

Slå rot – och väx upp

eller

Vegetation som förstärkningsmetod

Litteraturstudie

Datum: 2002-03-01
Diariennr: 1-0103-0164
Projektnr: 10869
Projektledare: Karin Rannka



Förord

Under 2001 har ett projekt drivits med titeln ”Vegetation som förstärkningsmetod, etapp 1”. Projektet har behandlat möjligheter att stabilisera jordslänter med hjälp av vegetation. Syftena med projektet har varit att inhämta och sammanställa kunskap om ingenjörbiologiska metoder, att värdera möjligheten att använda metoderna i Sverige samt att studera och värdera de existerande beräkningsmetoderna. Projektet har bedrivits genom en litteraturstudie och personliga kontakter. Projektet har sammanställts i föreliggande rapport.

Projektet har inte behandlat växters möjlighet att förhindra erosion av strömmande vatten i vattendrag.

Projektet har genomförts av Karin Rankka, Statens geotekniska institut, med stöd av en referensgrupp bestående av Rolf Larsson, Statens geotekniska institut, Margareta Nisser, Statens Räddningsverk, Barbro Näslund-Landenmark, Statens Räddningsverk, Kaj Rolf, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp, och Mikael Ånäs, Vägverket Region Mitt

Projektet har finansierats av Statens Räddningsverk. Karin Rankka är författare till rapporten och Jan Lindgren, SGI, har svarat för redigering och layout.

Innehållsförteckning

Förord	3
Abstract	7
Sammanfattning	9
1 Inledning och bakgrund	11
2 Lämpliga växter och deras egenskaper och funktionssätt	13
2.1 Introduktion	13
2.2 Lämpliga växter	14
2.3 Kunskap i Sverige om för ingenjörbiologiska metoder relevanta växter	18
Växtetablering på störda marker – särskilt på deponier för gruvavfall	18
Ny vegetation efter grustäkt	18
Personliga kontakter	19
Etablering av naturlig vegetation på erosionskänsliga jordar och i kärva klimat	19
2.4 Etablering av växter	20
Fröspridning	20
Utplantering av framodlade växter	21
Sticklingmetoden	22
2.5 Markberedning och skötsel	22
2.6 Rotsystem	25
Adventivrötter	27
3 Fysikaliska effekter av vegetation	28
3.1 Vatten	28
Ytvatten	28
Vatten i jord	29
3.2 Jordförstärkning med rötter	30
3.3 Förankring, valvbildning och stödpelare	34
3.4 Överlast och vindlast	34
3.5 Jordens hållfasthet	35
4 Beräkningsmetoder	38
4.1 Beräkningsmetoder utan hänsyn till vegetation	38
Allmänt	38
Plana glidytor	38
Lamellmetoder – cirkulär cylindriska och sammansatta glidytor	39

4.2	Modifiering av beräkningsmetoder med hänsyn till vegetation	41
	Plana glidytor	41
	Lamellmetoder – cirkulär cylindriska och sammansatta glidytor	42
	Vegetationens inverkan på säkerhetsfaktor	42
5	Byggmetoder för slänter	44
5.1	Markskyddande metoder	45
5.2	Stabiliserande metoder	48
	Sticklingmetoden	48
	Faskiner	49
	Flätverk	52
	Lagermetoder	53
5.3	Kombinerade metoder	56
	Bevuxna gabioner	56
	Trästockar	57
	Bevuxna murar med erosionsmattor	58
	Betong	58
6	Försöksanläggningen ”Longham Wood Cutting”	59
6.1	Bakgrund och syfte med anläggningen	59
6.2	Beskrivning av anläggningen	60
6.3	Instrumentering och mätning	62
	Mätning av hydrologiska faktorer	63
	Mätning av geotekniska egenskaper	63
6.4	Resultat	63
7	Referenser	65
Bilaga 1	Anpassning av Bishops metod för att ta hänsyn till effekter av vegetation	70
Bilaga 2	Beräkningsmetoder prövas på befintlig slänt i Näsåker	70

Vegetation as means for slope stabilisation

– A literature survey

Abstract

This report is the result of a literature survey and personal contacts taken within a project titled “Vegetation as means for slope stabilisation”. The aims of the project have been to provide a survey of the present knowledge of bioengineering methods as means for slope stabilisation, to evaluate the possibility to use the methods in Sweden and also to evaluate the existing methods of slope stability analysis of a vegetated slope.

The knowledge and experience of bioengineering methods in Sweden is limited. In contrast, the knowledge and experience abroad is good. Many different bioengineering techniques have been developed and plants with good bioengineering properties have been proposed.

The vegetation influences the soil both with hydrological and mechanical effects. Among the hydrological effects are the reduction in rainwater reaching the ground level and the water uptake by the roots. Among the mechanical effects are the reinforcement of the soil by roots, the surcharge and the wind loading.

How much the vegetation influences the safety factor for a slope is still difficult to estimate. The uncertainties in the involved parameters are still large and the knowledge of how to take them into account is not sufficient.

The main part of the report deals with the following subjects:

- 1) Suitable plants and establishing methods and how to make ground preparations
- 2) Physical effects of vegetation
- 3) Method of stability analysis
- 4) Bioengineering methods

Sammanfattning

Denna rapport ger en överblick över kunskapsläget när det gäller möjligheten att förstärka jordslänter med ingenjörbiologiska metoder. Med förstärkning menas metoder att öka jordslänters förmåga att stå emot erosion och ytliga jordskred. Rapporten behandlar däremot inte växters möjlighet att förhindra erosion av strömmande vatten i vattendrag.

Denna studie är gjord främst med tanke på de problem med skred och ras som varje år uppstår i de branta silt- och sandslänterna längs norrlandsälvarna, men de beskrivna metoderna är i stort sett användbara i alla slänter. Viktigt är dock att man väljer rätt växtarter beroende på bland annat klimat, jordens näringsinnehåll och vattentillgång och rätt byggmetod beroende på problemets art.

Intresset i Sverige för användning av ingenjörbiologiska metoder som förstärkning av slänter är stort men kunskapen och erfarenheten är begränsad. På Sveriges Lantbruksuniversitet i Alnarp finns kunskap om byggmetoder och man har gjort en sammanställning över lämpliga växter som finns naturligt i Sverige. Sammanställningen baseras på utländska erfarenheter. I samband med iordningställandet av gamla grustäckter och gruvavfallsupplag har studier gjorts av växtetablering. Sammanställningar finns över lämpliga gräsarter för detta ändamål och hur miljö och klimat påverkar etablering och val av växter i dessa miljöer.

Utomlands har forskning om ingenjörbiologiska metoder bedrivits under lång tid. Stor erfarenhet av utförda projekt finns i bland annat Tyskland, Österrike, Storbritannien och USA. Flera byggmetoder och listor över växter lämpliga i olika klimat och syften finns framtagna.

Växter påverkar slänters stabilitet på flera olika sätt. De motverkar erosion genom att binda jordpartiklar, uppta regndroppar och minska regnvattens avrinningshastighet. Vedartad växtlighet med mer djupt liggande rötter ger skydd mot ytliga massrörelser. Rötterna fungerar då som en armering av jorden. Jordens hållfasthet ökar också genom att växtlighetens transpiration minskar vatteninnehållet i jorden.

Växternas rotsystem är av speciellt intresse i ingenjörbiologiska insatser. Hur väl marken förankras beror på växtens rotform, rotmängd och tjocklek på genomrotningen (Svensson, 1991). Rötternas utveckling styrs framförallt av marktemperatur, tillgång på vatten, näring, utrymme och syre. Olika rotsystem beskrivs i rapporten.

Studier har gjorts av rottrådars draghållfasthet, påverkan av vegetationens egenvikt, vindlast och växters påverkan på vatteninnehållet i jorden. Osäkerheten i de ingående parametrarna och osäkerheten i hur man skall ta hän-

syn till alla effekter är dock stor. För att kunna utföra en beräkning av växternas effekt på stabiliteten fordras således mer kunskap än den som finns idag. Förslag finns på hur beräkningar som tar hänsyn till växternas effekter kan göras. I rapporten beskrivs dessa förslag och ett exempel på en beräkning med hänsyn till inverkan av vegetation ges för en slänt längs Ångermanälven.

Vid en försöksanläggning i Storbritannien (Kapitel 8) studerades vilken effekt växtlighet hade på jordens skjuvhållfasthet, vatteninnehåll, portryck och sugkrafter. Resultaten visade att det, av de studerade faktorerna, endast var draghållfastheten i rötterna som kunde betraktas som tillförlitlig fem år efter det att växter hade etablerats. Dessutom visade resultaten att växtlighetens rötter ökade skjuvhållfastheten i jorden.

I rapporten beskrivs tre olika sätt att etablera växter; frösådd, plantering av framodlade växter och sticklingmetoden. Sticklingmetoden innebär att man direkt i jorden sticker ner avskurna växtdelar av sådant växtmaterial som själv kan bilda rötter och utvecklas till en ny planta. Denna metod används utomlands mycket flitigt för ingenjörsmässiga arbeten eftersom den snabbt ger ett effektivt rotsystem.

En beskrivning av byggmetoder ges också i rapporten. I beskrivningen görs en uppdelning i metoder som ger markskyddande effekt, metoder som stabiliserar på djupet och metoder som kombinerar växtmaterial och något annat konstruktionsmaterial såsom betong, trästockar eller stålnät.

Nyckelord: ingenjörsmässiga, släntstabilitet, stabilisering, jordförstärkning, erosion

1 Inledning och bakgrund

Inledning

Denna rapport ger en överblick över kunskapsläget när det gäller möjligheten att förstärka jordslänter med ingenjörbiologiska metoder. Med förstärkning avses metoder att öka slänters förmåga att stå emot erosion och ytliga jordskred.

Rapporten vänder sig främst till geotekniker men även till andra personer som kommer i kontakt med problem med ytliga massrörelser i slänter såsom beställare i kommuner, Vägverk och Banverk.

Rapporten är uppdelad på följande vis.

- 1) En beskrivning av **lämpliga växter** och hur man på olika sätt kan etablera dem i slänter. Markberedning och skötsel av växter tas också upp. Olika rotsystem och vad som påverkar rötternas tillväxt beskrivs.
- 2) En beskrivning av vilka **fysikaliska effekter** vegetation medför i en slänt. De fysikaliska effekter som tas upp är vatten, jordförstärkning, förankring, valvbildning, överlast och vindlast.
- 3) Olika metoder att **beräkna en slänts stabilitet** utan respektive med hänsyn till inverkan av vegetation beskrivs. Ett exempel på en beräkning med hänsyn till inverkan av vegetation ges för en slänt längs Ångermanälven.
- 4) En beskrivning av **ingenjörbiologiska byggmetoder**. I beskrivningen görs en uppdelning i metoder som ger markskyddande effekt, metoder som stabiliserar på djupet och metoder som använder både växtmaterial och något konstruktionsmaterial såsom betong, trästockar eller stålnät.
- 5) En beskrivning av en **försöksanläggning** i Storbritannien. En sammanfattning av resultaten från anläggningen ges också.

Bakgrund

Relativt branta slänter i silt- och sandområden utgör en del av de områden i Sverige som har förutsättningar för skred/ras. I de skarporna längs norrlandsälvarna sker årligen skred som får mer eller mindre allvarliga konsekvenser. Skred i dessa jordarter är vanligtvis relativt ytliga. Vid beräkning av slänternas stabilitet fås ofta mycket låga säkerhetsfaktorer, ibland till och med värden under 1, även för slänter som inte rasat. Anledningen till att slänterna ändå är stabila kan bland annat bero på att inverkan av vegetationen och negativa portryck ej medräknats. Under de senare åren har forskning bedrivits av exempelvis Öberg (1997) för att öka förståelsen för egen-

skaper hos jorden i den omättade zonen och för inverkan av negativa portryck.

Vegetationen påverkar i huvudsak de ytliga jordlagren. Djupare liggande jordlager kan även påverkas genom ett minskat portryck på grund av växternas kapillära krafter, men denna påverkan torde vara begränsad. Skred längs ytliga glidytor kan anta någon av följande former; rotationskred, translationsrörelse av kilformiga block eller blockskred, slamström, successiv förskjutning eller bakåtgripande translationskred (Coppin och Richards, 1990). Rotationskreden kan följa glidytor med cirkulära eller sammansatta former. Den utlösande faktorn vid många skred är kraftiga regn som höjer grundvattenytan/portrycket och minskar zonen med negativa portryck. Kraftiga regn ger också ofta problem med yterrosion som i sin tur kan orsaka skred. I samband med tjällossning kan ytliga rörelser inträffa.

Stabilitetsanalyser i sand- och siltslänter baseras på effektiva spänningar. För djupare glidytor i finkornig silt kan också odränerad skjuvhållfasthet bli partiellt dimensionerande.

2 Lämpliga växter och deras egenskaper och funktionssätt

2.1 Introduktion

I Sverige finns ett stort intresse för ingenjörbiologiska metoder, men kunskapen är begränsad. Ingenjörbiologiska metoder innebär att man på olika sätt använder sig av levande växtmaterial eller en kombination av levande och dött växtmaterial som byggmaterial (Svensson, 1991). Vid användning av dessa metoder för släntstabilitet vill man ta upp och avleda krafter i slänten. I Engineering Field Handbook (USDA, 1992) anger man följande sätt genom vilka gräs- och örtvegetation motverkar erosion:

- Bindning av jordpartiklar
- Minskning av sedimenttransporten
- Upptagning av regndroppar
- Minskning av avrinningshastigheten
- Ökning av infiltrationskapaciteten
- Minskning av antalet gånger som jorden utsätts för frysning och upptining

I samma skrift anger man att vedartad växtlighet med mer djupt liggande rötter ger skydd mot ytliga massrörelser genom:

- Ökning av jordens hållfasthet på grund av rottrådar
- Minskning av vatteninnehållet i jorden genom upptagning och transpiration
- Förankring genom rotmassor som verkar som pelare och valvbildning mellan strävpelare av rotmassor

Vegetationen minskar även hastigheten på regndroppar som når markytan och därigenom den energi som kan lösgöra jord. Dessutom skuggar vegetation markytan vilket motverkar torrsprickor som kan möjliggöra djup penetrering av regnvatten.

På vilket sätt detta påverkar jordens mekaniska egenskaper tas upp i Kapitel 3.

2.2 Lämpliga växter

Innan man väljer växter för slänten är det av största vikt att man noga känner växtplatsen (ståndorten) där anläggningen skall etableras, samt att man noga tänker igenom vilken effekt som eftersträvas. Svensson (1991) påpekar vikten av att växtplatsens olika egenskaper som jordart, näringshalt, markfuktighet, naturlig vegetation, temperatur- och ljusförhållanden alltid måste undersökas innan man väljer växter. Ledin (1999) skriver att klimatet har en övergripande betydelse för vilka växter som kan fungera på en plats och därefter är det marken – växtrötternas miljö- som inverkar starkt på växterna. En bra regel är att i första hand välja några av de växter som redan naturligt finns i ståndorten eftersom man säkert vet att de trivs på platsen. Det är en fördel att välja flera olika typer av växter eftersom detta ökar möjligheten att få en bredare effekt av anläggningen.

Ledin (1999) skriver att växtens läge i slänten (uppe eller nere) samt släntens läge i terrängen (söder, norr, nere i dalgång, uppe på höjd) också spelar roll för vilka växter som passar. I de nedre delarna av en slänt finns mer vatten tillgängligt för växterna än vad det gör i de övre delarna. Det innebär att olika växter kommer att trivas upp och nere i slänten. Risken för frost är olika i olika lägen i terrängen. Liten frostrisk är det där kallluften kan ”rinna bort”, såsom från kullar och i sluttningar (Ledin, 1999).

För ingenjörbiologiska metoder lämpar sig gräs (stråväxter), örtartade växter samt träd- och buskarter (vedartade växter). I *Engineering Handbook* (USDA, 1992) anges att gruppen gräs- och örtväxter ger långvarigt skydd mot yterrosion (vind och regn) medan gruppen träd- och buskarter ger ett mer djupverkande skydd mot massrörelser. I det flesta fall krävs en kombination av olika arter från båda grupperna för att man slutligen ska erhålla ett tillräckligt gott skydd i slänten. I allmänhet rekommenderas att växtetablering inleds med gräs och baljväxter (Ledin 1999). Detta för att dessa täcker marken och hindrar omedelbar erosion. Rolf (2002) menar att man inom ingenjörbiologin istället etablerar vedartade växter först och därefter gräs och örter eftersom en etablerad grässvål kan försvåra etableringen av vedartade sticklingar och konkurrera med dessa.

Svensson (1991) påpekar att man skall vara observant på att förhållandet mellan trädens rot och krona blir mer ogynnsamt ju äldre trädet blir. Gamla träd med stor och tung krona löper stor risk för stormfällning med uppdragning av rotsystemet och blottläggning av marken som följd.

De arter som används som levande växtmaterial måste bland annat kunna stå emot mekanisk påverkan (Svensson. 1991). Mekanisk påverkan kan vara uppfyllnad och blottläggning, snöbelastning, slagregn och körskador. De är bra om växtmaterialet dessutom bildar stor rotmassa, tål både väta och torka och att det kan förökas vegetativt.

Flera sammanställningar av lämpliga växter i olika ingenjörsmatologiska sammanhang finns i den utländska litteraturen, bland annat Schiechtel och Stern (1996), Coppin och Richards (1990), USDA (1992), Gray och Sotir (1996) samt Begemann och Schiechtel (1994). Vid Sveriges lantbruksuniversitet i Alnarp har sammanställningar gjorts av Piga (1996) och Svensson (1991) över träd och buskar som kan antas vara lämpliga för svenska förhållanden. Dessa är baserade på sammanställningarna av försök gjorda utomlands av bland annat Schiechtel och Stern (1994). Sammanställningarna, med vissa justeringar och kompletteringar främst från Schiechtel och Stern (1996), återges i Tabell 1 och Tabell 2.

Någon sammanställning över gräs- och örtväxter lämpliga i ingenjörsmatologiska sammanhang som passar i de svenska förhållandena har inte påträffats. Däremot har studier av revegetering av grustäkter och gruvavfall gjorts av bland andra Borgegård et al (1980) och Ledin (1999), se Kapitel 2.3. Clemensson-Lindell et al (1992) har i en litteraturstudie studerat revegetering av gruvavfall och dess effekt på planttillväxt och rotutveckling.

I Tyskland har man normer som behandlar stabilisering av ytor med hjälp av ingenjörsmatologiska metoder. I normen DIN 18918 (1990) görs en klassning av den aktuella ytan med hänsyn till jordens egenskaper, klimat och erosionsrisk vilken sedan ligger till grund för vilken typ av åtgärder som krävs. Normen reglerar bland annat krav på frön, plantor och sticklingar. Dessutom regleras byggmetoder för levande växtmaterial och kombinerade metoder. Vilka växter som passar på olika höjder och vid olika jordmåner finns också beskrivet. Allt är inte direkt överförbart till svenska förhållanden eftersom jordmån och klimat skiljer sig åt och därmed även den naturliga floran.

I Storbritannien har man också studerat ingenjörsmatologiska metoder för att förstärka slänter under flera år. Även där är kunskapen om vilka växter som passar tämligen väl dokumenterad. I ”Use of vegetation in civil engineering” (Coppin och Richards, 1990) finns flera lämpliga gräs, örter, buskar och träd upptagna. Där beskrivs vilken typ av funktionssätt de olika växterna kan ha; markskydd, ytlig förstärkning, djup förstärkning, valvbildning och upptagning av markvatten.

I USA finns bland annat Engineering Field Handbook (USDN, 1992) där ett 50-tal lämpliga växter finns upptagna. I denna bok beskrivs i vilket väderstreck växterna trivs, vilken rottyp de utbildar, hur vanliga de är, deras växtsätt, deras förmåga att bilda rötter från avklippta grenar samt deras tålighet mot uppfyllnad, stående vatten och salt.

Vägverket reglerar i ATB VÄG (2000) konstruktiv utformning av erosionskydd. Rekommenderat skydd mot jordflytning och ytvatten beror av jordart, slänthöjd, släntlutning, grundvattennivå, klimatzon och vilken typ av slänt det gäller; skärnings- eller fyllningslänt. Erosionskyddet kan utgöras av växtmaterial eller av grus. Som växtmaterial rekommenderas en gräsfröblandning bestående av:

35 % Rödsvingel med långa utlöpare
 15 % Rödsvingel med korta utlöpare (salttolerant)
 10 % Rödsvingel tätuvad
 20 % Ängsgröe
 10 % Hårdsvingel
 5 % Rödven
 5 % Turftimotej.
 Som lämplig frö mängd anges 1,4 kg per 100 m²

Tabell 1. Träd lämpliga i ingenjörbiologiska sammanhang. Källor Piga (1996), Svensson (1991), Schiechl och Stern (1996), Fitter, Fitter och Blamey (1983) samt Coppin och Richards (1990).

Träd Art	Tål över- svämning och tillfälligt stående vatten	Stark adventiv- rotsbild- ning, tål upp- fyllnad	Kan förökas med stick- lingar	Salt- tålighet	Rotsystem	Växthöjd (m)
<i>Acer platanoides</i> Lönn				Medel	Djupt	
<i>Betula pendula</i> Vårtbjörk	X				Intensivt, ytligt	30
<i>Carpinus betulus</i> Avenbok	X	X		Låg		20
<i>Fraxinus excelsior</i> Ask	X	X		Medel	Djupt, tåligt, omfattande	30
<i>Populus alba</i> Silverpoppel	X	X		Hög	Omfattande, djupt	
<i>Populus nigra</i> Svartpoppel	X	X	X	Låg	Omfattande, djupt	30
<i>Populus tremula</i> Asp	X	X		Hög	Omfattande, djupt	20
<i>Prunus padus</i> Hägg	X				Tåligt, omfattande	8
<i>Quercus robur</i> Sommarek				Hög		Upp till 37
<i>Quercus petraea</i> Bergek				Hög		
<i>Salix alba</i> Vitpil	X	X	X	Medel		
<i>Salix daphnoides</i> Daggvide		X	X			5
<i>Salix fragilis</i> Knäckepil	X	X	X			10
<i>Salix pentandra</i> Jolster	X	X	X			4
<i>Salix rubens</i> Grönpil			X			
<i>Sorbus aria</i> Vitoxel		X			Djupt	20
<i>Sorbus aucuparia</i> Rönn		X			Djupt vid djupa jordlager	8
<i>Ulmus minor</i> Lundalm		X				

Tabell 2. Buskar lämpliga i ingenjörbiologiska sammanhang. Källor: Piga (1996), Svensson (1991), Schiechl och Stern (1996), Fitter, Fitter och Blamey (1983) samt Coppin och Richards (1990).

