vinkel på sin slänt, när en dränerad sorterad sand kan hålla en vinkel på ca 20–40° (Larsson 2008). Då denna sammanhållande kraft är temporär då den konstant regleras. Vid uttorkning så förlorar jorden hållfasthetens energi för att hålla samman strukturen, men också vid vattenmättat tillstånd, eftersom det inte finns en partikelövergång mellan markpartiklarna och gasen (SGI 2023a).

I en naturlig jord, en jord med organiskt material och olika fraktioner, så kan de förbättrande kohesionskrafterna hållas i ett läge som kan hålla sin struktur i flera år (SGI 2023a).

3.3 Vattnets rörelse i marken

Förändring i portrycket i marken kan leda till att det tar längre tid för marken att stabilisera sig. Vatten rör sig långsammare i sidled, på grund av att vatten rör sig naturligt från hög till låg potential vilket sker genom gravitationen (Grip & Rodhe 2016). Genom att porerna är fyllda med vatten är de svår konsoliderade, vilket bygger en högre motståndskraft för belastning. Det är en av anledningarna till att gångbanor och vägar får försänkningar, för att vi har ändrat på det naturliga flödet av vattnet ner till grundvattnet (Bayogul Flener & Johansson 2014).

För att räkna på vattnets flöde genom en jord, kan man använda ”Darcys lag” som Grip & Rodhe (2016:30) uttrycker som ekvation (3).

(3)

$$Q = -K * A * \frac{dl}{ds}$$

Q = vattenföring (m^3/s)

A = Tvärsnittsarea hos det betraktade markskiktet

K = Jordens hydrauliska konduktivitet (m/s)

dl = vattnets totala potential (m)

ds = sträcka (m)

dl/ds = ändring i totalpotential per längdenhet, potentialgradient (m/m)

Ekvation 3, Obs. att det går att räkna med andra enheter som centimeter, bara om enheterna är av samma enhet i hela ekvationen.

Växter har en sugkraft för att få vatten att kapillärt stiga i jordprofiler och att hålla kvar vissa mängder av vatten. Det påverkar K i ekvation (3), som är den hydrauliska konduktiviteten. Genom att flödet tar längre tid att passera igenom jordprofilen, bidrar det till en längre period med vattenhalt i jorden.

Det är viktigt på grund av kohesionskrafterna som det bidrar med i hållfastheten i slänter. Det kommer dock med en konsekvens som är att flödet ner till grundvattnet, perkolationen, oftast blir långsammare. Just det över siktet i jordar kan ha mycket god vattenhållande förmåga, på grund av det organiska materialet. Vilket kan orsaka hortonskytavrinning. Vid hög intensitet av nederbörd, som ger avrinnings vatten högre hastigheter som blir mer benägen till erosion av marken. (skogkunskap 2024; ekvation (4))

3.3.1 Erosions koppling till ras och skred

Det finns många varningar för att klimatförändringarna medför en ökning av nederbörd och med en högre intensitet (SMHI 2019).

Med högre flöden och ökad mängd vatten kan jordens jämvikt påverkas negativt. Med att släntfotens mark eroderar med vattenflödet, nöts motvikten bort och ökar risken för att brott uppstår.

Enligt Hjulströms diagram eroderar ler- och siltjordar vid vattenhastighet på 0,5 m/s (skogkunskap 2024). För att få fram en ytavrinningshastighet kan man använda sig av "Mannings formel", som svenskt vatten (2019:82) presenterar enligt ekvation (4).

(4)

$$Q = A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} * M$$

Q = flödet (m^3/s)

A = Tvärsnittsarean

R = hydrauliska radien, som är P/A

P = våta perimetern

S = Bottenlutningen

M = Mannings tal

Beskrivning av uttryck för ekvation (4).

Mannings formel används vanligen vid beräkningar av flöden i diken, men går att använda på plana ytor också.

När en volym vatten som rör sig över en plan yta, kan man avgöra höjden på den våta perimetern, som blir flödet utslaget på arean. Vilket gör att värdet blir försumbar i stora områden, vilket möjliggör ett realistisk påstående om vattenhastigheten.

Mannings tal är ett värde som motsvarar råheten som orsakar förlust av hastighet på grund av friktion eller ojämnheter från underlaget som vattnet rör sig över. Några värden för Mannings tal har miljöbarometern publicerat (Risberg 2022), på uppdrag från Stockholmstad.

Vattenhastigheten är naturligt påverkat av de topografiska förutsättningarna, som är uttryckt som S i ekvation (4). Vilket gör det extra betydande att ta i hänsyn till i nyetablering, då höjdskillnader och underlag har en så pass stor påverkan på den potentiella ytavrinningen.

3.4 Säkerhetsberäkning

För att inte behöva uppfinna hjulet på nytt för varje projekt har IEG publicerat olika säkerhetsfaktorer för olika markanvändnings typer. Säkerhetsmarginalerna är ett värde som anpassats för att bemöta förändring in i framtiden genom en förväntad utnötning av hållfastheten, av bland annat användning och nederbörd (IEG 2010). Säkerhetsmarginal anpassas för plats och behov och olika lägsta tolererade värden, vilket visas i tabell 1. Vid beräkningar av säkerhetsmarginaler ska värdet för $F \geq 1$. Vilket tas fram för plana glidytor genom ekvation (5), som Dahlblom & Tudsico (2022:102) beskriver som.

$$F = \frac{Pf}{Pa} \quad (5)$$

F =säkerhetsfaktorn

Pf =maximalt möjlig kraft

Pa = aktuell kraft

Ekvation (5) är grunden till beräkningar för säkerhetsfaktorn, som beskriver att om tyngden är lika med motvikten ska F vara lika med 1, annars uppkommer brott. Sen kan den beskrivas på mer tydliga och på mer omfattande sätt. Genom att ta i hänsyn till flera parametrar och jordförhållanden, som portryck, lutning, jordens kohesionskraft och vegetation så ändras ekvationen för att inkludera

dessa. Den gemensamma nämnaren är att värdet för $F \geq 1$, annars inträffar brott i jorden och ras eller skred kan förekomma. Visar uträkningen att säkerhetsfaktorn är låg för markanvändningstypen, se tabell 1, finns det anledning att undersöka skredbetinagde rörelse i området (SGI 2023c).

