



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE



Högshallsområdet, Partille



Kostnadsnyttoanalys för förebyggande åtgärder mot skred och ras till följd av förändrat klimat

Jan Fallsvik
Victoria Svahn
Stefan Falemo
Karin Lundström



STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

Varia 603

Kostnadsnyttoanalys för förebyggande åtgärder mot skred och ras till följd av förändrat klimat

Jan Fallsvik
Victoria Svahn
Stefan Falemo
Karin Lundström

Varia	Statens geotekniska institut (SGI) 581 93 Linköping
Beställning	SGI – Informationstjänsten Tel: 013–20 18 04 Fax: 013–20 19 09 E-post: info@swedgeo.se Internet: www.swedgeo.se
ISSN	1100-6692
ISRN	SGI-VARIA--10/603--SE
Dnr SGI	1-0709-0616
Proj.nr SGI	13388

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	5
1 SAMMANFATTNING	6
2 BAKGRUND	8
2.1 Förändrat klimat – Ökad nederbörd och avrinning	8
2.2 Konsekvenser för bebyggelse och infrastruktur.....	9
3 SYFTE, RELEVANS OCH AVGRÄNSNING.....	11
4 RISKBEGREPP	12
4.1 Sannolikhet och konsekvens	12
4.2 Risk och släntstabilitet	12
4.3 Sannolikheten för skred	13
4.3.1 Beräkning av säkerhetsfaktor	13
4.3.2 Erforderlig säkerhetsfaktor	14
4.4 Sannolikhetsberäkning.....	14
4.5 Sannolikhetsberäkning enligt Monte Carlometoden.....	14
4.6 Sannolikhetsberäkning enligt punktskattningsmetoden.....	15
4.6.1 Två eller flera variabler.....	15
4.6.2 Tillvägagångssätt i detta projekt.....	16
4.6.3 Beräkning av sannolikhet	16
4.7 Konsekvensbedömning av skred	17
4.7.1 Sårbarhet i skred	17
4.7.2 Inventering av riskobjekt.....	18
4.7.3 Värdering av skredkonsekvenser	20
5 RISKVÄRDERING	23
5.1 Kostnadsnyttoanalys.....	23
5.1.1 Introduktion	23
5.1.2 Tidshorisont.....	24
5.1.3 Val av diskonteringsränta	24
5.2 Kostnader för förebyggande åtgärder.....	25
6 FALLSTUDIER	26
7 HÖGSHALLSOMRÅDET, PARTILLE KOMMUN.....	27
7.1 Underlag	28
7.2 Beräkningsförutsättningar	28
7.2.1 Erosion	28
7.2.2 Vattenstånd i Sävån	29
7.2.3 Portrycks- och grundvattenförhållanden.....	29
7.2.4 Sammanfattning	29
7.2.5 Antal beräkningar	30
7.3 Utbredningen av ett potentiellt skred.....	30
7.4 Sannolikhetsberäkning baserad på punktskattningsmetoden	32
7.5 Konsekvenser – Liv	33
7.6 Konsekvenser – Egendom	34
7.7 Konsekvenser – Samhällsekonomiska kostnader	34
7.8 Konsekvenser – Miljö	35
7.9 Förväntad kostnad vid skred	36
7.10 Kostnadsberäkning för åtgärd	36
7.10.1 Avschaktning av slänkrönet.....	36
7.10.2 Kostnadsberäkning enligt Geokalkyl	37
7.11 Kostnadsnyttoanalys.....	38
8 KVARTERET ORREN, LIDKÖPINGS KOMMUN.....	39
8.1 Beskrivning.....	39
8.2 Beräkningsförutsättningar Orren	40
8.2.1 Underlag.....	40

8.2.2	Jordlagerförhållanden	41
8.2.3	Erosion.....	41
8.2.4	Vattenstånd.....	41
8.2.5	Portrycks- och grundvattenförhållanden.....	42
8.3	Sannolikhetsberäkning baserad på punktskattningsmetoden	42
8.3.1	Antal beräkningar	42
8.3.2	Beräkningsresultat	43
8.4	Konsekvenser – Liv	44
8.5	Konsekvenser – Egendom	45
8.6	Konsekvenser – Samhällsekonomiska kostnader	45
8.7	Konsekvenser – Miljö	46
8.8	Förväntad kostnad vid skred	47
8.9	Kostnadsberäkning för åtgärd samt kostnadsnyttoanalys	47
9	KANDERS GATA, ÅRBY, BORLÄNGE KOMMUN	48
9.1	Beskrivning.....	48
9.2	Underlag	49
9.3	Beräkningsförutsättningar	49
9.3.1	Erosion.....	49
9.3.2	Vattenstånd.....	50
9.3.3	Portrycks- och grundvattenförhållanden.....	50
9.3.4	Antal beräkningar	50
9.3.5	Sammanfattning av beräkningsförutsättningar	50
9.4	Utbredningen av ett potentiellt skred.....	51
9.5	Sannolikhetsberäkning.....	52
9.5.1	Beräkningsresultat Årby	52
9.6	Konsekvenser – Liv	54
9.7	Konsekvenser – Egendom	55
9.8	Konsekvenser – Samhällsekonomiska kostnader	55
9.9	Konsekvenser – Miljö	55
9.10	Förväntad kostnad vid skred	55
9.11	Kostnadsberäkning för åtgärd	56
9.11.1	Kostnadsberäkning enligt Geokalkyl	57
9.12	Kostnadsnyttoanalys.....	58
10	SAMMANSTÄLLNING AV RESULTAT.....	59
11	SLUTSATSER	60
	REFERENSER	63
	BILAGOR	
1.	Odränerad och dränerad skjuvhållfasthet	
2.	Anvisningar för släntstabilitetsutredningar	
3.	Genomgång lämpliga stabilitetsutredningar	
4.	Högshallsvägen, Partille – Effekten av varierande nederbörd på portrycken	
5.	Konsekvensberäkning i fallstudierna	

FÖRORD

På uppdrag av Länsförsäkringar har Statens geotekniska institut (SGI) i detta FoU-uppdrag utvecklat en metodik för kostnadsnyttoanalys för bebyggda lerslänter samt genomfört kostnadsnyttoanalys för utförande av preventiva åtgärder mot jordskred för tre bebyggda slänter mot vattendrag i Sverige med beaktande av klimatförändringens inverkan.

Arbetsgruppen för detta uppdrag har varit civing Jan Fallsvik, uppdragsledare, civing Victoria Svahn, stabilitetsberäkningar och beräkning av skredsannolikhet, civing Stefan Falemo, konsekvensbedömningar och kostnadsnyttoanalys, Tekn Dr, Karin Lundström, inventering av lämpliga slänter för fallstudier, sammanställningar och stabilitetsberäkningar, civing Mattias Andersson, sammanställningar, Tekn Dr, Jenny Norrman, teoretisk/statistisk rådgivning, adj. Prof. Bo Lind, teknisk granskning, samt geolog Ann-Christine Hågeryd, geologisk sammanställning. Samtliga dessa personer är verksamma vid SGI. Dessutom har Prof. Claes Alén, Chalmers Tekniska Högskola (CTH), bistått med teoretisk rådgivning beträffande tillämpning av punktskattningsmetoden i sammanhang med släntstabilitet.

En referensgrupp har varit knuten till uppdraget sammansatt av Marie Bergström, Camilla Grunditz, Gustav Holst, Ingemar Larsson, Torbjörn Olsson, Stefan Sallerfors och Rolf Sjöberg, samtliga verksamma vid Länsförsäkringar. Två referensgruppsmöten har arrangerats.

Författarna

Jan Fallsvik

Victoria Svahn

Stefan Falemo

Karin Lundström

1 SAMMANFATTNING

På uppdrag av Länsförsäkringar har Statens geotekniska institut (SGI) i ett FoU-uppdrag utvecklat en metodik för riskanalys för bebyggda lerslänter. Metodiken väger samman såväl skredsannolikheten som skredkonsekvenserna vid ett förändrat klimat. I fallstudier har kostnadsnyttoanalys genomförts för utförande av preventiva åtgärder mot jordskred för tre bebyggda slänter mot vattendrag i Sverige med beaktande av klimatförändringens inverkan.

Utredningen har avgränsats till skred i ler- och siltslänter inom bebyggda områden.

För att spegla olika jordlagerförhållanden utvaldes för fallstudier tre slänter spridda över landet:

1. Slänt mot Sävån vid Högshall i Partille – jordlager av lera
2. Slänt mot Lidan vid kvarteret Orren i Lidköping – jordlager av fyllning och sand, siltig lera samt lera
3. Slänt mot Dalälven vid Årby i Borlänge – jordlager av silt

I samtliga tre fallstudierna avsågs den preventiva åtgärden avschaktning av släntkrönet bli utförd.

För att bilda underlag för kostnadsnyttoanalysen beräknades och inventerades:

- Sannolikheten för skred före och efter föreslagen preventiv åtgärd
- Konsekvenser vid ett eventuellt skred för liv, egendom och miljö och kostnaden för detta
- Planerad avschaktnings omfattning och kostnad

Underlag för arbetet var tidigare utförda stabilitetsberäkningar för respektive plats, SMHI:s klimatscenarier, Rossby Centre, SMHI (2006), samt bedömningar av erosionsförhållandena vid kommande förändrat klimat, Hultén (2006).

För beräkning av skredsannolikhet tillämpades punktskattningsmetoden, Sällfors, (1990), varvid ett antal stabilitetsberäkningar utfördes. Vid varje sådan stabilitetsberäkning varierades faktorerna vattennivå, porttryck och erosion.

Av de tre slänter som valdes ut visade sig två slänter, Högshallsvägen i Partille, respektive Årby i Borlänge, kunna drabbas av jordskred med en viss sannolikhet beräknad med punktskattningsmetoden. Vid den tredje slänten, kvarteret Orren i Lidköping, visade sig den beräknade sannolikheten bli noll.

Genom kostnadsnyttoanalys viktades kostnaderna på grund av konsekvenserna av ett eventuellt skred samt kostnaderna för föreslagna åtgärder. Slutresultatet sammanställs i Tabell 1.1.

Tabell 1.1 Sammanställning av kostnadsnyttoanalys för de studerade slänterna. Åtgärd avser avschaktning av släntröner.

Plats	Skredsannolikhet före åtgärd	Nuvärdesberäknad förväntad nytta av åtgärd	Nyttofaktor
Högshallsvägen	16 %	5,93 Mkr	17
Orren	0 %	–	–
Årby	2 %	0,04 Mkr	0,00004

De utförda kostnadsnyttoanalyserna påvisar hur nyttofaktorn och därmed samhällsnyttan av planerade förstärkningsåtgärder kan variera mellan olika slänter.

Kostnadsnyttoanalys bedöms kunna utföras vid kommande stabilitetsutredningar så att faktorerna klimätförändring, skredsannolikhet, konsekvenser – för såväl liv som egendom och miljö belyses. Dessa faktorer kan sedan vägas mot åtgärdsåkostnader – eventuellt för flera alternativa preventiva åtgärder – samt den reducerade sannolikheten för skred efter dessa åtgärder.

2 BAKGRUND

2.1 Förändrat klimat – Ökad nederbörd och avrinning

Den globala medeltemperaturen har stigit med i genomsnitt 0,74 °C under de senaste 100 åren (1906-2005) och enligt de klimatscenarier som presenterats i IPCC:s¹ fjärde utvärderingsrapport kommer klimatet att fortsätta att förändras under de kommande 100 åren (IPCC, WG1, 2007). De mest signifikanta och omedelbara förändringarna i klimatet kan sammanfattas i följande punkter:

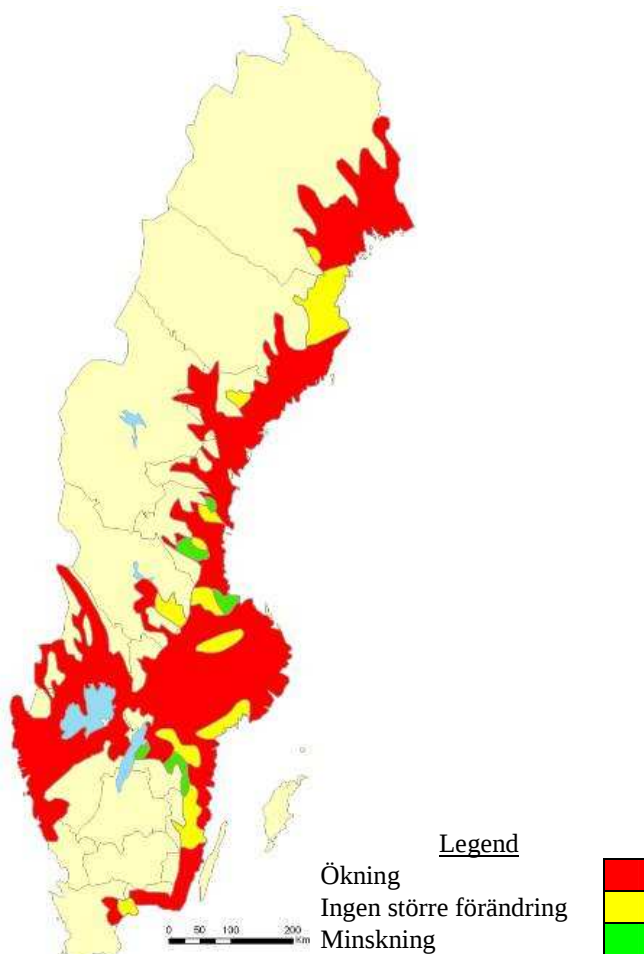
- Förhöjd lufttemperatur
- Förhöjd temperatur i ytligt havsvatten
- Förhöjd havsvattenyta
- Förändring i nederbörd
- Fler extrema väderhändelser.

Klimatet förändras dock inte lika över hela jorden, utan såväl regionala som lokala skillnader kommer att bli tydliga. För Sveriges del förväntas större temperaturförändringar än för jorden i medeltal. Medeltemperaturen förväntas öka mer på vintern än på sommaren samtidigt som mellanårsvariabiliteten minskar på vintern men ökar på sommaren (Rossby Centre, SMHI, 2006). Med undantag av Sydkandinavien under sommaren pekar de regionala beräkningarna på ökad nederbörd i Norden, med fler nederbördsdagar och håftigare regn. Nederbörden förväntas öka med 10-40 % i stora delar av Sverige. Under höst, vinter och vår förväntas skyfallen bli kraftigare och de sammanlagda nederbördsmängderna öka. Under sommaren däremot förväntas nederbörden bli intensivare i Sverige trots att nederbördsmängderna i medeltal minskar något Rossby Centre, SMHI (2006).

På motsvarande sätt förväntas ökad avrinning i större delen av Sverige. Ökad frekvens av extrema flöden förväntas i delar av landet. Havsnivån förväntas höjas till följd av termisk expansion och smältande landisar. Bland annat inom ramen för den pågående Klimat- och Sårbarhetsutredningen har Rossby Centre, SMHI, framställt ett stort antal scenariekartor (klimatindex) som väl beskriver klimatförändringen för Sveriges del utifrån de globala klimatmodeller som utnyttjats inom IPCC.

På uppdrag av Klimat- och sårbarhetsutredningen utredde en arbetsgrupp sammansatt av SGI, SGU, Räddningsverket, SMHI, Vägverket och Vägverket Konsult översiktligt hur ett förändrat klimat kan komma att påverka jordrörelser som erosion, skred och ras, ravinutveckling samt moränkskred och slamströmmar, Fallsvik et al (2007). Utredningen baserades dels på översiktlig information om dagens fördelning över Sverige av dessa problematiska jordrörelser, dels på översiktliga klimatscenarier framtagna av Rossby Centre, SMHI. Förändringen i benägenheten för skred och ras i ler- och siltslänter på grund av klimatförändringen framgår av Figur 2.1 (notera att endast de markerade områdena, där problem kan finnas redan i dag, är markerade) .

¹ IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change, FN:s Klimatpanel



Figur 2.1 Sammanvägning, områden med benägenhet för skred och ras. Förändrad benägenhet för skred och ras på grund av ökad avrinning som leder till ökat portryck och erosion beroende på klimatförändringen fram till perioden 2071-2100, Fallsvik et al (2007).

Utredningen visar att över delar av Sverige kommer problemen att accentueras beroende på ökad nederbörd och därmed ökad avrinning. Sett över hela landet ger dock utredningen en något splittrad bild.

2.2 Konsekvenser för bebyggelse och infrastruktur

Ett förändrat klimat enligt de scenarier som presenterats kan få omfattande konsekvenser för bebyggelse och infrastruktur. Markens hållfasthet och stabilitet som byggnadsgrund försämras. Erosion och översvämningar ökar och spridningen av föroreningar i mark kan bli mer omfattande. Mark- och grundläggningskostnaderna utgör ofta ca 20 % av den totala investeringskostnaden för byggnader och anläggningar. De direkta skadekostnaderna inom mark- och grundläggningsarbeten har av SGI i ett tidigare regeringsuppdrag bedömts uppgå till 7 % av produktionskostnaden (SGI,1996). Till detta kommer indirekta kostnader för t.ex. försämrade transporter, tidsförluster etc. Sammantaget uppgår de geotekniskt relaterade skadorna i Sverige till mångmiljardbelopp varje år.

Utan aktiva åtgärder kan situationen förväntas förvärras vid ett förändrat klimat. Två specialstudier, bl.a. för Klimat- och Sårbarhetsutredningen visar att områden som idag har godtagbar stabilitet kan komma att bli instabila och behöva åtgärdas Hultén (2005, 2006). Detta kommer att påverka infrastruktur och bebyggelse (Lind et al., 2006). Problemet har också uppmärksammats internationellt, bl.a. med en internationell konferens "International Conference on Landslides and Climate Change, Isle of Wight, 21-24 May 2007". I den internationella vetenskapliga litteraturen finns ännu ett fåtal artiklar som tar upp problematiken med marksäkerhet och förändrat klimat (t.ex. Modaressi, 2006; EEA 7/2005; Vivian, et al. 2005; Tsaparas et al. 2002). Det måste dock understrykas att de geotekniska förhållandena i Sverige skiljer sig gentemot de flesta andra länder. Den typ av lösa leror som är vanliga i vårt land återfinns nästan enbart inom tidigare nedisade områden som täckts av hav, d.v.s. förutom andra delar av Skandinavien främst också Kanada, Alaska och Ryssland.

Kartor har tagits fram över hur benägenheten för olika typer av jordrörelser kan förväntas förändras i Sverige till följd av förändrat klimat (Fallsvik et al. 2007). Bedömningarna avser erosion, skred och ras, ravinutveckling samt slamströmmar och moränskred. Resultaten visar att benägenheten för bland annat skred och ras kommer att öka inom större delen av de områden som idag har förutsättningar för dessa ibland katastrofala jordrörelser, främst på grund av ökad nederbörd inom stora delar av landet som ger ökad avrinning och ökad erosion. Den ökade avrinningen ger ökat vattentryck i jordlagrens porer (det så kallade porvattentrycket), vilket i sin tur ger minskad hållfasthet i jorden (Persson et al. 2007). Inom delar av landet med förväntat minskad avrinning, d.v.s. längs delar av ostkusten, förväntas obetydliga förändringar av skredbenägenheten i förhållande till dagens situation, och inom vissa smärre områden förväntas till och med minskad benägenhet.

Det saknas idag kunskap om vilka risker som berör bebyggelse och anläggningar i Sverige. För att kunna genomföra en sådan riskanalys krävs en metod som samtidigt tar hänsyn till:

- Sannolikheter för olika geotekniska skeenden (översvämningar, erosion, skred och ras)
- Potentiella skadekostnader
- Möjliga åtgärder och åtgärds-kostnader,
- I vilken grad insatta åtgärder kan förväntas minska riskerna.

3 SYFTE, RELEVANS OCH AVGRÄNSNING

Uppdraget syftar till att utveckla en metod för riskanalys baserat på utvärdering av bedömd risk vägd mot kostnad och nytta av förebyggande åtgärder mot erosion, skred och ras i identifierade bebyggda riskområden. Konsekvenserna av, och sannolikheten för, skred och ras ligger till grund för kostnadsnyttoanalys av lämpliga preventiva åtgärder. Kostnadsnyttoanalysen avser en vägning av kostnaderna för att genomföra de preventiva åtgärderna gentemot skadekostnaden. Konsekvenserna av eventuella skred eller ras, d.v.s. skadekostnaderna, bedöms på basis av skadeobjekt i riskzonen, det vill säga människor, byggnader, infrastruktur och annan egendom. Bedömningen av vilka värden som står på spel baseras på en metod för riskvärdering av lerslänter, Berggren et al (1991), i vilken riskzonens avgränsning baseras på stabilitetsberäkningarna.