Buskar Art	Tål över- svämning och tillfälligt stående vatten	Stark adventiv- rotsbild- ning, tål upp- fyllnad	Kan förökas med stick- lingar	Salt- tålighet	Rotsystem	Växthöjd (m)
<i>Alnus viridis</i> Björkal		X			Ytligt	0
<i>Cornus mas</i> Körbärskornell		X		Låg	Utspritt, tåligt	
<i>Cornus sanguinea</i> Skogkornell		X		Låg	Utspritt, tåligt	2
<i>Crataegus monogyna</i> - Trubbhagtorn		X			Djupt	3
<i>Euonymus europaeus</i> - Bened		X		Hög	Omfattande	2
<i>Hippophae rhamnoides</i> - Havtorn		X		Hög	Rotskott lätt	1
<i>Ligustrum vulgare</i> Liguster		X	X	Medel	Omfattande, utlöpare	1,5
<i>Lonicera xylosteum</i> Skogstry		X		Hög	Ytligt	2
<i>Salix aurita</i> Bindvide			X			1
<i>Salix cinerea</i> Gråvide	X	X	X			2
<i>Salix daphnoides</i> Daggvide		X	X			5
<i>Salix eleagnos</i> Lavendelvide		X	X			3
<i>Salix purpurea</i> Rödvide	X	X	X	Medel		<6
<i>Salix repens</i> Krypvide		X				4
<i>Salix triandra</i> Mandelvide		X	X			4
<i>Salix viminalis</i> Korgvide		X	X	Medel		3
<i>Sambucus racemosa</i> - Druvfläder		X		Låg		5
<i>Viburnum opulus</i> Skogsolvon		X		Medel		3

Alnus glutinosa (Klibbal), *Alnus incana* (Gråal) och *Salix caprea* (Sålg) var med i Piga (1996) sammanställning men Schiechl och Stern (1996) anser att de inte kan rekommenderas för tillfället på grund av att de visat varierande resultat.

2.3 Kunskap i Sverige om för ingenjörsbio-logiska metoder relevanta växter

”Växtetablering på störda marker – särskilt på deponier för gruvavfall”

Ledin (1999) har i rapporten ”Växtetablering på störda marker – särskilt på deponier för gruvavfall” gjort en kunskapsöversikt som gäller erfarenheter beträffande framgångsrik växtetablering bland annat på sandmagasin och gråbergssupplag. I rapporten ges bland annat råd vid växtval, växtetablering och skötsel. En utförlig beskrivning av flera gräsarter, några lövträd och buskar samt tall och gran ges också. Olika gräsarter lämpliga för revegetering på gruvavfall beskrivs. Rödsvingel (*Festuca rubra*), rödven (*Agrostis capillaris*) och krypven (*Agrostis stolonifera*) anses vara lämpliga. Av dessa anges att rödsvingel bör vara dominerande. Beroende på markens fuktighet bör olika växter ingå i gräsblandningen. På mycket torrt och magert plats passar hårdsvingel (*Festuca trachyphylla*), på alla torra marker passar fårsvingel (*Festuca oviona*) och brunven (*Agrostis canina*). Är platsen istället fuktig tillförs ängsgröe (*Poa pratensis*), vitgröe (*Poa annua*) och i Svealand och Götaland passar också rajgräs (*Lolium perenne*).

”Ny vegetation efter grustäkt”

Borgegård (1980) beskriver i rapporten ”Ny vegetation efter grustäkt” hur efterbehandling av grustäkter bör utföras. I rapporten beskrivs bland annat hur man utformar slänter och täktbottnar, samt hur man markbehandlar, gödslar och väljer lämplig vegetation. Arter som behandlas är främst olika gräsarter och några örtarter.

I rapporten tas även upp vikten av att välja arter beroende på var i slänten de skall växa och åt vilket väderstreck slänten är riktad. Författarna menar att ett barklager på markyta är en bra markbehandlingsmetod. Detta därför att barken ökar markens vattenhållande förmåga och samtidigt minskar både vind- och vattenerosionen. Barken bör vara välhumifierad.

Följande är ett kort referat av delar av rapporten.

Rödven, fårsvingel, rödsvingel och ängsgröe är de gräs som är mest lämpade för sådd i avslutade täkter. Rödsvingel etablerar sig mycket snabbt och sprider sig med underjordiska krypskott vilket gör att den är användbar som erosionsskydd. Rolf (2002) påpekar att det i vanliga gräsfröblandningar på marknaden finns sorter av rödsvingel både med och utan utlöpare. Det är bäst att så gräs och örter på sensommaren och hösten men om man är tvungen att så på våren för att undvika erosion, bör man göra det så snart som möjligt efter snösmältningen. I östra Sverige är det stor risk för försommartorka och gräset måste hinna etablera sig innan torkan eventuellt kommer.

Eventuellt kan man behöva gödsla marken i täktområdet. Det är dock viktigt att inte gödsla för mycket av tre skäl:

- 1) Generös gödsling kan få vegetationen att tillväxa för kraftigt, så att den blir mycket känslig för torka.
- 2) Jonkoncentrationen i markvätskan kan bli för hög, vilket medför att växtligheten dör.
- 3) Genom en stor urlakning, främst av kväve, finns det risk för att grundvattnet tar skada.

Gödsling bör ske två veckor efter sådden och kanske ytterligare någon eller några gånger under den första vegetationsperioden. Om man sår en yta på sensommaren eller hösten bör gödslingen äga rum först våren därpå.

Personliga kontakter

Kerstin Huss Danell, professor på institutionen för Norrländsk jordbruksvetenskap vid Umeå universitet leder forskning om kvävefixerande växter. Hon har en medarbetare från Italien som studerar möjligheten att etablera Havtorn, *Hippiphae rhamnoides*, som erosionskydd i mycket näringsfattiga lerslänter i Italien. Havtorn är en kvävefixerande växt och kan därför växa på näringsfattig jord. Studierna har inriktas på den kvävefixerande processen. Huss Danell har även studerat al och menar att Gråal, *Alnus incana*, har en bred växtmiljö, etablerar sig lätt själv på bara marker där den inte har konkurrens från annan vegetation, har ett flerstammigt växtsätt och att den finns i hela Norrland förutom i fjällvärlden. Däremot tror hon inte att Klibbal, *Alnus glutinosa*, passar i ingenjörsbiologiska sammanhang. (Schiechl och Stern menar dock att ingen dessa arter kan rekommenderas med dagens erfarenheter, se fotnot i Tabell 2).

Kjell Danell, zoökolog vid Umeå universitet, påpekar att flera vilda djur, som älg, rådjur och hare, gärna äter av flera salixarter. Det gäller därför att välja rätt arter så att man inte planterar en viltåker. Ripvide, *Salix glauca*, är en art som inte äts av storvilt. Rönnen är ett viktigt viltfoder inte minst för älg (Ledin, 1999). Enligt Danell finns flera salixarter naturligt i Norrland och etablering med sticklingmetoden fungerar i Norrlands kustområden.

”Etablering av naturlig vegetation på erosionskänsliga jordar och i kärva klimat”

Vägverket utvecklar i samarbete med Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) skötsel av vägkanter. Syftet med denna är att hänsyn skall tas till tekniska krav, biologisk mångfald, ekologiska och estetiska värden vid anläggning av vägslänter. En del av detta arbete är att utveckla nya metoder för erosionskydd. I ett första försök har ett kompostmaterial med bland annat hög cellulosahalt provats, kompletterat med sådd av lin i kombination med ängsfrö (Eriksson et al, 2001). En slänt längs väg 50 norr om Örebro har använts i

försöket som påbörjades sommaren 2001. Resultaten, som finns beskrivna i ”Lägesrapport 2001 för projektet Etablering av naturlig vegetation på erosionskänsliga jordar och i kärva klimat” (Eriksson et al, 2001), visar på en mycket lyckad etablering. Ingen erosion har skett i slänten med kompost, medan däremot erosion har inträffat i en referensyta utan kompost och frösådd.

2.4 Etablering av växter

Högre växter förökar sig naturligt på i huvudsak två olika sätt, nämligen genom fröspridning (könlig fortplantning) eller vegetativt (könlöst) med hjälp av till exempel förökningsknoppar, revor, rotskott och förgrenade jordstammar.

Etablering av växter i slänter sker vanligtvis med hjälp av direkt fröspridning, genom utplantering av i växthus framodlade (från frö eller vegetativt) växter och genom plantering av orotade avskurna växtdelar (sticklingmetoden). De olika etableringssätten beskrivs nedan.

Fröspridning

Det billigaste och enklaste alternativet för etablering av växter är fröspridning.

Coppin och Richards (1990) påpekar att innan fröna har grott är de mycket känsliga för uttorkning och konkurrens. För att skydda fröna kan man exempelvis så dem på en icke slät markyta (då kommer fröna att blåsa ner i håligheter och sprickor), mylla ner dem eller täcka dem med mulches (dock inte för djupt så att de kvävs). Mulches definieras som organiskt eller oorganiskt material som sprids på markytan (Ledin, 1999). Ledin (1999) skriver att höstsådd oftast rekommenderas, men att vårsådd kan fungera om inte en utdragen torrperiod under juni – juli leder till att de späda groddplantorna dör.

Piga (1996) anser att man bör använda icke förädlade arter i ingenjörsbio-logiska sammanhang. De fröblandningar som finns på marknaden bör undvikas eftersom de är förädlade för att passa i gräsmattor och planteringar. De arter som väljs bör ha en stark rottillväxt och liten bladtillväxt. Gräs som får en alltför stor bladmassa är inte önskvärda på grund av att de lätt kväver andra gräs och örter och även konkurrerar ut små träd och buskplantor (Piga, 1996).

Arter som kan etableras med fröspridning är främst en mängd gräs- och örtväxter. Även vissa träd och buskar kan etableras genom fröspridning. Nackdelen med trädfön är den långa tid det tar innan växten blir stor nog att kunna bidra till stabilisering av slänten. Coppin och Richards (1990) menar att trädfön dessutom kräver bättre skyddstäckte (t.ex. mulches eller kultivering), noggrannare etablering och bättre markberedning än vad gräs- och

örtfrön kräver och dessutom är känsligare för konkurrens från annan växtlighet.

Frön kan etableras på flera olika sätt, se bl.a Coppin och Richards (1990), Schiechtl och Stern (1996), Piga (1996) och Svensson (1991). Schiechtl och Stern (1996) beskriver mycket utförligt hur de olika metoderna går till, under vilken del av året de skall utföras, effekter (positiva och negativa) och var de kan användas samt jämför kostnader. Nedan nämns några metoder.

- **Radsåningsmaskin** (jordbrukstyp)
Kräver flack slänt
- **Sprutsådd**
Frön, mulches (för definition se sidan 20), markförbättrande produkter, bindemedel och vatten blandas till en lättflytande gröt som sprutas över slänten via slangar. Fördelen är att man, med hjälp av slangar, kan nå områden som inte är tillgängliga med såmaskiner. Sprutsådd bör göras under regniga perioder eller när det är mulet.
- **Utspridning av frön**
Spridning av frön förhand eller med pneumatiska spridare. Även spridning med helikopter förekommer.
- **Täckning av utspridda frön**
Frön sprids ut. Ovanpå dessa läggs ett skyddande lager av exempelvis klippta hö- eller halmstrån med hjälp av en mekanisk spridare. För att fixera stråttäcket kan en bitumenemulsion sprutas över. Ledin (1999) menar att det mest attraktiva ur miljösynpunkt skulle vara att istället för bitumenemulsion använda sjögräsextrakt eller kort fibrer från skogsindustrin. Mycket små frön kan vara bättre att sprida ut efter det att stråttäcket lagts ut.
- **Hösådd**
Nyslaget hö läggs ut över ytan som skall stabiliseras, eventuellt sprids frön och gödsel ovanpå höet.

Beroende på ståndortens näringsinnehåll krävs olika mängd av gödsel och andra jordförbättrande produkter vid fröspridning.

Utplantering av framodlade växter

Följande är ett referat av mer utförliga beskrivningar av Coppin och Richards (1990) och Coppin och Styles (Morgan och Rickson, 1995).

För utplantering av framodlade växter passar framförallt vedartade växter (buskar och träd) och örtväxter. Utplantering av framodlade växter ger en snabbare genomrotning av marken än vad fröspridning ger, men är dyrare.

Vid utplantering sätts plantan ner i grävda gropar i slänten. Avståndet mellan groparna beror på vilka arter som väljs. Även vid etablering med

plantor bör en mångkultur eftersträvas. Plantor sätts under övergång från växtens viloperiod till växtperiod. Som en generell regel gäller att ju yngre plantan är när den utplanteras desto bättre chans till en kraftfull tillväxt men om den planteras ut för ung kan den slås ut av för hård konkurrens från annan växtlighet. Efter utplantering bör bevattning ske och marken runt plantorna bör täckas med exempelvis bark eller erosionsmattor för minskad konkurrens och ökad näringstillförsel.

Arter som lämpar sig för utplantering i Storbritannien redovisas bland annat i Coppin och Richards (1990). Där beskrivs även vilken typ av effekt de olika arterna kan ge.

Sticklingmetoden

Stickling är en avskuren växtedel som fås att bilda rötter och utvecklas till en ny planta, ett sätt att vegetativt föröka växter (Nationalencyklopedin, 1989). Den vanligaste typen är skottsticklingar som består av en bit stam med blad och som används mest vid förökning av örtartade växter. Andra typer är rotsticklingar (rot av ved- eller örtartad växt), knoppsticklingar och bladsticklingar.

Vid användning av sticklingmetoden i ingenjörbiologiska sammanhang sticks avskurna växtdelar (diameter 3 – 8 cm och 40 – 100 cm långa) direkt ner i marken där de bildar rotsystem. De växter som kan förökas med sticklingmetoden är främst flera salixarter, svartpoppel och liguster. Enligt Bege mann och Schiechl (1994) är sticklingar av vide känsliga för konkurrens under det första året. Rolf (2002) menar att detta gäller alla vedartade sticklingar och att sticklingar därför bör sättas på ytor som saknar kraftig gräsväxt.

Sticklingar används vid olika byggmetoder för slänter vilka beskrivs i Kapitel 5. I Tabell 2 redovisas träd och buskar lämpliga för etablering med sticklingar.

2.5 Markberedning och skötsel

Vilken typ av markberedning en slänt kräver beror förutom på valet av växtart även på de aktuella markförhållanden. Därför är det av vikt att man utför en jordanalys. Analyserna ger svar på eventuella behov av jordförbättrande åtgärder så som gödning (organiskt material, kalk, fosfor, kalium, grüngödslingsgröda), harvning, plöjning och bevattning. Exempel på organiskt material är: olika torvslag, avloppsslam, kompost, bark, flisad ved och sågspån (Ledin, 1999).

Det är dock viktigt att man inte gödslar för mycket (se även Kapitel 2.4). Svensson (1991) skriver följande; ”Man bör vara observant på, att om man på en fattig mineraljord för på en näringsrik matjord, finns det risk att rötter-

na bara genomrotar det rika skiktet och inte tränger ner i den fattiga jorden. Stabiliseringseffekten uteblir då och det finns risk att det påförda matjords-skiktet med planterade växter rutschar ner. Man bör därför bara föra på ett relativt tunt täcke med matjord, 5 – 10 cm räcker vanligtvis.”

Coppin och Richards (1990) skriver att man vid anläggning bör ta största möjliga hänsyn till den på platsen befintliga jorden. Man bör undvika att förstöra den existerande jordstrukturen, det vill säga att packa jorden så att man reducerar vatteninfiltration och hindrar rottillväxt. Dessutom bör man se till att man inte kultiverar matjorden så mycket att man tar död på de naturliga organismerna.

För att få långvarigt stabila slänter som står emot erosionsangrepp har Bege-mann och Schiechl (1994) ställt upp följande fyra punkter med de viktigaste åtgärderna innan etablering av växter kan ske:

- **Avled ytvatten.** Förhindra ytvattnet från att rinna ner över den erosions-skadade ytan eller den nyanlagda slänten. Avledningen sker via ett dike som går från den högsta punkten och ner vid sidan om objektet. I diket läggs ett dränrör och därefter fylls det igen med grus.
- **Tillvarata matjorden** som finns på platsen. Efter utförandet av nödvän-diga stabiliseringsåtgärder kan den läggas på igen och bidra till en snabb vegetationsetablering.
- **Runda av krön och kanter.** Avlägsna underminerade träd och buskar samt berg och jordmassor som hotar att rasa. Med mjukare övergångar får slänten ett naturligare utseende och smälter bättre in i landskapet. Coppin och Richard (1990) menar att skarpa kanter vid släntrön innebär svårigheter för vegetation att etablera sig och erosionen startar ofta i släntrön. Avrundning av skarpa krön är därför viktig.
- **Dränera marken** utmed släntröten för att hålla torrt under byggtiden och för att undvika övertryck i porvattnet i framtiden. Coppin och Richards (1990) beskriver hur man dessutom kan anlägga ett smalt, diagonalt dike någonstans i slänten som samlar upp ytvatten och avleder det ut mot släntens sidor.

Coppin och Richards (1990) skriver att valet av vegetation måste återspegla behovet av att maximera fördelarna och minska de negativa effekterna som vegetationen kan ha på stabiliteten. Beroende på vad man eftersträvar med sin konstruktion väljs lämpliga växter och etableringssätt. Dessutom måste konstruktionen skötas på, för ändamålet, rätt sätt. I Tabell 3 beskrivs hur detta bör göras.

Följande är ett referat av en mer utförlig beskrivning av hur växter etablerade i slänter bör skötas, enligt Svensson (1991).

Bevattning kan behövas tillfälligt, framförallt vid extrem torka i etablerings-stadiet. Vattnar man för mycket finns det dock risk för att rötterna utbildas

Tabell 3. Val, etablering och skötsel av plantor för släntstabilisering (efter Coppin och Richards, 1990. Med tillstånd av CIRIA, London).

Mekanism	Karaktäristiska egenskaper för plantor	Etablering	Skötsel
Jordförstärkning av rötter	Omfattande fintrådigt och förgrenat rotsystem på alla djup; använd en blandning av olika växter. Hög draghållfasthet för enskilda rötter	Plantera tätt för snabb etablering av rotmassa. Undvik gödning eftersom det utvecklar ytliga rötter. Slumpmässig blandning av olika växter ger likformig rotfördelning över området	Tillåt maximal skotttillväxt – beskärning eller klippning reducerad rotmassan. Bibehåll tät placering av plantorna. Bibehåll mångfald och mix av olika plantor
Förankring och valvbildning	Djupt rotsystem, tapprötter Huvudsakligen stora träd	Rätt avstånd med tanke på valvbildning Använd unga plantor vars tapprötter vid omskolning inte tar så stor skada Använd direktsådd av träd	Bibehåll rätt avstånd för valvbildning genom gallring Tillåt träd att växa till full storlek
Rotankare	Djupt rotsystem, tapprötter Vertikal rotororientering	Gödsling på stort djup stimulerar rötter att söka sig neråt	Som ovan
Ytlig matta	Ytliga rötter Förgrenade rötter istället för tapprötter	Tät placering Gödsla ytligt för yttlig rottillväxt	Fortsätt att gödsla
Överlast och vindlast	Inga höga träd Lövfällande arter har under vintern lägre vikt och mindre vindmotstånd Högt rot/skott förhållande	Undvik höga träd i kritiska områden Djup dränering stimulerar djupa rötter	Slyskog reducerar hög växtlighet
Fuktighet i jord	Städsegröna växter bibehåller transpiration hela året om Djupa rötter	Phreatophyter (växter som har mycket långa rötter som sträcker sig ända ner till grundvattenytan) vill ha hög fuktighet och är därför inte lämpliga i torra områden	Bibehåll hög täthet av skott och lövverk och på så sätt erhålls stor transpiration och markskydd
Isolering	Hög täthet av skott och lövverk nära markytan Huvudsakligen gräs och örter		Klipp eller låt djur beta oregelbundet – tillåt dock återväxt före vintern

ogynnsamt. För att förhindra ogräs kan man täcka marken med ett skikt av exempelvis torv, bark eller träflis. Man kan också så in en täckgröda av till exempel ärtväxter som dessutom förbättrar markförhållandena.

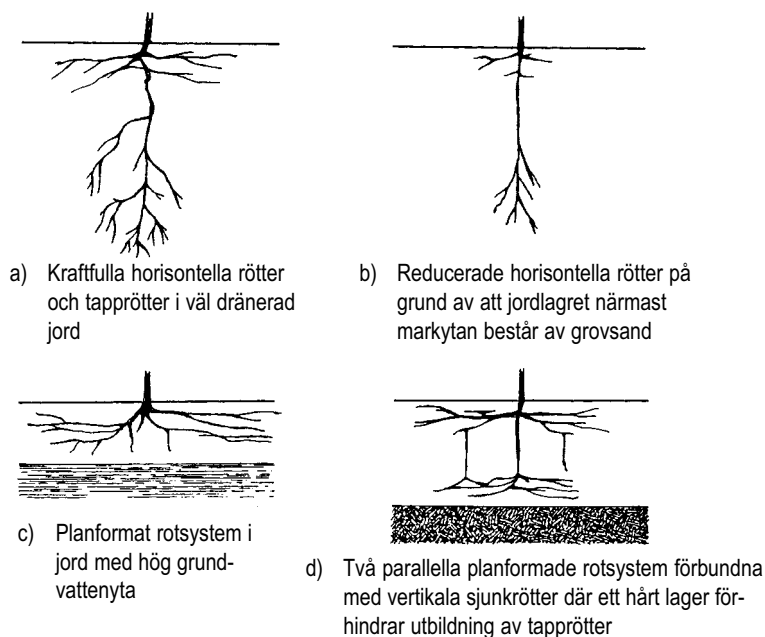
De flesta metoderna bygger på att man använder sig av snabbväxande arter i initialskedet. Dessa planteras tätt och skall snabbt binda och stabilisera marken. För att huvudarterna skall kunna utvecklas ordentligt måste man bereda plats för dem. Därför bör man gallra i beståndet med jämna mellanrum, vart 4–10 år beroende på art. För att ge tillväxt på bredden och förgrening nerifrån bör man skära ner vissa arter första åren efter planteringen. Vissa arter kan man föryngra genom att skära ner dem helt. Ju yngre och mjukare grenarna är, desto bättre kan de motstå mekanisk påverkan.