Uträkningar för säkerhetsfaktorn kräver topografiskt underlag och även batymetriskt underlag om det är i närheten till vattendrag, batymetri är en mätning av djup i vatten (Ne u.å.b). Olika metoder för stabilitetsberäkningar som SGI upplyser är direkt- och lamellmetoden (se 3.6.2 & 3.6.3).

3.4.1 Markanvändning

Säkerhetsfaktorn är värderad högre i säkerhetsmarginalerna beroende på känsligheten av markanvändningstyper och vad för jord det är, som tabell 1 tar upp. För naturmarker accepteras en säkerhetsfaktor på $F=1$, vid lägen då sked och ras kan ske utan att omkringliggande bebyggdmark utsätts för en ökad risk (SGI 2023c).

Tabell 1: Europeisk standard för säkerhetsfaktorn för olika markanvändnings områden. IEG (2010:3)

	Markanvändning			
	Utredningsnivå	Nyexploatering		Befintlig bebyggelse och anläggning
		Nybyggnation (GK1 och GK3)	Planläggning	
Tillståndsbedömning	Översiktlig	Ej tillämpbar	Minst detaljerad utredning ska utföras.	$F_c > 2$ $F_{komb}, F_{c\phi} > 1,5$
	Detaljerad	$F_c \geq 1,7-1,5$ $F_{komb} \geq 1,5-1,4$ $F_{c\phi} \geq 1,3$ (sand)	$F_c \geq 1,7-1,5$ $F_{komb} \geq 1,5-1,4$ $F_{c\phi} \geq 1,3$ (sand)	$F_c \geq 1,7-1,5$ $F_{komb} \geq 1,5-1,3$ $F_{c\phi} \geq 1,3$ (sand)
	Fördjupad	$F_c \geq 1,5-1,4$ $F_{komb} \geq 1,4-1,3$ $F_{c\phi} \geq 1,3$ (sand)	$F_c \geq 1,5-1,4$ $F_{komb} \geq 1,4-1,3$ $F_{c\phi} \geq 1,3$ (sand)	$F_c \geq 1,4-1,3$ $F_{komb} \geq 1,3-1,2$ $F_{c\phi} \geq 1,3$ (sand) Under förutsättning att restriktioner införs.
Projektering		Dimensionering utförs enligt IEG (2008b)/Trafikverket (2022).	Beroende på utredningsnivå, F_c och F_{komb} enligt tabellvärde ovan	Stabilitetsförbättrande åtgärd enligt 5.3.2 alternativt IEG (2008b)/Trafikverket (2022).

Som nämnts tidigare sker brott vid en säkerhetsfaktor vid $F < 1$, som man förebygger på mer känsliga markanvändningsområden. Med en högre lägsta tolererad säkerhetsfaktor är tanken att möta markanvändnings förändringarna innan de uppstår brister i stabiliteten. Tabellen är framtagen av IEG (2010:3) som är en branschgemensam ideell förening, som har i uppgift att initiera, samordna och utföra arbete för implementeringen av europeisk konstruktionsstandard (eurokoder) inom geotekniksområdet (IEG u.å.)

Upptäcks den bristande stabiliteten i tid finns det åtgärder som kan genomföras för att försöka stabilisera marken (SGI 2023c). Som exempel genom att stärka motvikten med schaktmassor, stenpelare, barriärer eller vertikal dränering (Bayogul Flener & Johansson 2014). Nu förtiden används teknik för att räkna ut den maximala möjliga kraften (P_f) och den aktuella kraften (P_a), genom olika provborrningar, eller spjutning, som är det bättre alternativet vi har idag för att kontrollera större områdets stabilitet.

3.4.2 Direktmetod

Med den direkta metoden kan man få fram en förenklad modell av släntens geometri, jordlagerförhållanden, porttryck och hållfasthetsegenskaper. För att kunna använda direktmetoden bör jordförhållandena vara någorlunda homogena och geometrin ska vara relativt enkel. Genom dessa kriterier kan direkta metoden få fram en första indikation på vilka glidytor som har lägst säkerhet. Metoden är begränsad till antingen dränerade eller odränerade analyser (SGI 2023c).

3.4.3 Lamellmetod

Genom lamellmetoden delar man upp skredglidytan i olika vertikala lameller, olika segment, och fördelar motståndskraften och pådrivande kraften efter vinkelförårlningen med radien, från ett uträknat mittpunktsläge från de övre och nedre kanterna av glidytan. Lamell metoden föresätter att glidytan är skålformad. Eftersom olika lameller kan ha olika krafter som bygger upp motståndet, beroende på hållfasthet, topografi och massa, eller normalspänning och skjuvhållfasthet, använder man sig av denna metod (SGI 2023c).

Metoden fungerar ungefär så att man delar upp slänten i 2 delar, den över och nedre delen av glidytan. Mittpunkten blir beräknad utifrån jordens friktionsvinkel och den radie där de vinklarna möts. De övre lamellerna vill naturligt glida neråt och de nedre vill glida mot mitten av glidytans radie, alltså de rör sig i motsatta riktningar. Det resulterar i en motkraft från den nedre glidytan, motvikt, som håller uppe den övre. Sen kan kraftfördelningen se olika ut i slänter i olika segment, vilket är anledningen till att man använder sig av fler än 2 lameller, men uppdelningen i mitten avgör riktningen (Haugen 2022). Ekvationen presenteras av SGI (2023c:55–56) enligt ekvation (6).

(6)

$$F_{c\phi} = \frac{R \sum [c' \Delta l + (\Delta w \cos a - u \Delta l) \tan \phi' + (T_n - T_{n+1}) \cos a - (E_n - E_{n+1}) \sin a \tan \phi']}{\sum \Delta x + y \frac{\gamma_w H_t^2}{2}}$$

E_n = resultant till horisontella jordtrycket mot lamellgränsen n (kN/m)

T_n = vertikal tvärkraft i lamellgränsen n (kN/m)

Δl = båglängd (m)

ΔW = lamellens egentyngh $\gamma b h$ (kN/m)

b = lamellens bredd (m), (värde för att räkna ut ΔW)

h = lamellens höjd (m), (värde för att räkna ut ΔW)

x = hävarm (m)

R = cirkelns radie (m)

N = normalkraft mot glidytan (kN/m)

u = porttryck i glidytan (kN/m²)

α = glidytans lutning mot horisontalplanet (°)

H_t = djup för vattenfylld spricka genom torrskorpa (m)

y = momentarm (m)

Eftersom b och h inte är med i ekvationen och är något otydligt beskrivet från SGI, kompletterades citatet med (värde för att räkna ut ΔW).