Försäkringsrelevansen ligger i att kunna beräkna sannolikheten för att potentiella skadekostnader av erosion, skred och ras till följd av ett förändrat klimat skall falla ut och sätta detta i relation till möjliga preventiva åtgärder, deras kostnader och riskminskande effekter.

Utredningen avgränsas till skred i ler- och siltslänter inom bebyggda områden.

4 RISKBEGREPP

4.1 Sannolikhet och konsekvens

Risk kan matematiskt uttryckas som en produkt av sannolikheten för och konsekvensen av den oönskade händelse som risken kan ge upphov till. När man frågar ”Hur stor är risken?” så ställer man i själva verket tre frågor: Vad kan hända? Hur troligt är det att det händer? Vilka är konsekvenserna av händelsen? (Kaplan & Garrick, 1981). Svaret på den första frågan kallas ett scenario (S); svaret på den andra är sannolikheten (L). Konsekvenserna (X) kan exempelvis mätas i antal döda eller som en ekonomisk kostnad. Ett scenario med korresponderande sannolikhet och konsekvens utgör en tripplett (S, L, X). Alla möjliga scenarion måste inkluderas för att beräkna risken, så risken definieras som den kompletta uppsättningen trippletter (Kaplan, 1997; Kaplan & Garrick, 1981) eller med andra ord som produkten av sannolikhet och konsekvens för en identifierad händelse (van Staveren, 2006).

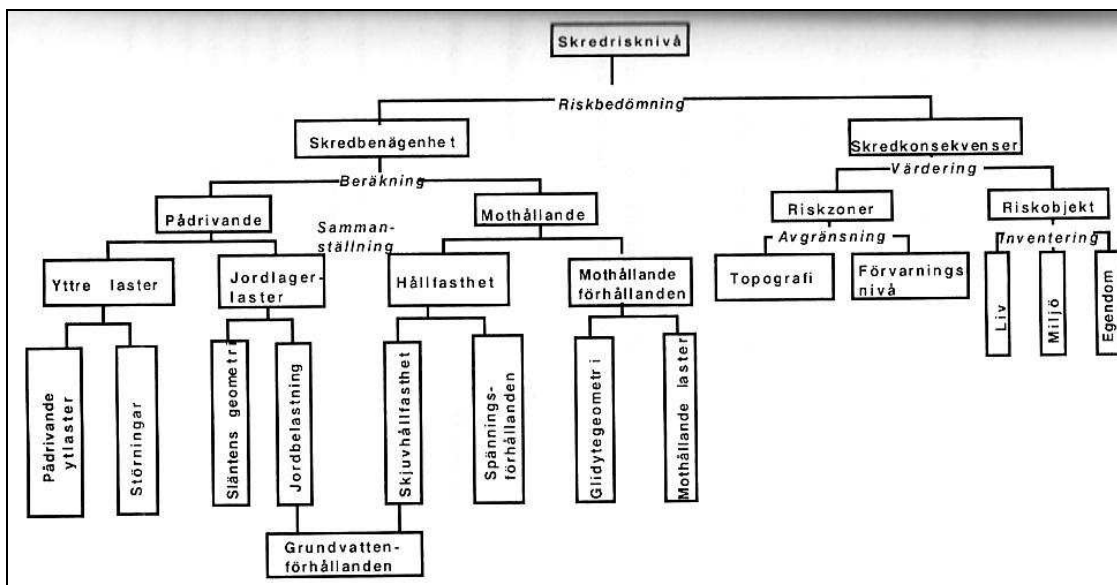
För att lättare kunna identifiera och bedöma konsekvenserna kan man införa begreppet sårbarhet. Sårbarhet beskriver graden av förlust för respektive riskobjekt och kan uttryckas som ett värde mellan 0 (ingen förlust) och 1 (maximal förlust) (Nadim, 2009). Konsekvensen blir då produkten av riskobjektets sårbarhet och den förväntade kostnaden av total förlust av riskobjektet, d.v.s. en totalkostnad gånger graden av förlust. Risken uttrycks då som produkten av sannolikhet, förväntad kostnad av total förlust av riskobjekten och sårbarhet (Nadim, 2009).

Risken kan presenteras som en matris med flera enheter [antal döda, kostnad, etc.], eller omräknat i en enhet, t.ex. kostnad. I denna rapport behandlas endast ett scenario för varje fallstudie – ett skred med en beräknad utbredning, sannolikhet och konsekvens. Konsekvenserna räknas om i kronor för att möjliggöra en kostnadsnyttoanalys för olika åtgärdsalternativ. Risken blir då produkten av sannolikhet [$1/\text{år}$] och konsekvens [kr], och uttrycks i förväntad kostnad [kr/år].

4.2 Risk och släntstabilitet

Skredrisk är sannolikheten för ett skredscenario sammanvägd med konsekvenserna därav, och för att beräkna skredrisk måste man således både beräkna sannolikheten som bestäms av benägenheten för skred samt konsekvenserna av skred. Skredbenägenheten är i sin tur beroende av ett antal förhållanden som man sammanställer och använder som underlag för beräkningarna vid stabilitetsutredningar som resulterar i en beräknad så kallad säkerhetsfaktor, F . På samma sätt måste konsekvenserna av ett skred värderas baserat på avgränsning av ett potentiellt skredområde samt inventering av riskobjekt inom detta skredområde, Figur 4.1, Berggren et al (1991).

Säkerhetsfaktorn indikerar stabilitetsförhållandena men anger inte sannolikheten för skred. I denna utredning beräknas sannolikheten baserat på beräkning av säkerhetsfaktorn vid ett antal olika fall, vid vilka de två grundförutsättningarna portrycksförhållandena och vattennivåförhållandena i nedanförliggande vattendrag varieras med tillämpning av den så kallade punktskattningsmetoden, se nedan.



Figur 4.1 Skredrisk erhålls genom en sammanvägning av sannolikheten för skred baserad på skredbenägenheten och konsekvenserna om ett skred inträffar, (Berggren et al 1991).

4.3 Sannolikheten för skred

I Sverige som i de flesta andra länder utförs stabilitetsberäkning normalt genom att den så kallade säkerhetsfaktorn, F , beräknas för ett antal glidytor längs sektioner genom en aktuell slänt. I Sverige skall detta beräkningsarbete följa Skredkommissionens anvisningar för släntstabilitetsutredningar (1995).

I detta uppdrag har bedömning av sannolikheten för skred baserats på beräkning av säkerhetsfaktorn, F , varvid olika beräkningsutfall studerats genom statistiskt variation av grundvattenförhållandena i släntens jordlager respektive vattennivå i släntens nedanföriggande vattendrag. Två statistiska metoder har testats; Monte Carlosimulering respektive punkskattningsmetoden, varvid den senare visade sig användbar.

4.3.1 Beräkning av säkerhetsfaktor

Metoder för bedömning av släntstabilitet kan delas in i flera olika kategorier. De vanligaste är jämviktsanalyser och numeriska modellanalyser.

I detta uppdrag har ett i Sverige vanligt lamellberäkningsprogram GEOSTUDIO, Slope/Windows använts, som baseras på formuleringar för jämvikt för ett antal vertikala lameller längs en glidkropp, (Olsson & Odén 2007). Teorin bakom lamellmetoden utvecklades i början av 1900-talet, och under åren har olika analysmetoder utvecklats för hur lamellerna kan betraktas med avseende på pådrivande och mothållande krafter för beräkning av en säkerhetsfaktor. Säkerhetsfaktorn, F , definieras som förhållandet mellan maximalt möjlig belastning på en slänt och rådande belastning.

Enligt Skredkommissionen (1995) skall stabilitetsberäkningarna enligt lamellmetoden beräknas enligt såväl odränerad som kombinerad analys. Bakgrunden till detta redovisas i Bilaga 1.

4.3.2 Erforderlig säkerhetsfaktor

Enligt Skredkommissionens anvisningar för släntstabilitetsberäkningar, Skredkommissionen (1995), skall stabiliteten beräknas enligt såväl odränerad som kombinerad analys varvid så kallad erforderlig, d.v.s. ”godkänd”, säkerhetsfaktor skall erhålls för att slänten skall anses ha tillfredställande stabilitet, se Bilaga 2.

4.4 Sannolikhetsberäkning

För utförande av sannolikhetsberäkningarna prövades först Monte Carlosimulering – en metod för sannolikhetsberäkning som är tillgänglig i stabilitetsberäkningsprogrammet GEOSTUDIO, Slope/Windows. Monte Carlosimulering visade sig dock inte vara tillämpbar. Istället genomfördes sannolikhetsberäkning enligt punktskattningsmetoden.

4.5 Sannolikhetsberäkning enligt Monte Carlometoden

Med simulering menas att man ersätter verkligheten med en matematisk eller fysisk modell och gör beräkningar eller experiment i modellen istället för i verkligheten. Monte Carlosimulering, som är en beräkningsmetod baserad på slump, är ett standardhjälpmedel när man vill undersöka egenskaper hos komplicerade system, exempelvis naturliga processer som vattenströmning, klimatutveckling etc. Genom att i ett datorprogram efterlikna en studerad process och med hjälp av slump åstadkomma avsnitt av olika typ, kan man få en uppfattning om till vilka följder processen leder i det långa loppet.

Datorprogrammet GEOSTUDIO, Slope/Windows, för släntstabilitetsberäkning enligt lamellmetoden erbjuder möjligheter till Monte Carlosimulering, varvid glidyteberäkningen kan utföras ett stort antal gånger med slumpdragning av ett valfritt antal ingångsparametrar, exempelvis jordlagrens hållfasthet och densitet, portryck, vattenstånd i nedanförliggande vattendrag etc.

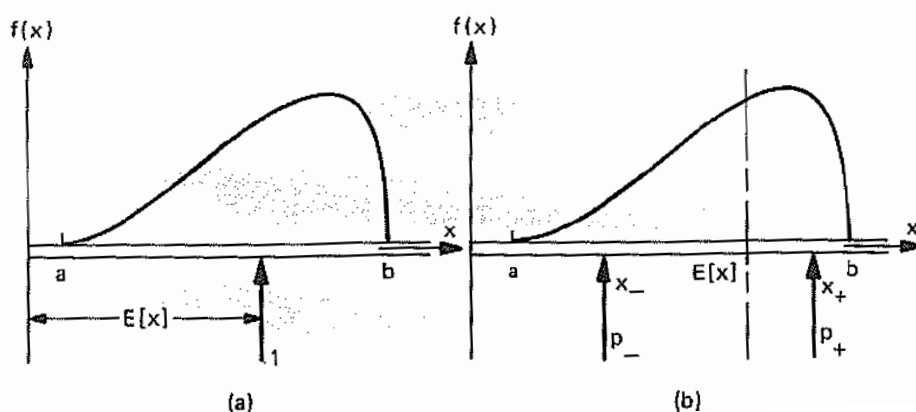
I projektet provades Monte Carlosimulering i GEOSTUDIO, Slope/Windows, varvid slumpdragen variation utfördes för de båda ingångsparametrarna portryck i jordlagren respektive vattenstånd i nedanförliggande vattendrag. Metoden tillämpades på en slänt mot Sävåån vid Högshallsvägen i Partille, som är en av de slänter som valts ut för fallstudier.

Tyvärr visade det sig att GEOSTUDIO, Slope/Windows, har begränsningar så att programmet inte klara av att ta hänsyn till att dessa utvalda parametrar inte är helt stokastiskt oberoende, vilket innebär att parametrarna inte bara har en rent slumpmässig variation av varandra oberoende, utan att det till viss del även finns en viss deterministisk följsamhet mellan parametrarna – en så kallad korrelation. Vi fick därför avbryta försöken att via Monte Carlosimulering utföra sannolikhetsberäkningen, och i stället valdes en alternativ metod – sannolikhetsberäkning enligt punktskattningsmetoden.

4.6 Sannolikhetsberäkning enligt punktskattningsmetoden

Punktskattningsmetoden är en enkel statistisk metod framtagen och vidareutvecklad på 1970- respektive 80-talet. Metoden bygger på en analogi med att en fördelnings täthetsfunktion (även kallad frekvensfunktion) jämförs med en utbredd last på en balk, Figur 4.2.

Förenklat görs en skattning av en parameters täthetsfördelning genom att approximera fördelningen som två laster p^+ och p^- som angriper på vardera sidan av medelvärdet. Om fördelningen är symmetrisk så är avståndet mellan dessa värden och medelvärdet lika med standardavvikelsen och lasternas storlek således 50% var. Om fördelningen inte är symmetrisk så kan motsvarande värden på lasternas storlek och läge beräknas med hjälp av, förutom medelvärdet och standardavvikelsen, även fördelningens skevhet.



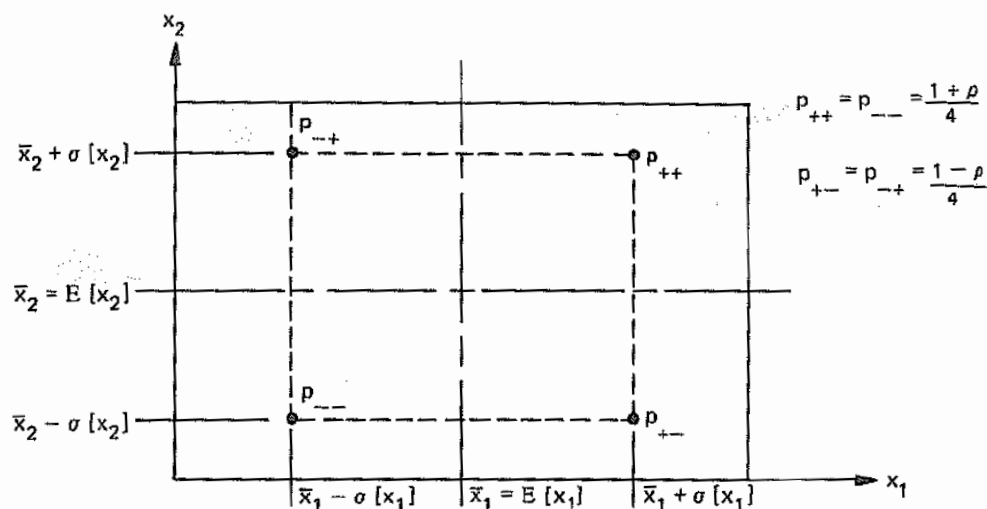
Figur 4.2 Analogi mellan täthetsfunktion och jämnt utbredd last på en balk (från Harr, 1987).

4.6.1 Två eller flera variabler

Om metoden används för två variabler blir fördelningen tvådimensionell och de två tidigare nämnda lasterna ersätts av fyra laster på ett plan, p^{++} , p^{+-} , p^{-+} och p^{--} , Figur 4.3. Om korrelation föreligger mellan variablerna är det viktigt att detta beaktas och ett sätt att göra det på är att använda sig av korrelationskoefficienter för att justera värdet på lasternas storlek.

För att beräkna funktioner av flera variabler krävs att funktionsvärdet bestäms för 2^n kombinationer av parametrar. Detta kan framstå som många beräkningar men i jämförelse med exempelvis Monte Carlosimulering, som kräver tusentals körningar för fem variabler, inses lätt fördelen med punktskattningsmetoden. Speciellt gäller detta för beräkningar med deterministiska beräkningsprogram typ finita elementmetoden (FEM) eller som i detta projekt, släntstabilitetsprogram enligt lamellmetoden.

Lasterna för en parameter tas fram genom att en fördelning för denna antas och medelvärde och standardavvikelse bestäms. Lasterna är medelvärdet $\pm$ standardavvikelsen.



Figur 4.3 Analogi mellan tvådimensionell fördelning och fyra laster på ett plan (från Harr, 1987).

4.6.2 Tillvägagångssätt i detta projekt

De brottstadieberäkningar som gjorts inom ramen för detta projekt behandlar släntstabilitet och förändringar i tre parametrars påverkan på brottsannolikhet; erosion, portryck och nivå i yttre vattendrag. Detta har inneburit att antalet beräkningar med punktskattningsmetoden (som här bör kallas för tvåpunktskattningsmetoden) maximalt är $2^3 = 8$ st. För två av dessa parametrar finns det en uppenbar korrelation, nämligen portrycket i slänten och vattenståndet i nedanförliggande vattendrag. Eftersom det uppstår stora svårigheter med att bestämma korrelationskoefficienten i varje enskilt fall har detta inneburit att beräkningarna delats upp i två steg. Först har metoden använts för dessa två parametrar specifikt, och resultatet (säkerhetsfaktorer) från dessa kombinationer har sedan använts i ytterligare en omgång av metoden. De har således ansetts som en ny parameter och kombinerats med den tredje, erosionen. På detta vis har korrelationen mellan alla parametrar beaktats utan att korrelationskoefficienter har behövts tas fram.

4.6.3 Beräkning av sannolikhet

Efter att alla beräkningar har utförts räknas ett medelvärde och standardavvikelse fram, varpå brottsannolikheten för en rad potentiella fördelningar kan tas fram. Resultaten har antagits vara normal-, lognormal- eller betafördelade och baserats på 3 standardavvikelser. Den mest relevanta fördelningen kan antas vara den lognormalfördelade, och det är denna som rekommenderas att användas i en "färdig metodik". Dessa antaganden är dels baserade på data, dels på expertbedömningar.

För mer detaljerad information om punktskattningsmetoden se Rosenbluth, E. (1975), Harr, M. (1987) och Sällfors, G. (1990).

4.7 Konsekvensbedömning av skred

Konsekvensbedömningen är den del av riskanalysen som behandlar följderna av den oönskade händelsen, dvs. skredet. Syftet med konsekvensanalysen är att uppskatta värdet av de skador som respektive oönskad händelse kan leda till. Den beräknade konsekvensen utgör tillsammans med sannolikheten för händelsen underlag för riskvärdering. Liksom i Berggren et al. (1991) baseras konsekvensbedömningen i denna rapport på:

- Avgränsning i riskzoner
- Inventering av riskobjekt
- Värdering av skredkonsekvenser

Om det finns beräknade sannolikheter för olika riskzoner, dvs. utbredningar av skred, så ska de behandlas som olika scenarier. I följande fallstudier har sannolikheten beräknats endast för den troligaste skredutbredningen. Avgränsningen i riskzoner visas utritat på kartor för respektive fallstudie som riskzon respektive "skredriskfri" mark.

4.7.1 Sårbarhet i skred

I inventering av riskobjekt ingår även bedömning av sårbarhet enligt Nadim (2009). Sårbarhet beskriver graden av förlust för respektive riskobjekt och kan uttryckas som ett värde mellan 0 (ingen förlust) och 1 (maximal förlust). Värdering av skredkonsekvenserna avser den förväntade kostnaden vid total förlust av respektive riskobjekt. Det är en svår uppgift att uppskatta sårbarhet för de olika riskobjekten. I Sverige har någon sådan undersökning aldrig gjorts. Finlay (1996) har tagit fram rekommenderade värden för de förhållanden som råder i Hong Kong, se Tabell 4.1.

Tabell 4.1 Rekommenderade värden på sårbarhet för människor som utsätts för olika skredhändelser i Hong Kong (Finlay, 1996, sammanställning av Dai et al, 2002).

Summary of Hong Kong vulnerability ranges and recommended values for death from landside debris in similar situations (from Finlay, 1996)

Case	Vulnerability of person		Comments
	Range in data	Recommended value	
<i>Person in open space</i>			
1. If struck by a rockfall	0.1–0.7	0.5 ^a	May be injured but unlikely to cause death Death by asphyxia High chance of survival
2. If buried by debris	0.8–1.0	1.0	
3. If not buried	0.1–0.5	0.1	
<i>Person in a vehicle</i>			
1. If the vehicle is buried/crushed	0.9–1.0	1.0	Death is almost certain
2. If the vehicle is damaged only	0–0.3	0.3	Death is highly likely
<i>Person in a building</i>			
1. If the building collapses	0.9–1.0	1.0	Death is almost certain
2. If the building is inundated with debris and the person buried	0.8–1.0	1.0	Death is highly likely
3. If the building is inundated with debris and the person not buried	0–0.5	0.2	High chance of survival
4. If the debris strikes the building only	0–0.1	0.05	Virtually no danger ^a

^a Better considered in more detail, i.e. the proximity of person to the part of the building affected by sliding.