2.6 Rotsystem

Växtens rotsystem är av speciellt intresse vid ingenjörbiologiska insatser. Rotsystemet har till funktion att huvudsakligen stötta och förankra trädet i jorden, absorbera och leda vatten, absorbera och leda näringsämnen nödvändiga för tillväxt samt att lagerhålla näring och vatten inför bristperioder. Hur väl marken förankras beror på växtens rotform, rotmängd och tjocklek på genomrotningen (Svensson, 1991). Olika arter har olika rotsystem, men rötternas utveckling påverkas framförallt av markförhållanden så som marktemperatur och tillgång på vatten, näring, utrymme och syre. Om växten finner vad den söker redan i de ytliga jordlagren finns det ingen anledning för den att utbilda djupare rotsystem. I en väl dränerad jord söker sig rötterna djupare ner än i en dåligt dränerad jord. Ledin (1999) påpekar att för att rötterna skall fungera måste syre kontinuerligt diffundera in i markporerna och koldioxiden måste röra sig i motsatt riktning, vilket bara fungerar när marken inte är vattenmättad.

I Figur 1 visas hur olika ett rotsystem kan utbildas beroende på markförhållandena.

Enligt Coppin och Richards (1990) har alla växter en matta av ytliga rötter som har till uppgift att ta upp näringsämnen från de näringsrika ytliga jordlagren. Dessutom kan växten ha djupare rötter som fungerar som förankring, näringsförråd och vattenupptagning.



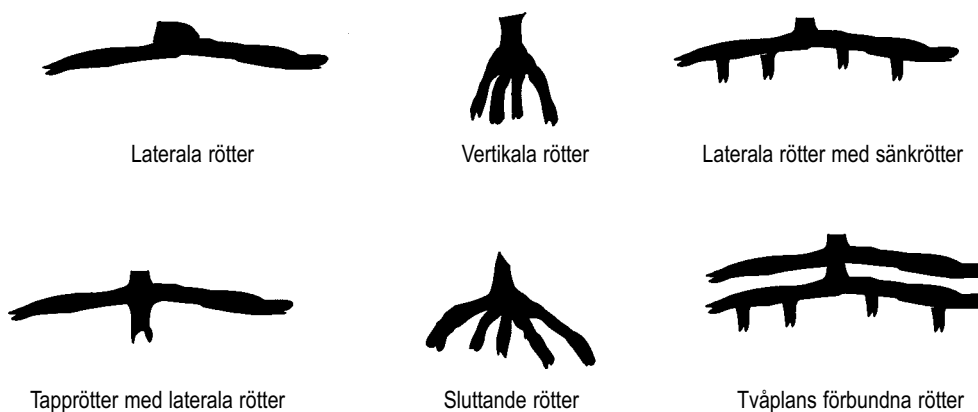
Figur 1. Utveckling av rotsystem beroende på markförhållandena (efter Coppin och Richards, 1990. Med tillstånd av CIRIA, London).

Följande stycke är ett referat av Biddle (1998) och Nationalencyklopedin (1989) som beskriver hur växters rotsystem utvecklar sig.

Hos fanerogamerana (växter som utvecklar frön) finns ett rotanlag, kallat lillrot eller rotämne, redan i fröet. Rotanlaget ger vid förgroning en primärrot som växer vertikalt nedåt. Om denna rot överlever utvecklas den till en pålrot vilket exempelvis är fallet med maskros och morötter. Efter en tid dör dock denna rot hos de flesta plantor och i stort sett alla träd. Istället utvecklas flera efter varandra följande fina, fuktabsorberande laterala (åt sidorna) rötter.

Hur rotutvecklingen därefter ter sig beror till största delen på utrymme och på tillgången på vatten men även syre och näringsämnen. Strukturella rötter, som har till uppgift att stötta upp vikten av det av trädets delar som befinner sig ovan jord och förankra det i marken, utvecklas från de laterala rötterna. De rötter som skall stötta upp vikten av trädet måste vara styva varför de är mycket tjocka och ovala eller åttakantiga i sitt tvärsnitt. De utvecklas radiellt och horisontellt ut från rotcentrum. Förankring av trädet i marken kräver att trädet kan binda en stor jordvolym och därför är det effektivt att dessutom ha många tunna rötter vertikalt och horisontellt. Dessa tunna rötter är endast påverkade av dragspänningar i längsled och har därför hög draghållfasthet. Denna hållfasthet kan vara av stort värde vid jordstabilisering.

Gasson och Cutler (1990) undersökte rotsystemen på en stor mängd omkullblåsta träd efter en storm i Storbritannien 1987. Totalt omfattar studien drygt 70 olika trädslag. De fann 6 huvudsakliga rotsystem; laterala rötter, tapprötter med laterala rötter, laterala rötter med sänkrötter, vertikala rötter, sluttande rötter och tvåplans förbundna rötter, se Figur 2. Biddle (1998) sammanställde uppgifterna från studien som visar de olika rotsystemens procentuella fördelning inom det studerade området. Han fann att laterala rötter med sänkrötter var representerade i 53,3 % av de studerade rotsystemen. Laterala



Figur 2. Sex huvudsakliga rotsystem för träd enligt Biddle (Biddle, 1998).

rötter var representerade med 27,8 %, sluttande rötter med 12,4 % medan de andra rotsystemen var representerade med under 3 % av de studerade rotsystemen.

Rotsystemens tillväxt är vanligtvis som störst tidigt på sommaren och tillväxten kan minska vid vattenbrist (tvärtemot en allmän uppfattning – att rot-tillväxten skulle stimuleras vid torra förhållanden) (Biddle, 1998). Coppin och Richards (1990) anger att de fint förgrenade rötterna utvecklar en årlig föryngring medan de djupare rötterna är perenna. Huvuddelen av rötterna växer i den översta halvmeteren men en andel sträcker sig längre ner, framförallt i sökande efter vatten (Biddle, 1998). Borgegård (1991) skriver att den maximala rotutvecklingen på djupet hos björk är 3 – 4 m, gran 2 m, tall 2,5 – 3,8 m och asp > 2 m men att merparten av trädens rötter dock inte tränger ned till så stora djup.

I Tabell 1 och 2 framgår vilka huvudsakliga rotsystem träd och buskar, lämpliga att använda i ingenjörbiologiska sammanhang, har. När det gäller gräs och örtartade växters rotsystem hänvisas till Schiechl och Stern (1996) samt USDN (1992).

Adventivrötter

Vissa växter har förmågan att bilda så kallade adventivrötter. Enligt Nationalencyklopedin (1989) är adventivrot en rot som inte utvecklats från växtbryots rotanlag. Denna egenskap används vid till exempel sticklingmetoden (se avsnitt 2.4). Växter som kan bilda adventivrötter kan anpassa sig efter ändrade förhållanden och tål att rötterna exempelvis blottläggs eller att jord fylls upp.

De flesta salixarter bildar adventivrötter- både vid snittytan och längs den under marken liggande barken. Även svartpoppel och liguster bildar adventivrötter.

3 Fysikaliska effekter av vegetation

Vegetation kan hindra erosion och minska risken för skred längs ytliga glidytor. Förmågan hos vegetation att öka säkerhetsfaktorn för djupa glidytor måste däremot ses som minimala. Här redovisas vilka fysikaliska effekter man kan erhålla av en vegetation och på vilket sätt dessa skapas.

3.1 Vatten

Ytvatten

Vegetation kan minska förmågan hos rinnande vatten att riva loss och transportera partiklar både genom sin uppbromsande effekt på vattenströmmen och sin skyddande effekt av markytan. En tät vegetation kan dessutom fånga upp material som eroderats loss högre upp i slänten och förhindra uppsprickning av markytan.

Enligt Styczen och Morgan (Morgan och Rickson, 1995) ger en hög biologisk aktivitet, rottrådar och organiskt material ett kontinuerligt porsystem med permeabilitet i jordmassan vilket medför att växtlighet ökar mängden infiltrerat vatten. Avrinningsmängden vid regn är i storleksordningen 10 – 20 % av nederbörden i ett vegetationsbeklätt område men ökar till 30 – 40 % i områden under uppodling och till 60 – 70 % i ett urbaniserat område (Coppin och Richards, 1990). Gräsytor ger ett likformigt spridningsmönster av regnvatten över ytan medan träd kan ge ett koncentrerat regndroppande från lövverket (Coppin och Richards, 1990).

Vegetation minskar avrinningshastigheten på grund av plantans friktion mot det rinnande vattnet. Både Styczen och Morgan (Morgan och Rickson, 1995) och Coppin och Richards (1990) beskriver hur avrinningshastigheten (flödes-hastigheten) är relaterad till råheten enligt kanalströmningsläran. I hydrauliska termer karakteriseras ytråhet av till exempel Mannings råhetskoef-ficient, n . Råhetskoefficienten fås ur den så kallade Mannings formel där medelflödes-hastigheten, v , är

$$v = (R^{2/3} S^{1/2})/n \quad [\text{m/s}]$$

där R = hydrauliska radien = $\frac{\text{vattenfyllda sektionens area}}{\text{våta perimetern}}$

S = energilinjens lutning

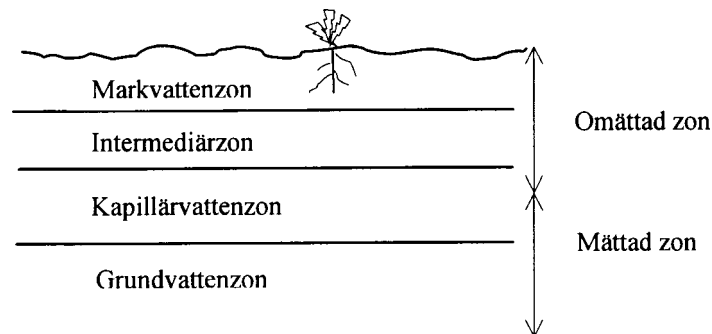
n = Mannings råhetskoefficient

Det s k Mannings tal, M , är lika med $1/n$. Mannings formel förutsätter stationär och likformig strömning samt fullt utbildad turbulens (se Cederwall och Larsen 1976). Coppin och Richards (1990) och Styczen och Morgan (Morgan och Rickson, 1995) anger värden på faktorn n för olika växtlighet. Värden på faktorn n framtagna för kanalströmning kan inte alltid appliceras på strömning på mark, där strömningsintensiteten är väsentligt lägre (Coppin och Richards, 1990).

Störst reduktion av avrinninghastigheten erhålls med tät, likformigt fördelad vegetation medan öppen, grupperad och tuvig växtlighet kan ge lokalt ökad avrinningshastighet och erosion eftersom flödet blir koncentrerat mellan tuvorna (Styczen och Morgan, Morgan och Rickson 1995).

Vatten i jord

Hur mycket vatten som infiltreras ner i jorden beror på nederbördens intensitet och varaktighet, släntens lutning och vegetationstäckning samt jordstrukturen i markytan. Vattnets förekomst under markytan kan indelas i 4 zoner, se Figur 3. Markvattenzonen begränsas uppåt av markytan och nedåt av växternas undre rotzon. I den intermediära zonen transporteras vatten av gravitationen ner mot grundvattnet. Kapillärzonen sträcker sig från grundvattenytan och upp till nivån för vattnets största kapillära stighöjd.



Figur 3. Zonindelning av vattnets förekomst under markytan.

Växtlighet tar upp vatten ur marken vilket leder till en jord med lägre fuktinnehåll i den omättade zonen och eventuellt en lägre grundvattenyta och gräns för den kapillära zonen. Porvattentryck, positiva och negativa, spelar en stor roll för en jords dränerade hållfasthet. För att ta hänsyn till negativa portryck i den omättade zonen kan uttrycket för Mohr-Coulombs brottkriterium skrivas om, till exempel enligt nedanstående formel presenterad av Öberg och Sällfors (1995):

$$\tau_f = c' + (\sigma - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) S_r \tan \phi'$$

där u_a = lufttryck i porer
 u_w = porvattentryck i omättad zon
 S_r = vattenmättnadsgrad

Växternas påverkan på fuktinnehållet skiljer sig dock kraftigt under året. Ur stabilitetssynpunkt är den kritiska perioden för många slänter under senhösten efter kraftiga regn. Under höst och vinterhalvåret vilar dock växterna och behöver inte så mycket vatten varför denna effekt av vegetationen är diskutabel. Coppin och Richards (1990) menar därför att effekten av växternas upptagning av vatten på jordens hållfasthet troligtvis är lägre än rötternas förstärkande effekt.

3.2 Jordförstärkning med rötter

Rotsystem i jorden bidrar till en hållfasthetsökning i jorden dels genom att jorden binds samman och dels genom att rottrådar motverkar skjuvning längs en glidyta. Hållfasthetsökningen på grund av vegetationen beror av rötternas mängd, draghållfasthet, modul vid dragning, förhållande mellan längd och diameter, ytråhet, rötternas raket samt orientering av rötterna i förhållande till jordens huvudspänningar (Coppin och Richards, 1990). Gräs, små buskar och ärtväxter kan ge en tydlig förstärkningseffekt ner till 0,75 – 1,5 m medan träd ger djupare effekt och kan öka hållfastheten till 3 m djup eller mer beroende på rotmorfologin och växtart (Styczen och Morgan, Morgan och Rickson, 1995).

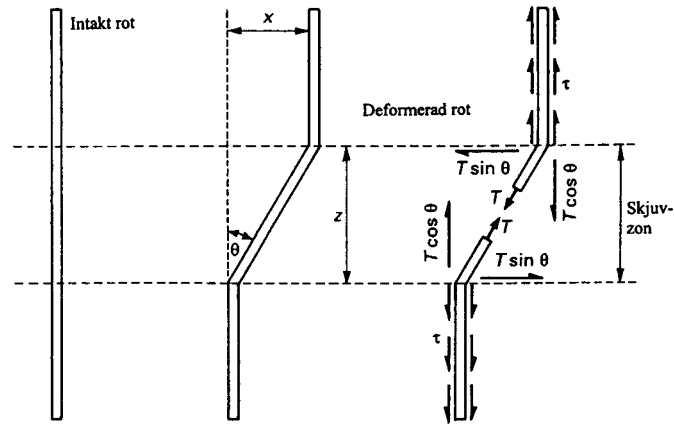
Rötternas bidrag till hållfastheten i jorden har i den genomgångna litteraturen normalt modellerats genom att öka kohesionsinterceptet, c' , med en parameter c'_R . Däremot antas friktionsvinkeln vara konstant. Styczen och Morgan (Morgan och Rickson, 1995) refererar dock till en studie där man funnit att gräsrötter ökade friktionsvinkeln i en sand men att studien också visade att någon sådan effekt inte kunde ses i en sandig lera. Vid modellering medräknas vanligtvis endast rötter med en diameter under 15 – 20 mm, eftersom fältstudier har visat att större rötter inte bidrar nämnvärt till skjuvhållfasthetsökningen i jordmassan utan de behandlas bättre som individuella ankare (Coppin och Richards, 1990).

En förenklad metod att bestämma c'_R är den så kallade vinkelräta rotmodellen beskriven av Coppin och Richards (1990). Metoden, som finns beskriven i Figur 4, leder fram till att:

$$c'_R = 1,15 T_r \frac{A_r}{A}$$

där T_r = rottrådens draghållfasthet
 A_r = rotarea
 A = rotsektionens area

Om friktionsvinkeln är konstant motsvarar tillskottet i kohesionsinterceptet, c'_R , ett lika stort tillskott i dränerad hållfasthet, $\Delta\tau_{fd}$.



I denna modell är kraften i rötterna när jorden skjivas bestämd med en tangentiell skjuvmotståndskomponent och en normalkomponent. Ökningen av hållfastheten i jorden kan då bestämmas enligt:

$$\Delta\tau_{fd} = t_R (\cos \theta \tan \phi + \sin \theta)$$

där $\Delta\tau_{fd}$ = skjuvhållfasthetsökning pga rotförstärkning, kN/m²
 θ = skjuvrotationsvinkel
 ϕ = friktionsvinkel
 t_R = genomsnittlig draghållfasthet för rot per enhetsarea jord, kN/m²

$$t_R = T_R (A_R / A)$$

där T_R = genomsnittlig draghållfasthet för rot, kN/m²
 A_R/A = rotarea genom jordsektionens area

A_R kan bestämmas genom räkning av antalet rötter i skilda storleksklasser (n_i), bestämning av medelrotarean (a_i) i den storleksklassen för en given jordsektion med arean (A)

$$t_R = T_R \Sigma ((n_i a_i) / A)$$

Eftersom den genomsnittliga draghållfastheten för rötter varierar beroende på storlek eller diameter på roten, kan ekvationen skrivas om enligt följande:

$$t_R = \Sigma ((T_i n_i a_i) / A)$$

$$T_i = \text{draghållfasthet för rötter i storleksklassen } i$$

Okänt i ekvationerna är rotationsvinkeln (θ). Den varierar med tjockleken av skjuvzonen (z) och värdet av förskjutningen (x). Resultat av tester utförda av Waldron (1977)* bekräftar att θ varierar mellan 45° – 50°. Fältobservationer av Wu et al (1979) av brott i rotgenomträngda massor i slänter indikerar att θ varierar som mest mellan 45° och 70°. Värdet på $(\cos \theta \tan \phi + \sin \theta)$ varierar mellan 1,0 till 1,3 för 25° < ϕ < 40° och 40° < θ < 70°. Med ett medianvärde på 1,15 kan ekvationen skrivas som:

$$\Delta\tau_{fd} = 1,15 \Sigma ((T_i n_i a_i) / A)$$

Denna rotmodell antar att brottstillståndet är ett dragbrott i rotens fibrer, på grund av att deras draghållfasthet är fullt mobiliserad. För att detta antagande skall gälla måste utdrag eller vidhäftningsbrott förebyggas. För att möta detta måste rötterna ha en kombination av tillräcklig längd utanför brottszonen och tillräcklig råhet så att vidhäftningen mellan rot och jord överskrider rotens draghållfasthet. Minimilängden (L_{min}) av rötter med samma tjocklek (d) som krävs för att förhindra utdrag eller vidhäftningsbrott är enligt följande:

$$L_{min} > (T_R d_R) / (2\tau_R)$$

$$\tau_R = \text{maximal vidhäftningsspänning eller utdragsmotstånd mellan rot och jord (kN/m²)}$$

Typiska värden på rötters draghållfasthet ges i Tabell 4. Typiska värden på rotandelar för träd med rötter i storleksklassen 5 – 10 mm (diameter) är ca 70 – 113 rötter /m² vilket ger ett A_R/A värde på 0,0014 till 0,0089.

*) Denna källa har ej kontrollerats

Figur 4. Vinkelrät rotmodell (efter Coppin och Richards, 1990, modell av Wu et al, 1979. Med tillstånd av CIRIA, London)

Wu et al (1979) föreslår att c'_R beräknas enligt:

$$c'_R = 1,2 \cdot \sigma_R \frac{A_R}{A} \quad \text{där } \sigma_R \text{ är dragspänning i rötterna.}$$

Wu et al (1979) anger värden på c'_R i storleksordningen 5 kPa för ett område med cederträd och gran. Schmidt et al (2001) undersökte över 1000 rötters kohesionsintercept, c'_R , i olika vegetationsområden; kalhyggen, planterad skog (34 – 123 år gammal) och naturlig skog (> 200 år gammal). En klar skillnad mellan värdena på c'_R i de olika vegetationsområdena konstaterades, för kalhyggen uppmättes värden under 3 kPa medan värdena för den naturliga skogen för några rötter översteg 100 kPa. För den planterade skogen uppmättes värden mellan 1 och 40 kPa. Schmidt et al (2001) påpekar att c'_R -värdet i naturlig skog eventuellt har överskattats eftersom man antar att draghållfastheten inte överskrider vidhäftningen mellan rot och jord.

Flera mätningar av rötters draghållfasthet har gjorts även om mätningar är mycket svåra att utföra korrekt. Gray och Sotir (1996) skriver att hållfastheten varierar kraftigt med rötternas diameter och testmetod varför presenterade värden alltid måste ses som approximativa. Vid en överskådlig jämförelse mellan rötters draghållfasthet för flera träd och buskar konstaterar Gray och Sotir (1996) att:

- Draghållfastheten ligger vanligtvis mellan 10 och 40 MN/m²
- Barrträd har, som grupp, lägre hållfasthet än lövträd
- Buskar har åtminstone samma storlek på draghållfastheten som träd. Detta är en viktig uppgift eftersom en likvärdig hållfasthet därmed kan uppnås utan att samtidigt få de negativa effekterna av träd från dess vikt, vindfång och styvhet.
- Salixarter har draghållfasthetsvärden mellan 14 och 35 MN/m²
- Draghållfastheten minskar med ökad diameter

I Tabell 4 redovisas rötters draghållfasthet för några gräsarter och örter samt för ett antal träd och buskar. Sammanställning som är gjord av Coppin och Richards (1990) bygger på studier gjorda av andra forskare (Schiechl, O'Loughlin och Watson).