Det finns en ytterligare beräkning för att räkna ut en enskild lamells jämvikt, se SGI 2023c:56. Detta är relevant då implementeringen av förstärkande element kan sättas in där de blir som mest effektiva och mest kostnadseffektiva. Det ger även en godtycklig bas till om man behöver öka motvikt eller jämna ut lutningen på slänten.

3.4.4 Kontroll och efterföljning

Skred är en oförutsägbar händelse i många fall och kontrolleras ständigt av olika mätinstrument och kontrollanter för att förebygga olyckan. Tecken som kan innebära att det finns brister i stabiliteten i slänter kan vara synliga marksprickor, små skred, lutade och fallna träd, tecken på erosion och hastig förändring i portryck (SGI 2023c).

Om erosion har förekommit kan det spåras genom att observera avrinningsområdet efter kraftigt regn och kontrollera om vattnet är grumligt.

Beräkningsmetoder idag, med dagens datorkapacitet, finns ingen anledning till att inte använda annat än rigorösa uträkningsmetoder (SGI 2023c). När en uträkning förlitas på maskinell uträkning ökar kravet att kontroller utförs för att kontrollera att all nödvändiga data har matats in i beräknings programmet korrekt (ibid).

4. Växters roll för släntstabilisering

Även då särskild forskning om företableringsåtgärder med gamla rotsystem saknas i litteraturstudien, kan vissa slutsatser tas utifrån utredningar och forskning om stabilisering av slänter med befintliga rötter och avskogade områden med gamla rotsystem.

Beroende på vart utredningarna har utförts har många av resultaten visat orsaker som kan vara regionalt förknippade. Främst har studierna utförts på naturligt förekomna slänter.

Fördelarna med levande rötter i en jordprofil är många för stabiliteten. Rötters mekaniska förstärkning är också i proportion till hur rötterna är uppbyggda.

Några exempel på olika typer av rotuppbyggnader är tofsrotsystem, pålrotsystem och hjärtformade rötter (Bordoloi & Wang Wai Ng 2020).

Länder som har lyfts fram som mer erfarna i frågan om stabilisering av slänter med vegetation, däribland Amerika, Canada, Japan, Nya Zeeland och Schweiz (Steinacher et al. 2009).

Litteraturstudien har analyserat utredningar i Alperna, Toscana i norra Italien, Nya Zeeland och Amerika.

Även då studierna är från utlandet och har andra jordförhållanden och klimat än Sverige, kan paralleller uppskattas och studeras.

Många av arterna som har nämnts inom studierna finns i samma eller olika sorter i Sverige, som *Alnus*, *Betula*, *Fagus*, *Picea* och *Pinus*.

Stabiliteten kan variera beroende på vilket klimat som utredningarna utförs i, där exempelvis temperatur, utsatthet för vind och nederbörd är faktorer som skiljer markant. Arbetet har studerat olika källor från omvärlden som skiljer sig något från vårt klimat i Sverige. Men deras resultat och slutsatser kan anpassas till våra förhållanden och enligt svensk nederbördsstatistik, för att minimera osäkerheten av införandet av vegetativförstärkning.

4.1 Rötters förstärkande egenskaper

Hållfastheten, topografin och erosion påverkar i olika grader beroende på jordförhållanden och annan mekanisk stress. Träds storlek och vindfång orsakar viss påverkan på stabiliteten, men under en längre etablerings tid lyckas miljön oftast stabilisera sig till ett jämviktsläge ändå (O'Loughlin 1974).

Generellt kan de positiva effekterna delas in i tre kategorier; mekanisk förstärkning, hydrologiska fördelar och interception (Bordoloi & Wang Wai Ng 2020).

Det främsta som litteraturstudien kommit fram till om vegetations stabilisering, är skydda av marken. De fysiska egenskaperna som vegetationens rötter bidrar till är att bibehålla fukt längre och orsakar falsk kohesion. Eftersom växters rötter behöver syre, så växer generellt inte rötterna ner i ett betydande djup för släntstabiliseringen, alltså ner till berggrunden, därmed påverkar rötter främst de över jordskiktet (Steinacher et al. 2009; O'Loughlin 1974).

Vilket i de stora slänterna med större jorddjup inte får någon större betydelse, se ekvation (6) som visar att motvikten och lamelldjupen är mer betydande, då det vanligen behandlar en större massa och en större fördelning djupgående till glidyten i mer omfattande skred. Trots rötters minder påverka finns en viss armerande effekt och kan hjälpa till med att binda övre delen av jord, vilket i de flesta fall är neutralt eller något positivt för stabiliseringen för jordar med låg kohesionskraft (Steinacher et al. 2009). Det beror på vad för typ av rötter och hur stora de är, där uträkningen (7) nedan av Preti (2012:636) visar på kohesionskraften som rötterna med förhållning till dess diameter bidrar med.

(7)

$$C_v = K' K'' \sum_{j=1}^n T_{r_j} \frac{A_{r_j}}{A}$$

C_v = rötters kohesionskraft.

K' = Korrektionsfaktor som används för att ta hänsyn till rötter som inte är orienterade vinkelrätt mot glidyten.

K'' = korrektionsfaktor som korrigerar förspänningen på grund av överskattningen av kohesionsvärdena.

N = antal diameter klasser.

J = nuvarande diameterklass.

$T_{r_j} \frac{A_{r_j}}{A}$ = medelrotens draghållfasthet respektive medelrottvärsnittsarean i klassen j .

Beskrivning av värden i ekvation (7), översatt.

Det ekvationen beskriver är den tillförande kohesionskraften som olika diametrar av rötter bidrar med. Växer har olika typer av rötter och bidrar med olika nivåer av mekanisk förstärkning, utifrån storleken på rötterna.