Finlay's (1996) undersökning ger svar på vissa frågor men skapar nya. Det är tydligt att det har viss betydelse var man befinner sig, men än viktigare är om man blir begravad eller träffad av spillror eller bråte. Hur stor andel av de som dras med i skred träffas av bråte eller blir begravda? Informationen från Finlay (1996) är alltså svår att använda för att beräkna konsekvenser av tänkta skred.

Ett alternativt sätt att angripa problemet med sårbarhet är att utgå från inträffade skred med svenska förhållanden och beräkna kvoten mellan antal dödsfall och antal närvarande för ett antal skred. MSB har upprättat en nationell databas över inträffade naturolyckor. De elva skred som finns registrerade i databasen sammanställs i Tabell 4.2. Genom att utifrån tid för skredet, befolkningsstatistik och liknande uppskatta antalet närvarande personer vid respektive skred så kan sårbarheten beräknas som kvoten av antal döda och antal närvarande.

Tabell 4.2 Underlag för beräkning av sårbarhet för skred i Sverige. Sammanställning av information om de skred som ingår i MSB nationella databas över inträffade naturolyckor (MSB, 2009c). Antal närvarande är i vissa fall uppskattat.

Skred	År	Antal närvarande	Antal döda	Antal villor	Tid	Kvicklera
Tuve	1977	200	9	65	16:00	ja
Surte	1950	15	1	31	08:00	ja
Vagnhärad	1997	10	0	5	01:00	nej
Småröd	2006	28	0	0		ja
Guntorp	1953	5	0	0		nej
Ballabo	1996	0				
Gideåbacka	1987	0				
Bärfendal	1977	0				
Torpadalen	2006	0				
Jordbro	1972	0				
Norsälven	1969	0				

För Tuve och Småröd används det antal närvarande som står i databasen. Antal närvarande har för Vagnhärad och Surte uppskattats utifrån boendestatistik (SCB, 2008) och närvarofaktor med hänsyn till tiden för skredet. I Vagnhärad var en villa utrymd, de andra antas ha 2,5 boende per villa och närvarofaktor 1. I beskrivningen av Surteskredet står att de flesta boende hade gått till sina arbeten eller skolor. Närvarofaktorn sätts till 0,2 och antal boende per villa till 2,5. I Guntorp befann sig ett arbetslag med fältgeotekniker i skredområdet, och antalet personer sätts till 5 personer.

I de elva undersökta skreden dog tio personer av de 258 närvarande, vilket resulterar i sårbarheten 0,04. Denna siffra används som mått på sårbarheten i fallstudierna i rapporten.

4.7.2 Inventering av riskobjekt

Inventering av riskobjekt har skett genom kontakter med respektive kommun, kartstudier, satellitbilder, platsbesök samt genom GIS-tjänsterna Vattenkartan (Sveriges Länsstyrelser och vattenmyndigheter, 2009) och Info om vägar (Vägverket, 2009). Utanför riskzonen antas alla värden vara ohotade. Inom riskzonen används sårbarhetsfaktorer för

att beskriva graden av förlust för respektive skyddsobjekt inom grupperna liv och egendom.

Byggnader och tomtmark

Fastighetskartan används för att identifiera tomtmark och byggnader som sedan kan värdesättas med utgångspunkt i taxeringsvärdet. För byggnader antas sårbarheten vara 1, alltså total förlust, även om byggnaden bara delvis täcks av skredriskzonen. Även för tomtmark inom konsekvenszonen antas sårbarheten vara 1: marken antas förlora sitt värde efter skredet.

Övrig hotad egendom

Vad gäller beräkning av värdet av övrig hotad egendom används ett system med värdering i antal prisbasbelopp. Prisbasbeloppet regleras årligen efter penningvärdet och är således inflationsskyddat, vilket gör att värderingar i metoden inte måste uppdateras kontinuerligt. Istället skrivs värdet av egendomen upp genom att årets prisbasbelopp används i beräkningen. Tillvägagångssätt och värdesättning för olika typer av egendom beskrivs i Berggren et al. (1991). Där finns olika marktyper, byggnader, lös egendom och även bostäder värderade i antal basbelopp. Se Bilaga 5 för fullständig lista. Sårbarheten för övrig egendom sätts till 1, total förlust av riskobjekten vid skred.

Befolkning

Antalet boende i skredriskområdet har tillhandahållits av respektive kommun. Andra viktiga faktorer är antal arbetsplatser, elever/förskolebarn och tillfälliga besökare. Vid inventering av antal människor som vistas i riskområdet tas hänsyn till vistelsetid. Vistelsetiden ska ses som "tid under risk", och uttrycks som närvarofaktor (andel av året). Närvarofaktorer har antagits med utgångspunkt i Berggren et al. (1991) med vissa justeringar. Sårbarheten, alltså dödligheten för de som befinner sig i skredet, är satt till 0,04 enligt beräkning i kapitel 4.7.1. I de fall när hus delvis täcks av skredriskzonen antas alla människor i huset vara hotade och sårbara enligt ovan.

Miljö

Miljökonsekvenser som inkluderas är:

- sanering av förorenad mark orsakad av spill eller läckage
- emissioner orsakade av ökad bränsleförbrukning pga. förlängd restid för trafikanter
- påverkan på känslig eller skyddad natur såsom naturreservat

Konsekvenser för samhället

När en större väg blir skadad i ett skred finns anledning att ta hänsyn till samhällets kostnader för störningar i vägtransportförsörjningen. Långvariga störningar/avbrott leder till att stora samhällsekonomiska konsekvenser uppstår. Till konsekvenser inom vägtransportsystemet räknas direkta kostnadsökningar för restid, fordon, trafikolyckor, emissioner, drift och underhåll på grund av störningar/trafikavbrott (Vägverket, 2005).

Ett skred i ett bebyggt område och med förväntade dödsfall kan kräva en omfattande räddningsinsats. Enligt lag om skydd mot olyckor, LSO, så är det räddningstjänstens ansvar: *"Staten eller en kommun skall ansvara för en räddningsinsats endast om detta är*

motiverat med hänsyn till behovet av ett snabbt ingripande, det hotade intressets vikt, kostnaderna för insatsen och omständigheterna i övrigt” – 1 kap, 2 §, Lag om skydd mot olyckor. Vid ett större skred kan samhällets kostnader för räddningsinsatsen uppgå till miljonbelopp.

4.7.3 Värdering av skredkonsekvenser

Fastigheter

Värdet av byggnader och tomtmark beräknas utifrån taxeringsvärdet för respektive fastighet. Marknadsvärdet anses vara ett bra mått på den förväntade kostnaden av ett skred som drabbar fastigheten. Skatteverket beräknar taxeringsvärden schablonmässigt utifrån en värdering av faktiskt genomförda köp tidigare år. Taxeringsvärde skall bestämmas till det belopp som motsvarar 75 procent av taxeringsenhetens marknadsvärde (Fastighetstaxeringslagen, 5 kap. 2§). Beroende på hur omfattningen av skredet ser ut inom den aktuella fastigheten kan taxeringsvärde för tomten och byggnaden hållas separata eller som ett totalt värde. Om en byggnad delvis täcks av riskzonen beräknas kostnaden för hela byggnadens värde eftersom skadade byggnader i skredområdets kant sannolikt måste rivas. I de fall där en fastighet har flera byggnader varav endast vissa ligger inom skredriskzonen används en andel av marknadsvärdet som förväntad kostnad.

Värdet av ett statistiskt liv

Ekonomisk värdering av att rädda liv föreslogs först av Schelling (1968). Tanken är inte att värdera förhindrandet av en specifik individs död, utan att värdera en liten förändring i risken för att dö hos en hel population. Värdet av ett statistiskt liv (VSL) kan beskrivas som den summa som en population tillsammans är beredda att betala för att eliminera en risk som dödar en slumpmässigt vald individ ett år (Hammitt, 2000).

Vägverkets kalkylvärde för dödsfall är i 2001 års värden 17,5 Mkr och för svår personskada 3,1 Mkr i EVA-systemet som används vid vägplanering (Vägverket, 2005). Värdena föreslås användas både vid personskador för trafikant och för tredje man. Det VSL som Vägverket använder vid kostnadsnyttoanalys härstammar från en undersökning utförd i slutet av 1980-talet (Persson et al., 2001). Persson et al. har genomfört en studie med samma metod: Contingent Valuation, men tagit hänsyn till den utveckling i tolkning av resultatet som tillkommit de senaste åren. Den nyare studien antas också bättre spegla människors riskaptit och betalningsvilja i dagens samhälle. Resultatet av studien är att värdet av ett statistiskt liv är 22,33 Mkr i 2001 års penningvärde (Persson et al., 2001). Vid konsekvensvärdering i denna rapport tas utgångspunkten i detta värde, som omräknat till aktuellt penningvärde 2009 med hjälp av prisbasbeloppet är 25,90 Mkr, eller ca 605 prisbasbelopp.

Basbelopp

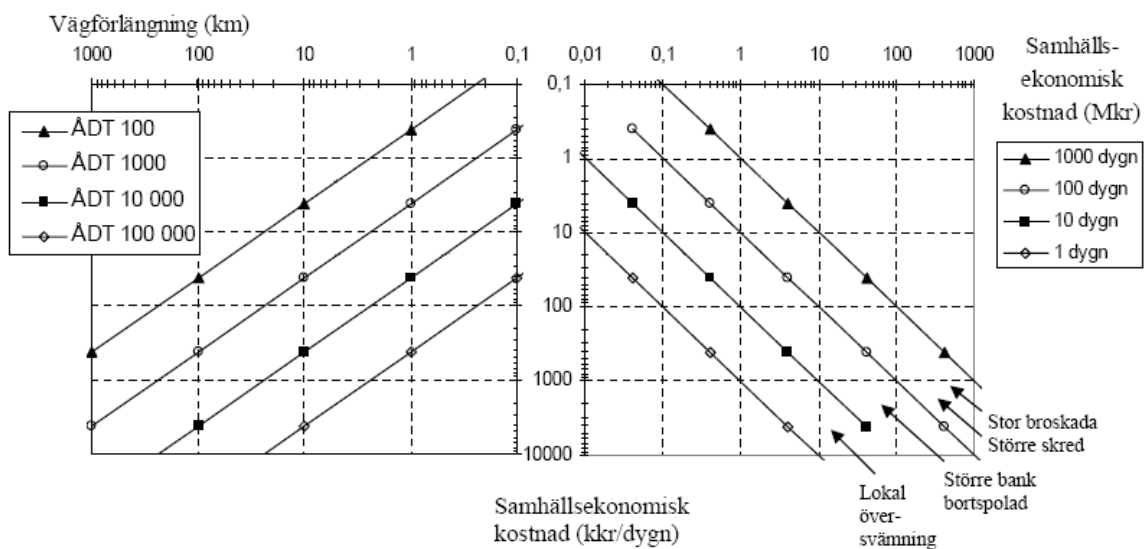
För nuvärdesberäkning av kostnader som uttrycks tidigare års penningvärde används prisbasbeloppet (det som före 1999 bara kallades basbelopp), Tabell 4.3.

Tabell 4.3 Prisbasbeloppet för olika år

År	Prisbasbelopp, kr	År	Prisbasbelopp, kr
1990	29 700	2001	36 900
1991	32 200	2002	37 900
1992	33 700	2003	38 600
1993	34 400	2004	39 300
1994	35 200	2005	39 400
1995	35 700	2006	39 700
1996	36 200	2007	40 300
1997	36 300	2008	41 000
1998	36 400	2009	42 800
1999	36 400	2010	42 400
2000	36 600		

Samhällsekonomisk kostnad vid vägavstängning

Med hjälp av Vägverkets schablonmetod för bestämning av konsekvensklass vid vägavstängning (Vägverket, 2005) kan de direkta kostnadsökningarna uppskattas, se Figur 4.2. En sådan uppskattning kräver uppgifter om årsmedeldygnstrafik (ÅDT), vägförlängning och tid för vägavstängningen. ÅDT för total trafik vid platsen för skredet har hämtats från Vägverket (2009), vägförlängningen mäts på karta och tiden för avbrottet har satts till 100 dagar.



Figur 4.2 Schablonmetod för bestämning av samhällsekonomisk kostnad vid vägavstängning, beroende på ÅDT och hur länge vägavstängningen varar. Modifierad från Vägverket (2005).

Kostnader för räddningsinsats

För att uppskatta kostnaden för räddningsinsatsen kan jämförelser göras med tidigare inträffade skred. Skredet i Vagnhärad 1997 omfattade 1,5 ha, fem villor drogs med i

jordmassorna med ingen person förolyckades (SRV, 1998). För skredet i Vagnhärad 1997 betalades 3,4 Mkr i statlig ersättning till Trosa kommun (SRV, 2008). Då hade kommunens självrisk på ca 200 000 kr dragits av, vilket innebär att kostnaden för insatsen var 3,6 Mkr i 1997 års penningvärde. Omräknat med hjälp av prisbasbeloppen för respektive år motsvarar det år 2009 4,2 Mkr. Kostnader för räddningsinsatsen i respektive fallstudie uppskattas grovt utifrån kostnader vid skredet i Vagnhärad.

5 RISKVÄRDERING

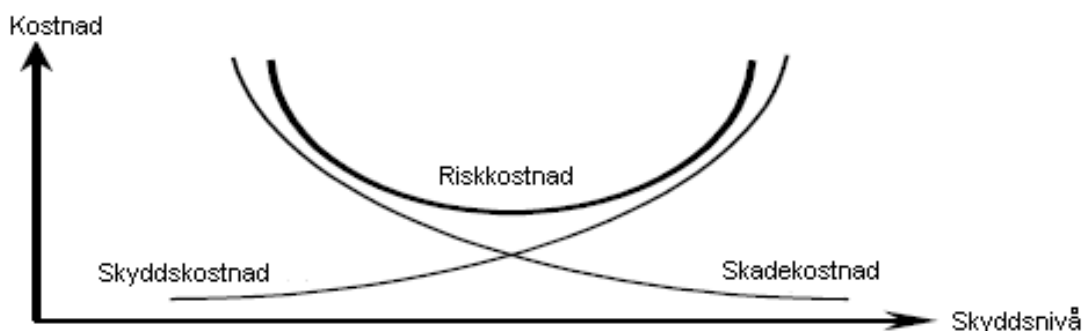
I riskvärderingen rangordnas riskerna och jämförs med tolerabla risker. Det tas beslut om åtgärder för att minska eller eliminera risker som inte är tolerabla. Det kan göras genom att påverka skadehändelsens orsaker, sannolikhet eller konsekvenser.

Sannolikheten för skred kan exempelvis minskas genom avschaktning eller utfyllnad. Konsekvenserna kan minskas genom förändring av markanvändningen, som att avveckla eller flytta känslig verksamhet från riskområdet. I denna rapport används kostnadsnyttoanalys för att utvärdera möjliga förebyggande åtgärder för att minska sannolikheten för skred. Syftet är att undersöka om det är ekonomiskt lönsamt att vidta förebyggande åtgärder.

5.1 Kostnadsnyttoanalys

5.1.1 Introduktion

Genom kostnadsnyttoanalys kan kostnaden för att minska risken ställas i relation till minskningen av den ekonomiska förlusten, och analysen ger ett mått på om de riskreducerande åtgärderna är lönsamma eller ej. Den totala riskkostnaden utgörs av summan av skyddskostnad och skadekostnad, vilket visas i Figur 5.1. Grundläggande för kostnadsnyttoanalys är att man tar utgångspunkt i en beslutssituation, där man i alla fall teoretiskt kan formulera en nettonuvärdesfunktion där tecknet på denna anger lönsamheten eller önskvärdheten. Skillnaden mellan säkerhetsinvesteringens diskonterade intäkter minus de diskonterade kostnaderna ska vara positivt för acceptans. Nyttofaktorn (nuvärdesberäknade nyttor / nuvärdesberäknade kostnader) kan också beräknas för att avgöra investeringens lönsamhet, och ska vara större än 1 för acceptans.



Figur 5.1 Riskkostnaden är summan av skydds- och skadekostnader. Riskkostnaden kan optimeras med hjälp av kostnadsnyttoanalys. Reproducerad från Nystedt (2000).

Nollalternativet i kostnadsnyttoanalysen är att ingen riskminskande åtgärd (säkerhetsinvestering) utförs. Den förväntade kostnaden för nollalternativet är produkten av sannolikheten för skred multiplicerat med konsekvensen av detsamma, och uttrycks i enheten [kr/år]. Denna kostnad kan kallas årlig ekonomisk risk. För att minska den förväntade riskkostnaden kan olika riskminskande åtgärder utföras. För att åtgärderna ska kunna

jämföras i analysen, måste deras respektive kostnad, riskminskande effekt och förväntad livslängd/varaktighet beräknas.

Ett exempel på en säkerhetsinvestering är en förändring av släntens topografi genom avschaktning av jordmassor vid släntkrönet, vilket minskar de pådrivande krafterna i slänten. Detta förbättrar släntstabiliteten, d.v.s. resultatet blir en minskad sannolikhet för skred. Åtgärden orsakar en kostnad vid det tillfälle då schaktningen genomförs, och där efter årliga intäkter i form av minskad förväntad ekonomisk förlust under investeringens beräknade livslängd. Viktigt att tänka på är att resultatet från kostnadsnyttoanalysen ska betraktas som ett bland flera underlag för beslut. För en mer utförlig beskrivning av kostnadsnyttoanalys hänvisas till European Commission (2008, 2009).

5.1.2 Tidshorisont

Åtgärden avschaktning är varaktig och medför inga kostnader för underhåll eller liknande. Sannolikheten för skred är beräknad för tidsperioden 50 år för fallstudierna. Om man tagit hänsyn till klimatförändringens inverkan under 50 år på de parametrar som används för att beräkna skredsannolikheten så blir beräkningsresultatet "sannolikheten att det går ett skred under de följande 50 åren". Hur sannolikheten för skred varierar med tiden är ett komplext problem. Klimatförändringen bidrar till att sannolikheten för skred ökar med tiden genom en minskad släntstabilitet, d.v.s. sannolikheten för skred år 2020 är högre än idag. Samtidigt minskar sannolikheten för att skredet har möjlighet att gå, eftersom det kan ha skett ett av de föregående åren och i så fall inte kan ske igen inom det specificerade skredriskområdet. Med tanke på den stora osäkerheten i modelleringen av klimatförändringen och dess inverkningar på släntstabiliteten, så finns det inte underlag för att göra skillnad på "sannolikheten för skred i år" för olika år. Sannolikheten för skred ett visst år sätts till:

$$p(\text{skred år } a) = p(\text{skred inom } x \text{ år})/x.$$

Sannolikheten per år antas alltså vara konstant över tiden.

5.1.3 Val av diskonteringsränta

Valet av diskonteringsränta kan ha stor inverkan på resultatet av kostnadsnyttoanalysen. Därför har en mindre litteraturgenomgång gjorts för att hitta en lämplig ränta för fallstudierna. Europeiska kommissionen anger 4,1 procent som en indikation på lämplig diskonteringsränta för investeringsprojekt i Sverige (European Commission, 2008). För konsekvensanalyser rekommenderar Europeiska kommissionen att 4 procent används för samtliga medlemsländer, och att en minskande diskonteringsränta kan användas för känslighetsanalys om effekterna uppträder mer än 30 år framåt i tiden (European Commission, 2009). Statens institut för kommunikationsanalys rekommenderar en diskonteringsränta på 4 procent (SIKA, 2008). I kostnadsnyttoanalyserna i denna rapport används diskonteringsräntan 4 procent. En eventuell känslighetsanalys kan starta med diskonteringsräntan 4 procent (enligt ovanstående rekommendationer) och sedan minska med 0,5 % efter 30 år och med ytterligare 0,5 % 75 år efter basåret för kalkylen enligt en modell rekommenderad i HM Treasury (2003).

Om liv och hälsoeffekter ska diskonteras eller inte är ett omdebatterat ämne utan tydliga rekommendationer. Oftast används samma diskonteringsränta som för kostnader (Kågebro & Vredin Johansson, 2008). En annan möjlighet är att justera hälsoeffekter endast efter inflationen. I fallstudierna har valts att använda en separat diskonteringsränta för liv, 2 procent, som anses motsvara inflationen.