Wu (Morgan och Rickson, 1995) anger värden på rotarean delat med jordmassans area, $a_R = A_R/A$, vid olika djup under markytan för några gräs, buskar och träd bestämda i fält och i skjuvförsök. Studien omfattar förhållanden från markytan och ned till ca 1 m djup för rötter med en diameter mellan 0,3 och 2,5 cm. Värden på a_R varierande mellan $0,2 - 15 \cdot 10^{-4}$ (i ett test på Hemlockgran uppmättes så stort värde som $a_R = 80 \cdot 10^{-4}$). I Figur 5 visas värden för sockerlönns och vitask ur denna sammanställning. Jorden på 0,4 m djup var stundtals vattenmättad, vilket kan förklara det begränsade djupet för sockerlönns rötter.

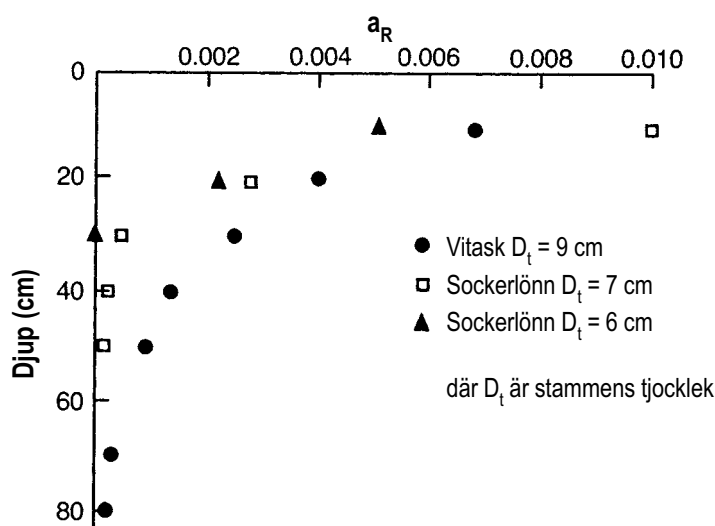
Tabell 4. Rötters draghållfasthet (efter Coppin och Richards, 1990).

Gräs och örter	Draghållfasthet (MN/m ²)
Kvickrot (<i>Elymus repens</i>)	7,2 – 25,3
Blåklocka (<i>Campanula trachelium</i>)	0,0 – 3,7
Åkervinda (<i>Convolvulus arvensis</i>)	4,8 – 21
Groblad (<i>Plantago lanceolata</i>)	4,0 – 7,8
Maskros (<i>Taraxacum officinale</i>)	0,0 – 4,4
Rödklöver (<i>Trifolium pratense</i>)	10,9 – 18,5
Lucern (<i>Medicago sativa</i>)	25,4 – 86,5

Träd och buskar	Draghållfasthet (MN/m ²)
Gråal (<i>Alnus incana</i>)	32
Vårtbjörk (<i>Betula pendula</i>)	37
Har-ris (<i>Cytisus scoparius</i>)	32
Sitkagran (<i>Picea sitchensis</i>)	23
Contortatall (<i>Pinus radiata</i>)	18
Svartpoppel (<i>Populus nigra</i>)	5 – 12
Hybridpoppel (<i>Populus euramericana</i>)	32 – 46
Douglasgran (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)	19 – 61
Sommarek (<i>Quercus robur</i>)	32
Svart akacia (<i>Robinia pseudoacacia</i>)	68
Rödvide (<i>Salix purpurea</i>)	36
Gråvide (<i>Salix cinerea</i>)	11
Blåbär, Tranbär, Lingon (<i>Vaccinium Spp</i>)*	16
Gräs*	2–20

* Data från Wu (Morgan och Rickson, 1995).

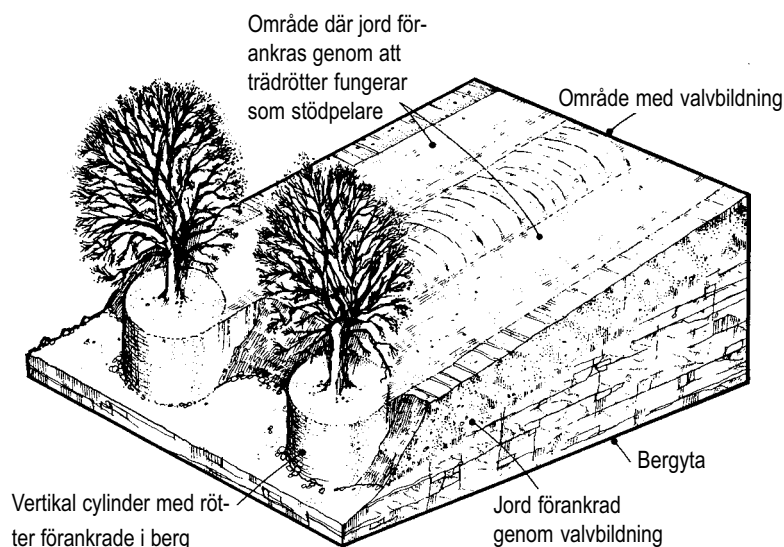
Schmidt et al (2001) anger värden på rotarean delat med jordmassans area, a_R , för naturlig skog i Oregon coast range, Oregon, USA, till över 10^{-3} .



Figur 5. Rotarea delad med jordmassans area ($A_R/A = a_R$) vid olika djup under markytan för sockerlönn och vitask, Cincinnati, Ohio (efter Wu (Morgan och Rickson) 1995. Med tillstånd av Taylor & Francis Books Ltd, London).

3.3 Förankring, valvbildning och stödpelare

Coppin och Richards (1990) beskriver hur träd kan förankra jorden i en slänt genom att uppta vertikala laster, fungera som stödpelare åt jordmassor ovan trädrötterna samt bidra till valvbildning av massor som befinner sig mellan de av stödpelarna påverkade områdena, se Figur 6. En beräkningsmodell för att bestämma kritiska avståndet mellan träden för att de skall ge en valvbildning beskrivs också av Coppin och Richards (1990).



Figur 6. Förankring, valvbildning och stödpelare i en slänt (efter Coppin och Richards, 1990. Med tillstånd av CIRIA, London).

3.4 Överlast och vindlast

Större träd påverkar slänten med sin egenvikt. I släntfot är detta positivt då ökad vikt ger större mothåll. I de övre delarna av slänten ger egenvikten ett negativt bidrag i form av en ökad pådrivande vikt men även en hållfasthetsökning då de effektiva spänningarna ökar. Sellby (1993) visar med enkel matematik att träd påverkar stabiliteten positivt i slänter med lutningar under 34° men att de kan ge negativa faktorer i brantare sluttningar om inte de negativa effekterna av egenvikter kompenseras av rötternas bidrag till hållfastheten, minskat vatteninnehåll och/eller den minskade risken för erosion.

En kraftig vind över en vegetation av höga buskar eller träd kan ge en belastning på slänten och minska stabiliteten. En mycket förödande sekundär effekt erhålls dessutom om ett träd blåser omkull med en rotvälta och ett stort sår uppstår i marken. I såret kan vatten infiltreras och orsaka erosion

och skred. Vindlast är endast av betydelse då vindstyrkan är större än 11 m/s (Coppin och Richards, 1990). Vindlast kan ha en destabiliserande effekt på en slänt vare sig om den är uppåtriktad i slänten eller om den är nedåtriktad. Om vegetationens rötterna är ytliga eller djupa är avgörande för vilken effekt vindlasten har, se Figur 7. Coppin och Richards (1990) anger en metod att bestämma vindtrycket på träd för en vind som blåser parallell med markytan (metoden bygger på arbeten av Hsi och Nath (1970) och Brown och Sheu (1975)). Vindtrycket, p , på träd bestäms av (se Figur 7):

$$p = 0,5 \rho_a v^2 C_D$$

där ρ_a = luftens densitet (1,22 kg/m³ vid 20° och 1013 mbar)
 v = vindens hastighet, m/s
 C_D = dimensionslös uppbromsningskoefficient, se Figur 8

Vindtrycket vinkelrätt mot trädet blir, om slänten lutar vinkeln β ,

$$p_s = p \cdot \cos^2 \beta$$

Vindtrycket förs ner till jorden och ger en ökad last, D , som reducerar den mothållande skjivspänningen. Kraften D (kN) ges av:

$$D = \sum_{i=h_1}^{i=h_2} (p_s b)_i$$

där b = trädkronans bredd vinkelrätt glidytan, m

3.5 Jordens hållfasthet

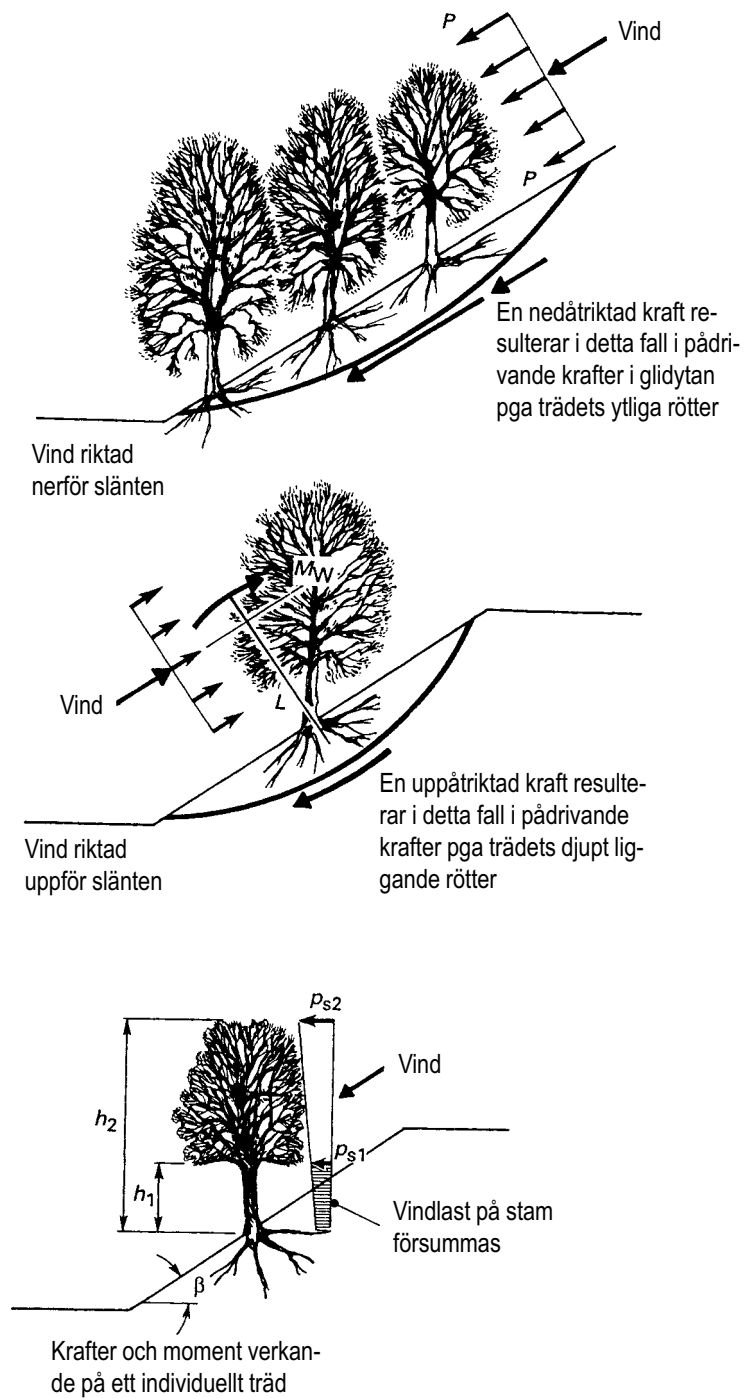
Hållfastheten i mättade jordar utan inverkan av vegetation kan som tidigare nämnts modifieras för att involvera effekterna av negativa portryck i omättad jord enligt;

$$\tau_f = c' + (\sigma - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) S_r \tan \phi'$$

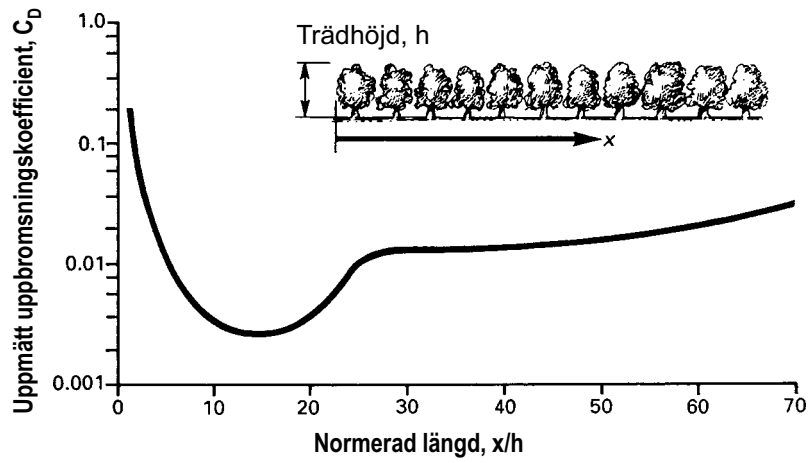
där u_a = lufttryck i porer
 u_w = porvattenstryck i omättad zon
 S_r = vattenmättnadsgrad

Till detta uttryck kan sedan inverkan av ökad kohesion på grund av rötter adderas enligt;

$$\tau_f = c' + c'_R + (\sigma - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) S_r \tan \phi'$$



Figur 7. Effekt av vindlast på träd; krafter och moment verkande på enskilt träd (efter Coppin och Richards, 1990. Med tillstånd av CIRIA, London).



Figur 8. Effekt av vindlast på träd; lokala uppbromsningskoefficienter på övre delen av trädens kronor i en skog (efter Hsi och Nath, 1970 och Coppin och Richards, 1990. Med tillstånd av CIRIA, London).

4 Beräkningsmetoder

4.1 Beräkningsmetoder utan hänsyn till vegetation

Allmänt

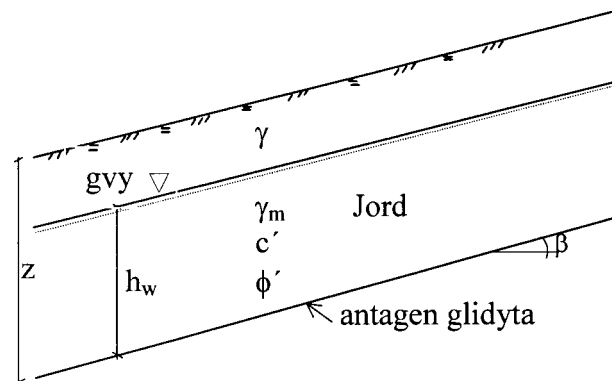
Stabilitetsberäkningar för branta silt- och sandslänter baseras vanligtvis på så kallade klassiska beräkningsmetoder. Jorden antas då vara ett idealplastiskt material, vilket medför att brottlasten är oberoende av såväl deformationer som inträffar före brott som de som inträffar efter att brottstillståndet nåtts. Skjuvhållfastheten kan därmed mobiliseras fullt ut i alla delar av slänten oberoende av vilka deformationer som krävs för att denna samverkan mellan olika partier skall kunna utvecklas (Skredkommissionen, 1995). De klassiska beräkningsmetoderna bygger också normalt på antaganden om tvådimensionella fall.

Beräkningar kan göras med någon rigorös metod som innebär att alla villkor för kraft- och momentjämvikt är uppfyllda eller med en förenklad metod där inverkan av vissa krafter försummas eller uppskattas schablonmässigt.

Plana glidytor

Då en slänts utsträckning är lång i förhållande till jordlagrens mäktighet kan glidytor uppstå som löper parallellt med markytan längs fasta botten eller i svagare skikt i jordprofilen, se Figur 9. Om glidytan är lång kan de krafter som uppträder vid glidykans övre och nedre delar i form av aktivt respektive passivt tryck försummas. Ekvationen för säkerhetsfaktorn blir då:

$$F_{c\phi} = \frac{c'}{\gamma \sin \beta \cos \beta} + \frac{\gamma z - \gamma_w h_w}{\gamma z} \cdot \frac{\tan \phi'}{\tan \beta}$$

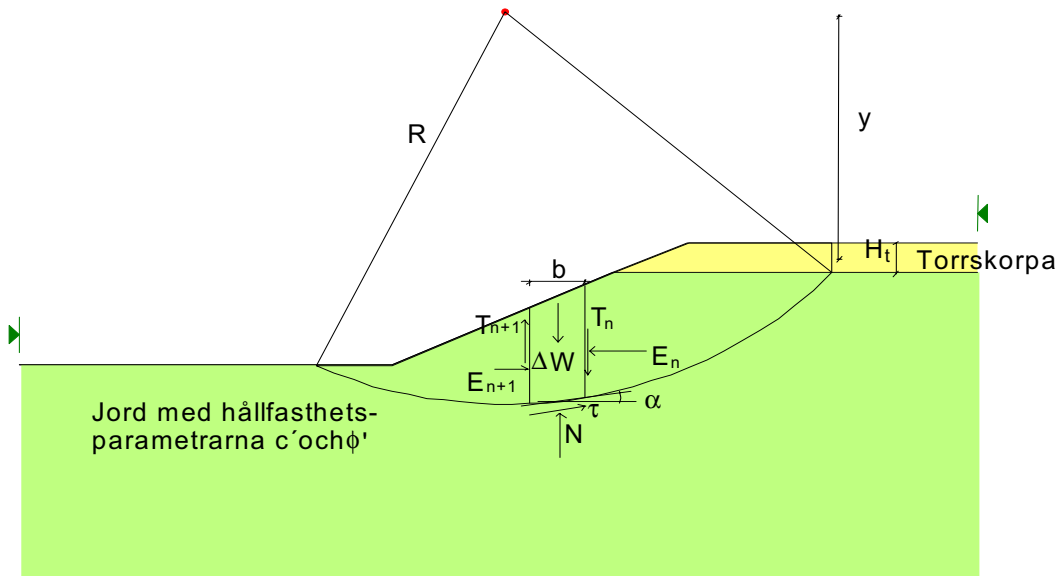


Figur 9. Krafter verkande på en långsträckt slänt.

Lamellmetoder – cirkulärcylindriska och sammansatta glidytor

Då en tänkt glidyta går genom ett eller flera jordmaterial där jordparametrarna skiljer sig åt används lamellmetoder för att beräkna stabiliteten. Glidytagens form kan vid enklare beräkningar väljas cirkulärcylindrisk eller i mer komplexa fall som sammansatt. Ekvationerna för säkerhetsfaktorn med de vanligaste metoderna anges här:

Cirkulärcylindriska glidytor:



Figur 10. Cirkulärcylindrisk glidyta med angivande av de krafter som verkar på ett enskilt element.

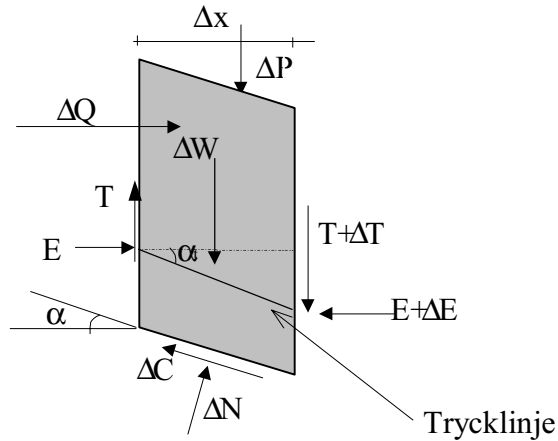
Bishop's rigorösa metod (Bishop, 1955):

$$F_{c\phi} = \frac{\sum \frac{c'b + (\Delta W - u \cdot b + T_n - T_{n+1}) \tan \phi'}{1 + (\tan \alpha \tan \phi') / F_{c\phi}} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}}{\sum \Delta W \sin \alpha + \frac{y \gamma_w H_t^2}{R \cdot 2}}$$

Bishop's förenklade metod (Bishop, 1955):

$$F_{c\phi} = \frac{\sum \frac{c'b + (\Delta W - u \cdot b) \tan \phi'}{1 + (\tan \alpha \tan \phi') / F_{c\phi}} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}}{\sum \Delta W \sin \alpha + \frac{y \gamma_w H_t^2}{R \cdot 2}}$$

Sammansatta och cirkulära glidytor:



Figur 11. Krafter som verkar på ett enskilt element vid beräkning för en sammansatt eller cirkulär glidyta enligt Janbus GPS metod.

Janbus GPS (Janbu, 1954):

$$F_{c\phi} = \frac{\sum_a^b \frac{c' + (p - u + t) \tan \phi'}{\left(1 + \frac{\tan \phi' \tan \alpha}{F_{c\phi}}\right)} \Delta x (1 + \tan^2 \alpha)}{E_a - E_b + \sum_a^b (\Delta Q + (p + t) \Delta x \tan \alpha)}$$

där $t = \Delta T / \Delta x$
 $p = (\Delta W + \Delta P) / \Delta x$

Metoden förutsätter att man känner trycklinjens läge för de horisontella interlaminära krafterna E .

Janbus förenklade metod (Janbu et al 1956):

$$F_{c\phi} = f_0 \frac{\sum_a^b (c' + (p - u) \tan \phi')}{\left(1 + \frac{\tan \phi' \tan \alpha}{F_{c\phi}}\right)} \Delta x (1 + \tan^2 \alpha)}{E_a - E_b + \sum_a^b (\Delta Q + p \Delta x \tan \alpha)}$$

där f_0 = korrektionsfaktor för interlaminära skjuvkrafter, T

Janbus metoder kan användas för beräkning av godtycklig form på glidytan, alltså även cirkulära.

4.2 Modifiering av beräkningsmetoder med hänsyn till vegetation

Beräkningsmetoderna kan modifieras för att kunna ta hänsyn till vegetationens effekter i form av rottrådar genom glidytan, porundertryck, ökad belastning, valvbildning och vindlast som beskrivits i Kapitel 3. Att helt korrekt kvantifiera effekterna av vegetationen på slänters stabilitet är dock ännu inte möjligt eftersom vi fortfarande vet för lite för att säkert kunna fastställa rötternas inverkan på porvattentryck och hållfasthet i jordmassan.