4.1.1 Olika rötter ger varierande stabilitet

Trädarter som har framställts som bättre än andra på att stabilisera slänter är Picea och Pinus, då deras rotsystem breder ut sig horisontellt. Picea är även ett snabbt växande trädslag (Steinacher et al. 2009) och kan hjälpa till med att stabilisera ras vinklar runt 20- 50° (Bordoloi & Wang Wai Ng 2020).

Det är även en skillnad i typer av rotsystem som binder mer jord eller mindre jord. Enligt Li et al.'s (2016) resultat från en 3 dimensionell simulering av en slänt fick man fram att variationer på rötters växtsätt har olika positiva värden för slänt stabilisering, där Li et al. experiment visar att horisontella rotsystem gynnar hållfastheten bäst.

4.1.2 Mekanisk förstärkning

Den mekaniska förstärkningen bygger på rotsystemens uppbyggnad och tolerans för olika spänningar. Teoretiskt sträcker sig de större rötterna ner i marken och förankrar sig till berget eller större fraktioner, det är givetvis beroende på art och släkte och hur växterna utvecklar sig (Bordoloi & Wang Wai Ng 2020). Medan finrötter och växter med mindre rotsystem ökar hållfastheten genom att bygga upp ett kompakt rotsystem som ansluter i varandra. Litteraturstudien fann att skjuvhållfastheten vanligen beräknas genom Mohr- coulomb's brottkriterium med tillägget av rötters kohesionskraft. Som Preti (2012:633–645) beskriver genom ekvation (8).

(8)

$$t = (c' + cr) + (\sigma - u)\tan(\varphi')$$

T = skjuvhållfastheten

c' = jordens kohesionskraft

cr = rötternas kohesionskraft

σ = total normalspänning

u = portrycket

Värdet för "cr" kan framtas från ekvation (7). Genom att använda ett medelvärde för rötternas diameter, kan medelvärdet någorlunda beskrivas för ekvationen.

4.1.3 Hydrologi

Rötter har en absorberande egenskap för att ta upp vatten och näringsämnen samt en transpiration vilket reducerar mängden vatten som rinner igenom. Genom absorptionen ökar den falska kohesionen och ökar hållfastheten. Denna kraft är fräst belägen vid finrötterna och kan hjälpa till att hålla kvar vatten i jorden kapillärt över längre perioder (Bordoloi & Wang Wai Ng 2020).

Med att vatten hålls kvar längre genom sugkrafterna ändras den hydrauliska konduktiviteten, vilket man kan använda Darcys lag för att beräkna flödet genom växtbädden (Grip & Rodhe 2016). En viktig upplysning som Bordoloi & Wang Wai Ng (2020) nämner är att slänter generellt packas vid anläggning, för att behålla sin form. Deras syfte med studien var att studera hur växter förhåller sig till kompakterade växtbäddar, för att minska påverkan av erosion och öka

hållfastheten på slänter. Vilket de publicerade en lista med olika sugkrafter och vilket lutning som de växterna kunde tillföra extra stabilitet till.

4.1.4 Interception & erosion resiliens

Vegetationen har en stor betydande roll när det kommer till resiliens av klimatets negativa påverkan, som exempelvis erosion, interception och ytvavrinningshastigheter (Bordoloi & Wang Wai Ng 2020).

Då andra metoder finns, går det att utnyttja ekvation (4) ”manningsformel” för att beräkna vattenflöden och därmed få fram vattenhastigheten som kan orsaka att sediment eroderar i vattenströmmen. Vilket, för lågkohesions jordar, är vattenhastigheter upp till 0,5 m/s (Skogkunskap 2024). Genom att skydda marken med under vegetation, som gräs eller andra fleråriga perenna växter kan man påverka vattenhastigheten genom ett förändrat värde av råheten (alltså Mannings tal) och skydda släntfoten för ytterligare pådriven erosion (Grip & Rodhe 2016).

Genom interception av nederbörden på trädens kronor minskar påfrestningen av regn på jordens hållfasthet, genom att intensiteten fördelas efter att regnet slås isär på löv och grenar.

Även viss avdunstning sker genom interceptionsavdunstning, där majoriteten av avdunstningen sker från nederbörd som kapillärt binder sig till blad och barrs ytor. På en skogsmark kan en 20-40% av sommarnederbörden avdunsta från trädkronorna (Grip & Rodhe 2016).

4.2 Rötter stabiliserar även efter avskogning

Något som Preti (2013) påpekar i sin undersökning i Toscana är att man verkar kunna uppskatta att rötters stabiliserande egenskaper förloras linjärt med ungefär 9,1 % per år efter avskogning, brand, eller andra faktorer. Som O'Loughlin (1974) påstod med att hållfastheten förändras, med externa krafter som erosion, hamnar slänten i ett jämviktsläge efter viss tid. Även under den tid som vegetationen är etablerad i växtbädden, även då förändringarna är mindre än vad de skulle vara utan vegetation.

Som Preti (2013), Ziemer (1981), och Steinacher et al. (2009) påpekar verkar det vara en ungefärlig nedbrytningstid på ungefär 7–11 år, då resultatet från Preti's (2013) utredning i Toscana fick resultatet att ≈ 99 % av rötternas elastiska egenskaper förlorats efter 11 år.

Rotdiameter har en stor betydelse för de hållfasthetsegenskaper som rötterna bidrar med på ett lägre perspektiv, se ekvation (7) som visar rötters kohesionskraft. Finrötter är utmärka för att binda mer jord och öka kohesion för de vattenhållande egenskaperna i jorden, men är också snabbt nedbrytbara och bli av med den förmågan när rötterna har dött.

4.2.1 Problem och risker med rötter som förmultnar.

Rotsystem är svårt att kontrollera utbredning och tillväxt på. Växters rötter utvecklas efter individernas behov av syre, vatten och näring (Ericsson 2021). Vilket medför att delar av slänterna kan vara helt utan rötter och därmed inte få någon extra hållfasthet av rötterna. Detta kan öka risken för mindre skred eller ras i slänterna, bland annat för att mätningar och jordprover kan missvisa det verkliga förhållandet på platsen.

Över en längre period blir det också en oförutsägbar sänkning av säkerhetsfaktorn på grund av nedbrytningen av rötternas elasticitet och vattenhållande förmåga. Vilket sätter stora krav på att kontroller genomförs på marker där avskogning har skett. Vilket kan vara svårt då avskognings arbetet kan utföras i etapper och pågå en längre period.