5.2 Kostnader för förebyggande åtgärder

I två av de tre fallstudier som redovisas nedan har den stabiliserande åtgärden avschaktning av släntkrönet valts. Kostnaden för denna åtgärd har beräknats enligt schablonkalkyl, Geokalkyl (1991). Geokalkyl är utvecklat för att vara ett hjälpmedel för beräkning av kostnader för mark- och grundläggningsarbeten i tidiga plan- och projekteringsskeden.

6 FALLSTUDIER

Ett urval slänter fördelade över Sverige, se Bilaga 3, gicks igenom enligt kriterierna listade i Tabell 6.1. Konsekvensberäkningar redovisas i Bilaga 5.

Tabell 6.1 *Kravspecifikation för slänter lämpliga för denna utredning*

	Krav
Slänt	Lera eller silt Vattendrag vid släntfot Slänthöjd > 5 m Stabilitet oförstärkt $F_{komb}=1,35$ eller förstärkning utförd $F_{komb}=1,35$. Konsekvenser (se nedan) i slänt eller ovan slänt
Utförda utredningar/undersökningar	Detaljerad stabilitetsundersökning Portrycksmätning Vingsondering Jordartsbestämning Jorddjupsbestämning CPT eller kolv
Konsekvenser	Ett eller flera av följande: Bostadshus (krav) Sjukhus Industrier Skola Väg Kraftledning

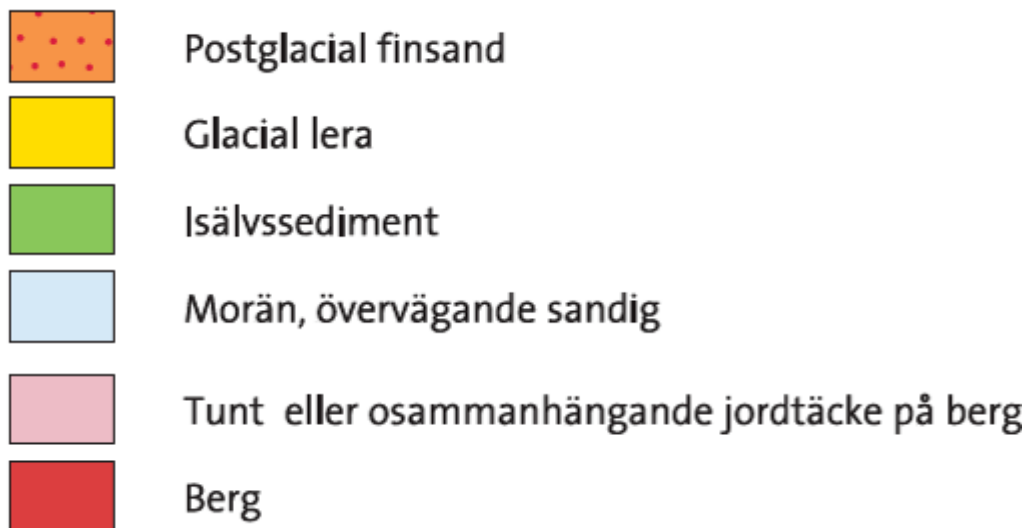
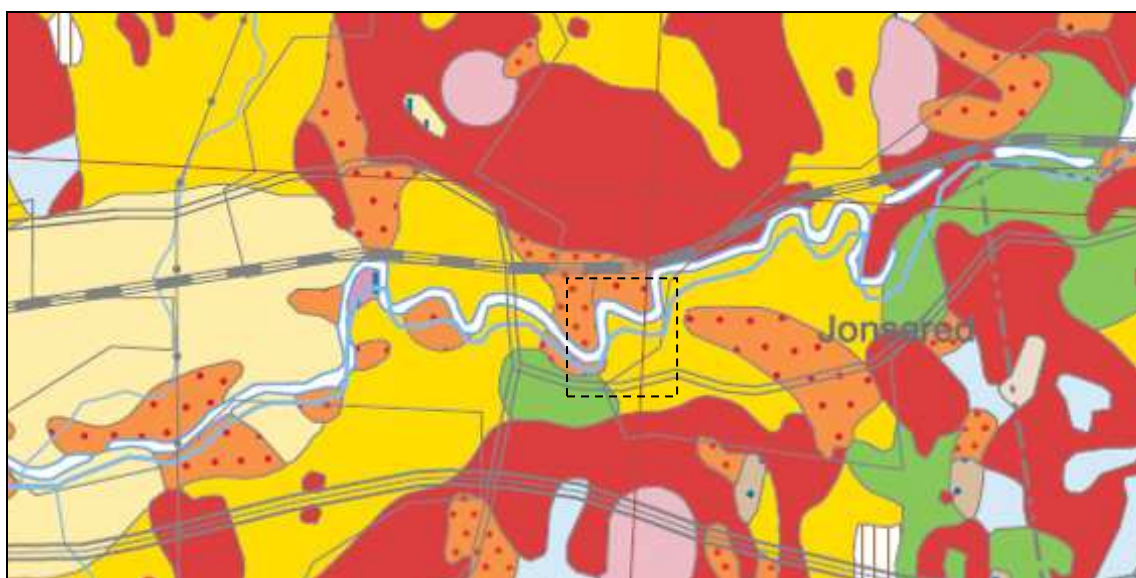
Den framtida klimatförändringen kommer att ge upphov till extremväder som bland annat ger översvämningar, höga vattenflöden och höga porvattentryck samt erosion. Slänterna för fallstudier har därför även valts ut på basis av SMHI:s klimatscenarier för att relatera till områden där ökad erosion och förhöjda porvattentryck kommer att vara väsentliga för benägenheten för ras och skred. Tre olika karaktäristiska jordslänter mot vattendrag fördelade över landet valdes ut, vilka samtliga är belägna under högsta kustlinjen:

- En slänt mot Säveån vid **Högshallsvägen i Partille**, som representerar förhållandena i Västsverige – avsnitt 7.
- **Kvarteret Orren vid Lidan** i Lidköping, som representerar förhållandena i Götalands inland – avsnitt 8.
- **Årby vid Dalälven i Borlänge**, som representerar förhållandena i norra Svealand och Norrland – avsnitt 9

Beräkningarna för dessa tre utvalda jordslänter redovisas i respektive Avsnitt 7, 8 och 9.

7 HÖGSHALLSOMRÅDET, PARTILLE KOMMUN

Högshall är ett mindre bostadsområde i Jonsereds västra utkant, beläget mellan Säveån och länsväg 1940, även kallad Jonseredsvägen. Säveån tillhör Göta älvs huvudavrinningsområde med källa utanför Vårgårda. Ån passerar det nu undersökta området innan den mynnar ut i Göta älv i centrala Göteborg.

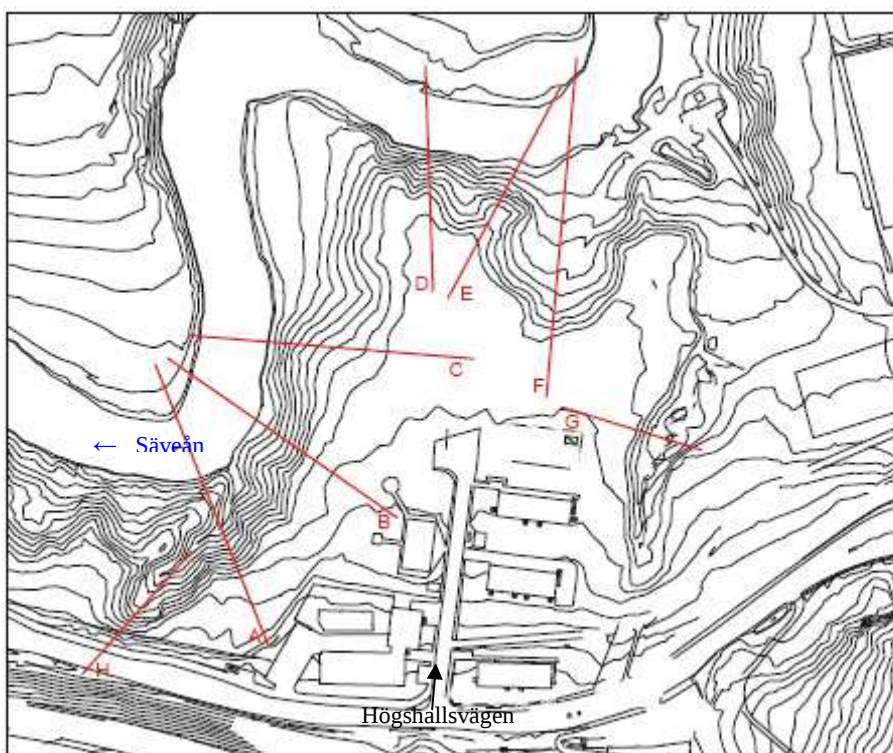


Figur 7.1 Jonsered/Högshall. Utdrag ur SGU:s digitala jordartskarta. Uppförstorad till skala 1:25 000.

7.1 Underlag

Jordlagerförhållandena i Högshall framgår översiktligt av SGU:s jordartskarta, Figur 7.1.

På uppdrag av Partille kommun utförde SWECO VBB i Göteborg (SWECO, 2006) en fördjupad stabilitetsutredning för slänterna ner mot Sävån i området kring Högshallsvägen. SWECO:s utredning har använts som underlag för stabilitetsberäkningarna i denna utredning där analys har utförts för beräkningssektion B, belägen i områdets västra del (se Figur 7.2). Topografi och jordlagerförhållanden har ansatts lika som i SWECO:s utredning. Stabilitetsberäkningar har utförts med programmet Geostudio 2007 SLOPE/W Version 7.13. Vid analysen är det den av detta beräkningsprogram redovisade farligaste glidytan som behandlas vidare statistiskt.



Figur 7.2 Lagen för SWECO:s beräkningssektioner vid Högshall, Partille.

7.2 Beräkningsförutsättningar

7.2.1 Erosion

Området kring Sävån karaktäriseras av branta slänter bildade genom vattnets erosion genom jordlagren. I SWECO:s rapport beskrivs att tydliga spår av erosion finns längs åns stränder vid den aktuella sträckan. Några mätningar, uppföljningar eller beräkningar av erosionsförloppet har dock inte utförts. Efter kontakter med utredande geotekniker på SWECO har erosionens minsta respektive högsta värde antagits. De antagna värdena, som redovisas i Tabell 7.2, motsvarar den horisontella förflyttningen av släntens tå vid älvens botten. Från denna punkt har sedan en rak linje dragits upp till medelvattenståndet.

7.2.2 Vattenstånd i Sävåån

Vattenståndet i Sävåån vid den aktuella sektionen har ansatts till ett maximalt värde av +15,5 m samt ett minsta värde av +12,0 m. Det finns inga vattenståndsmätningar i det direkta närområdet. Däremot har Partille kommun utfört mätningar vid Kåhögsbron (nedströms) och kraftverket uppströms vid situationer med uppenbara högvatten eller lågvattenförhållanden. Mellan Kåhögsbron och Sektion B finns en liten fors som ytterligare försvårar bedömningen. Resultat från mätningarna, som finns presenterade i SWECO:s utredning, har använts i denna utredning för att bestämma det maximala och det minsta värdet.

7.2.3 Portrycks- och grundvattenförhållanden

Portrycks- och grundvattenförhållandena har studerats inom området vid ett flertal tillfällen, bland annat av Berntsson (1983). Genom hela akvitarden² förekommer en hydrodynamisk nedåtriktad strömning, och grundvattentrycket i friktionsjorden regleras av vattennivån i Sävåån. Portryckssituationen blir därmed mycket speciell för området, med en i de övre och undre jordlagren hydrostatisk portrycksfördelning anpassad i övre och undre begränsningen till de där rådande grundvattentrycken. Däremellan förekommer en övergångszon belägen mellan cirka 7 och 20 m under markytan.

Mätningar redovisade av Berntsson (1983) visar på en årtidsfluktuation med en amplitud varierande mellan 11 och 18 kPa. SWECO (2006) redovisar portrycksmätningar på olika djup i leran mätta vid sju olika tillfällen under perioden 1998 till 2006. De högsta redovisade värdena har använts som nedre gräns för en standardavvikelse. Som normalvärde har använts +0,4 över nedre standardavvikelsen för att symbolisera ett högsta möjligt tryck för dagens klimat. Som värde på övre standardavvikelse har normalvärdet ökat med 0,5 m för att innefatta den kommande klimatförändringen.

Portrycksprofilen i slänten har modellerats i Geostudio SEEP/W. Först har modellen och dess randvillkor kalibrerats mot dagens rådande portrycks- och grundvattenförhållanden, Bilaga 4. Bortanför släntkrön styrs portrycken av grundvattentrycket från underliggande friktionslager samt av nederbördsökningen i form av en förhöjd grundvattenyta. Vid slänttån och under Sävåån styrs portrycket uteslutande av Sävååns vattennivå. Efter kalibrering har klimatförändringens variationer lagts på och de så beräknade portrycken har använts vid stabilitetsberäkningarna.

7.2.4 Sammanfattning

Beräkningsförutsättningarna sammanfattas i Tabell 7.1.

² Akvitard, en för grundvattnet mycket svårgenomtränglig geologisk bildning, i detta fall jordlager av lera.

Tabell 7.1 Sammanfattning av beräkningsförutsättningar

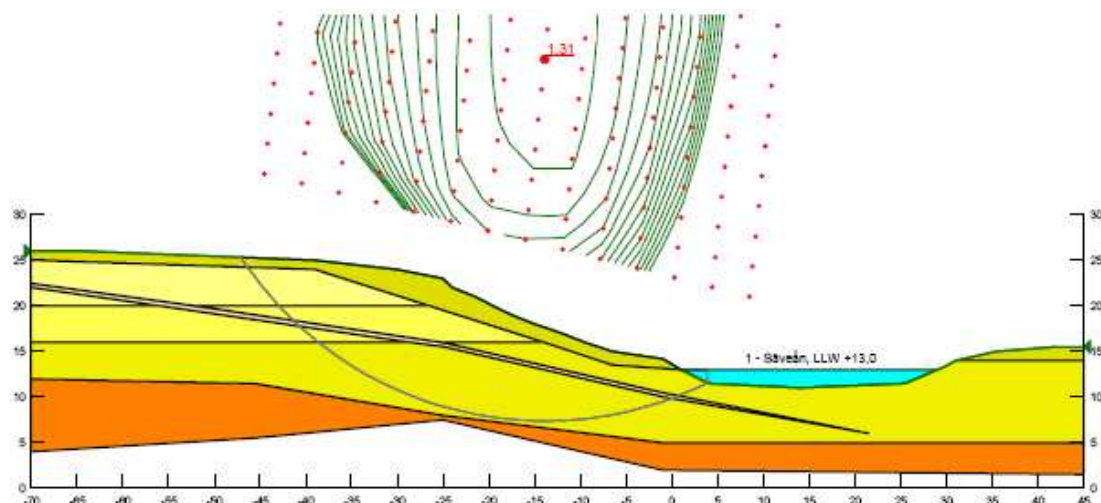
Parameter	Min	Max	Fördelning	Medel μ	Std σ	Parametrar i punktskattnings metod
Erosion	0 m	2 m	Triangulär	1 m	0,42 m	$E^+ 1,42$ $E^- 0,58$
Vattenstånd	+12,0 m	+15,5 m	Triangulär	+13,75	0,71	$W^+ 14,5$ $W^- 13$
Nederbörd	+25 m	+25,9 m	Skev triangulär	+25,4	0,2	$N^+ 25,6$ $N^- 25,2$

7.2.5 Antal beräkningar

Det totala antalet beräkningsfall för Högshallsvägen uppgår till nio stycken (8 plus 1 för medelvärdesberäkning) för situationen före åtgärd och lika många efter åtgärd.

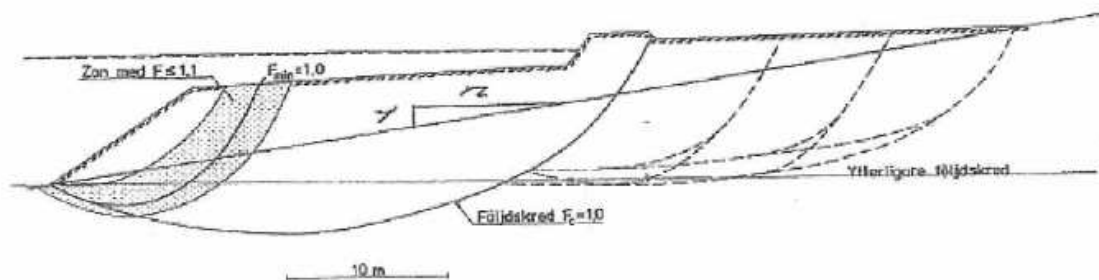
7.3 Utbredningen av ett potentiellt skred

Enligt den stabilitetsutredning som utförts av SWECO (2006) visar att de farligaste glidytorna för Sektion B börjar ca 20 m bakom slänkrönet, Figur 7.3.

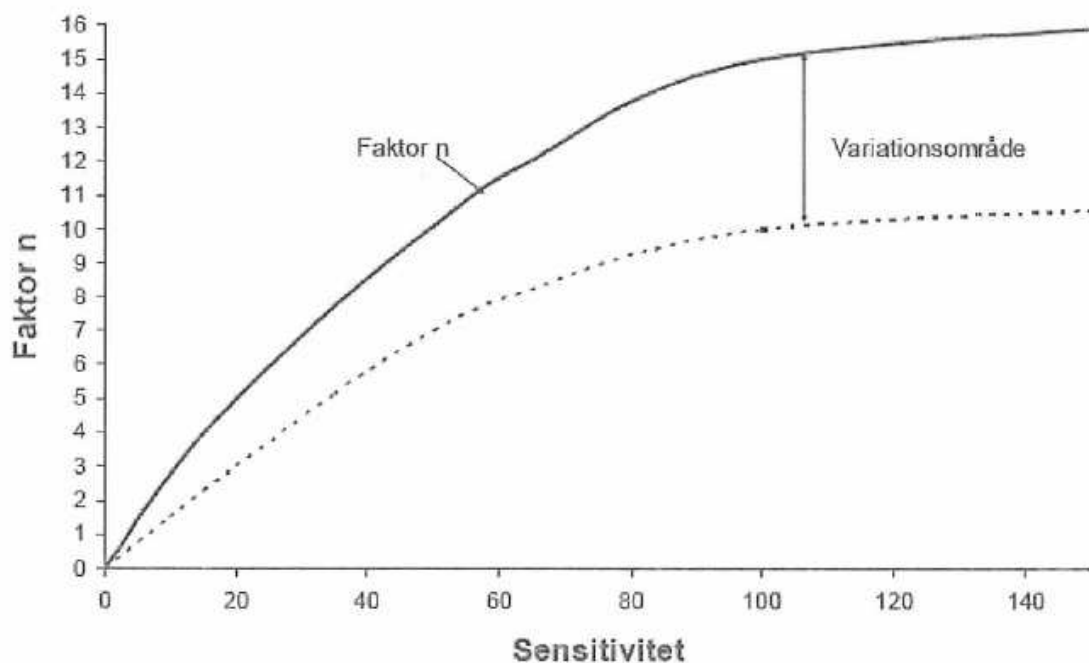


Figur 7.3 Farligast beräknad glidyta vid Sektion B, SWECO (2006).

Eftersom kvicklera förekommer i Högshallsområdet, bedöms att sekundära följdskred kan uppkomma, som kan utbreda sig bakåt och beröra befintlig bebyggelse. Enligt Edstam m.fl. (2008) kan det område som kan bli påverkat av följdskred bedömas med hjälp av Figur 7.4.