Följande kapitel visar på möjligheter att modifiera beräkningsmetoder för ökad skjuvhållfasthet på grund av rötter genom glidytan, vindlast på träd, tyngd av träd och negativa portryck.

Plana glidytor

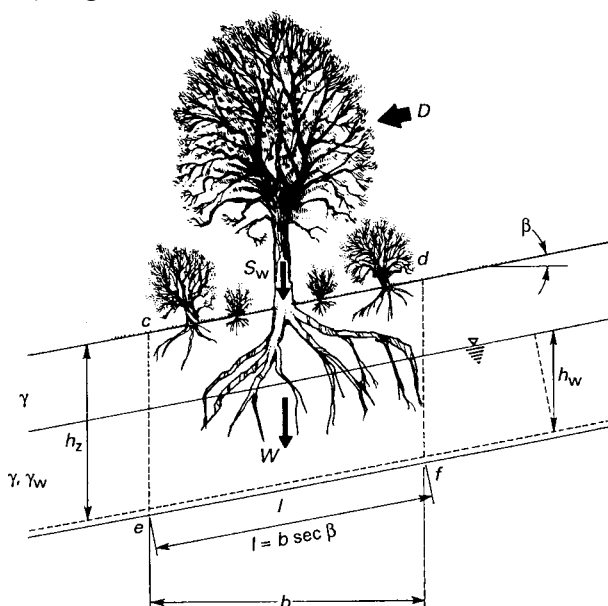
Ekvationen för säkerhetsfaktorn för plana glidytor kan enkelt modifieras för att ta hänsyn till ökad kohesion, belastning och vindlast. Om glidytan påverkas av de krafter som redovisas i Figur 12 kan ekvationen modifieras enligt följande (Coppin och Richards, 1990):

$$F_{c\phi} = \frac{(c' + c'_R) + (\gamma h_z - \gamma_w h_w + w) \cos^2 \beta \tan \phi}{((\gamma h_z + w) \sin \beta + d) \cos \beta}$$

där överlast från vegetation $w = S_w/b$
 skjuvspänning från vindlast $d = D/b$ (se Kapitel 3.4)

Ekvationen tar inte hänsyn till enstaka större rötter som kan verka som lokala ankare.

Selby (1993) och Barker (1986) anger samma ekvation förutom att de inte tar hänsyn till vindlast.



Figur 12.
 Krafter verkande på en plan glidyta med vegetation (efter Coppin och Richards, 1990. Med tillstånd av CIRIA, London).

Lamellmetoder – cirkulär cylindriska och sammansatta glidytor

På motsvarande sätt som vid beräkning för plana glidytor kan ekvationerna för säkerhetsfaktorn för cirkulär cylindriska och sammansatta glidytor modifieras för att ta hänsyn till vegetation. Coppin och Richards (1990) beskriver en förenklad metod för cirkulär cylindriska glidytor, kallad Greenwoods förenklade metod, som de modifierat för att ta hänsyn till vegetationens inverkan i form av ökad hållfasthet, belastning, stora rötter och vindlast. Eftersom denna metod inte används i Sverige beskrivs den heller inte här.

Coppin och Richards (1990) refererar till en studie i Hong Kong, där en modifiering av Janbus metod med hänsyn till vegetation utförts. Uttrycket för säkerhetsfaktorn med korrektionsfaktorn f_0 , för interlaminära krafter, användes. Då inverkan av ökad hållfasthet, belastning, vindlast, valvbildning (P_R) och vatten i torrsprickor (Q) tagits med, blir säkerhetsfaktorn:

$$F = f_0 \frac{\sum \left[\frac{[(c' + c'_R + c'_S)b + (W - ul + S_w) \tan \phi']}{[1 + (\tan \alpha \tan \phi')/F]/(1 + \tan^2 \alpha)} \right] + P_R}{Q + D + \sum (W + S_w) \tan \alpha}$$

I Figur 13 visas en glidyta med angivande av de, i uttrycket, ingående parametrarna.

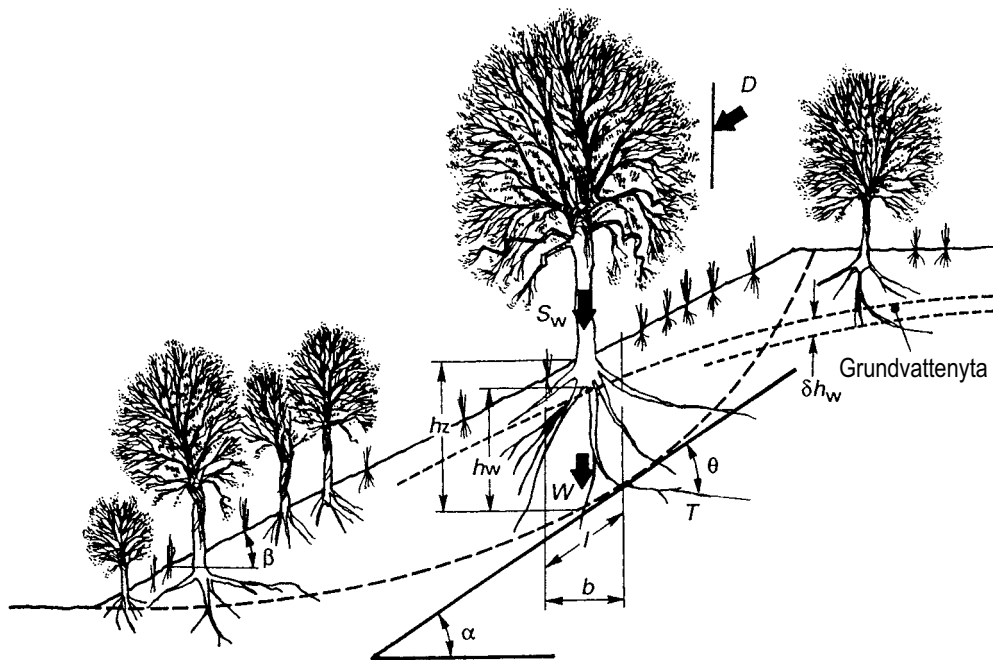
Någon motsvarande modifiering av en i Sverige vanligt använd beräkningsmetod för cirkulär cylindriska glidytor, Bishops metod, har inte påträffats i litteraturen. Det är dock inte några principiella svårigheter att modifiera även denna metod för att ta hänsyn till alla effekter av vegetation som här nämnts. I Bilaga 1 visas en sådan modifiering.

Wu (1984) beskriver en metod för tredimensionell analys av en cirkulär cylindrisk glidyta med hänsyn till vegetation.

Vegetationens inverkan på säkerhetsfaktor

Som tidigare påpekats saknas tillräcklig kunskap för att man skall kunna beräkna den exakta inverkan på stabiliteten som vegetationen ger. Endast ett fåtal exempel finns i litteraturen på försök att kvantifiera inverkan från vegetation på stabiliteten i en verklig slänt. Anledningen till att inte fler exempel finns, är bristen på fältdata.

Greenwood et al (2001) beräknade ökningen av säkerhetsfaktorn på grund av vegetation för försöksanläggningen Longham Wood Cutting (se Kapitel 6). Vid analys av en 1 m djup och plan glidyta konstaterades en ökning av säkerhetsfaktorn med 10 %. Hänsyn togs då endast till rötternas jordförstärkning. Coppin och Richards (1990) refererar till en annan studie gjord av Greenwood et al (1984) och Greenwood (1987) för en slänt i Hong Kong.



- W total vikt av jordlamell, kN/m
 c', ϕ' effektiva hållfasthetsparametrar vid glidyta, kN/m²
 l glidytaens längd i respektive lamell, m
 u portryck vid glidyta, kN/m²
 u_v minskning av portryck på grund av evapotranspiration av vegetation vid glidyta, kN/m²
 c'_R tillskott i kohesionsintercept på grund av rötters förstärkning genom glidyta, kN/m²
 S_w Överlast på grund av vegetationens vikt, kN/m
 D Vindkraft parallell med släntlutningen, kN/m
 T Dragkraft i stor rot genom glidyta, kN/m (antagen lutningsvinkel mellan rot och glidyta, θ)

Figur 13. Cirkulär cylindrisk glidyta påverkad av fem huvudsakliga faktorer från vegetation (efter Coppin och Richards, 1990. Med tillstånd av CIRIA, London).

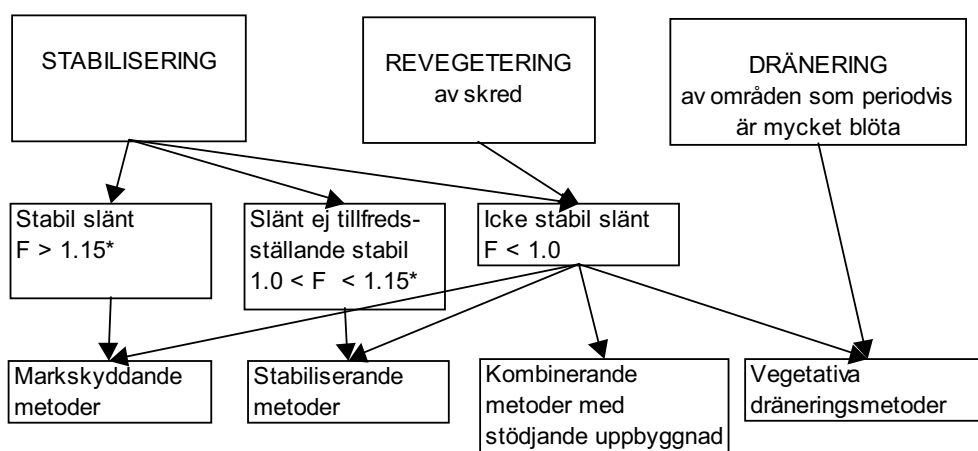
Beräkningen av säkerhetsfaktorn i denna slänt byggde på omfattande laboratorie- och fältundersökningar. Då inverkan av rötters jordförstärkning ner till 1,2 m togs, erhöles en ökning av säkerhetsfaktorn med 29 %.

En illustration av möjligheten att beräkna inverkan på säkerhetsfaktorn av vegetation ges i Bilaga 2. Beräkning har utförts för en brant siltslänt i byn Näsåker längs Ångermanälven.

5 Byggmetoder för slänter

Det finns en rad olika metoder att stabilisera och skydda slänter från erosion. Metoder finns beskrivna bland annat i Gray och Sotir (1996), Schiechl och Stern (1996), Begemann och Shiechl, (1994) och Svensson (1991). Fle- ra författare delar in metoderna i olika kategorier. Gray (1994) delar till exempel in metoderna i levande konstruktioner (gräs och plantor primärt som erosionssskydd), kombinerade metoder (levande såväl som icke levande ma- terial) samt inerta konstruktioner. I denna skrift används den indelning som Schiechl och Stern (1996) föreslår. De indelar metoderna i fyra olika kate- gorier; markskyddande metoder, stabiliserande metoder, kombinerade meto- der samt kompletterande metoder.

Schiechl och Stern (1996) ger också en förteckning över olika byggmetoder för slänter, deras användbarhet för olika ändamål samt deras lämplighet. Va- let av metod beror bland annat på vilken effekt (teknisk) man vill uppnå med sin åtgärd, tillgängligt växtmaterial, platsens ekologi och årstid. Schiechl och Stern (1996) föreslår att den beräknade säkerhetsfaktorn för slänten tillsammans med önskad effekt av anläggningen påverkar valet av metod enligt Figur 14.



*Värdet är ofta högre för slänter nära hus, skolor etc där $F \approx 1,35-1,5$

Figur 14. Val av ingenjörbiologisk byggmetod beroende på önskad effekt och beräknad säkerhetsfaktor (efter Schiechl och Stern, 1996. Med tillstånd av Blackwell Publishers Ltd, Oxford).

5.1 Markskyddande metoder

Om marken är täckt av ett kompakt vegetationsskikt kan detta i hög grad öka och stärka jordens förmåga att motstå erosion på grund av regndroppar, hagel, vind, frost och rinnande vatten. Svensson (1991) menar att ett markskydd dessutom förbättrar markförhållandena och mikroklimatet genom beskuggning, förbättring av värme- och fukthushållningen och genom biologisk aktivering av marken. För utförlig beskrivning av lämpliga växter och etableringsmetoder hänvisas till Kapitel 2.

Gray och Sotir (1996) påpekar att gräs och örtvegetation ibland är svåra att etablera t.ex. i branta slänter, vid regnfattiga förhållanden och hög avrinningshastighet. Vid dessa tillfällen kan man använda olika marktäckande produkter som tillsammans med växter ger en ännu bättre markskyddande effekt. En mängd olika marktäckande produkter finns på marknaden. Dels kan man använda så kallade ”mulches” (för definition se sidan 20) där halm, hö eller sågspån i kombination med något bindande material som asfaltemulsion sprids ut över slänten.

Dels kan man använda utrullningsbara produkter. Exempel på utrullningsbara produkter är erosionsmattor av naturmaterial eller syntetiska fibrer. Följande beskrivning är ett referat av en mer detaljerad beskrivning av erosionsmattor som erosionsskyddande material av Rickson (Morgan och Rickson, 1995).

Erosionsmattor som används för att minska erosionen i slänter kan indelas efter deras sammansättning (naturligt eller syntetiskt) och efter installations sättet (ytlig eller nergrävd). Naturligt material bryts så småningom ned, vilket betyder att man vid denna tidpunkt måste ha fått en fullt utbildad vegetation som tar över som erosionsskydd. Om en sammansättning av erosionsmatta och vegetation krävs för att permanent skydda slänten mot erosion väljs en syntetisk erosionsmatta. Mattor av naturliga material, som ofta är tunna mattor eller nät, kan tillverkas av vävda fibrer av jute och kokos eller av porösa nedbrytbara material som pappersremсор, strån eller träspån. De senare hålls samman av ett nät av nedbrytbar polypropylen. Naturliga mattor rullas ut över den färdigsådda ytan och de hålls på plats med trä- eller stålkilar. Syntetiska mattor kan användas ytligt eller nergrävda. De tillverkas ofta av polyetylen och är mestadels tredimensionella (tjocka – i förhållande till de tunnare näten). De finns i olika tjocklekar beroende på ändamålet. De rullas ut över ytan och förankras. Därefter besås de och överst läggs ett lager jord.

Vid etablering av bevuxna erosionsmattor är det mest kostnadseffektivt att etablera vegetationen samtidigt som konstruktionsmaterialet utläggs. En be-

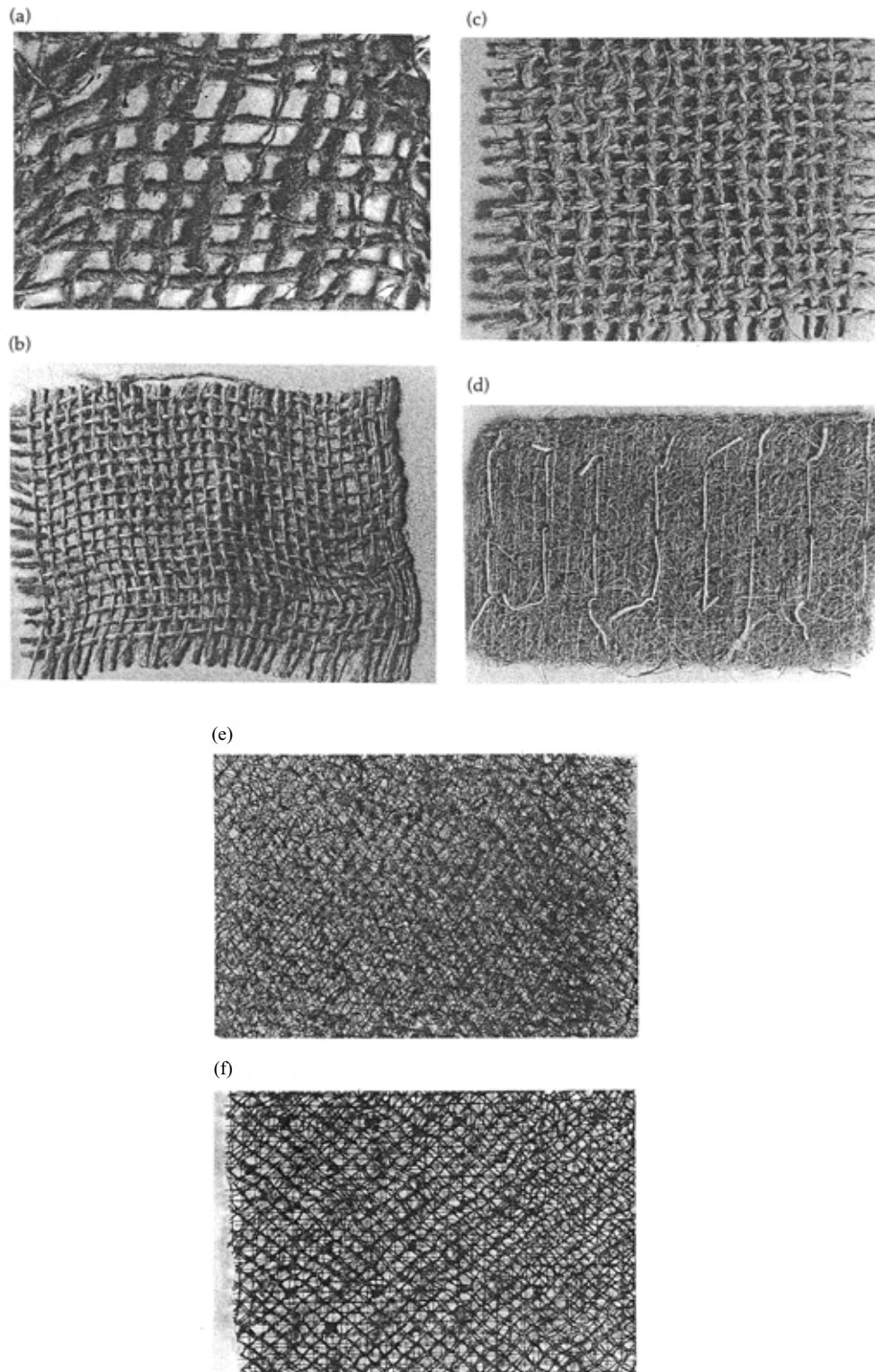
skrivning av några metoder för be vuxna erosionsmattor har givits av Piga (1996) och följande är ett utdrag ur denna skrift.

På alla platser där erosionsrisk föreligger och där nyetablerad vegetation behöver skyddas kan erosionsmattor och geonät användas. Erosionsmattor består vanligen av ett mycket finmaskigt geotextilliknande nät, medan geonätet är betydligt grovmaskigare (maskstorlek 50 x 50 mm). På marknaden finns mattor och nät i olika material och flera olika fabrikat. Naturmaterial som kokos- och jutefibrer dominerar dock marknaden. Kokosfibern är den starkaste fibern som kan fås från naturmaterial eftersom den innehåller 55 % lignin. Kokosfibermattor bryts ner på 5 – 8 år, beroende på jord och klimatfaktorer. Eftersom sådana mattor och nät inte innehåller något syntetmaterial bryts de ned helt och lämnar inga rester som ligger och skräpar i naturen.

Både erosionsmattor och geonät förankras med hjälp av trästolpar (40 – 60 mm diameter och minst 0,5 m långa). Erosionsmattor bör ha 4 förankringar/m². Nät förankras i kanterna och eventuellt även i mitten med ca 2 m mellan stolparna. Stolparna skall slås ner i förband och så långt ner att förankringarna når marknivån. Nätet eller mattan spikas sedan fast på stolparna med krampor. Skarvning av mattor och nät skall ske med 200 mm överlappning.

Gray och Sotir (1996) påpekar att mattor tillverkade av naturliga material dels har en god vattenupptagande förmåga, dels avger organiskt material till jorden. Mattor av syntetiska fibrer har fördelen att de inte bryts ner och därför är bättre lämpade än naturliga fibrer för exempelvis erosionstäckning vid vattendrag. I Figur 15 visas olika typer av erosionsmattor.

En annan metod som Coppin och Richards (1990) beskriver är frömattor som är tillverkade av frön och ”mulches” (för definition se sidan 20), vanligtvis av papper, kokos eller halm, som sys in i glest nät eller geotextil. Mattorna rullas ut och fästs direkt på markytan. För att denna metod skall fungera krävs att jordytan är jämn och porös och att mattan får god kontakt med jorden. Schiechl och Stern (1996) beskriver en metod med en levande buskmatta (utbredningslager) vilken består av grenar av pil eller vide som läggs på släntyten. Grenarnas tjockare ände läggs neråt i slänten och täcks med jord så att de kan rota sig. Hela mattan täcks sedan av ett fint lager med jord och fixeras med pålar och kokosnören eller stråltråd.