4.3 Alternativa metoder med växter

I litteraturstudien uppmärksammades olika material och metoder för att stärka hållfastheten.

Växter kan ses som ett dynamiskt arbetsmaterial och tillkomma med andra utmaningar, bland annat förvaltning, tillgänglighet och fri höjd. Som kan ses som en viss osäkerhet i förmåga att etablera sig.

Enligt Bordoloi & Wang Wai Ng (2020) börjar intresset för vegetativsläntskydd återkomma med klimatkrisen, bland annat för att besvara koldioxidnivåerna.

Anledningen till att alternativa metoder och material tas upp är för att jämföra och analysera deras styrkor och bidra till en helhetsbild.

Det finns mer att experimentera runt med att stärka stabiliteten med vegetation, något som SGI har studerat.

En av de många utmaningar som tillkommer med stabiliseringen med vegetation, är skötseln och bevattningen. Vilket presenterar ett problem med vad för sorters träd man bör använda. SGI utförde en testbädd med varierande växter som ett substitut för jordspikar och stenkross, eftersom dessa element kostar mycket och kanske inte är direkt estetiskt tilltalande (Rankka 2005). Växter som främst användes var Salix, som de grävde ner i en viss lutning i en slänt. Grenarna bidrar inte bara med en mindre mekanisk förstärkning, utan också en potentiell tillväxt.

Många sorter inom släktet Salix har ett hormon som finns i nya årsskott som tillämpar en rotutveckling, om de skulle brytas av eller skäras av från moderplantan och hamna i en fuktig miljö, slår skotten rötter och förökar sig vegetativt (Hollsten et al. 2011). Det är en av många olika metoder för växter att föröka sig. Något som SGI (2005) utnyttjade för att få en tillväxt på sitt experiment.

Med rätt växtbädd och mindre översyn finns det potential med metoden och nya träd kan utvecklas. Det är genom Darcys lag, se ekvation (3) hur vi beräknar hur snabbt vattnet rör sig genom växtbädden och hur mycket vatten som blir växttillgängligt över längre perioder utan extern bevattning. Salix släktet är också känt för att vara snabb växande och kan därmed öka hållfastheten snabbt på platsen (Hollsten et al. 2011), genom ökad vattenhållandeförmåga från det organiskamaterialet.

Så för att få bäst potentiella effekt kan kombinationen med snabbväxande Salix och till exempel Picea användas för att försöka förstärka hållfastheten mer.

4.3.1 Alternativ till vegetation som stabilisering

Biopolymerer

Det finns andra alternativ än växter för att öka hållfastheten, en av många är biopolymerer som består av organiskt material (Gye-Chun 2016). Användningen av biopolymerer är inget nytt för geotekniken, då det kan spåras till historiska Kina som använde sig av klibbig rismortel som ett bildningsmedel för att öka hållfastheten i anläggningar. Klibbig rismortel är ett primitivt men effektivt bindnings medel som kassas som en biopolymer, som är kokt klibbigt ris blandat med kalkpulver (Gye-Chun 2016).

Enligt Gye-Chun (2016) är användningen av biopolymerer ett naturvänligt substitut för snabb stabilisering av diverse rasvinklar. Biopolymeren hjälper till att binda jorden och minskar permeabiliteten (den hydrauliska konduktiviteten), vilket ökar den vattenhållande förmågan och är att lätt behandla slänter med.

Biopolymererna sprutas på ytskiktet av jordmånen och penetrerar inte särskild djupt, så de stabiliserade effekterna blir jämförbara med armeringsnät. De är dock nedbrytbara och enligt Gye-Chun (2016) och spolas eventuellt bort efter några år.

Armeringsnät

Armeringsnät är horisontellt utlagt nät som ligger och stödjer slänter. Vanligen är de utlagda med lagervis uppbyggnad av fyllning (SGI 2024). Nätet får inte tillräknas som bärighetshöjning (Trafikverket 2023), men håller samman jorden på slänten likt rotsystem. Näten kan vara gjorda av stål, men även av plaster (stencompagniet u.å.), vilket inte naturligt bryts ner eftertid och kan laka ut eventuella microplaster (naturvardsverket 2024).

4.4 Nederbörd och hållbarhet

Som nämnt i 3.2.2 behövs det en balans mellan vatten och luft partiklar i jordar för att den falska kohesionen ska agera.

Svenska myndigheter prognostiserar att mängden nederbörd kommer att öka till 2100. Svenskt vattens rekommendation från 2015 är att man ska börja

implementera en klimatfaktor för nederbördberäkningar, för nya anläggningar uppskattas att ha en längre användning, för att hantera nederbördsökningen (Svenskt vatten 2019). Svenskt vatten har utifrån värden från SMHI's regnstatistik, prognostiserats att vi kan förvänta oss en ökning av nederbörd på 25 % på regn som är kortare än 1 timme och en ökning på 20% vid regn som är 1 timme upp till 1 dygn (SMHI u.å.; Svensk vatten 2019).

Påverkan för hållfastheten påverkas negativt både för korta och intensiva regn och för längre varaktiga regn.

Vid korta intensiva regn kan infiltrationskapaciteten överstigas och orsaka hortonsk ytavrinning. Hortonsk ytavrinning innebär att vattnet rinner av från markståendevatten (Grip & Rodhe 2016), som inte hunnit infiltrera ner i jorden. Det förekommer vanligare på jordar som har kompakteras, men med en tillräckligt hög intensitet, kan det även ske på jordar med vegetation. Risken blir att vattnet får en högre hastighet och kan orsaka erosion vid släntfoten och påskynda ras eller skred eller orsaka översvämningar lägre nedströms. Strategin för skyfall brukar separerats och ledas om till dedikerade skyfallsytor där vattnet kan infiltrera eller direkt ledas ut i recipienten (Svensk vatten 2019). Detta blir ett speciellt problematiskt på slänter som enligt Bordoloi & Wang Wai Ng (2020) kompakteras för att stärka stabiliteten.

Det är liknade för längre regn, som nämnts tidigare rör sig vatten långsammare i sidled. Fylls markprofilen med regnvatten utan att vattnet kan förflytta sig snabbt nog, blir vattnet stående eller i en slänts fall förflyttat som ytavrinning. Skillnaden är att det finns mer tid att utföra åtgärder och omdirigera vattenströmmarna till recipienten eller skyfallsytor.