Sektion

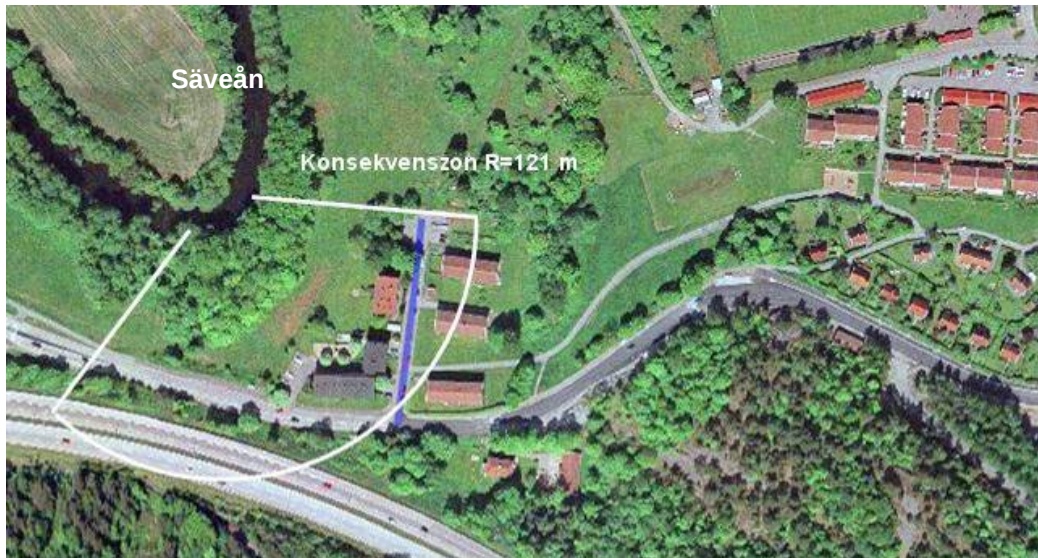


Figur 7.4 Diagram för bedömning av faktor n med ledning av sensitivitet, Edstam m.fl. (2008)

Utbredningen av ett potentiellt skred med följdscred i Högshallsområdet bedömts till ca 1,6 ha. Detta baseras på släntens höjd, $h \approx 13,5$ m, samt en väster om Högshallsvägen uppmätt sensitivitet på $S_t \approx 30$ vilket ger $n \approx 9$. Eftersom släntområdet vid Sektion B ligger vid en åkrök blir den zon, som kan beröras av skred, formad som en cirkelsektor med centrum i Sävåån, se Figur 7.5. Cirkelsektorns radie R , som bestäms av slänthöjden och n -faktorn, blir $R = n \times h = 9 \times 13,5 \approx 121$ m.

Inom konsekvenszonen finns flerfamiljshus på båda sidor av Högshallsvägen. Markanvändningen fördelas huvudsakligen på tomtmark och betesmark samt skogsmark tillhörande Bokedalens naturreservat. I övrigt innefattas en sträcka av Jonseredsvägen samt en mindre parkeringsplats i konsekvenszonen. Motorvägen E20, som passerar i conse-

kvenszonens södra del, undantas i konsekvensbedömningen, eftersom vägen bedöms vara grundlagd på berg.



Figur 7.5 Konsekvenszonen för Högshallsområdet är formad som en cirkelsektor med centrum i Säveån. Högshallsvägen markeras i blått.

7.4 Sannolikhetsberäkning baserad på punktskattningsmetoden

Nio stabilitetsberäkningar före åtgärd och nio beräkningar efter åtgärd (avschaktning) har genomförts. Resultaten sammanfattas i Tabell 7.2. Se även Avsnitt 4.6.3, Beräkning av sannolikhet.

Tabell 7.2 Tillämnning av punktskattningsmetoden. Sammanfattning av stabilitetsberäkningar utförda samt beräknade brottsannolikheter för förhållandena före och efter åtgärd.

Säkerhetsfaktorer (1: före åtgärd, 2: efter åtgärd)		
	Säkerhetsfaktor 1	Säkerhetsfaktor 2
W+N+E+	0,996	1,104
W+N+E-	1,005	1,113
W+N-E+	1,008	1,065
W+N-E-	1,019	1,075
W-N+E+	1,025	1,104
W-N+E-	1,03	1,106
W-N-E+	1,039	1,098
W-N-E-	1,046	1,106
W_mE_m	1,011	1,06

Brottsannolikheter P (F < 1)	
P (före åtgärd)	P (efter åtgärd)
16 %	$\sim 1 \cdot 10^{-5}$

Utmaningen med denna slänt är att utifrån påverkande grundvattenförutsättningar bilda sig en uppfattning om hur porttryckssituationen kan tänkas ändra sig i framtiden. En grundvattenmodell togs fram för att studera den sammantagna effekten av både ett varierande grundvattentryck i underliggande friktionslager (helt styrt av Sävåsens nivå) och en tillförsel av nederbördsvatten i jorden som leder till en förhöjd grundvattennivå. För att möjliggöra modellen så byggdes den upp och kalibrerades i SEEP/W.

Vad som även är viktigt att beakta när man studerar resultaten är att samtliga beräkningar (för såväl variationen i säkerhetsfaktor som brottsannolikheten) är att det är bara parametrarna erosion, porttryck och vattenstånd som har medtagits. Utöver detta finns en rad andra faktorer som kan variera och påverkar släntens säkerhetsfaktor, såsom jordens hållfasthetsparametrar.

7.5 Konsekvenser – Liv

I flerbostadshuset på Högshallsvägens västra sida bor 42 personer, och på vägens östra sida bor 24 personer (Dellming, 2009). Enligt utritat skredområde i Figur 7.5 omfattas samtliga hus på västra sidan av Högshallsvägen. På vägens östra sida omfattas två huskroppar till 50 %, och det tredje huset står helt utanför skredområdet. I beräkningen antas alla boende i såväl de helt täckta som de delvis täckta husen vara hotade med sårbarheten 0,04. Antalet permanentboende under risk kan då uppskattas till $42 + (24 \cdot 2/3) = 58$ personer. Med närvarofaktorn 0,5 och sårbarheten 0,04 blir det förväntade antalet döda 1,16 personer.

För Jonseredsvägen antas endast de trafikanter som befinner sig inom skredområdet i skredögonblicket drabbas; för eventuella påkörande trafikanter antas sårbarheten vara 0.

170 meter av Jonseredsvägen ligger inom skredområdet. Vägens trafiktäthet uppmättes år 2006 i en punkt 100 m väster om Högshallsvägens mynning till 3455 fordon per dygn (ÅDT, årsmedeldygnstrafik). $3455 \text{ fordon per årsmedeldygn} = 0,0405 \text{ bilar/s}$. Med hastigheten $70 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$ är tiden under risk för en bil (d.v.s. den tid det tar att köra genom konsekvenszonen) $= 170/20 = 8,5 \text{ s}$. Snittantalet bilar inom konsekvenszonen blir då $8,5 \cdot 0,0405 = 0,34 \text{ st}$. Antag att snittantalet passagerare/bil är 1,7 då blir förväntat antal närvarande $0,34 \cdot 1,7 = 0,6 \text{ personer}$.

Väg E6 antas vara anlagd på berg och innefattas därför inte i konsekvenszonen.

Det förväntade antalet döda vid ett skred är sammanlagt 1,18 personer vilket värderas till 31 Mkr.

7.6 Konsekvenser – Egendom

Värdet av byggnader och tomtmark beräknas utifrån taxeringsvärdet. Taxeringsvärde skall bestämmas till det belopp som motsvarar 75 procent av taxeringsenhetens marknadsvärde (Fastighetstaxeringslagen, 5 kap. 2§). Skatteverket beräknar taxeringsvärden schablonmässigt utifrån en värdering av faktiskt genomförda köp tidigare år.

På västra sidan av Högshallsvägen finns 32 lägenheter i två huskroppar, vilka båda ligger inom konsekvenszonen. De utgör fastigheten Manered 5:1 med taxeringsvärdet 6636 tkr (Dellming, 2009). På vägens östra sida finns 24 lägenheter fördelade på tre huskroppar, vilka utgör fastigheten Manered 5:3. Taxeringsvärdet för Manered 5:3 är 5774 tkr (Dellming, 2009). Här omfattas två huskroppar till 50 % av skredområdet och det tredje huset står helt utanför skredområdet. Det är rimligt att anta att de två påverkade husen kommer att rivas, vilket innebär att totalt ca 40 lägenheter förstörs i ett eventuellt skred.

Förutom flerbostadshuset finns förråd och bodar till en yta av 80 m^2 uppskattad utifrån kartor och foto. Värdet av dem ingår i taxeringsvärdet. Marknadsvärdet beräknas som taxeringsvärdet/0,75. Två tredjedelar av fastigheten Manered 5:3 anses förstöras av ett skred.

Kostnaden för förstörd skogsmark i konsekvensområdet sätts till noll eftersom marken inte brukas utan utgör ett naturreservat. Ett skred är en naturlig process och marken som tillhör naturreservatet ska därför inte återställas efter ett eventuellt skred.

Den totala kostnaden för förstörd tomtmark och raserade byggnader uppgår till 14 Mkr och övrig egendom till sammanlagt ca 1 Mkr.

7.7 Konsekvenser – Samhällsekonomiska kostnader

Förutom kostnader för att reparera Jonseredsvägen bör hänsyn tas till samhällets kostnader för störningar i vägtransportförsörjningen. Långvariga störningar/avbrott leder till stora samhällsekonomiska konsekvenser uppstår. Till konsekvenser inom vägtransportsystemet räknas direkta kostnadsökningar för restid, fordon, trafikolyckor, emissioner, drift och underhåll på grund av störningar/trafikavbrott (Vägverket, 2005). Med hjälp av Vägverkets schablonmetod för bestämning av konsekvensklass vid vägavstäng-

ning kan de direkta kostnadsökningarna uppskattas. En sådan uppskattning kräver uppgifter om årsmedeldygnstrafik (ÅDT), vägförlängning och tid för vägstängningen. Jonsered är den enda tätorten längs Jonseredsvägen så det är rimligt att anta att Jonsered utgör start/mål för den uppmätta trafiken. Sträckan Göteborg – Jonsered förlängs med 10 km när trafiken måste dirigeras om via Hulanmotet enligt Figur 7.6. För en vägstängning under tiden 100 dygn och 3455 ÅDT uppgår de direkta kostnadsökningarna till ca 10 Mkr.



Figur 7.6 Den ordinarie sträckningen mellan Göteborg och Jonsered är markerad med rött. Vägförlängningen (blå) via Hulanmotet uppgår till 10 km.

Kostnaden för räddningstjänstinsatsen efter skredet uppskattas genom jämförelse med skredet i Vagnhärad 1997 som presenteras i kapitel 4.7.3. De båda skreden har i stort sett samma utbredning (1,5 ha i Vagnhärad och 1,6 ha vid Högshallsvägen). Bebyggelsen vid Högshallsvägen är dock betydligt tätare; istället för de 5 villor om drogs med i Vagnhärad drabbas vid Högshallsvägen fyra flerfamiljshus med ett 40-tal lägenheter vilket förväntas leda till enstaka dödsfall. Konsekvenserna är alltså betydligt större, och räddningsinsatsen blir förmodligen mer komplicerad med flerfamiljshus än med villa-bebyggelse. Räddningsinsatsen uppskattas grovt kosta samhället 3-4 gånger mer än skredet i Vagnhärad vilket motsvarar 12-16 Mkr. Värdet 14 Mkr används i beräkningen.

7.8 Konsekvenser – Miljö

Ökade emissioner orsakade av trafikomledning inkluderas i Vägverkets schablonmetod för beräkning av samhällsekonomiska kostnader ovan.

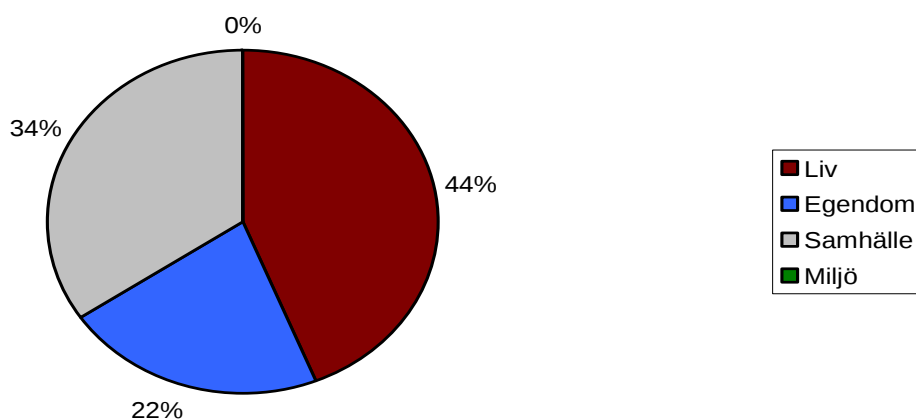
Konsekvenszonen ligger delvis inom Bokedalens naturreservat som breder ut sig norr om konsekvenszonen och som även sträcker sig längs Säveån uppströms och 200 meter nedströms zonen. Säveån är klassad som Natura 2000 enligt Habitatdirektivet och som fiskvatten (Sveriges Länsstyrelser och vattenmyndigheter, 2009). Om ett skred sker i ett Natura 2000-område ska området inte återställas eftersom det är en naturlig förekomst (Lindhagen, 2009). Sett ur konsekvensperspektivet innebär skredpåverkan på Säveån alltså ingen ekonomisk förlust.

Det finns ingen industriell verksamhet i området, och det finns inga tecken på att markområdet skulle vara förorenat.

7.9 Förväntad kostnad vid skred

Den förväntade kostnaden för ett skred enligt utbredningen som beskrivs ovan summerar till 70 Mkr i 2009 års penningvärde. Kostnadsfördelningen redovisas i Figur 7.7 och beräkningar redovisas i Bilaga 5.

Fördelning av kostnad på olika typer av konsekvenser

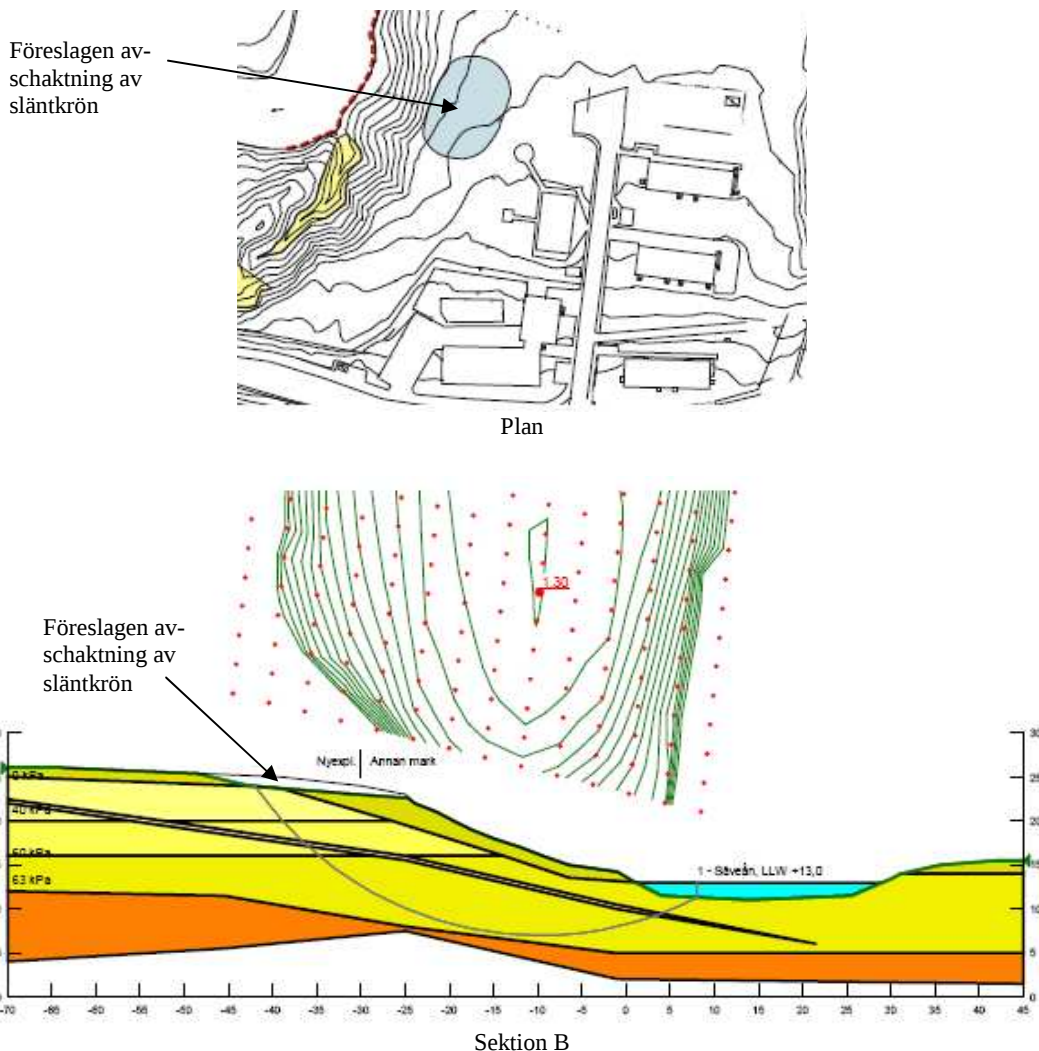


Figur 7.7 Förväntad kostnad för skred vid Högshallsvägen fördelad på olika typer av konsekvenser.

7.10 Kostnadsberäkning för åtgärd

7.10.1 Avschaktning av slänkrönet

Föreslagen åtgärd är avschaktning av slänkrönet. Enligt utförd stabilitetsutredning av SWECO (2006) genom avschaktning av slänkrönet enligt plan och sektion i Figur 7.8.



Figur 7.8 Höghallsvägen, Rekommenderad avschaktning, SWECO (2006)

Den föreslagna avschaktningens volym har av SWECO (2006) beräknats till ca 700 m³. Den avschaktade markytan blir ca 600 m² och schaktdjupet varierar mellan ca 0 och 1,5 m. De jordmassor som skall schaktas bort utgörs av siltig torrskorpelera.

7.10.2 Kostnadsberäkning enligt Geokalkyl

Kostnadsberäkningen har utförts enligt Geokalkyl (1991) som ger kostnaderna exklusive moms i 1994 års prisnivå:

Grovplaneringskostnaden för avschaktning till 1-1,5 m djup av lera med torrskorpelera med ca 600 m² fri markyta blir enligt Geokalkyl 210 kr/m² d.v.s. 600 × 210 = 126 000 kr. I denna följande kostnader medräknats:

- Rövning med fördelningen 50 % vegetationsavtagning, 30 % jordmånsavtagning, 10 % slyavverkning och 10 % skogsavverkning

- Transport av avschaktade massor högst 5 km

Till detta tillkommer deponiavgift med 20 kr/m³, vilket ger $700 \times 20 = 14\,000$ kr. Enligt Geokalakyl blir kostnaden i 1994 års prisnivå således $126\,000 + 14\,000 = 140\,000$ kr.

Enligt Jansson (2009) kan priserna multipliceras med en faktor 1,8 för omräkning till 2009 års prisnivå. Dessutom bör man lägga på 20 % för oförutsedda kostnader samt 15 % för byggherreomkostnader. Kostnaderna för den föreslagna avschaktningen vid Högshallsvägen blir således enligt Geokalkyl $140\,000 \times 1,8 \times 1,20 \times 1,15 \approx 348\,000$ kr ($\approx 0,35$ Mkr).

7.11 Kostnadsnyttoanalys

Kostnadsnyttoanalys har utförts enligt beskrivning i kapitel **Fel! Hittar inte referens-källa..** Kostnadsnyttoanalysen visar på ett stort positivt nettonuvärde och en nyttofaktor (nyttor/kostnader) på 17 vilket tyder på att åtgärdsalternativ 1 är det samhällsekonomiskt mest lönsamma sett i tidsperspektivet 50 år. Indata för analysen har stor osäkerhet och därför bör resultatet endast ses som en indikation på kostnadsutfallet. En sammanställning av kostnadsnyttoanalysen finns i Tabell 7.3.