Figur 15. Olika typer av erosionsmattor (efter Rickson (Morgan och Rickson, 1995) Med tillstånd av Taylor & Francis Books Ltd, London).
 (a) Vävt jutenät, (b) Vävt jutenät, finmaskigt,
 (c) Vävt kokosnät, (d) Kokosmatta,
 (e) Finmaskigt, syntetiskt tredimensionellt nät,
 (f) Grovmaskigt syntetiskt tredimensionellt nät

5.2 Stabiliserande metoder

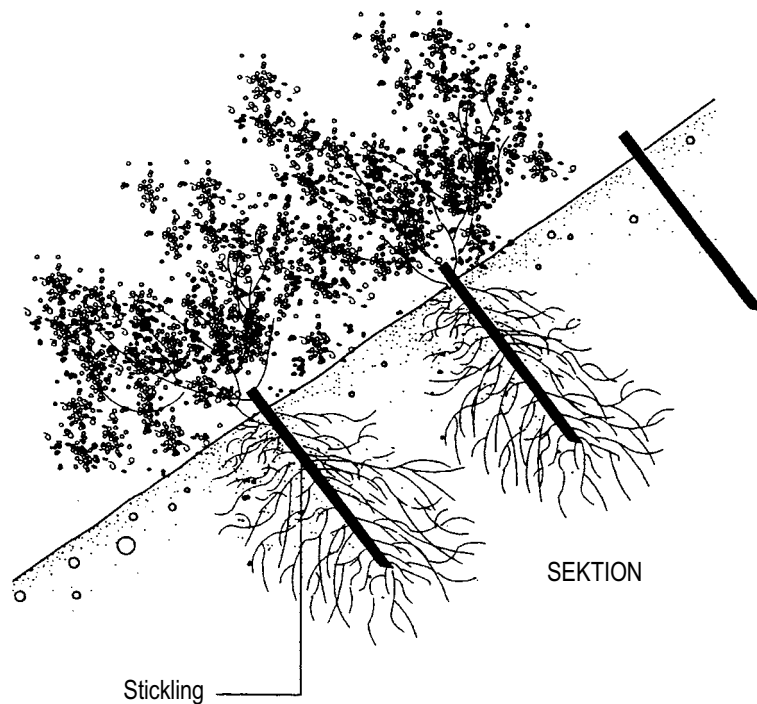
De stabiliserande metoderna utgörs av levande växtmaterial som etableras i slänter där behov finns för en djupstabiliserande effekt. Hur god effekt som erhålls beror hur djupt och hur tätt växterna etableras. De olika stabiliserande metoderna innebär antingen att växtmaterialet placeras i rader eller punktformigt inom det aktuella området. Eftersom metoderna först med tiden ger en ytstabilisering krävs en komplettering med effektiva markskyddande arbeten. Schiechl och Stern (1996) indelar de stabiliserande metoderna i sticklingmetoden, faskiner med eller utan dränering, flätverk, lagermetoder (häck-, gren- eller häckgrenlagermetoden) samt i olika metoder för skydd mot vattenerosion. Metoder för skydd mot vattendrag beskrivs inte här.

Sticklingmetoden

Sticklingmetoden innebär att man förankrar slänten med skottsticklingar i form av orotade kvistar eller grenar. Om sticklingarna förbereds och planteras omsorgsfullt kommer de att bilda rötter och växa. Metoden beskrivs bland annat av Gray och Sotir (1996), Piga (1996) och Begemann och Schiechl (1994) och följande beskrivning av metoden är ett referat av dessa.

Vanligtvis används kvistar och grenar av olika salixarter (vide, jolster och pil) som placeras oregelbundet över ytan. Gray och Sotir (1996) anser att sticklingarna kan sättas i rader tvärs slänten för att motverka yterosion. Sticklingarna bör vara minst 0,6 m långa och ha en diameter av mellan 10 och 30 mm. Grenar skall avlägsnas och barken skall vara intakt. Man snittar ändytan i spetsig vinkel för enkel nedsättning i jorden och överytan skall vara rakt avskuren. Med ett spett görs hål i marken i vilket sticklingen placeras och därefter stampas jorden till runtom för att få bort luftfickor. I lös jord kan man banka ner sticklingen ytterligare en bit. Knappt ¼-del av sticklingens längd skall sticka ovan jord. Det är viktigt att sticklingens blivande rotända ligger lägre än toppen för att adventivrötter ska bildas längs hela kvisten. Minst två sticklingar per kvadratmeter men helst fem eller fler skall planteras. Sticklingar av vide är känsliga för konkurrens under det första året varför de endast bör planteras på ytor som saknar kraftig gräsväxt.

Byggandet med orotade kvistar kan endast ske under vegetationens viloperiod, dvs under höst, vinter och tidig vår. Metoden kan även användas tillsammans med exempelvis erosionsmattor (se Kapitel 5.1).



Figur 16. Principskiss över sticklingmetoden (efter Gray och Sotir, 1996. Med tillstånd av John Wiley & Sons, Inc., New York).

Faskiner

Metoden med faskiner beskrivs av Gray och Sotir (1996), Schiechl och Stern (1996) och Begemann och Schiechl (1994) och följande är ett referat av dessa.

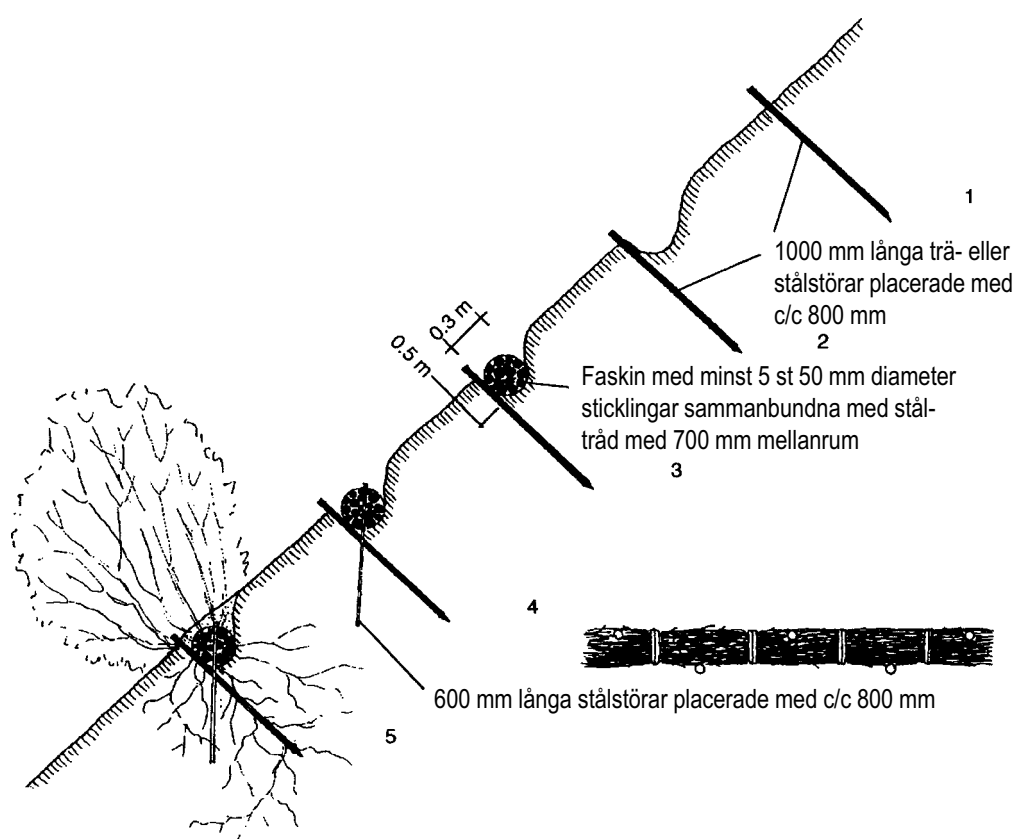
Metoden innebär att levande grenar av adventivrotbildande arter binds samman i långa buntar som placeras i grunda diken i slänten. Buntarna binds samman med kraftig tråd eller ståltråd och förankras i slänten med till exempel trästörar slagna genom buntarna. Dikena fylls därefter igen med jord men de skall inte täckas helt utan några få kvistar bör sticka upp ovan markytan.

I slänten gräver man 0,3 m breda och upp till 0,5 m djupa diken i horisontella eller sluttande rader med början vid släntens fot. Mellan raderna bör exempelvis halm eller nät av jute eller kokos placeras för att skydda den bar ytan och minska erosionen. Fem grenar med en minsta diameter av 50 mm och en minsta längd av 0,6 m binds samman till långa buntar. Alla grenars topp skall vara orienterade i samma riktning och den färdiga buntarna skall ha en diameter mellan 0,15 och 0,20 m. Förankring av faskinerna görs med trästörar eller stålstörar placerade med 0,7 m mellanrum. Gray och Sotir (1996) anger vilket avstånd man bör ha mellan raderna beroende på släntlutning och i vilken lutning dikena grävs. För släntlutningar mellan 1:1 och 1:5 varierar det rekommenderade avståndet mellan 0,6 och 3 m.

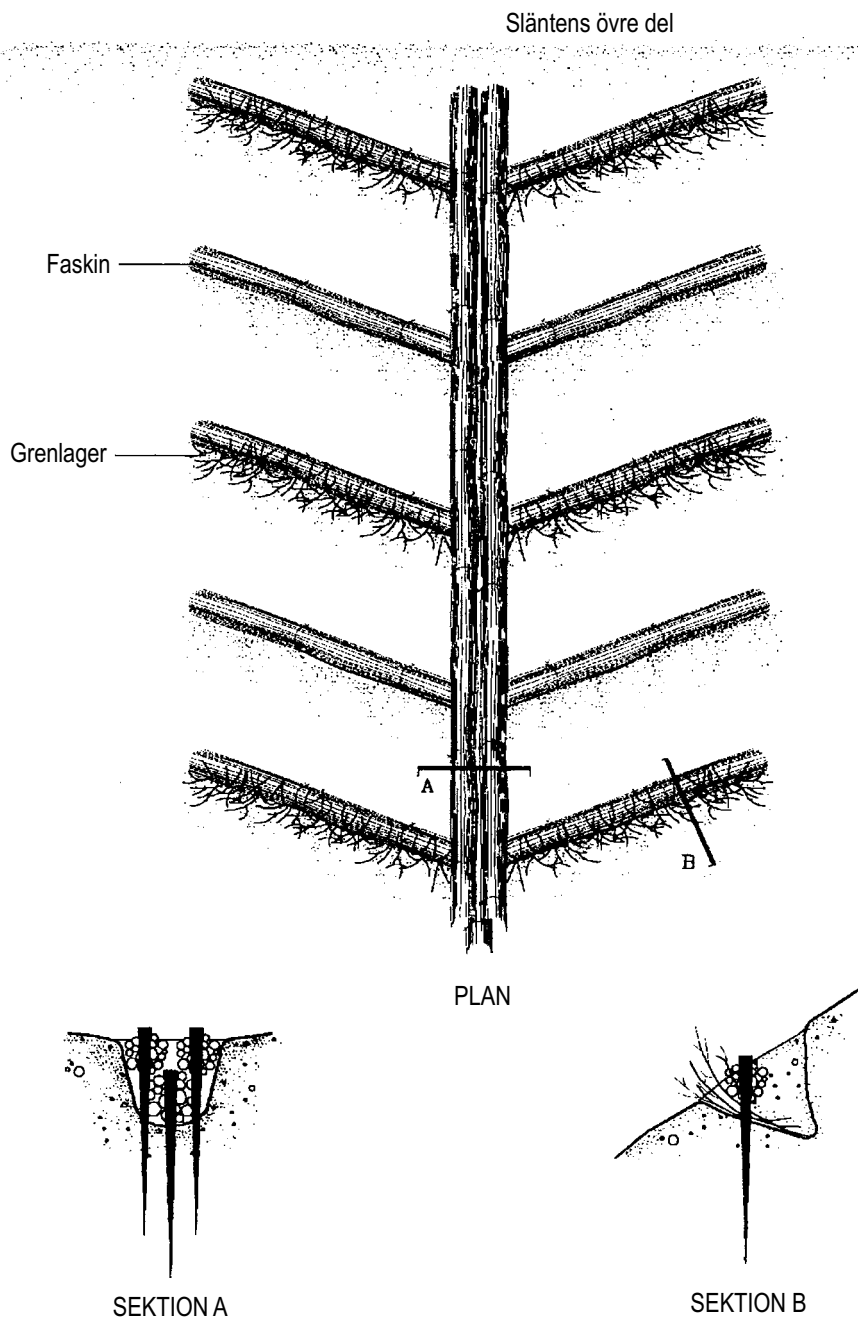
Fördelar med faskiner är att de är enkla och effektiva och att de går relativt snabbt att installera eftersom de grävs ner grunt. Dessutom bildar raderna av faskiner trappsteg som minskar avrinningshastighet och fångar upp sediment. Nackdelen med metoden är att den endast stabiliserar ytliga jordlager och att den kräver mycket material.

Faskiner med dränering innebär att faskinerna placeras så att de kan avleda vatten. Ett sätt att konstruera ett sådant system är att ha flera enkla faskiner som leder vatten till en större central dräneringsfaskin, se Figur 18. Systemet används i blöta slänter där bevis finns för höga vattentryck som kan minska stabiliteten i släntens yta.

Faskiner installeras under växternas viloperiod



Figur 17. Faskiner (efter Schiechl och Stern, 1996. Med tillstånd av Blackwell Publishers Ltd, Oxford).



Figur 18. *Dräneringsfaskiner (efter Gray och Sotir, 1996. Med tillstånd av John Wiley & Sons, Inc., New York).*

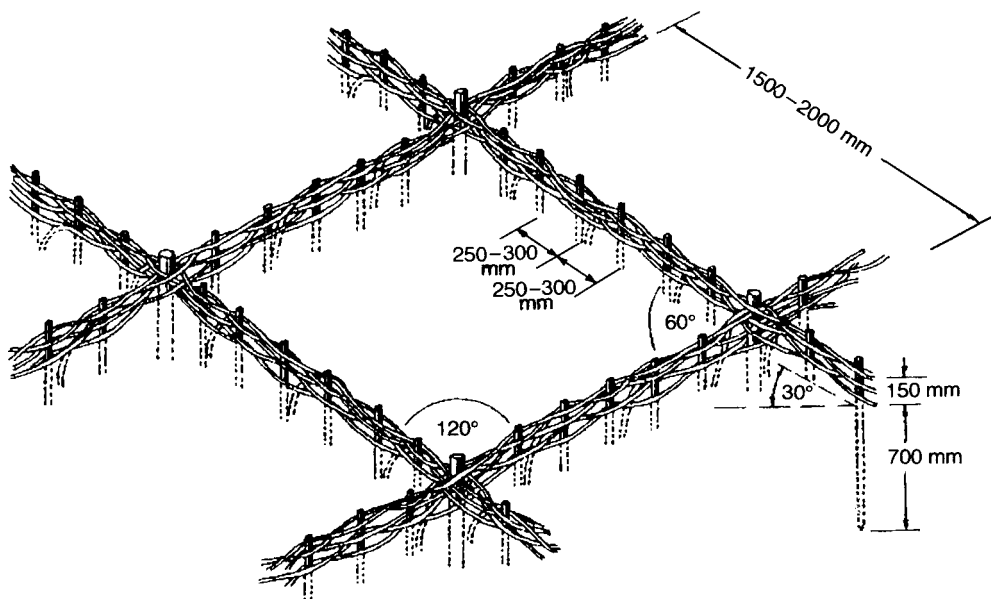
Flätverk

Beskrivningen nedan av flätverksmetoden är ett kort referat av den mer utförliga beskrivningen som ges av Svensson (1991).

Flätverksmetoden innebär att man i jorden sticker ner kraftiga pinnar (30–100 mm diameter) av lättrotande arter som placeras med ett mellanrum av ca 1 m. Mellan dessa grövre pinnar slås kortare pinnar eller sticklingar ner med ett mellanrum av cirka 0,3 m, se Figur 19. Minst $\frac{2}{3}$ av pinnens längd måste ner i jorden för att den skall kunna rota sig. Runt pinnarna flätas böjliga spön som är minst 120 cm långa. Dessa skall vara endast något förgrenade och av lättrotat material som snabbt slår skott. På så vis flätar man 3–7 stycken spön ovanpå varandra. Över flätverket fyller man sedan på med jord. Ju mer av flätverket som täcks av jord desto bättre.

Man kan antingen bygga ett enkelt flät nät eller ett diagonalt, rutat flät nät. Det enkla flät nätet utförs i svagt lutande, parallella rader med 1,5–3 m mellan raderna och med en vinkel på 10–20° mot höjdkurvorna. Rutnät görs som romber med 1,5–2 m mellan hörnen.

Även Piga (1996) beskriver flätverksmetoden men menar att metoden inte är så djupt stabiliserande under etableringsskedet samt att den är mycket arbetsintensiv, varför den knappast kommer att få så stor praktisk användning i Sverige.



Figur 19. Principskiss för flätverksmetoden (efter Schiechl och Stern, 1996. Med tillstånd av Blackwell Publishers Ltd, Oxford).

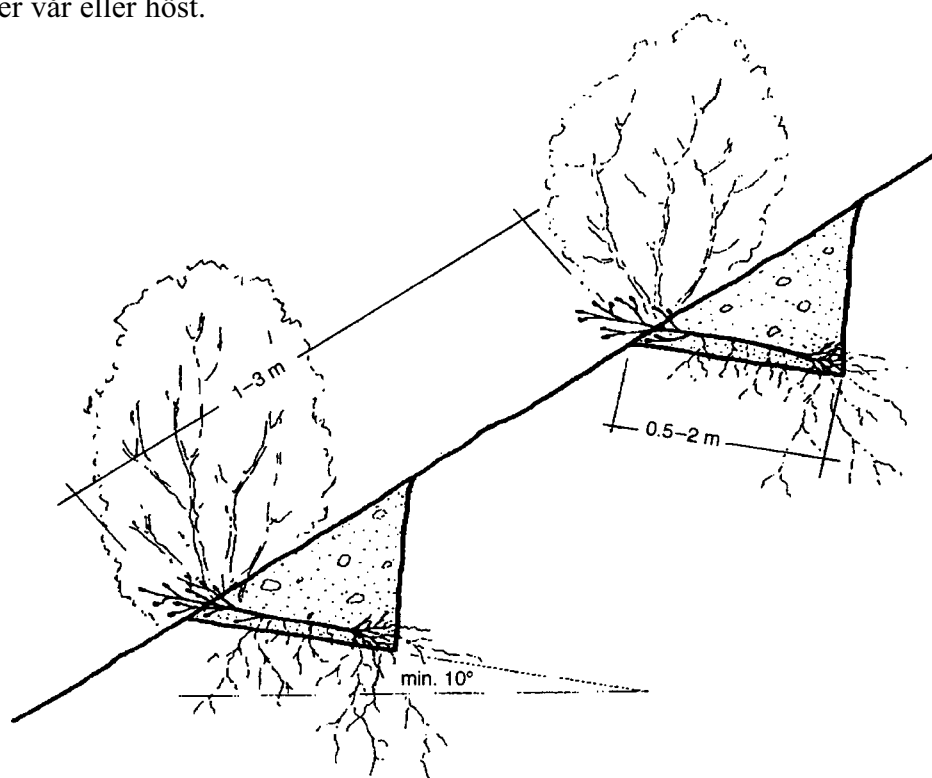
Lagermetoder

Lagermetoderna innebär att man i grävda diken placerar lager av rotade och/ eller orotade grenar. Metoderna indelas i häck-, gren- och häckgrenlagermetoderna. Beskrivningen nedan är ett kort referat av en mer utförlig beskrivning av Schiechtl och Stern (1996), Piga (1996) och Svensson (1991).

Häcklagermetoden

Vid häcklagermetoden används rotade lövfällande busk- eller träarter som tål jordtäckning och som kan utveckla adventivrötter. Terrasser eller diken med ett djup och en bredd av 0,5 – 2 m grävs i slänten med början vid släntens fot. Man arbetar sig sedan uppåt genom att massorna från ovanliggande grävda terrass används till att fylla igen nedanförliggande terrass. Terrassen bör luta 5 – 10° in mot slänten så att grenarnas rotände kommer lägre än toppen, se Figur 20. Det är vanligast med horisontella terrasser som följer höjdkurvorna men vid problem med blöta slänter görs terrasser som löper diagonalt över slänten. Eventuellt förbättras jorden med ett tunt lager av kompost. De rotade plantorna läggs sedan tätt intill varandra på sådant sätt att högst 1/3-del av deras längd kommer utanför jorden. Terrassen fylls sedan igen med material som grävs ut från ovanliggande terrass. Detta bör ske omedelbart för att förhindra uttorkning av såväl jord som grenar.

Beroende vilka plantor som väljs krävs mellan 5 och 20 plantor per löpmetre. Avståndet mellan terrasserna beror på släntlutning och jordförhållanden och varierar vanligtvis mellan 1 och 3 m. Häcklagermetoden bör utföras under vår eller höst.



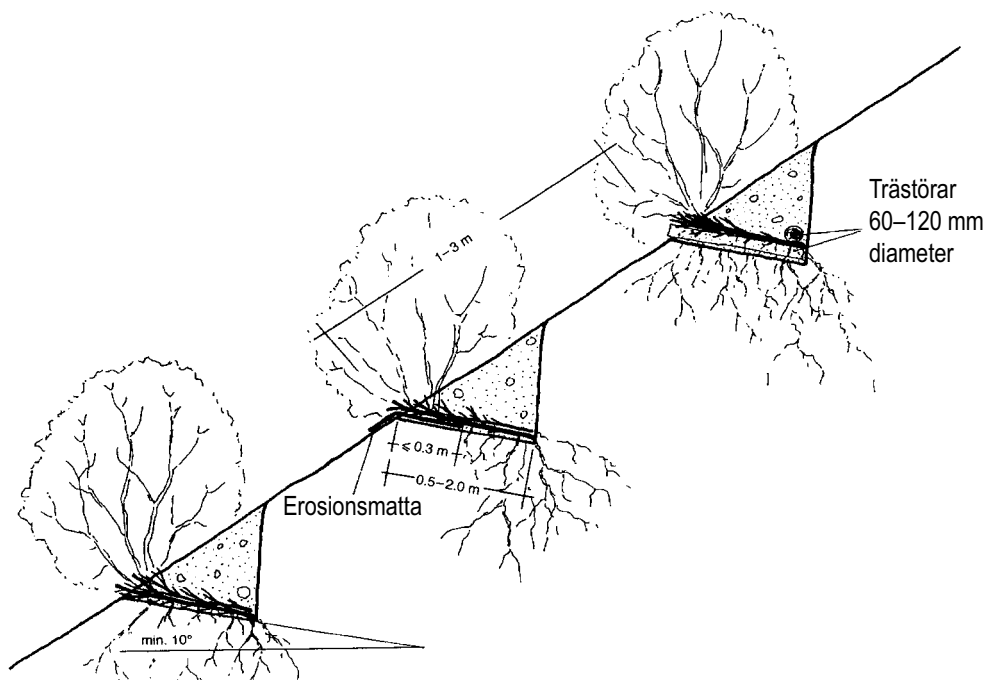
Figur 20. Häcklagermetoden (efter Schiechtl och Stern, 1996.
Med tillstånd av Blackwell Publishers Ltd, Oxford)

Nackdelen med häcklagermetoden är att den är kostsam eftersom den kräver inköp av plantor. Fördelarna är att den stabiliserar mer på djupet jämfört med en vanlig plantering och att man kan, av estetiska eller växtsociala skäl, använda sig av andra arter än salixarterna.