Däremot påverkas hållfastheten av brist av syrepartiklar och kan orsaka stor landrörelse, i form av skred.

5. Diskussion

Anläggningsprojekt går alltid att justera och förbättra. Likt forskning finns paradigmskiften om ny teknologi och utföranden.

Slänters uppbyggnad och material kan justeras i efterhand för att se till att växterna kan etablera sig. Vilket kan resultera i en långsiktig förbättring av hållfastheten. Det efterfrågas även om nya hållbara lösningar med vegetatbil slätförstärkning, enligt Bordoloi & Wang Wai Ng (2020). Det sätter ett extra behov av god planering och dialog i projektgrupper.

Från litteraturstudien fanns det förstärkande egenskaper för släntstabiliteten, men inget tyder på om det är tillräckligt för att förenkla anläggning, vilket behöver studeras mer. Jag hittade ingen information om vilka säkerhetsklasser som krävs för att anläggning ska få utföras. Spekulativt antar jag att det inte helt planeras i detalj, eftersom när arbetet vid anläggning startar görs åtgärder för att säkra underlaget. Det sker även hypotetiskt en viss kompaktering vid nedtagningen av skogen, när maskiner kör över växtbädden som bidrar till hållfastheten.

Preti's (2013) resultat om rötters nedbrytnings tid på 7-11 år, bör ses kritiskt, som även Preti nämner. Förhålllet till nedbrytningsprocessen, vad för vattenmängd som kan förväntas på platsen, vilken porositet som jorden har och vilka slakten som väljs, är variabler som inte alltid går att beräkna i detalj. Dessa faktorer är pådrivande för förmultningen och minskar uppskattad pålitlig period.

Men resultatet kanske går att förhålla sig till. Årstillväxten på träd varierar hos slakten, något som Rankka (2005) utnyttjade med sorten Salix, just för att de är snabbväxande och enkelt planterade, dess värre hittar jag inget om resultatet om experimentet.

Eftersom erosionsprocessen kontinuerligt pågår och förväntas utsättas för en ökning, med ökad mängd nederbörd med klimatförändringarna. Ökar risken att uppkomsten för ras och skred inträffar med avskogning, eftersom säkerhetsfaktorn stabiliserar sig naturligt till ett värde närmre $F=1$. Vilket i sin tur ökar behov av kontroller och utredningar av slänters stabilitet efter avskogning. Det har blivit tydligare att växter har en mycket positiv inverkan på erosionsskyddet i uppsatsen. Som SGI (2023c) påpekar att det även kan bli enklare att identifiera riskerna med vegetation med mera som lutar, som till och med allmänheten kan identifiera och rapportera om det finns anledning till oro. Informeringen om hur allmänheten kan agera kan eventuellt lösas relativt enkelt med informationsskyltar.

En företableringsplantering är en intressant möjlighet där resurserna från skogen med tiden kan utnyttjas till annan produktion. Det är också en miljö som samhället kan utnyttja till miljöinteraktion, rekreation, diverse ekosystemtjänster och hantering av dagvatten.

Enligt mitt syfte vill jag att anläggning ska förenklas och att vegetationen inte ska ses som ett hinder för anläggning. Det finns dock skäl för att argumentera om det verkligen behövs en total avskogning på slänterna, för att försöka bevara äldre individer som kan stå kvar och bidra med successionen och tillföra biologiska värden. Därför kan landskapsarkitekturen agera som kompetent drivande sakkunnig för att kommunicera till de resterande i arbetsgrupperna. För att lyfta fram och bevara potentiella mervärden som kan förbli.

Det som ska vara uppmärksammat är att skogens syfte från planeringen är enligt syftet i uppsatsen att kunna avskogas utan konflikt från miljölagar, förenkla anläggningen och brukandet, tills nästa generation av växtlighet tar över stabiliseringen. Men diskussionen går alltid att ta upp och kompromissa om det finns rimliga skäl och samhällsbesparingar.

5.1 Kritik av metod och resultat.

Det finns flera saker som jag skulle ha gjort annorlunda med kunskapen som jag har införskatta mig under skrivperioden. Bland annat skulle jag utöka mängden vetenskapliga artiklar och rapporter jag använde, då det skulle stärka mina påståenden mer. Jag skulle även titta mer på fall där stabilisering av slänter med vegetation misslyckats och analysera orsaker som kan ha varit avgörande.

Jag skulle också söka upp mer branschpraxis och planerat för att inkludera en intervju med bolag som arbetar med släntstabilisering och rasförhindring. För att få en mer daglig hantering av hur man arbetar för att förhindra ras och skred och vart i processen som växtbädden planeras och justeras för att stödja växter.

Det är svårt att hitta metoder och utförande krav då mycket ligger bakom europastandarder och därmed har en initial kostnad för att ta del av informationen.

Det har även varit svårt med inlärningskurvan som har antagits under uppsatsen. Bara som exempel citerar jag Dahlblom & Tudisco (2022:5).

”Boken är tänkt att användas vid inledande kurser i geoteknik på högskoleingenjörs- och civilingenjörsutbildningar. Framställningen förutsätter grundläggande kunskaper i byggnadsmekanik / strukturmekanik / hållfasthetslära samt matematik. /.../”

Vilket visar på att mina grundkunskaper inte fyller bokens tänka målgrupp. Trots det har jag märkt av en förståelse för grunderna och började känna igen mer och mer under skrivprocessen. Det skulle dock blivit enklare och sparat mer tid om jag sökte hjälp tidigare.

Alternativa metoder och material kanske inte är jätterelevant till min frågeställning, de är mest inlagda för att upp konkurrans. Det som är gemensamt mellan biopolymerer och armeringsnät, är att de ger en omedelbar effekt och är enkla att använda.

Landskapsarkitekturen är kanske inte avgörande för att beräkna motvikter och säkerhetsfaktorer, men vi kommer in i gestaltningen och underhåll av skog och

växter, samt förstår oss på ekologin. Jag argumenterar för att vår förståelse hur branschen jobbar för säkerhet och stabilitet brister och för att vi ska kunna diskutera och komma med hållbara förslag, behöver vi landskapsarkitekter och ingenjörer en djupare förståelse för geoteknik. Samspel och kommunikation är avgörande faktorer som gör att grupprojekt resulterar i något exceptionellt.