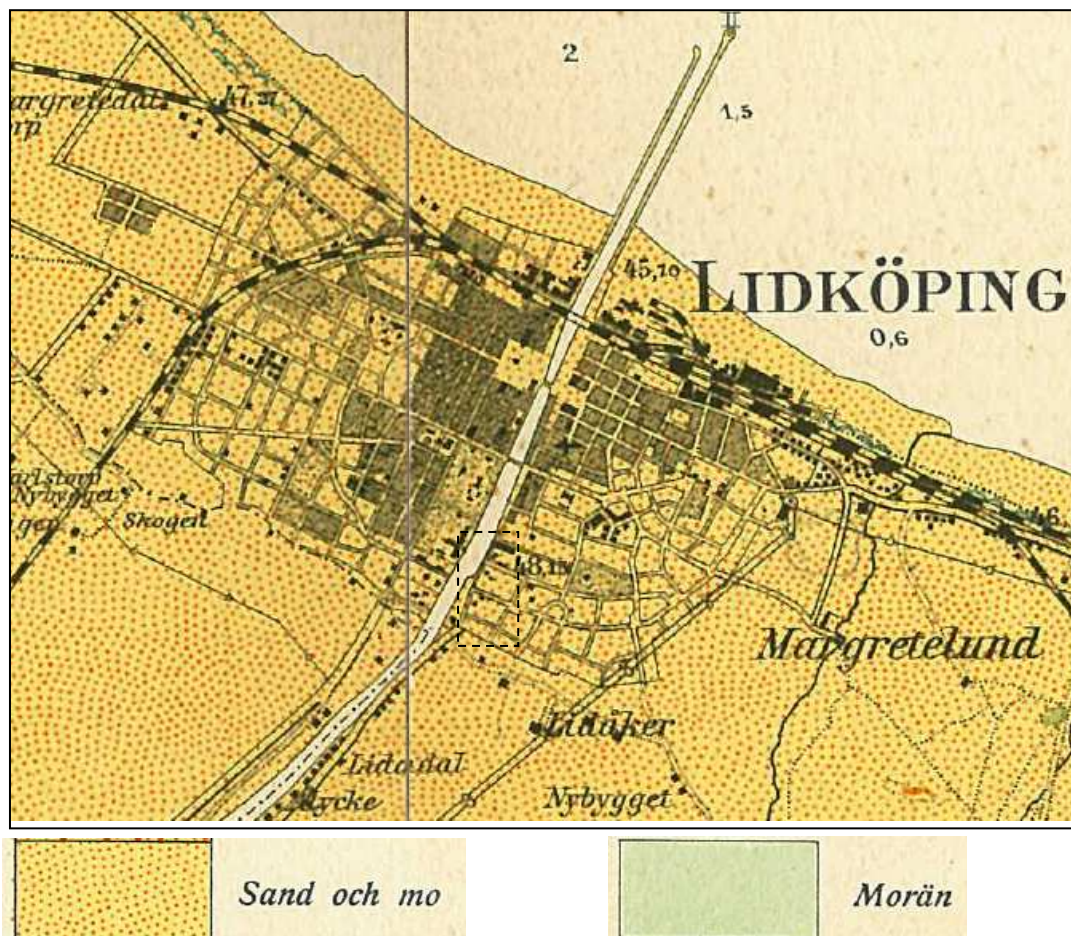
Tabell 7.3 Sammanställning av kostnadsnyttoanalys för Högshallsvägen, Partille

Sammanställning av kostnad-nyttoanalys		
Fallstudie		
Högshallsvägen, Partille kommun		
Basår för kalkyl	2009	
Belopp anges i	Mkr	
Kalkylränta för liv (%)	2,0%	
Kalkylränta för övrigt (%)	4,0%	
Tidshorisont (år)	50	
Kostnader och nyttor av alternativen	Nyttokostnad Mkr	
	Nollalternativ	Åtgärdsförslag 1
Nuvärde av kostnader enligt beräkn. (NV kostn)	0	0,35
Nuvärde av förväntade skador (NVs)	5,93	0,0004
Nuvärde undviken skada		5,93
Nettonuvärde (NNV)		5,59
Nyttofaktor (Nyttor/kostnader)		17,05
Beskrivning av alternativen		
Nollalternativ	Ingen åtgärd, skredrisken är oförändrad.	
Åtgärdsförslag 1	Avschaktning för att öka släntstabiliteten.	

8 KVARTERET ORREN, LIDKÖPINGS KOMMUN

8.1 Beskrivning

Kvarteret Orren är beläget vid Lidans östra strand i södra delen av Lidköpings centralort – mittemot Lidköpings sjukhus. Jordlagerförhållandena i Lidköping framgår översiktligt av SGU:s jordartskarta (från 1935), Figur 8.1.



Figur 8.1 Lidköping. Utdrag ur SGU:s jordartskarta Ser Aa Nr 182, rev. 1935. Uppförstorad till skala 1:25 000.

Strandbrinkens höjd är ca 5 m räknad från Lidans medelvattenyta. Lidans vattendjup är 5-6 m. Ovan slänkrönet är marken plan och lutar endast obetydligt. Byggnaderna inom området är grundlagda på plattor. Den byggnad i områdets norra del som används som affärslokal har till ca 2/3 en källarvåning.

Ett erosionsskydd av sprängsten utlades längs strandkanten 1995.

Jorden inom området ovanför slänkrönet består i huvudsak av, överst ca 4 m sandig fyllning och sand, se SGU:s jordartskarta Figur 8.1, och därunder av ca 23 m huvudsak-

ligen av siltig lera. Fyllningens och sandens relativa fasthet är mycket låg till låg. Leran är lös till halvfast och innehåller i de djupare lagren skikt av silt. Under leran finns troligen morän.

8.2 Beräkningsförutsättningar Orren

8.2.1 Underlag

På uppdrag av Lidköpings kommun utförde SGI (1996) en stabilitetsutredning för slänten ner mot Lidan utmed kvarteret Orren i Lidköping. SGI:s utredning har använts som underlag för stabilitetsberäkningarna i föreliggande utredning. I denna utredning har analys utförts för beräkningssektion 0/168, belägen i områdets norra del (se Figur 8.2). Topografi och jordlagerförhållanden har ansatts lika som i SGI:s tidigare utredning. Stabilitetsberäkningar har utförts med programmet Geostudio 2007, SLOPE/W Version 7.13. Vid analysen är det den av programmet redovisade farligaste glidyten som behandlas vidare statistiskt.



Figur 8.2 Läge för sektion 0/168 i kvarteret Orren, Lidköping. (karta från www.eniro.se)

8.2.2 Jordlagerförhållanden

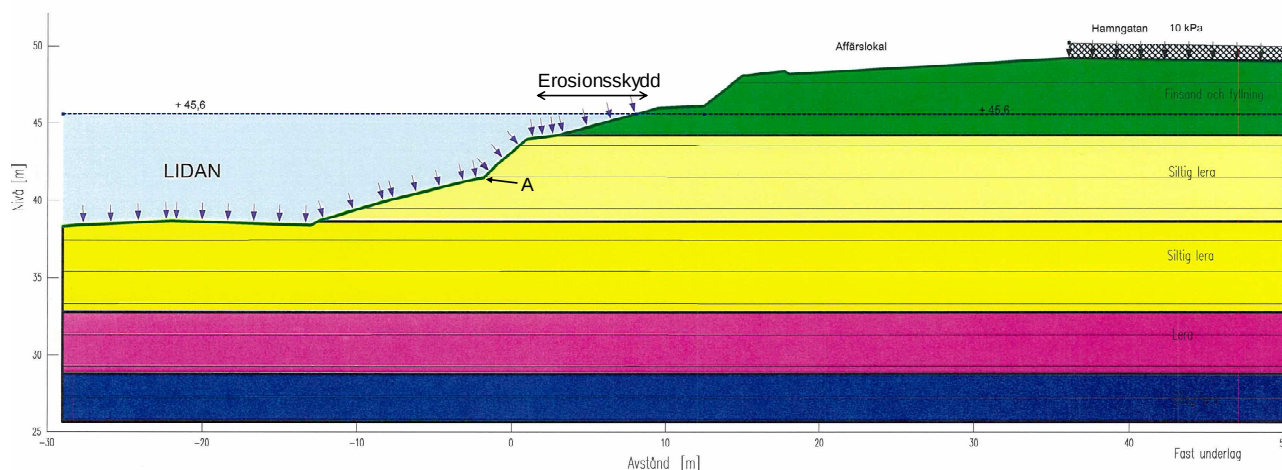
Enligt SGI:s utredning (1996) består området ovanför släntrönet av cirka 4 m sandig fyllning och sand som överlagrar drygt 20 m huvudsakligen siltig lera. Fyllningens och sandens relativa fasthet är mycket låg till låg. Leran är lös till halvfäst och innehåller skikt av silt i de djupare lagren. Lerans sensitivitet varierar mellan 28 och 78 med de högsta värdena i de övre lerlagren, där leran är kvick.

8.2.3 Erosion

Efter en utredning 1994 (SGI, 1994) konstaterades att området vid bassjukhuset på västra sidan Lidan, se Figur 8.2, hade otillfredsställande stabilitet. Området förstärktes därför 1995 med en tryckbank av sprängsten i Lidan. Efter utläggningen konstaterades att erosionen ökade på östra sidan (där kvarteret Orren ligger) och strandbrinken skyddades därför genom utläggning av ett erosionsskydd av sprängsten. Detta erosionsskydd är placerat vid vattenlinjen, se Figur 8.3.

I denna utredning har därför antagits att det befintliga erosionsskyddet ger ett effektivt skydd mot erosion i vattenlinjen. Dock kan erosion ske av slänten på djupare nivåer. Erosionens minsta respektive högsta värde har antagits efter diskussioner inom SGI. De antagna värdena, som redovisas i Tabell 8.1, motsvarar den horisontella förflyttningen av släntens tå vid älvens botten. Från denna punkt har sedan en rak linje dragits upp till undervattenssläntens brytpunkt, kallad A, se Figur 8.3.

Det bör påpekas att det är viktigt att erosionsskyddet underhålls och att eventuella brister åtgärdas snarast.



Figur 8.3 Placering av erosionsskydd i sektion 0/168 i kvarteret Orren i Lidköping

8.2.4 Vattenstånd

Vattenståndet i Lidan har ansatts lika med nivån i Vänern. Högsta och lägsta nivåer i Vänern för dagens klimat har inhämtats från Vattenfall, Trollhättan, i samband med SGI:s utredning 1996. Klimatförändringen kommer att öka nivåerna i Vänern, vilket har studerats i Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU, 2006). Dimensionerande nivå i ett förändrat klimat, utan hänsyn till vindpåverkan (som kan antas gälla för Lidan) uppgår

enligt SOU (2006) till +46,7. Högsta högvatten har därmed ansatts till +46,7. Lägsta lågvatten har satts till dagens lägsta lågvatten som är +43,2.

I punktskattningsmetoden kombineras de tre faktorernas extremvärden, och för Orren uppstår ett orealistiskt fall. Fallet är då nivån i Lidan blir högre än portryckens nollnivå i slänten. För att undvika att detta påverkade den slutliga brottsannolikheten ersattes portryckens 0-nivå i slänten med en parameter H, höjden över Lidans nivå. Denna parameter kan aldrig bli negativ.

8.2.5 Portrycks- och grundvattenförhållanden

Grundvattenförhållandena studerades inom området i samband med SGI:s utredning 1996. Mätningar utfördes då i 3 stycken öppna grundvattenrör med filterspetsar placerad i en punkt ovan släntrönn. Resultaten visade på hydrostatiska grundvattenförhållanden med en grundvattenyta belägen cirka 3 m under markytan vid släntrönn.

Grundvattensituationen allmänt i västra Sverige under samma period som SGI:s mätningar utfördes var torrare än normalt. Ett antagande har därför gjorts att det maximala portrycket för dagens klimat är 0,5 m högre än de av SGI uppmätta. Till detta har antagits att klimatförändringarna kommer att innebära att de maximala trycken ökar ytterligare 0,5 m baserat på en undersökning som utfördes av SGU inom arbetet med SGI:s handlingsplan för att förutse och förebygga naturolyckor vid ett förändrat klimat (Hultén et al, 2005).

Således har grundvattennivåns maximala värde satts till +47,1 (2 m under markytan) och dess lägsta nivå till +44,3, vilket motsvarar överkant på lerlagret. Hydrostatiska förhållanden har antagits.

8.3 Sannolikhetsberäkning baserad på punktskattningsmetoden

8.3.1 Antal beräkningar

Det totala antalet beräkningsfall för kvarteret Orren uppgår till 9 stycken (8 plus 1 för medelvärdesberäkning) för situationen före åtgärd. Stabilitetshöjande åtgärder visade sig inte behövas och därför har inga beräkningar gjorts efter åtgärd, se Tabell 8.1.

Tabell 8.1 Sammanfattning av beräkningsförutsättningar i Orren, Lidköping.

Parameter	Min	Max	Fördelning	Medel μ	Std σ	Parametrar i punktskattningsmetod
Erosion	0 m	7,5 m	Triangulär	3,75 m	1,5 m	$E^+ = 5,25$; $E^- = 2,25$
Vattenstånd	+43,2 m	+46,7 m	Triangulär	+0,25	0,20	$W^+ = 45,6$; $W^- = 44,2$
Nederbörd	+47,0 m	+44,3 m	Skev triangulär	+45,7	0,55	$N^+ = 46,3$; $N^- = 45,2$

8.3.2 Beräkningsresultat

Nio stabilitetsberäkningar har genomförts för "före åtgärd". Däremot har inga beräkningar för "efter åtgärd" (avschaktning) utförts på grund av att brottsannolikheten visade sig bli noll "före åtgärd". Resultaten sammanfattas i Tabell 8.2. Se även Avsnitt 4.6.3, Beräkning av sannolikhet.

Tabell 8.2 Tillämning av punktskattningsmetoden. Sammanfattning av stabilitetsberäkningar utförda samt beräknade brottsannolikheter för förhållandena före och efter åtgärd.

Säkerhetsfaktorer (1: före åtgärd, 2: efter åtgärd)		
	Säkerhetsfaktor 1	Säkerhetsfaktor 2
W+N+E+	1,607	—
W+N+E-	1,685	—
W+N-E+	1,685	—
W+N-E-	1,019	—
W-N+E+	1,733	—
W-N+E-	1,360	—
W-N-E+	1,452	—
W-N-E-	1,493	—
W_mE_m	1,562	—

Brottsannolikheter $P(F < 1)$	
P (före åtgärd)	P (efter åtgärd)
0 %	—

Utifrån påverkande grundvattenförutsättningar måste man bilda sig en uppfattning om hur porttryckssituationen kan tänkas ändra sig i framtiden. En grundvattenmodell togs fram för att kunna studera den sammantagna effekten av både ett varierande grundvattnetryck i underliggande friktionslager (helt styrt av Lidans nivå) och en tillförsel av nederbördsvatten i jorden som leder till en förhöjd grundvattennivå. För att möjliggöra modellen så byggdes den upp och kalibrerades i programvaran Geostudio SEEP/W.

Vad som även är viktigt att beakta när man studerar resultaten är att samtliga beräkningar (för såväl variationen i säkerhetsfaktor som brottsannolikheten) är att det är bara parametrarna erosion, porttryck och vattenstånd som har medtagits. Utöver det finns naturligtvis en rad andra faktorer som kan variera och påverkar släntens säkerhetsfaktor, såsom jordens hållfasthetsparametrar.

Konsekvenszonen omfattar området inom 100 meter från strandlinjen som avgränsas i norr av Kvarnegårdsgatan och i söder av en linje ca 50 meter söder om Härenegatan, se Figur 8.4. Skredets utbredning är ca 2,3 ha. Bostadsbebyggelsen i området utgörs av ett tiotal småhus. Övriga fastigheter inhyser följande verksamheter:

- Rubin Restaurang Hamngatan 4
- Milano Pizzeria & Restaurang, Hamngatan 39
- Salong Kicki (frisör), Hamngatan 4
- Hamngatans Livs AB, Hamngatan 4
- Shell bensinstation, Hamngatan 49
- Montessoriförskolan Smultronstället, Hamngatan 10



Figur 8.4 Konsekvenszonen för kvarteret Orren markeras i vitt.

8.4 Konsekvenser – Liv

Inom konsekvenszonen bor 33 personer (Nilsson, 2009). På Hamngatan 10 ligger Montessoriförskolan Smultronstället som har 38 platser för barn mellan 1-6 år. Personaltätheten är 16,8/100 barn (Westin, 2008) vilket motsvarar 6,4 närvarande personal. Bensinstationen är obemannad. Övriga arbetsplatser uppskattas tillsammans ha motsvarande ca 10 heltidstjänster. Tillfälliga besökare i området utgörs huvudsakligen av butiks- och restaurangkunder samt hämtning/lämning vid förskolan. Det är svårt att ange ett noggrant värde på antal besökare. För att uppskatta antalet har följande antaganden gjorts: Vid förskolan kan antalet uppskattas med en förälder per barn två gånger per dag fem dagar per vecka, vilket ger ca 50 besök per medeldygn. En livsmedelsbutik av kvartersstorlek uppskattas ha 50 – 100 besök per medeldygn. En restaurang uppskattas ha 50 – 100 sittande gäster per medeldygn. Automatbensinstationen antas ha 150 kunder per

medeldygn, vilket motsvarar i dygnsgenomsnitt en besökande bil i taget om tankningstiden är 10 minuter. En frisersalong med två frisörer kan antas ha i genomsnitt två kunder i salongen under öppettiderna, vilka antas vara 40 timmar per vecka. Tiden för ett genomsnittligt besök hos någon av verksamheterna antas i genomsnitt vara 20 minuter: kortare vid tankning, men längre vid restaurangbesök. Den totala tiden under risk för tillfälliga besökare uppgår då till 6,4 persondygn per dygn, alltså är antalet besökare i området i genomsnitt 6,4 personer.

Trafikflödet på Hamngatan har mätts i en punkt 500 m söder om konsekvenszonen med resultatet 2650 ÅDT (Vägverket, 2009). Det tillsammans med gatunätets utformning tyder på att ÅDT är omkring 2000 i konsekvenszonen. Övriga drabbade gator bedöms vara mindre trafikerade med ÅDT < 500. Med de antaganden om dödlighet, hastighet och antal personer per bil som redovisas i Avsnitt 7.7 blir förväntat antal närvarande trafikanter vid ett skred som drabbar det aktuella området 0,8 personer.

I beräkningen antas samtliga närvarande personer i riskzonen vara hotade med sårbarheten 0,04. Det förväntade antalet döda vid ett skred i konsekvenszonen uppgår till 1,71 personer, värderat till 44 Mkr.

8.5 Konsekvenser – Egendom

Värdet av byggnader och tomtmark beräknas utifrån taxeringsvärdet. Summan av taxeringsvärdena för fastigheter och tomter i konsekvenszonen är 17304 tkr (Nilsson, 2008). Marknadsvärdet beräknas då till 23072 tkr. Fastighetsgränserna överensstämmer väl med konsekvenszonens utbredning och därför behöver inga justeringar göras för att dela in tomter i drabbad respektive ej drabbad mark. Taxeringsvärden saknas för fastigheterna Orren 5 (Montessoriförskolan) och Skatan 40 (transformatorstation). Kostnaden för transformatorstationen undantas i utredningen. Värdet av den ligger sannolikt under 10 Mkr och påverkar därför inte resultatet nämnvärt. Värdet av förskolan beräknas enligt beskrivning i Berggren et al. (1991) med hjälp av nyttjad golvyta i verksamheten. Byggnaden värderas till 0,1 basbelopp per m² nyttjad golvyta. Utifrån bild- och kartstudier kan ses att en del av byggnaden är i ett plan, och en del i två plan. Den beräknade golvytan blir 290 m². Förväntad kostnad för förstörd egendom uppgår totalt till 25 Mkr.

8.6 Konsekvenser – Samhällsekonomiska kostnader

Med hjälp av Vägverkets schablonmetod för bestämning av konsekvensklass vid vägstängning kan de direkta kostnadsökningarna för restid, fordon, trafikolyckor, emissioner, drift och underhåll uppskattas (Vägverket, 2005). ÅDT uppskattas i konsekvenszonen till ca 2000 (se Avsnitt 8.4), vägförlängningen till ca 500 m och tiden för avstängningen 100 dagar. Det resulterar i en beräknad samhällsekonomisk kostnad på 400 tkr.

Kostnaden för räddningsinsatsen uppskattas genom jämförelse med skredet i Vagnhärad 1997, som beskrivs i kapitel 4.7.3. Skredet i fallstudie Orren är ca 1 ha större än det i Vagnhärad och omfattar dubbelt så många hushåll i liknande bostadsbebyggelse. Den största skillnaden mellan de två skreden är det stora antalet anställda och förskolebarn som finns i fallstudie Orren. Kostnaden för räddningsinsatsen i Orren förväntas bli dubbelt så stor, alltså 8 Mkr, beroende på omfattningen och att dödsfall förväntas.