Grenlagermetoden

I grenlagermetoden använder man sig av orotade grenar och kvistar som kan bilda adventivrötter, vanligtvis salixarter. Metoden går för övrigt i princip till på samma sätt som häcklagermetoden. En utförlig beskrivning av metoden ges bland annat av Gray och Sotir (1996), Schiechl och Stern (1996), Piga (1996) och Svensson (1991).

I branta slänter kan erosionsmattor användas som ett komplement.

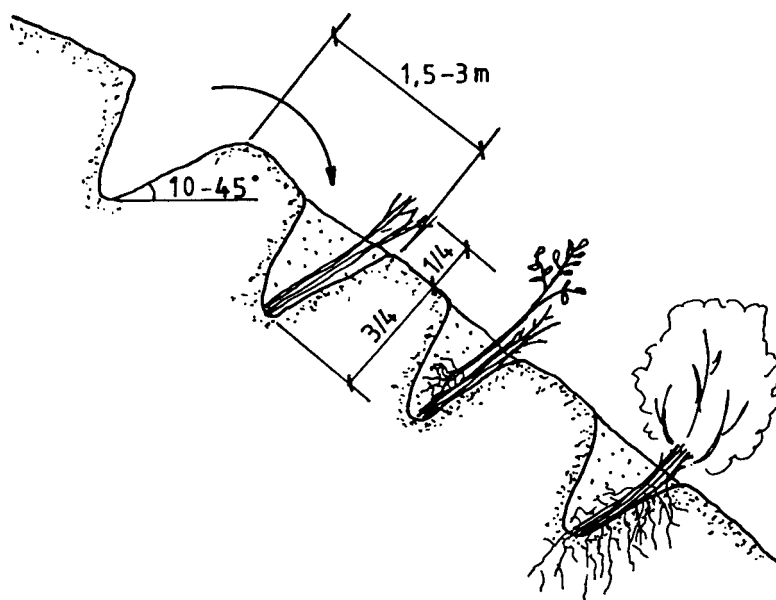


Figur 21. Grenlagermetoden (efter Schiechl och Stern, 1996. Med tillstånd av Blackwell Publishers Ltd, Oxford). Standardversion (vänster), kombinerad med erosionsmatta (mitten), förstärkt med stölar (höger).

Häck-grenlagermetoden

Häckgrenlagermetoden är en kombination av häck- och grenlagermetoderna, dvs man använder sig både av orotade kvistar och grenar samt redan rotade plantor. Metoden blir därigenom billigare än häcklagermetoden. Metoden finns bland annat beskriven av Schiechtl och Stern (1996), Piga (1996) och av Svensson (1991). Beskrivningen nedan är ett kort referat av dessa.

Anläggningen som bör ha 10 orotade kvistar och 1 – 5 plantor per löpmeter, byggs på samma sätt som häcklagermetoden. Plantorna placeras så att ca $\frac{1}{4}$ av plantan sticker ut. Pionjärväxterna, de orotade kvistarna, skall endast fungera som stabilisering under de första åren efter planteringen till dess att plantorna hunnit etableras sig. Därför är valet av pionjärväxter inte så väsentligt. Tidigast 3 år efter planteringen har sekundärarterna hunnit etablera sig och kan ta över. Vanligtvis konkurreras salixarterna ut genom naturlig succession. Plantering skall endast göras under växternas viloperiod.



Figur 22. Principskiss för häck-grenlagermetoden (efter Piga, 1996).

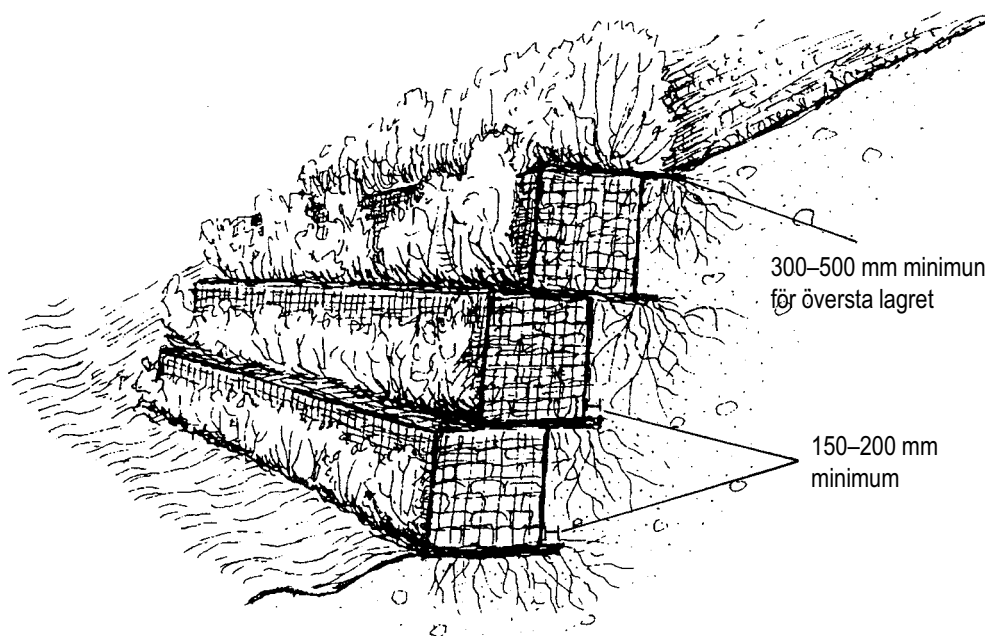
5.3 Kombinerade metoder

Det man kallar kombinerade ingenjörbiologiska metoder är sådana där såväl levande växtmaterial som icke levande material (exempelvis sten, cement, trä, geosynteter) används. De kombinerade metoderna används vid mycket branta slänter där stabilisering med enbart växter inte räcker till och om slänten måste göras brantare än den naturliga rasvinkeln (Piga, 1996). Flera författare beskriver olika kombinerade metoder, t.ex Schiechtl och Stern (1996), Begemann och Schiechtl (1994), Svensson (1991), Piga (1996) och Coppin och Richards (1990).

Bevuxna gabioner

Följande text är ett kort referat av en mer omfattande beskrivning av Schiechtl och Stern (1996).

Bevuxna gabioner är stål nät skorgar placerade på markytan som fylls med lager av grovt grus eller sten, och mellan lagren förs orotade kvistar eller rotade plantor in. Växterna kan stickas genom nätet ner i underliggande mark för att erhålla bättre förutsättningar för etablering. Korgen binds ihop och en gabion som exakt följer terrängen har skapats, se Figur 23. Om det finns risk för att gabionen skall röra sig, förankras den genom långa stålspiggas som slås in i bakomliggande jord. Prefabricerade korgar fyllda med grus och sten förekommer också och vid användning av dessa får man placera grenar i fogarna mellan de olika korgarna.



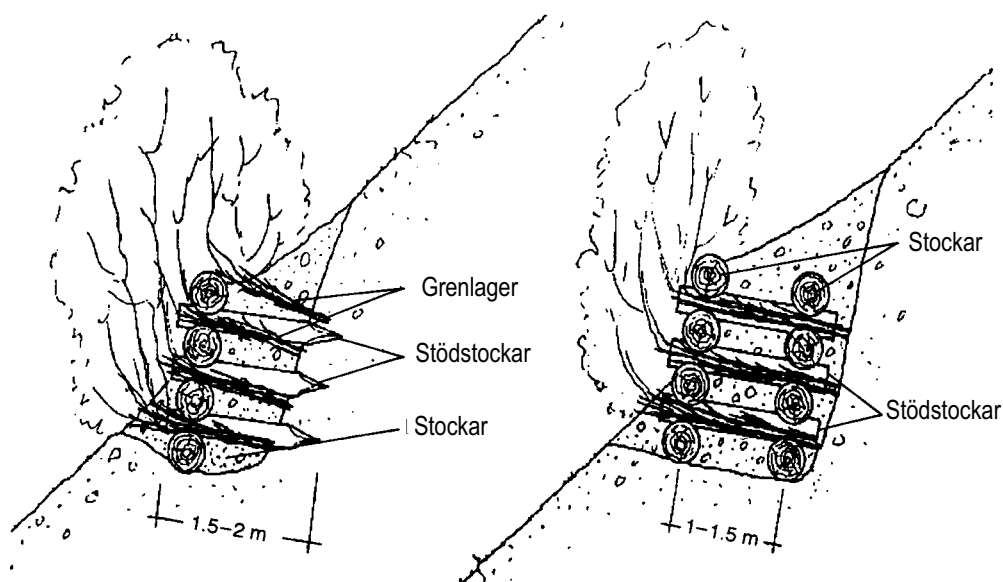
Figur 23. *Bevuxna gabioner (efter Schiechtl och Stern, 1996. Med tillstånd av Blackwell Publishers Ltd, Oxford).*

Konstruktioner av bevuxna gabioner skall endast göras under växternas viloperiod. Metoden kräver tillgång på grus och sten.

Piga (1996) påpekar att gabioner är ganska vanliga utefter våra svenska vägar men möjligheten att förstärka dessa med vegetation tycks dock inte utnyttjas. Vegetation skulle dessutom ofta försköna dessa sterila murar.

Trästockar

Trästockar kan användas tillsammans med levande växter i olika ingenjörsbio-logiska konstruktioner. Schiechl och Stern (1996) beskriver stockmurar av trä som består av trästockar med 100-250 mm diameter som placeras i lager och binds ihop framför slänten. Stockarna hålls på plats genom att klenare stockar sticks mellan dem och bakåt i jorden. Två lager av stockar kan användas och mellanrummen fyllas med jord vilket då ger ett mycket bra mothåll genom sin tyngd. Mellan stockarna etableras ett grenlager som skall luta bakåt minst 10° mot horisontalplanet, Piga (1996).



Figur 24. Principskiss för trästockar sk stockmurar, enkel och dubbel mur (efter Schiechl och Stern, 1996. Med tillstånd av Blackwell Publishers Ltd, Oxford).

Bevuxna murar med geotextilier

Stödmurar kan byggas upp i en brant slänt med hjälp av geotextilier och vegetation. Piga (1996) beskriver hur metoden går till och följande är ett utdrag ur denna skrift.

Slänter kan också förstärkas med murar uppbyggda av en serie på varandra liggande geotextilvalkar (mjuka gabioner). Geotextilen läggs ut utmed släntfoten och jordmaterial läggs på och kompakteras. Därefter viks textilen över och ett tunt skikt jord läggs på. Sedan läggs ett lager med grenar eller vide-spön ut och täcks med jord varpå man börjar om med en ny geotextil. Det är viktigt att grenarna får kontakt med jorden i den bakomliggande slutningen för att få en så bra förankring som möjligt. Grenarna börjar grönska och växa inom några veckor och redan efter något år är vegetationen då så tät att man inte längre ser geotextilen.

Betong

Betong kan kombineras med vegetation på en mängd olika sätt. De använda betongdelarna måste dock vara utformade med hålrum där växter kan planteras. Ett problem som Coppin och Richards (1990) tar upp är den höga alkaliska innehållet i betong och dess höga värmeupptagningsförmåga vilket leder till hög halt av evapotranspiration. Förstärkning av betongmurar med hjälp av vegetation är viktigt för att få en jämn fördelning av marktrycket mot muren Piga (1996). Dessutom påpekar Piga (1996) att det krävs djuprotande och relativt torktåliga arter men att alltför stora och kraftiga rotsystem (exempelvis träd) kan spränga sönder muren.

6 Försöksanläggningen ”Longham Wood Cutting”

Den engelska organisationen CIRIA (Construction Industry Research and Information Association) bedrev under åren 1992–1998 forskning i en försöksanläggning i Longham Wood utanför Maidstone, Kent. Resultaten från försöksanläggningen finns beskrivna i Bioengineering, The Longham Wood Cutting field trial (Greenwood et al, 2001) och följande text är ett kort referat av denna.

6.1 Bakgrund och syfte med anläggningen

Longham Wood Cutting är en skärningslänt i så kallad Gaultlera (lera som är fast till mycket fast och som är högplastisk till mycket högplastisk) längs motorvägen M20 nära Maidstone, Kent. I samband med breddning och översyn av stabiliteten längs motorvägen i början av 1990-talet skulle en avschaktning göras i slänten. Platsen ansågs lämplig som försöksanläggning på grund av följande orsaker:

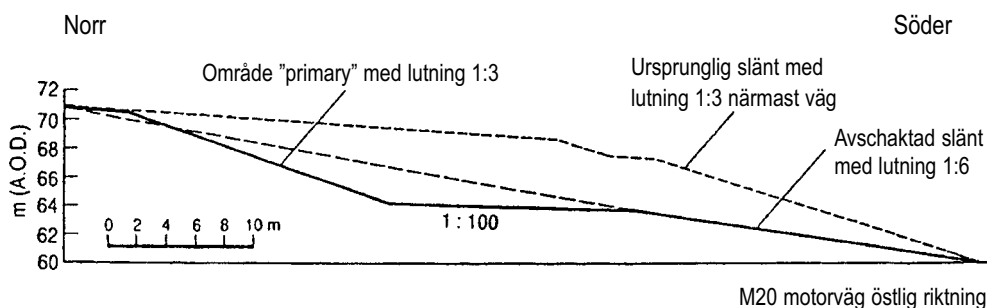
- I skärningen hade ytliga skred inträffat tidigare.
- Skärningen var i så kallad Gaultlera, vilken har en hög skredfrekvens i skärningar och uppfyllningar.
- Tiden för utgrävning sammanföll med projektets önskemål.
- En del av den nya skärningen kunde göras brant utan att äventyra trafiken på motorvägen.

Syftet med försöksanläggningen var:

- att erhålla en demonstrationsplats där olika ingenjörsbioologiska metoder kunde studeras för att stimulera till att metoderna får en bredare spridning
- att skapa en möjlighet att jämföra olika vegetationstyper och insamla fältdata om deras effekter och funktioner.

6.2 Beskrivning av anläggningen

Den tidigare slänten hade en lutning på 1:3. Vid breddningen av motorvägen planerades en släntlutning av 1:6. Med en lutning av 1:6 är risken för ytliga skred låg och därför ökades släntens lutning till 1:3 högre upp i en del av försöksområdet (område primary, se Figur 25).



Figur 25. Sektion av försöksanläggningen (efter Greenwood et al, 2001. Med tillstånd av CIRIA, London).

Geotekniska undersökningar visade på i stort sett horisontella jordlager bestående av olika typer av Gaultlera. I övre delen av slänten var jorddjupet större än 15 meter. Gault lerans geotekniska egenskaper sammanfattas i Tabell 5.

Tabell 5. Geotekniska egenskaper för Gaultlera i Longham Wood (efter Greenwood et al, 2001. Med tillstånd av CIRIA, London).

Parameter	Värde	Kommentar
w_n	20–29 %	
w_L	59–81 %	
w_p	19–27 %	
τ_{fu}	> 60 kPa på 3,5–8 m djup > 100 kPa på >8 m djup	Försök ej utfört på lera från Longham Wood Cutting
c', ϕ'	12 kPa, 23°	Dränerade triaxialförsök
ρ_d	1,48 t/m ³	$\rho = 1,8–1,9 \text{ t/m}^3$

Försöksområdet indelades i två områden; Western primary plots (lutning 1:3) och Eastern secondary plots (lutning 1:6), se Figur 26. I område primary (western primary plots) förkultiverades leran innan ett 300 mm tjockt matjordlager spreds ut. I område secondary (Eastern secondary plots) spreds matjord av olika tjocklek (300 respektive 50 mm) ut över de övre delarna av slänten medan det på den nedre delen inte lades ut någon matjord alls. För att öka stabiliteten installerades i vissa delar av område primary och över hela område secondary, 3 m djupa dräneringsdiken (s k counterfort drains) i rader med ett inbördes avstånd av 10 m, se Figur 26. Dräneringsdikena fylldes med fridränerande mellansand.

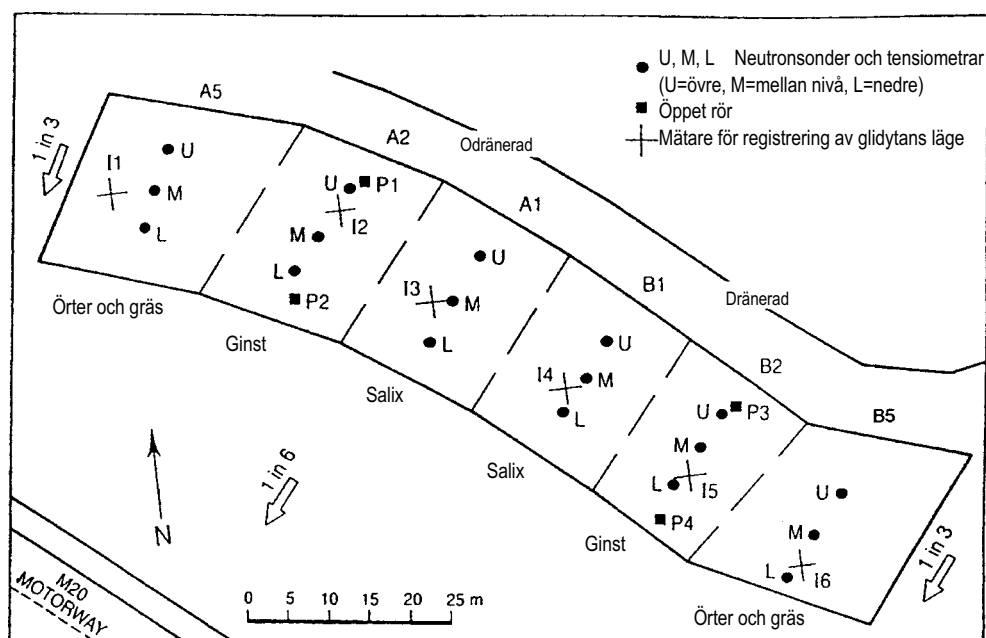
Områdena såddes och planterades under april och maj 1994.

6.3 Instrumentering och mätning

Inom försöksanläggningen utfördes ett antal mätningar och undersökningar i syfte att studera:

- vegetationens växande och rottrådarnas fördelning
- förändring i vattenkvot, porvattentryck och sugkrafter
- jordens hållfasthet, förändring över tiden på grund av väder och rotförstärkning

I område primary installerades neutronsonder, tensiometrar, öppna rör, rörelsemätare och regnmätare enligt Figur 27. I område secondary installerades endast neutronsonder. Mätningar av negativa porvattentryck utfördes kontinuerligt med dataloggning. Övriga mätningar gjordes manuellt med regelbundna intervall.



Mätning av växtlighet

En studie av växtligheten ovan mark i både område primary och secondary utfördes en gång per år. Man registrerade täckningsgrad, höjd, skick och vegetationsskiktets densitet.

Rötternas växande och fördelning studerades bland annat genom tubprover med 80 mm diameter. Prover togs med 0,1 m intervall ned till 0,5 m djup i område primary. Dessutom gjordes 4 m långa och 1 m djupa utgrävningar för att studera rotfördelning i två områden. Mätning gjordes av antal rötter (i två olika storleksklasser) inom ett rutschystem av 0,1 x 0,1 m och beräkning av rotareaförhållandet (A_R/A) utfördes.

Mätning av hydrologiska faktorer

I område primary installerades 18 stycken neutronsonder i syfte att mäta vattenkvot, vilken kan relateras till negativa porvattentryck. I område secondary installerades 21 stycken neutronsonder. Tensiometrar installerades i område primary i syfte att mäta negativa porvattentryck och från dessa beräkna vattenkvot och förändringar i fuktinnehåll. De installerades på 18 olika platser och vid varje plats installerades fyra mätare till olika djup. Nederbördsmängder mättes under anläggningens första mätperioder.

Mätning av geotekniska egenskaper

Fyra grundvattenrör installerades i område primary på 2,9 m djup. Sex rörelsemätare installerades till 3 m djup i område primary. Rörelsemätarna bestod av 25 mm PVC flexibel slang, installerad i borrarade hål med en diameter av 75 mm. Hålen fylldes, efter installation av slangen, med sand. Avläsning av eventuella rörelser i röret gjordes genom att blysnäcken fördes ner i röret. En uppskattning av lerans skjuvhållfasthet gjordes med en 25 mm tjock Mackintosh sond. Denna drevs ner till önskat djup (1,3-1,6 m) med hjälp av en 4 kg tung hammare som fick falla fritt från 0,4 m höjd. Kolvprovtagning med 60 mm eller 75 mm diameter utfördes på 18 ställen i område primary till 1,5 m djup. Vingförsök (handtyp) och penetrometerförsök utfördes på proverna.

In situ skjuvboxförsök utfördes för att bestämma skjuvhållfastheten på rotförstärkt Gaultlera. Utdragsprov på rottrådar för att bestämma in situ draghållfastheten utfördes på viderötter.