Jag ser ändå att fördjupa sig i ämnet är en styrka och att min frågeställning är vinklad på så sätt att jag får en uppfattning av före, under och efter med syftet i uppsatsen.

6. Slutsats

Landskapsarkitekturen har sina begränsningar. Vår profession ligger ofta i hållbar förvaltning, god gestaltning och välbefinnandet av mänskligheten (Sveriges Arkitekter u.å.; SLU u.å.b).

Jag som blivande landskapsingenjör vill vara del av de mer tekniskt omfattande frågorna. Släntstabilisering och hur växter kan användas inom ramarna för hållbara och funktionella anläggningar är något som kan forskas vidare på.

Kopplingen till klimatförändringarna och nederbördsprognostiseringen är också två viktiga frågor för vårt framtidssamhälle. Som är en av anledningarna till att vi landskapsingenjörer blir erbjudna att lära oss om dagvattenhantering och skyfallshantering. Som är något jag tycker att landskapsingenjörer bör lära sig mer om.

För att få bästa resultat, enligt mig, behövs ett samarbete mellan olika yrkesgrupper. Dialogens roll i planeringsprocessen är avgörande för att uppnå samförstånd och rimliga kompromisser.

Även mer forskning och metodutveckling behövs för att använda gamla rötter som en temporär släntförstärkning. Men redan idag finns potentialen till att applicera metoden oftare.

Referenser

- Bordoloi, S. & Wang Wai Ng, C. (2020), *The effects of vegetation traits and their stability functions in bio-engineered slopes: A perspective review*, Engineering Geology, (volym 275).
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013795220308334?via%3Dihub>
- Carsten Haugen, L. (2022). *Lamellmetoden i Geoteknikk*, [Video].
<https://www.youtube.com/watch?v=69ezj0KhWE8> [2025-03-11]
- Ericsson, T. (2021), *Växtbiologi*, Riksförbundet Svensk trädgård, Artikelnummer: 2021705
- Grip, H. & Rodhe, A. (2016). *Vattnets väg från regn till bäck*, Uppsala universitet, ISBN: 978-91-639-0456-1.
- Hollsten, R., Arkelöv, O. & Ingelman, G. (2011). *Handbok för Salixodlare*, Jordbruksverket.
https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_ovrigt/ovr250v2.pdf
- Hultén, C., Olsson M., Rankka, K., Svahn, V., Odén, K. & Engdahl, M. (2005). *Släntstabilitet i jord*, Statens Geotekniska Institut.
<https://www.sgi.se/globalassets/publikationer/varia/pdf/sgi-v560-1.pdf>
- IEG (2010). *Tillståndbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar*, Rapport (4),
https://ieg.nu/wp-content/uploads/2024/03/IEG_4_2010-TD-Tillstandsbedomning-av-slanter.pdf
- Krift, T., Gioacchini, P., Kuikman, P.J. & Berendse, F. (2001). *Effects of high and low fertility plant species on dead root decomposition and nitrogen mineralisation*, Soil Biology and Biochemistry, Volym (33:15).
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071701001456>
- Krisinformation (2025). *Orsaker till ras och skred*,
<https://www.krisinformation.se/forbered-dig/ras-och-skred/orsaker-till-ras-och-skred> [2025-03-05]
- Labuz, J. & Zang, A. (2012). *Mohr–Coulomb Failure Criterion*, researchgate.
https://www.researchgate.net/publication/257445185_Mohr-Coulomb_Failure_Criterion
- Lann, T., Bao H., Lan, H., Zheng, H., Yan C. & Peng, J. (2024), *Hydro-mechanical effects of vegetation on slope stability*, Science of The Total Environment, Volym

- (926).
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969724018333?via%3Dihub>
- Larsson, R. (2008). *Jords egenskaper*, SGI.
<https://www.sgi.se/globalassets/publikationer/info/pdf/sgi-i1.pdf>
- Li, Y., Wang, Yun., Ma, C., Zhang, H., Wang, Yuj., Song, S. & Zhu, J. (2016). *Influence of the spatial layout of plant roots on slope stability*. Ecological Engineering, volym 91 (477-486).
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857416301306>
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (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/>
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2025). *Ras och skred*,
<https://www.msb.se/sv/amnesomraden/skydd-mot-olyckor-och-farliga-amnen/naturolyckor-och-klimat/skred-ras-och-erosion/>
- Nationalencyklopedin (u.å.a). *anisotropi*, NE Nationalencyklopedin AB
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/anisotropi> [2025-02-28],
- Nationalencyklopedin (u.å.b). *batymetri*. NE Nationalencyklopedin AB.
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/batymetri> [2025-03-09]
- Nationalencyklopedin (u.å.c). *växelverkan*. NE Nationalencyklopedin AB
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/article/vaxelverkan> [2025-03-10]
- Naturvardsverket (2024). *Mikroplast*, naturvardsverket.
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/plast/om-plast/mikroplast/>
- Nomleni, I., Hung, W-Y. & Soegianto, D (2023). *Dynamic performance of root-reinforced slopes by centrifuge modeling tests*, <https://rdcu.be/d71IT>
- O'Loughlin, C. (1974). *THE EFFECT OF TIMBER REMOVAL ON THE STABILITY OF FOREST SOILS*, Journal of hydrology (volym 13/2), 121-134.
<https://www.jstor.org/stable/43944309>
- Ottosson, E. (2024). *Slutnotan för skredet på E6 i Stenungsund: En Halv miljard*, SVT nyheter,
<https://www.svt.se/nyheter/lokalt/vast/slutnotan-for-skredet-pa-e6-550-miljoner-kronor>
 [2025-01-29]
- Preti, F. (2012). *Forest protection and protection forest: Tree root degradation over hydrological shallow landslides triggering*, Ecological Engineering (633-645).
- PBL KUNSKAPSBANKEN (2020), *Ras och skred*, Boverket,