8.7 Konsekvenser – Miljö

På Hamngatan 49 ligger en bensinstation. Marken här kan eventuellt vara förorenad på grund av tidigare spill eller läckage. Förorenad mark vid bensinstationer är vanligt även om inget spill har skett. Bensinstationer äldre än 5 år är oftast förorenade pga. korroderade fogar i tankarna som långsamt läcker ut bensin eller diesel (Larsson, 2009). Vid ett skred finns det risk för rörbrott vid tankarna med omfattande läckage ut i ån som följd. Ytvatten kan saneras med länsar som absorberar föroreningen. Eftersom både bensin och diesel är relativt flyktiga så avdunstar det som inte kan tas upp med länsarna. Det finns alltså inga långtidseffekter i vattnet, utan föroreningen kan betraktas som ett akut problem. Kostnaden för en sådan ytvattensaneringsinsats tas av räddningstjänsten. Möjliga konsekvenser är fiskdöd, badförbud och liknande tills föroreningen är omhändertagen.

Tre möjliga utfall av skredet beaktas:

1. Marken är inte förorenad och inget läckage uppstår,
2. Marken är förorenad men inget nytt läckage uppstår,
3. Rörbrott som leder till omfattande läckage till Lidan samt till mark med risk för grundvattenförorening.

I fall 1 kan marken kring bensinstationen behandlas som vanlig skreddrabbad mark och miljökostnaden sätts till noll.

I fall 2 krävs en marksanering, men det krävs inga akuta åtgärder. Föroreningen saneras när skredområdet anses ha tillfredsställande stabilitet.

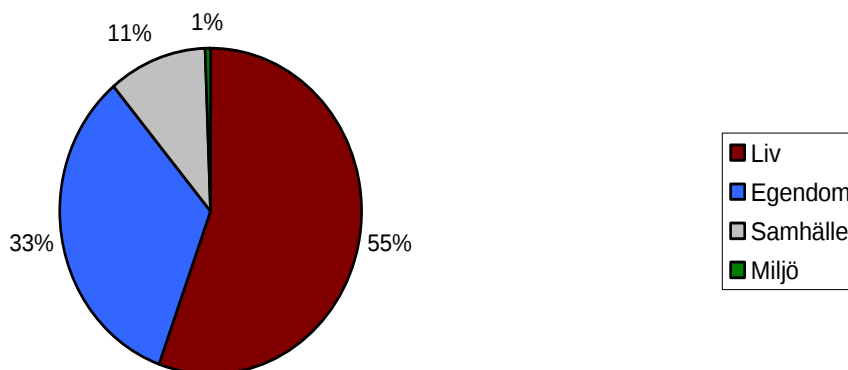
I fall 3 är det räddningstjänsten som i ett första skede ansvarar för att minimera föroreningsspridningen. Åtgärderna skall dock avvägas mot behovet av ett snabbt ingripande, om det behovet inte finns så ska ansvaret tas över av markägare eller bensinstationsägare. Med hjälp av de schabloner som MSB använder då kommunerna söker ersättning av staten för kostsamma räddningsinsatser (MSB, 2009b) och uppskattningar av materialåtgång av Gillesén (2009) kan kostnaden för slitage på utrustning och fordon för en räddningsinsats (livräddning, släckning, miljöräddning, ytvattensanering) vid bensinstationen beräknas till 5-40 tkr. Till det kommer personalkostnader. Tiden för räddningsinsatsen uppskattas till 3 – 18 h (Gillesén, 2009). Slutsatsen blir att kostnaden för en eventuell räddningstjänstinsats orsakad av bensinstationen blir försvinnande liten i jämförelse med räddningsinsatsen för skredet i stort.

För att uppskatta förväntad kostnad för sanering av bensinstationen används följande statistik gällande ex situ-sanering finansierad av SPIMFAB. Medelkostnaden för ett totalt saneringsprojekt från undersökning till avslutande var för schakt, sortering, transport och sanering ca 1 300 kr/ton renad jord mellan åren 1999-2004. Medelmängden jord till behandling per objekt var under samma tidsperiod 390 ton (Helldén et al., 2006, ss. 105-106). Det ger en genomsnittlig saneringskostnad på 500 tkr. Eftersom det anses troligast att sanering kommer att krävas vid ett skred som involverar en bensinstation så används 500 tkr som den förväntade kostnaden i denna utredning.

8.8 Förväntad kostnad vid skred

Den förväntade kostnaden för skredet summerar till 80 Mkr i 2009 års penningvärde. Kostnadsfördelningen redovisas i Figur 8.5 och beräkningar redovisas i Bilaga 5.

Fördelning av kostnad på olika typer av konsekvenser



Figur 8.5 Förväntad kostnad för skred vid Kv. Orren fördelad på olika typer av konsekvenser.

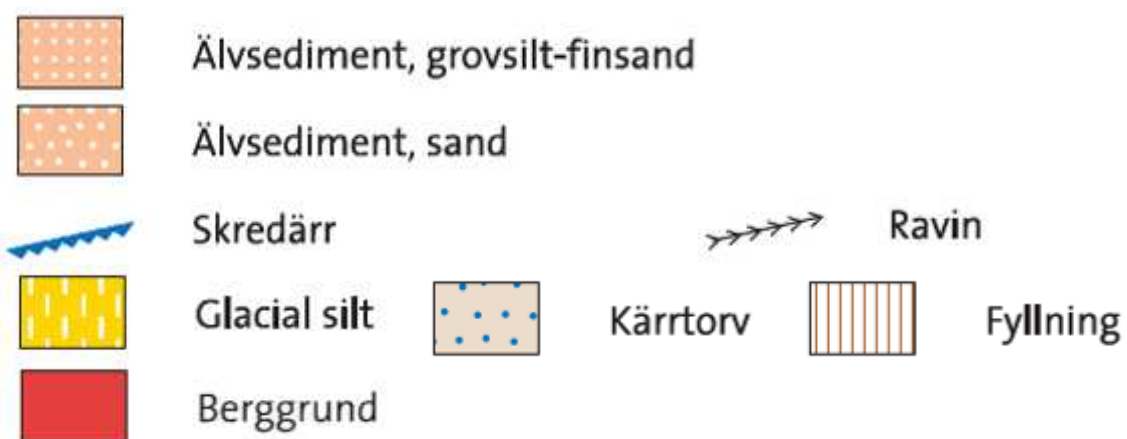
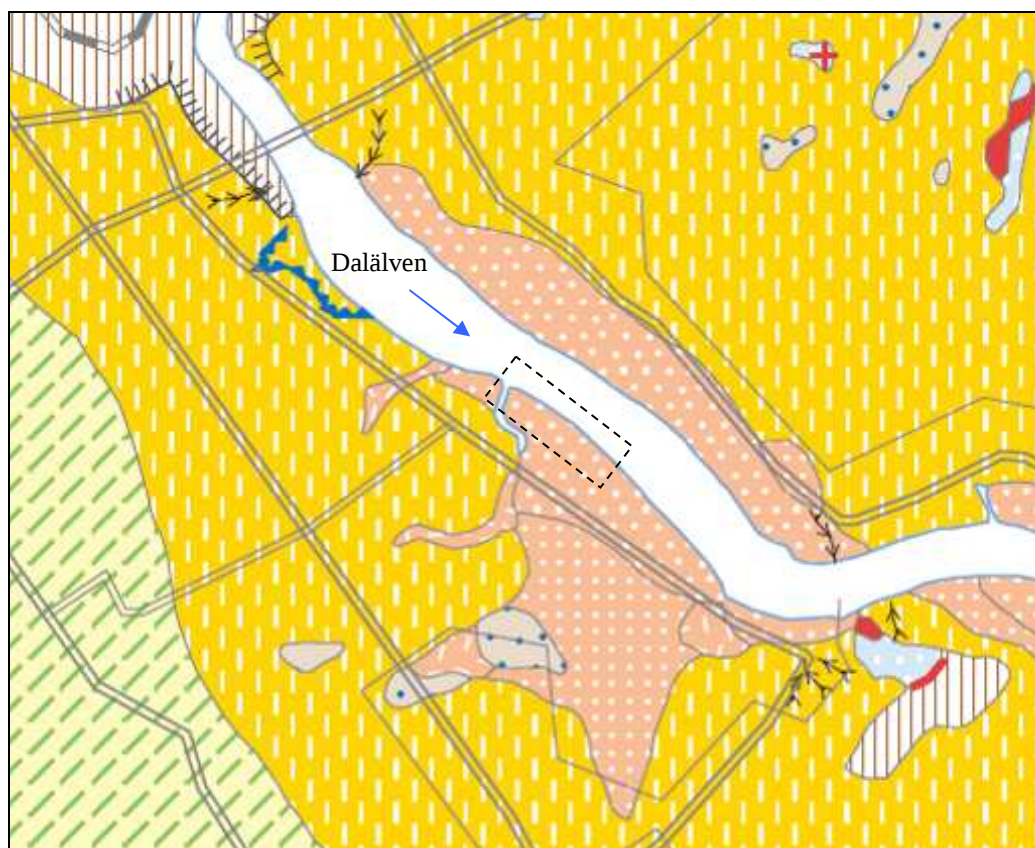
8.9 Kostnadsberäkning för åtgärd samt kostnadsnyttoanalys

Eftersom beräknade skredsannolikheten vara noll krävs ingen åtgärd och därmed behövs heller ingen kostnadsnyttoanalys.

9 KANDERS GATA, ÅRBY, BORLÄNGE KOMMUN

9.1 Beskrivning

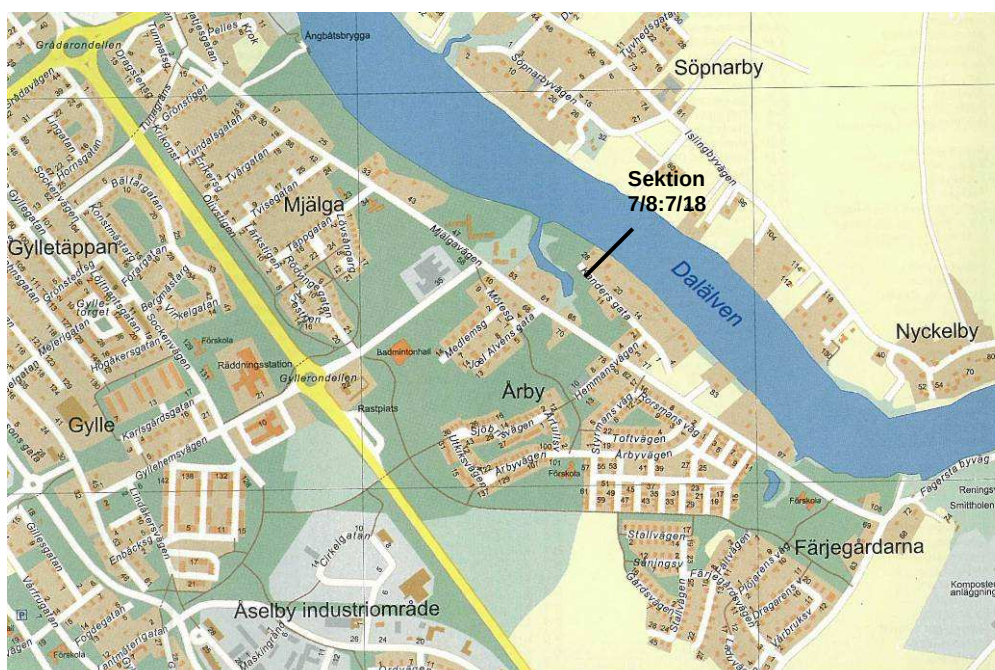
Årby är beläget i sydöstra Borlänge, ca två kilometer från centrum.



Figur 9.1 Kanders väg. Utdrag ur SGU:s digitala jordartskarta. Uppförstorad till skala 1:25 000.

9.2 Underlag

På uppdrag av Borlänge kommun utförde Vägverket Konsult (2006) en fördjupad stabilitetsutredning för slänterna mot Dalälven vid Årby, Borlänge. I denna utredning har Vägverkets utredning använts som underlag. Beräkningar har utförts för beräkningssektion 7:8/7:18 belägen i områdets nordvästra del, se Figur 9.2. Topografi och jordlagerförhållanden har antagits lika som i Vägverket Konsults utredning. Stabilitetsberäkningarna har utförts med programmet Geostudio 2007 SLOPE/W Version 7.13. Vid analysen är det den av programmet redovisade farligaste glidytan som når bebyggelsen som har behandlas vidare statistiskt.



Figur 9.2 Ungefärligt läge för sektion 7:8/7:18 utmed Dalälven i Årby, Borlänge

9.3 Beräkningsförutsättningar

9.3.1 Erosion

Slänterna ner mot Dalälven vid Årby är, enligt uppgifter från kommunen, utsatta för erosion. Slänterna är uppbyggda av löst lagrad, skiktad silt. Silt är den jordart som har störst benägenhet för att utsättas för erosion. Vid inspektion och mätningar utförda av Vägverket Konsult (2004) fastslogs att det förelåg behov av skyddsåtgärder mot erosion längs den aktuella sträckan. Ett uthus stod en gång i anslutning till fastigheten i sektion 7:8/7:18 men det har rasat ner i älven, troligtvis på grund av erosion.

På kommunen anser man att erosionen är ett stort problem och att det i storleksordningen kan handla om flera meter som försvinner vid ett tillfälle. Då inga beräkningar av erosionförloppet finns utförda har i denna studie antagits att erosionen kommer att angripa slänten så att en rasslät med vinkeln 30° (materialets friktionsvinkel) utbildas. Största och minsta värdena för möjlig erosion inom ett längre tidsperspektiv har antagits

till de värden som redovisas i Tabell 9.1. De angivna värdena motsvarar den horisontella förflyttningen av släntens tå vid älvens botten och därifrån har antagits 30° släntlutning både under och över älvens vattennivå.

9.3.2 Vattenstånd

Vattennivån i Dalälven vid den aktuella sektionen har satts till ett maximalt värde av +107,1 m (vilket motsvarar dämningssgränsen), ett minsta värde av +105,1 m (vilket motsvarar sänkningsgräns) och ett medelvärde på +106,7 m. I Årby finns vidare information om att ett 10 000 årsvärde på +111 m tagits fram och skulle kunna användas i framtagandet av en mer "riktig" fördelningskurva. Hur en sådan fördelning ska definieras och tas fram är inte helt trivialt varför det efter konsultation med professor Claes Alén på Chalmers bestämdes att man i en första ansats bortser från den informationen och eventuellt studerar effekten av den i ett senare skede. Effekter av eventuella framtida förändringar i regleringen har inte beaktats. Sådana kräver nya tids- och kostnadskrävande förändringar av vattendomar. Kraftbolagen vill i största möjliga mån undvika sådana och därmed bedöms sannolikheten som låg för ändringar i regleringen.

9.3.3 Portrycks- och grundvattenförhållanden

Portrycksfördelningen i slänten i Årby styrs av Dalälvens vattenstånd. Den maximala tillåtna hastigheten för förändring av vattenståndet i Dalälven längs den aktuella sträckan är låg, 2 dm på 7 dygn. Därför, och på grund av att jorden består av silt och inte lera, är det inte realistiskt att höga portryck kan kvarstå i slänten vid en snabb avsänkning av Dalälvens nivå.

I siltslänter har ofta negativa portryck i den omättade zonen ovan grundvattenytan en positiv påverkan på stabiliteten. I dagsläget föreligger dock inte någon vedertagen metodik för hur hänsyn till detta ska tas. Dessutom är det att förvänta att klimatförändringarna kan ha en påverkan på de negativa trycken varför ingen hänsyn till dessa har tagits i denna rapport.

Sammanfattningsvis är portrycket i slänten fullt ut korrelerat med vattennivån i Dalälven och i detta fall utgörs analysen endast av 2 parametrar.

9.3.4 Antal beräkningar

Det totala antalet beräkningsfall för Årby uppgår till 5 stycken (4 plus 1 för medelvärdesberäkning) för situationen före åtgärd och till lika många efter åtgärd. Därtill har tre olika scenarier för erosionen studerats, det vill säga totalt har 6 gånger 10 beräkningar utförts för Årby.

9.3.5 Sammanfattning av beräkningsförutsättningar

Beräkningsförutsättningarna sammanfattas i Tabell 9.1.

Tabell 9.1 Sammanfattning av beräkningsförutsättningar

Parameter	Min	Max	Fördelning	Medel μ	Std σ	Parametrar i punktskattningsmetod
Erosion E1	1,5 m	2,5 m	Triangulär	2 m	0,20	$E^+ 2,2$ $E^- 1,8$
Erosion E2	6,8 m	7,8 m	Triangulär	7,3 m	0,20	$E^+ 7,5$ $E^- 7,1$
Erosion E3	6 m	4 m	Triangulär	5 m	0,40	$E^+ 5,4$ $E^- 4,6$
Erosion E4	8 m	2 m	Triangulär	5 m	1,2	$E^+ 6,2$ $E^- 3,8$
Vattenstånd	+105,1	+107,1	Skev triangulär	+106,7	0,43	$W^+ 107,1$ $W^- 106,3$

9.4 Utbredningen av ett potentiellt skred

Det studerade området ligger mellan Kanders gata och Dalälvens västra strand. Konsekvenszonen sträcker sig från Dalälven ca 15 - 20 meter upp mot Kanders gata med begränsning i sidled enligt Figur 9.3. Områdets längd är ca 170 meter och skredutbredningen är ca 0,4 ha. Området utgörs uteslutande av tomtmark, med ett fåtal byggnader inom konsekvenszonen.



Figur 9.3 Konsekvenszonen för Årby markeras med den streckade linjen. I nordöst (till höger i figuren) sammanfaller den streckade linjen med Dalälvens strandlinje.

9.5 Sannolikhetsberäkning

9.5.1 Beräkningsresultat Årby

Fem stabilitetsberäkningar före åtgärd och fem beräkningar efter åtgärd (avschaktning) har genomförts. Resultaten sammanfattas i Tabell 9.2.

Den parameter som var mest svårbedömd var erosionens storlek och därför gjordes 3 antaganden om dess omfattning och brottsannolikheten räknades fram (se nedan). Vad man kan se är, att om man väljer en relativt liten spridning av vad man anser är den största respektive minsta spridningen för varje fall, så kommer även spridningen i säkerhetsfaktorn att bli liten. Detta avspeglar sig i de känsliga brottsannolikheterna. I fallet vid liten erosionspåverkan (E1) så blir brottsannolikheten 0 % eftersom alla säkerhetsfaktorer ligger över 1 och spridningen dem emellan är mycket liten. Vid stor erosionspåverkan (E2) blir brottsannolikheten 100% eftersom alla säkerhetsfaktorer ligger

under 1 och med liten spridning. Vid ett medelval av erosionens påverkan (E3) så är spridningen mellan säkerhetsfaktorena visserligen fortfarande liten men eftersom de ligger bara strax över 1 så kommer vi ändå att få en viss sannolikhet att säkerhetsfaktorn skulle kunna hamna under marginalen. Slutligen har ett fjärde fall (E4) beräknats med samma medelvärde som i fall E3 men med en betydligt större spridning kring medelvärdet.

Slutsatsen är, att för denna slänt är det svårt att ta fram några "exakta" brottsannolikheter, eftersom dessa i så stor grad är beroende av den antagna storleken på erosionen. Vad som även är viktigt att beakta när man studerar resultaten är att samtliga beräkningar (för såväl variationen i säkerhetsfaktor som brottsannolikheten) är att det är bara parametrarna erosion, portryck och vattenstånd som har medtagits. Utöver dessa faktorer finns det naturligtvis en rad andra faktorer som kan variera och påverkar släntens säkerhetsfaktor, såsom jordens hållfasthetsparametrar.

Se även Avsnitt 4.6.3, Beräkning av sannolikhet.

Tabell 9.2 Tillämnning av punktskattningsmetoden. Sammanfattning av stabilitetsberäkningar utförda samt beräknade brottsannolikheter för förhållandena före och efter åtgärd. (Valt fall E3 markeras med ljusgult.)