6.4 Resultat

Följande slutsatser kunde dras från den ingenjörsmässiga försöksanläggningen i Longham Wood:

- salixarterna och al hade efter fem år utvecklat ett rotsystem som höjer skjuvhållfastheten i jorden
- huvuddelen av salixarternas och alens rotsystem återfanns i de övre nivåerna men några nådde ner till 1,2 m djup
- en draghållfasthet på 8 MN/m² uppmättes på alens och salixarternas rötter
- av de möjliga påverkande faktorer som växterna kan ha på stabiliteten är det endast draghållfastheten i rötterna som kan betraktas som tillförlitlig fem år efter planteringen
- dräneringsdikena (counterfort drains) hade ingen effekt på vegetationen eller på jord- och grundvattenförhållandena i de övre 1,2 m

- små förändringar av vattenkvoten på grund av vegetationen visade sig efter fyra till fem års växande. Förändringarna var dock inte tillräckliga för att kvarstå under den lövfria vintern
- det arbete som krävs för plantering och skötsel av växter i en ingenjörsbilogisk anläggning är inte mer krävande än för en vanlig landskapsplanering

7 Referenser

- ATB VÄG (2000).** Vägverkets publikation, Borlänge.
- Barker, D. H. (1986).** Enhancement of slope stability by vegetation. Ground Engineering, Vol. 19, no 3.
- Begemann, W. & Schiechl, H. M. (1994).** Ingenieur Biologie. Handbuch zum ökolo-gischen Wasser- und Erdbau. Wiesbaden och Berlin. Bauverlag GMBH.
- Biddle, P. G. (1998).** Tree root damage to buildings. Volume 1. Willowmead Publishing Ltd.
- Bishop, A. W. (1955).** The use of slip circle in the stability analyses of slopes. Geotechnique V, No.1, 7-17.
- Borgegård, S. O. (1980).** Ny grönska efter grustäkt. Naturvårdsverket, Meddelande 1325.
- Borgegård, S. O.(1991).** Rotutveckling av trädrötter på morän i Ranstad. PM. Ej publicerad.
- Cederwall, K. & Larsen, P. (1976).** Hydraulik för väg- och vattenbyggare. Liber Läromedel, Malmö.
- Clemensson-Lindell, A., Borgegård, S-O. & Persson, H. (1992).** Reclamation of mine waste and its effects on plant growth and root development – a literature review. Institutionen för ekologi och miljövård, Sveriges lantbruksuniversitet. Rapport 47. Uppsala.
- Coppin, N. J. & Richards, I. G. (1990).** Use of vegetation in civil engineering. Construction industry research and information association, CIRIA, Butterworths, London.
- DIN 18918. (1990).** Vegetationstechnik im Landschaftsbau. Ingenieurbiologische Sicherungsbauweisen, Sicherungen durch Ansaaten, Bepflanzungen. Bauweisen mit lebenden und nichtlebenden Stoffen und Bauteilen, kombinierte Bauweisen. Berlin.
- Eriksson, O., Persson, T. & Sjölund, A. (2001).** Lägesrapport 2001 för projektet Etablering av naturlig vegetation på erosionskänsliga jordar och i kärva klimat. Vägverket, Borlänge.
- Fitter, R., Fitter, A. & Blamey, M. (1983).** Bonniers flora i färg. En fält-handbok. Bonnier fakta Bokförlag AB, Stockholm.
- Gasson, P. E. & Cutler, D.F. (1990).** Tree root plate morphology. Arboricultural Journal 14, (3), pp 193-264.

- Gray, D. H. (1994).** Navigating the maze of options to control erosion requires a keen sense of direction, a nose for solutions, and a thorough understanding of the methods and devices available. Approaches to slope protection and erosion control. *Erosion Control*, Vol 1, No 4, pp 32-39.
- Gray, D. H. & Sotir, R. B. (1996).** Biotechnical and soil bioengineering slope stabilisation. A practical guide for erosion control. Wiley & Sons, Inc., New York.
- Greenwood, J. R., Vickers, A. W., Morgan, R. P. C., Coppin, N. J. & Norris, J.E. (2001).** Bioengineering. The Longham Wood Cutting field trial. CIRIA Project Report 81, London.
- Janbu, N. (1954).** Stability analyses of slopes with dimensionless parameters. Doctoral Thesis, Cambridge, Massachusetts.
- Janbu, N., Bjerrum, L. & Kjærnsli, B. (1956).** Veiledning ved løsning av fundamenteringsoppgaver. Norwegian Geotechnical Institute, Publication no 16, Oslo.
- Ledin, S. (1999).** Växtetablering på störda marker – särskilt på deponier för gruvavfall. Naturvårdsverket, rapport 5026.
- Morgan, R. P. C. & Rickson, R. J. (1995).** Slope stabilisation and erosion control. A bioengineering approach. E & FN SPON, London.
- Nationalencyklopedin (1989).** Bra Böcker, Höganäs.
- Piga, C. (1996).** Ingenjörbiologi, växten som ett levande byggmaterial. Kurslitteratur Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp.
- Rolf, K. (2002).** Personlig kontakt.
- Schiechl, H. M. & Stern, R. (1994).** Handbuch für naturnahen Wasserbau. Österreichischer Agrarverlag, Wien.
- Schiechl, H. M. & Stern, R. (1996).** Ground bioengineering techniques for slope protection and erosion control. Blackwell Science Ltd.
- Schmidt, K. M., Roering, J. J., Stock, J. D., Dietrich, W. E., Montgomery, D. R. & Schaub, T. (2001).** The variability of root cohesion as an influence on shallow landslide susceptibility in the Oregon Coast Range. *Canadian Geotechnical Journal*, 38. pp 995-1024
- Sellby, M. J. (1993).** Hillslope materials and processes. University press., Oxford.
- Skredkommissionen (1995).** Anvisningar för släntstabilitetsutredningar. Rapport 3:95. Linköping.
- Svensson, L. (1991).** Vägslätten som teknikens biotop. Institutionen för landskapsplanering, Sveriges Lantbruksuniversitet, Alnarp.
- USDA, Soil Conservation Service, (1992).** Chapter 18, Soil Bioengineering for Upland slope Protection and Erosion Reduction. Part 650, 210-EFH. Engineering Field Handbook.

- Wu , T. H., McKinnell III, W. P. & Swanston, D. N. (1979).** Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska. *Canadian Geotechnical Journal*, 16(1), pp 19-23.
- Wu, T. H. (1984).** Effect of vegetation on slope stability. *Transportation Research Record 965*, Transportation Research Board, Washington, DC, pp. 37-46.
- Öberg, A-L. & Sällfors, G. (1995).** A rational approach to the determination of shear strength parameters of unsaturated soil. *Proceedings 1st International Conference on unsaturated soils*, Vol. 1, pp 151-158, Paris.
- Öberg, A-L. (1997).** Matrix suction in silt and sand slopes. Significance and practical use in stability analysis. PhD thesis. Department of geotechnical engineering, Chalmers University of Technology. Göteborg.

Bilagor

Bilaga 1

Anpassning av Bishops metod för att ta hänsyn till effekter av vegetation

Bishops rigorösa metod

Om glidytan påverkas av de krafter som redovisas i Figur 13 blir ekvationen enligt Bishops rigorösa metod:

$$F_{c\phi} = \frac{\sum \frac{(c' + c_R)b + (\Delta W + \Delta S_w - (u - u_v)b + T_n - T_{n+1}) \tan \phi'}{[1 + ((\tan \phi' \tan \alpha) / F_{c\phi})] \cos \alpha}}{\sum (\Delta W + \Delta S_w) \sin \alpha + \frac{y \gamma_w H_t^2}{R \cdot 2} \pm \frac{D \cdot H_D}{R}}$$

där H_D = momentarm för vindlast, m
 y = momentarm för vattenkraft i spricka i torrskorpan, m
 H_t = djup för vattenfylld spricka genom torrskorpan, m

Bishops förenklade metod

Om glidytan påverkas av de krafter som redovisas i Figur 13 blir ekvationen enligt Bishops förenklade metod:

$$F_{c\phi} = \frac{\sum \frac{(c' + c_R)b + (\Delta W + \Delta S_w - (u - u_v)b) \tan \phi'}{[1 + ((\tan \phi' \tan \alpha) / F_{c\phi})] \cos \alpha}}{\sum (\Delta W + \Delta S_w) \sin \alpha + \frac{y \gamma_w H_t^2}{R \cdot 2} \pm \frac{D \cdot H_D}{R}}$$

där H_D = momentarm för vindlast, m
 y = momentarm för vattenkraft i spricka i torrskorpan, m
 H_t = djup för vattenfylld spricka genom torrskorpan, m

Uttrycket för skjuvhållfastheten i jord med negativt porvattentryck kan skrivas:

$$\tau_f = c' + (\sigma - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) S_r \tan \phi'$$

där u_a = lufttryck i porer, kPa
 u_w = porvattentryck i omättad zon, kPa
 S_r = vattenmättnadsgrad, %

Ekvationen för säkerhetsfaktorn med hänsyn till negativa portryck, ökad kohesion, belastning och vindlast blir då enligt Bishops förenklade metod:

$$F_{c\phi} = \frac{\sum \frac{c' + c_R + \left(\frac{\Delta W + \Delta S_w}{b} - u_a \right) \tan \phi' + (u_a - u_w) S_r \tan \phi'}{1 + \frac{\tan \phi' \tan \alpha}{F_{c\phi}} \cos \alpha} \cdot b}{\sum (\Delta W + \Delta S_w) \sin \alpha + \frac{\gamma \gamma_w H_t^2}{R \cdot 2} \pm \frac{D \cdot H_D}{R}}$$

För definition av ingående parametrar se ovan och Figur 13.

Beräkningsmetoder prövas på befintlig slänt i Näsåker

1. Beskrivning av området

Längs Ångermanälven, ca 4 mil nordväst om Sollefteå, ligger byn Näsåker. Älven är här mycket kraftigt nedskuren i dalgången med mycket branta silt-slänter närmast älven. Ovan slänterna går en väg i nordvästlig riktning. Mellan slänterna och vägen ligger bebyggelse som består av villor och en skola. Rörelser i form av erosion och ytliga skred pågår i slänterna. Stabilitetsanalyser av området har visat på låga säkerhetsfaktorer (bland andra KM anläggning, 1997, J&W Mark och Anläggning, 2000 och Geoteknisk Spets-Teknik, 2000). I denna undersökning har området mellan skolan och älven studerats, se Figur B2-1.



Figur B2-1. Plan över Näsåkers skola med omnejd. Sektion C i rött.
Ur ekonomiska kartan © Lantmäteriverket, Gävle 2002.
Medgivande M2002/2579

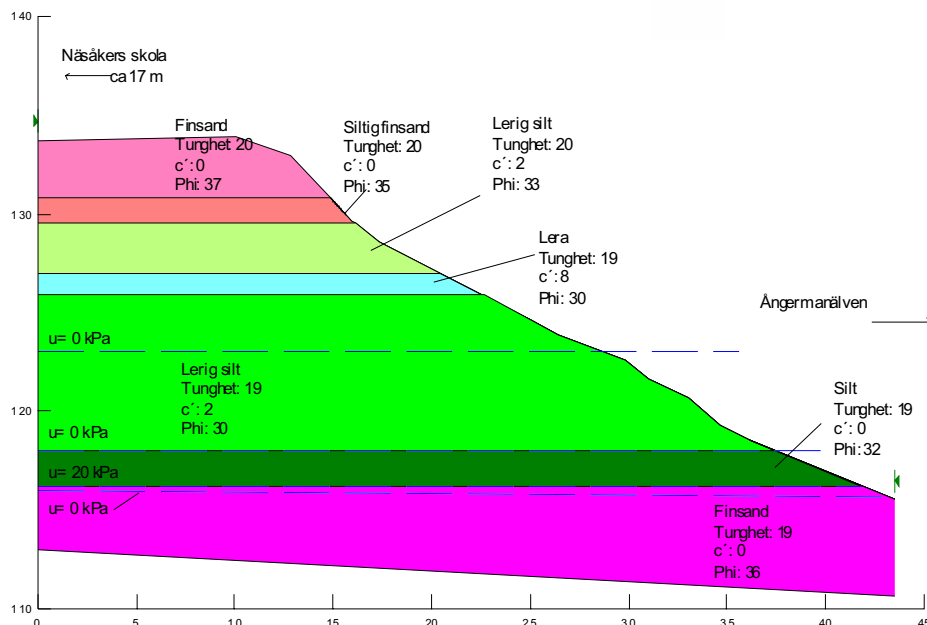
2. Geologiska förhållanden

För ca 9000 år sedan började isen att dra sig tillbaka från landets norra delar. Närmast kusten avsattes det finare sedimenten genom strömmande vatten längs tunnlarna i isen. Betydande mäktigheter (upp till 50 m) av varvigt finkornigt material avsattes närmast kusten främst i dalgångar och sänkor. Älvar, åar och nederbörd har efter isens transgrektion eroderat och omlagrat de redan avsatta materialet. På detta sätt bildades de djupa raviner och branta slänterna som är typiska för området. Landskapet förändras fortfarande på grund av erosion och den tämligen frekventa skredaktiviteten.

3. Geotekniska förhållanden

Geotekniska undersökningar i området har gjorts av flera företag (se ovan). Ingen ytterligare undersökning har gjorts för denna rapport utan alla uppgifter är hämtade från ovan angivna undersökningar.

Jorden i området består av finsand, silt, siltig lera och sand med en mäktighet av ca 50 m under släntkrön. Jorddjupet under älvens botten är troligtvis betydligt mindre. Nivåskillnaden mellan älven och släntkrön är drygt 60 m. Slänten har i den övre delen en medellutning av 32° och en maximal lutning av 45° . Lutningen minskar ner mot älven. I slänten växer träd och gräs men sparsamt med örtvegetation. Flera barmarkspartier förekommer. Hallon och brännässlor är ofta de arter som växer upp först på den blottade marken (Danvind, 2002).



Figur B2-2. Sektion 22. Resultat från geotekniska undersökningar gjorda av KM Anläggning (1997). Portrycksfördelning (endast positiva) enligt J&W Mark och Anläggning (2000) och Geoteknisk Spets-Teknik AB (2000).

Odränerad skjuvhållfasthet för leran har bestämts med vingborrförsök till 80 kPa. De dränerade hållfasthetsegenskaperna har bestämts med hjälp av CPT-sondering. Jordarter är bestämda med CPT-sondering och skruvprovtagning. Utvärdering av sonderingsresultaten och provtagning gjorda av KM Anläggningsteknik redovisas i Figur B2-2.

Portrycksmätning som har utförts av J&W (2000) visar att inga positiva portryck finns över +123, vilket motsvarar 10 meter under släntkrön. Negativa portryck mellan -9 och -20 kPa har uppmätts i de övre delarna av slänten men variationerna är stora. I denna beräkning har ingen hänsyn tagits till de negativa tryckens inverkan på stabiliteten. Detta har gjorts eftersom endast ytliga glidytor har betraktats. Ytliga glidytor påverkas mer direkt av nederbörd vilket gör att de negativa trycken då kan försvinna i dessa delar av slänten.

4. Beräkningssektion

Den för denna rapport valda sektionen, sektion 22, ligger nedanför Näsåkers skola, se Figur B2-1. Den jordlagerföljd som visas i Figur B2-2 har använts vid beräkningarna. Hållfasthetsparametrar har dock antagits något annorlunda, se 4.1.

4.1 Stabilitetsberäkning utan inverkan av vegetation

Endast dränerad analys för ytliga glidytor har studerats. Spänningarna längs glidytan för en ytlig glidyta är låga och av den anledningen har ett lågt värde antagits på kohesions-interceptet och ett förhållandevis stort värde på friktionsvinkeln. Släntens lutning i de övre delarna är drygt 40° och slänten står här nära den naturliga rasvinkeln. I Tabell B2-1 visas de värden som har antagits för jordens egenskaper.

Tabell B2-1. Geotekniska parametrar för de olika jordlagren.

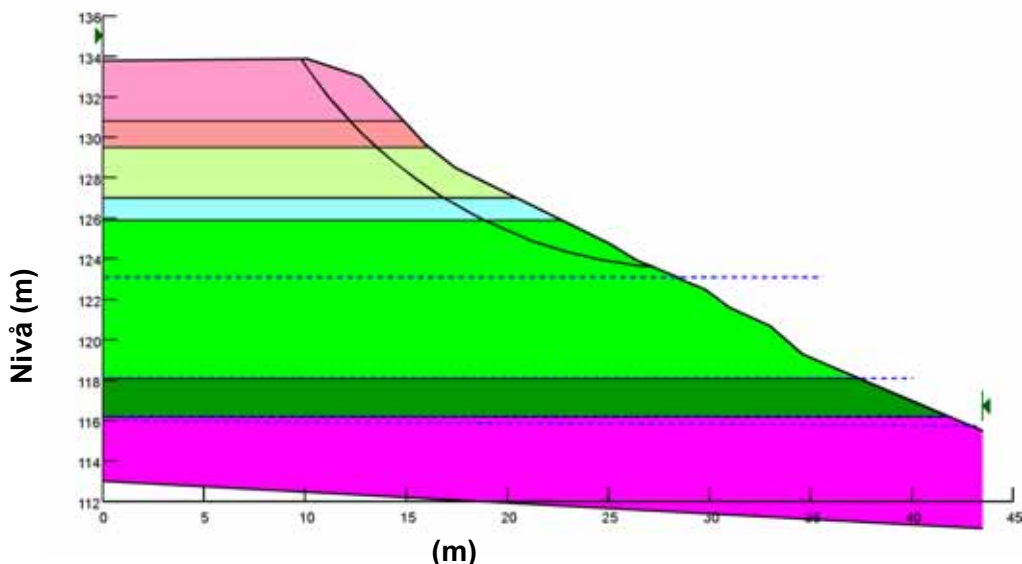
Jordlager nr	Jordart	ρ (kN/m ³)	ϕ' (o)	c' (kPa)
1	Finsand	20	38	0
2	Siltig finsand	20	37	0
3	Lerig silt	20	34	0
4	Lera	19	31	2
5	Lerig silt	19	34	0
6	Silt	19	34	0
7	FinSand	19	36	0

Plan glidyta

Beräkningen för plan glidyta given i Kapitel 4.1 förutsätter en slänt med lång utsträckning i förhållande till jordlagrens mäktighet och konstanta jordparametrar längs glidytan. Då detta inte är fallet i Näsåker har inte någon analys av en plan glidyta utförts.

Cirkulär cylindrisk glidyta

Vid beräkning har datorprogrammet SLOPE/W och Bishops förenklade metod används. Beräkningar visar att stabiliteten för ytliga glidytor, med ett medeldjup av ca 1,5 m, är omkring $F_\phi \approx 1,2$. Någon beräkning för glidytor som går hela vägen ner till Ångermanälven har inte studerats. I Figur B2-3 visas en yttlig glidyta med $F_\phi \approx 1,19$. Denna glidyta har valts för studie av effekten av vegetation.



Figur B2-3. Yttlig glidyta i sektion 22 utan hänsyn till vegetation.

Sammansatt glidyta

Vid beräkning har datorprogrammet SLOPE/W och Bishops förenklade metod och Spencers metod använts. Beräkningen visar att säkerhetsfaktorn för en sammansatt och en cirkulär glidyta är i stort sett lika stora.

4.2 Stabilitetsberäkning med inverkan av vegetation

Vid beräkning av inverkan av vegetation har hänsyn tagits till de i Tabell B2-2 redovisade parametrarna. Slänten har antagits ha en vegetation bestående av björkar och salix. Vid beräkning har datorprogrammet SLOPE/W och Bishops förenklade metod används. Samman glidyta (cirkulär cylindrisk) som studerades vid beräkning av stabiliteten utan inverkan av vegetation har här studerats med inverkan av vegetation.

I Tabell B2-3 redovisas hållfasthetsegenskaperna som använts vid beräkning av släntens stabilitet under inverkan av vegetation.

Beräkningen visar att säkerhetsfaktorn ökar från $F_\phi \approx 1,19$ till $F_\phi \approx 1,55$ (ökning med 30 %) då hänsyn tas till vegetation enligt beskrivningen ovan. Effekten av enbart vegetationens vikt var för denna glidyta mycket liten. Det bör påpekas att detta bara är ett försök till illustration av hur beräkning av en slänt med vegetation kan göras. Osäkerheten i de ingående parametrarna och osäkerheten i hur man skall ta hänsyn till alla effekter är ännu stor.

Tabell B2-2. Faktorer som tagits hänsyn till vid stabilitetsberäkning av slänt med vegetation.

Parameter	Värde	Kommentar
c'_R , kohesionsintercept pga rotträdar genom glidyta	$c'_R = 5 \text{ kPa}$	$c'_R = 1,15T_R A_R/A$ $T_R = 14\text{--}35 \text{ MN/m}^2$ för salix enl Gray & Sotir (1996) $T_R = 37 \text{ MN/m}^2$ för björk enl Coppin och Richards (1990) Valt $T_R = 25 \text{ MN/m}^2$ $A_R/A = 1 \cdot 10^{-4}\text{--}8 \cdot 10^{-4}$ enl Wu (Morgan och Rickson, 1995) för salix, al, poppel, Valt $A_R/A = 2 \cdot 10^{-4}$
S_w , belastning från vegetationens vikt	$S_w = 2 \text{ kPa}$	S_w över hela slänten. Coppin och Richards (1990) använder samma värde för en slänt med gräs och 6 m höga träd med 2 m mellanrum.
D, vindkraft parallell med slänt	0	Vinden har antagits att ej har stor påverkan i slänten.

Tabell B2-3. Hållfasthetsparametrar vid beräkning av slänt med vegetation.

Jordlager nr	Jordart	$\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)}$	$\phi' \text{ (}^\circ\text{)}$	$c' \text{ (kPa)}$
1	Finsand	20	38	5
2	Siltig finsand	20	37	5
3	Lerig silt	20	34	5
4	Lera	19	31	7
5	Lerig silt	19	34	5
6	Silt	19	34	5
7	FinSand	19	36	5

5 Referenser

Danvind, M. (2002). Personlig kontakt

J&W, Mark och Anläggning. (2000). Kompletterande geoteknisk undersökning. Sundsvall.

KM, Anläggningsteknik (1997). Stabilitetsutredning. Kyrkojorden 17:1 med flera, Näsåker, Sollefteå kommun. Teknisk PM Geoteknik. Borlänge.

Geoteknisk Spets-Teknik AB (2000). Stabilitetsanalys - Näsåkers nipor, Sollefteå kommun. Göteborg