- https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/lansstyrelsens-tillsyn/tillsynsvagledning_naturoluckykor/sakerhetsfragor/ras/ [2025-02-10]
- Rankka, K. (2005). *Vegetation som förstärkningsmetod, etapp 2*, Statens Geotekniska Institut. <https://www.sgi.se/globalassets/publikationer/varia/pdf/sgi-v552.pdf>
- Risberg, A. (2022). *Bilaga till rapport 15SV737 Skyfallsmodellering för Stockholms stad*, WSP, Miljöbarometern, <https://miljobarometern.stockholm.se/content/docs/tema/klimat/skyfall/skyfallsmodellering/Bilaga-D-Framtagande-av-r%C3%A5hetstal-f%C3%B6r-olika-markanv%C3%A4ndningar-WSP.pdf>
- Skogskunskap (2024). *Erosion*, <https://www.skogskunskap.se/vagar-i-skogen/vagbyggnadsteknik/geoteknik-och-hydrologi---en-overkurs/erosion/> [2025-02-20]
- Sveriges arkitekter (u.å). *Att bli och vara landskapsarkitekt*, Sveriges arkitekter, <https://www.arkitekt.se/din-karriar/bli-arkitekt/arkitektutbildning/att-bli-och-vara-landskapsarkitekt/> [2025-05-04]
- Sveriges geologiska undersökning (2020a). *Erosion*. <https://www.sgu.se/om-geologi/jord/fran-istid-till-nutid/erosion-och-igenvaxning/erosion/>
- Sveriges geologiska undersökning (2020b). *Jord*, <https://www.sgu.se/om-geologi/jord/>
- Sveriges geologiska undersökning (2023). *Skred och ras*, <https://www.sgu.se/samhallsplanering/risker/skred-och-ras/>
- SLU bibliotek (u.å.a). *Databaser efter ämne*, Sveriges lantbruksuniversitet, https://slu.primo.exlibrisgroup.com/discovery/dbsearch?query=contains,dbcATEGORY.&tab=jsearch_slot&sortby=title&vid=46SLUB_INST:SLUB_V1&lang=sv&offset=20&databases=category,All
- Sveriges lantbruksuniversitet (u.å.b). *Landskapsarkitekt – Uppsala*, Sveriges lantbruksuniversitet. <https://www.slu.se/utbildning/program-kurser/program-pa-grundniva/landskapsarkitekt-ultuna/>
- Svenskt Vatten (2024). *Ökad och mer intensiv nederbörd att vänta*, <https://www.svensktvatten.se/om-oss/nyheter-och-press/nyheter/okad-och-mer-intensiv-nederbord-att-vanta/>
- Svenskt vatten (2019). *Avledning av dag-, drän- och spillvatten*, Svenskt vatten, publikation P110, ISSN 1651-4947.
- Statens Geotekniska Institut (2019). *Grundläggande fakta om geoteknik och miljögeoteknik*, <https://www.sgi.se/sv/Forskning--larande/om-geoteknik-och-miljogeoteknik/>
- Statens Geotekniska Institut (2024). *Jordförstärkning*. <https://www.sgi.se/sv/vagledning-i-arbetet/grundlaggning-och-forstarkning/jordforstarkning/>
- Statens Geotekniska Institut (2023a). *Jords hållfasthet*. <https://swedgeo.se/sv/Forskning--larande/om-geoteknik-och-miljogeoteknik/geoteknik-och-markmiljo/jordmateriallara/skjuvhallfasthet/>

- Statens Geotekniska Institut (2023b). *Jords tekniska egenskaper*,
<https://www.sgi.se/sv/Forskning--larande/om-geoteknik-och-miljogeoteknik/geoteknik-och-markmiljo/jordmateriallara/jords-tekniska-egenskaper/>
- Statens Geotekniska Institut (2023c). *Utredning av släntstabilitet*, vägledning 8, utgåva 1,
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1743423/FULLTEXT06.pdf>
- Stockholmsstad (2025), Växtbäddar. <https://parker.stockholm/vaxter-djur/trad/vaxtbaddar/>
- Stencompagniet (u.å). *Geonät / Jordarmeringsnät*, stencompagniet.
<https://stencompagniet.se/produkt/geonat-jordarmeringsnat-blockmurar/>
- Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut & Svenskt vatten (2020).
Nederbördsstatistik för dimensionering av dagvattensystem – "State of the Art",
https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.159923!/State%20of%20the%20Art-2020-0311_GS.pdf
- Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (u.å). *Statistik för extrema korttidsregn – skyfall*, <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/skyfall-och-hagel/statistik-for-extrema-korttidsregn---skyfall> [2025-03-11]
- Steinacher, R., Medicus, G., Fellin, W. & Zangerl, C. (2009). *The Influence of Deforestation on Slope (In-) Stability*, Austrian Journal of Earth Sciences (102/2), 90-99.
https://ajes.at/images/AJES/archive/Band%20102_2/steinacher_et_al_ajes_v102_2.pdf
- Trafikverket (2023). *Överbyggnad väg, Dimensionering och utformning*, Trafikverket.
https://puben.trafikverket.se/dpub/api/v1/Dokument/DownloadDokument?id=5561b138-1389-4b16-b550-6e341985f6b8&dokumentName=Krav%20TRVINFRA-00224%20Everbyggnad%20vaeg,%20Dim%20v4_0.pdf
- world weather attribution (2024). *Rapid urbanisation and climate change key drivers of dramatic flood impacts in Nepal*. <https://www.worldweatherattribution.org/rapid-urbanisation-and-climate-change-key-drivers-of-dramatic-flood-impacts-in-nepal/>
- Ziemer, R.R (1981). *Roots and the stability of forested slopes*, Forest Service, U.S. Dept. of Agric. <https://www.fs.usda.gov/psw/publications/ziemer/ZiemerIAHS.PDF>

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU kan publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver i sådana fall godkänna publiceringen. I samband med att du godkänner publicering kommer SLU även att behandla dina personuppgifter (namn) för att göra arbetet sökbart på internet. Du kan närsomhelst återkalla ditt godkännande genom att kontakta biblioteket.

Även om du väljer att inte publicera arbetet eller återkallar ditt godkännande så kommer det arkiveras digitalt enligt arkivlagstiftningen.

Du hittar länkar till SLU:s publiceringsavtal och SLU:s behandling av personuppgifter och dina rättigheter på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>

☒ JA, jag, Niklas Flygare har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

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