Säkerhetsfaktorer (1: före åtgärd, 2: efter åtgärd)		
Fall E1	Säkerhetsfaktor 1	Säkerhetsfaktor 2
W+E+	1,165	1,243
W+E-	1,185	1,263
W-E+	1,139	1,223
W-E-	1,158	1,245
W _m E _m	1,174	1,252
Fall E2	Säkerhetsfaktor 1	Säkerhetsfaktor 2
W+E+	0,952	0,982
W+E-	0,962	0,999
W-E+	0,944	0,972
W-E-	0,96	0,991
W _m E _m	0,955	0,988
Fall E3	Säkerhetsfaktor 1	Säkerhetsfaktor 2
W+E+	1,015	1,042
W+E-	1,039	1,082
W-E+	1,003	1,032
W-E-	1,028	1,066
W _m E _m	1,019	1,058
Fall E4	Säkerhetsfaktor 1	Säkerhetsfaktor 2
W+E+	0,995	1,009
W+E-	1,067	1,122
W-E+	0,985	0,997
W-E-	1,054	1,104
W _m E _m	1,019	1,058

Brottsannolikheter P (F < 1)		
	P (före åtgärd)	P (efter åtgärd)
Fall E1	0 %	0 %
Fall E2	100 %	~ 83 %
Fall E3	~ 2 %	0,1 %
Fall E4	~ 25 %	~12 %

9.6 Konsekvenser – Liv

De två villor som berörs av skredet har tillsammans två boende enligt Borlänge kommuns fastighetssystem (Andersson, 2009). Ingen trafik passerar genom området och inga butiker, företag eller andra verksamheter finns i området. Därför är det endast de boende som berörs. Närvarofaktor 0,5 och sårbarhet 0,04 leder till 0,04 förväntade dödsfall till ett värde av 1 Mkr.

9.7 Konsekvenser – Egendom

Konsekvenszonen sträcker sig över sex fastigheter. Markanvändningen är uteslutande tomtmark. Två bodar/förråd ligger helt inom zonen, och ytterligare två omfattas delvis. Även två villor omfattas delvis. Bodarnas hela golvyta beräknas utifrån kartstudie uppgå till ca 80 m². De byggnader som delvis omfattas av skredområdet antas bli obrukbara och därför används hela byggnadens värde i kostnadsberäkningen. Skador på bodar/förråd och liknande värderas enligt Berggren et al. (1991) till 0,05 basbelopp per m² golvyta. Båda villornas bostadsyta bedöms överskrida 130 m² och ska enligt Berggren et al. (1991) värderas till 25 basbelopp vardera. Anledningen till att inte taxeringsvärde används i detta fall är att tomterna har många förråd, bodar och liknande varav endast ett fåtal drabbas. En känslighetsanalys har utförts. Denna visar att värderingsmetoden med taxeringsvärde respektive den baserad på basbelopp stämmer bra överens i det aktuella området. All berörd mark är tomtmark och uppgår till 0,41 ha.

9.8 Konsekvenser – Samhällsekonomiska kostnader

Den räddningstjänstinsats som krävs vid ett eventuellt skred bedöms vara av mindre omfattning eftersom det förväntade antalet drabbade är så lågt och fördelningen i övrigt är begränsad. En jämförelse mellan skreden i Vagnhärad och Årby visar att skredområdet i Årby är en knapp tredjedel så stort, drabbar en tredjedel så många villor och leder sannolikt inte till några omkomna. Kostnaden för räddningstjänstinsatsen minskar troligen i samma storleksordning till omkring 1 Mkr. I övrigt finns inga samhällsekonomiska kostnader.

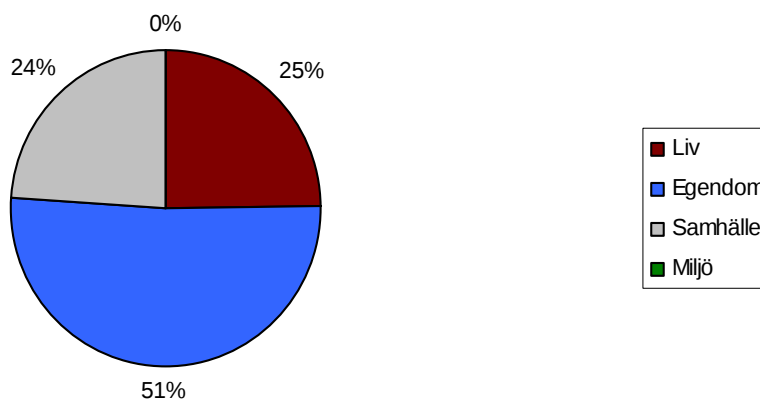
9.9 Konsekvenser – Miljö

Skredet bedöms inte vara ett hot mot Dalälvens lopp, älven är betydligt bredare än skredområdet. Ett skred skulle antagligen inte leda till risk för översvämning, och vattendraget behöver inte återställas. Det finns heller inga skäl att tro att marken skulle vara förorenad, vilket betyder att marksanering ej kommer att behöva utföras.

9.10 Förväntad kostnad vid skred

Den förväntade kostnaden vid ett skred summerar till 5 Mkr i 2009 års penningvärde. Kostnadsfördelningen redovisas i Figur 94 och beräkningar redovisas i Bilaga 5.

Fördelning av kostnad på olika typer av konsekvenser

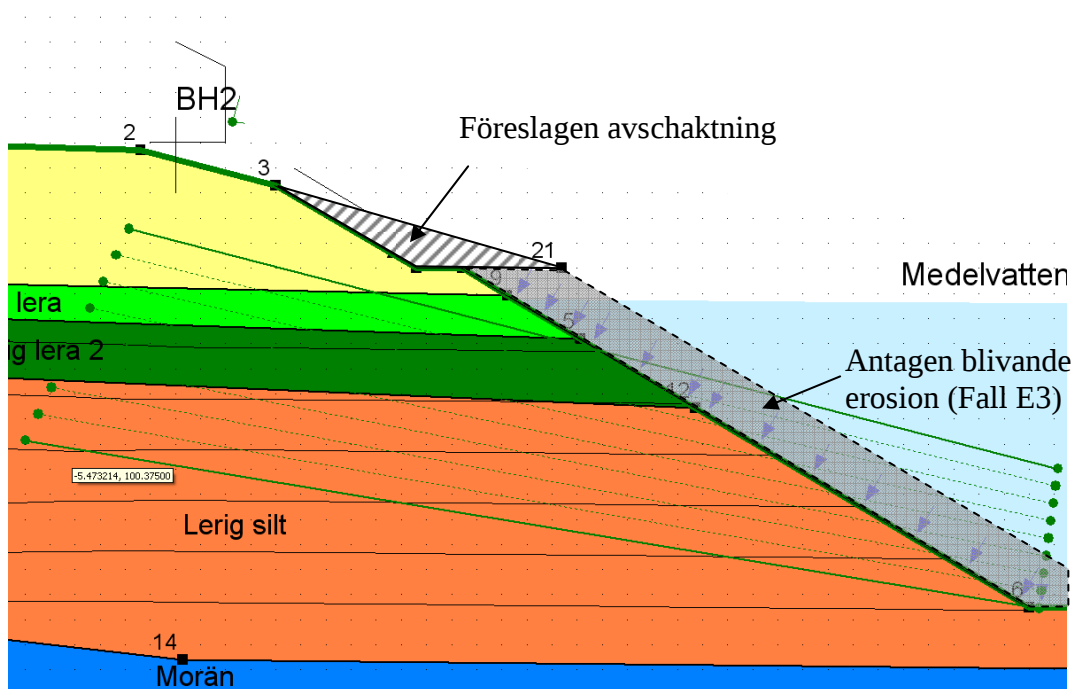


Figur 9.4 Förväntad kostnad för skred vid Kanders gata fördelad på olika typer av konsekvenser.

9.11 Kostnadsberäkning för åtgärd

Föreslagen åtgärd är avschaktning av slänkrönet. För beräkning av kostnaden för denna åtgärd används den förenklade schablonmetod som är redovisad i Geokalkyl (1991). Enligt utförd stabilitetsutredning av Vägverket Konsult (2005) kan stabilitetsförhållandena förbättras genom avschaktning av slänkrönet enligt plan och sektion i Figur 9.5.

Om avschaktning utförs längs en 170 m lång sträcka utmed Dalälven, blir avschaktningens volym ca 1720 m³. Den avschaktade markytan blir ca 1930 m² och schaktdjupet varierar mellan ca 0 och 2 m. De jordmassor som skall schaktas bort utgörs av torrskorpesilt.



Figur 9.5 Av Vägverket Konsult (2005) rekommenderad avschaktning av släntrönet i Årby, Borlänge. Antagen sträcka längs Dalälven där avschaktningen blir utförd är 170 m. Erosionens omfattning enligt antagande E3, se avsnitt 9.5.

9.11.1 Kostnadsberäkning enligt Geokalkyl

Kostnadsberäkning för avschaktningen har utförts enligt Geokalkyl (1991), som ger kostnaderna exklusive moms i 1994 års prisnivå:

Grovplaneringskostnaden för avschaktning till mellan 0 och 2 m djup av silt med torrsorpekaraktär med ca 1930 m² fri markyta blir enligt Geokalkyl 220 kr/m² d.v.s. $1930 \times 220 = 424\,600$ kr. I denna kostnad har följande kostnader medräknats:

- Rövning med fördelningen 50 % vegetationsavtagning, 30 % jordmånsavtagning, 10 % slyavverkning och 10 % skogsavverkning
- Transport av avschaktade massor högst 5 km

Till detta tillkommer deponiavgift med 20 kr/m³, vilket ger $1720 \times 20 = 34\,400$ kr. Enligt Geokalkyl blir kostnaden i 1994 års prisnivå således $424\,600 + 34\,400 = 459\,000$ kr.

Enligt Jansson (2009) kan priserna multipliceras med en faktor 1,8 för omräkning till 2009 års prisnivå. Dessutom bör man lägga på 20 % för oförutsedda kostnader samt 15 % för byggherreomkostnader. Kostnaderna för den föreslagna avschaktningen vid Årby blir således enligt Geokalkyl $459\,000 \times 1,8 \times 1,20 \times 1,15 \approx 1\,140\,000$ kr.

9.12 Kostnadsnyttoanalys

Kostnadsnyttoanalys har utförts enligt beskrivning i Avsnitt 5. Skredsannolikheterna i fall E3 ligger till grund för analysen. Kostnadsnyttoanalysen visar på en mycket låg nyttofaktor (nyttor/kostnader), endast 0,0004 vilket visar att den skredförebyggande åtgärden inte är samhällsekonomiskt lönsam sett i tidsperspektivet 50 år. Nettonuvärdet är negativt, och nuvärdet av undvikt skada är försvinnande litet i jämförelse med investeringskostnaden för åtgärdsförslag 1.

Indata för analysen har stor osäkerhet, och därför bör resultatet endast ses som en indikation på kostnadsutfallet.

En sammanställning av analysen finns i Tabell 9.3.

Slutsatsen av kostnadsnyttoanalysen är att nollalternativet verkar vara det samhällsekonomiskt bästa alternativet.

Tabell 9.3 Sammanställning av kostnadsnyttoanalys för Kanders gata, Årby.

Sammanställning av kostnadsnyttoanalys		
Fallstudie		
Kanders gata, Årby, Borlänge kommun		
Basår för kalkyl	2009	
Belopp anges i	Mkr	
Kalkylränta för liv (%)	2,0%	
Kalkylränta för övrigt (%)	4,0%	
Tidshorisont (år)	50	
Kostnader och nyttor av alternativen		Nyttokostnad Mkr
	Nollalternativ	Åtgärdsförslag 1
Nuvärde av kostnader enligt beräkn. (NV kostn)	0	1040
Nuvärde av förväntade skador (NVs)	0,041	0,002
Nuvärde undviken skada		0,04
Nettonuvärde (NNV)		-1040
Nyttofaktor (Nyttor/kostnader)		0,00004
Beskrivning av alternativen		
Nollalternativ	Ingen åtgärd, skredrisken är oförändrad.	
Åtgärdsförslag 1	Avschaktning för att öka släntstabiliteten.	

10 SAMMANSTÄLLNING AV RESULTAT

Av de tre slänter som valdes ut visade sig två slänter, Högshallsvägen i Partille, respektive Årby i Borlänge, kunna drabbas av jordskred med en viss sannolikhet beräknad med punktskattningsmetoden. Vid den tredje slänten, kvarteret Orren i Lidköping, visade sig den beräknade sannolikheten för skred bli noll.

Genom kostnadsnyttoanalys viktades kostnaderna på grund av konsekvenserna av ett eventuellt skred samt kostnaderna för föreslagna åtgärder, se Tabell 10.1.

Tabell 10.1 Sammanställning av kostnadsnyttoanalys för de studerade slänterna

Plats	Skredsannolikhet före åtgärd	Skredsannolikhet efter åtgärd	Kostnad för åtgärd	Nuvärdesberäknad förväntad nytta av åtgärd	Nyttofaktor
Högshallsvägen	16 %	$1 \cdot 10^{-5}$	0,35 Mkr	5,93 Mkr	17
Orren	0 %	–	Åtgärd erfordras ej	–	–
Årby	2 %	0,1 %	1, 14 Mkr	0,04 Mkr	0,00004

De utförda kostnadsnyttoanalyserna påvisar hur nyttofaktorn och därmed samhällsnyttan av planerade förstärkningsåtgärder kan variera mellan olika slänter.

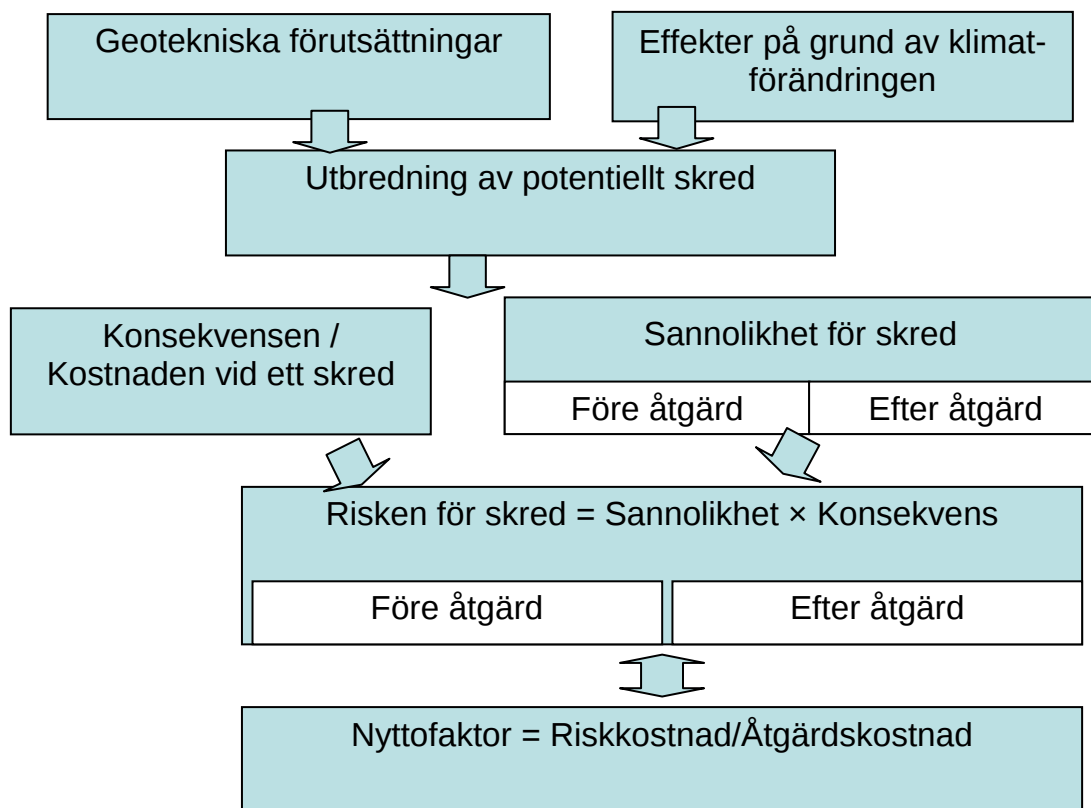
11 SLUTSATSER

I detta projekt har en metodik för riskanalys för bebyggda lerslänter utvecklats som väger samman såväl skredsannolikheten som skredkonsekvenserna vid ett förändrat klimat, Figur 11.1. För att kunna följa metodiken måste man kunna hantera följande verktyg:

- Släntstabilitetsberäkning med datorbaserad metod, förslagsvis GEOSTUDIO Slope/W
- Portrycksberäkning med datorbaserad metod, förslagsvis GEOSTUDIO Seep/W (vid slänter med komplicerade grundvattenströmnings- och portrycksförhållanden)
- Punktskattningsmetoden för stabilitetsberäkning
- Konsekvensbedömning – liv, egendom, samhällsekonomi och miljö
- Schabloniserad kalkylmetod för bedömning av kostnader för vald preventiv metod, exempelvis Geokalkyl (1991) eller motsvarande underlag
- Kostnadsnyttoberäkning där kostnaden för att minska skredrisken ställs i relation till minskningen av den ekonomiska förlusten av ett skred

Dessutom krävs följande underlag:

- En detaljerad stabilitetsutredning enligt Skredkommissionens anvisningar, Skredkommissionen (1995)
- Information om klimatförändringens inverkan på vattenstånd, portrycksutveckling och erosion
- Fastighetsdata som anger byggnaders läge och värde
- Demografisk databas som beskriver var människor bor och vistas
- Information om trafikströmmar på gator och vägar
- Information om eventuella andra typer av riskobjekt, exempelvis, industrier, arbetsplatser, butiker, ledningar, samlingssalar, värdefull miljö, deponier, markföroreningar etc.



Figur 11.1 Sammanfattning av den i detta projekt utvecklade metodiken för kostnadsnyttoanalys för förebyggande åtgärder mot skred och ras till följd av förändrat klimat

Kostnadsnyttoanalys bedöms kunna utföras vid kommande stabilitetsutredningar så att faktorerna klimatförändring, skredsannolikhet, konsekvenser – för såväl liv som egendom och miljö belyses. Dessa faktorer kan sedan vägas mot åtgärds kostnader – eventuellt för flera alternativa preventiva åtgärder – samt den reducerade sannolikheten för skred efter dessa åtgärder.

Kostnadsnyttoanalyserna i denna utredning är baserade på ett urval stabilitetsutredningar som tidigare utförts. Dessa utredningar ger inte, och hade när de utfördes inte till avsikt ge, tillräcklig och klar information om alla faktorer som bör utredas vid kostnadsnyttoanalys, som utförs för ett sammanhängande markområde och som även väger in klimatförändringen. Exempel på sådan saknad information är:

- Topografin över en större del av släntområdet än enbart längs avvägda beräkningssektioner
- Portrycks- och vattenståndsobservationer över längre tidsperioder
- Statistik över portrycksvariationer generellt i landet
- Erosionsförhållanden vid framtida vattenflöden längs vattendrag med olika förhållanden avseende jordlager, klimat och topografi

Vid kommande utredningar kan även sådan information vägas in, dels genom utökade geotekniska och geohydrologiska undersökningar, dels genom ökad tillgång på mera detaljerad klimatologisk information.

I denna utredning har punktskattningsmetoden tillämpats för stabilitetsberäkning. Även Monte Carlosimulering skulle kunna vara tillämpbar efter justeringar i programvaran GEOSTUDIO Slope/W, så att variationer i såväl portryck som vattenstånd i nedanförliggande vattendrag kan simuleras med hänsyn till dessa faktorer inbördes korrelation eftersom dessa faktorer är enbart delvis stokastiskt oberoende. Även andra släntstabilitetsberäkningsprogram kan finnas eller kan utvecklas som ger möjlighet till mera avancerad Monte Carlosimulering.

I denna utredning har vattenstånd i nedanförliggande vattendrag, portrycksförhållanden och framtida erosion beaktats med hänsyn till klimatförändringens inverkan samt därefter varierats stokastiskt. Stokastisk variation finns dock även i faktorer som exempelvis de olika jordlagrens skjuvhållfasthet, friktionsvinkel och densitet, varierande yttre laster etc. Vid kommande stabilitetsutredningar kan även dessa faktorer analyseras vid kostnadsnyttoanalys.

REFERENSER

- Andersson, B., Planeringssamordnare, Hållbar samhällsbyggnad, Borlänge kommun, kommunikation via e-post 2009-08-18.
- Berggren, B., Fallsvik, J., Hintze, S. & Stille, H. (1991). LerslänTERS stabilitetsförhållanden. Riskvärdering och beslutsteori. Förslag till metod för riskvärdering. SGI Varia 333. Statens Geotekniska Institut.
- Berntsson, J. (1983). Portrycksvariationer i leror i Göteborgsregionen. Rapport 20. Statens geotekniska institut. Linköping.
- Dai, F. C., Lee, C. F. & Ngai, Y. Y. (2002). Landslide risk assessment and management: an overview. *Engineering Geology* 64, ss. 65-87.
- Dellming, M., Stadsbyggnadskontoret, Partille kommun, kommunikation via e-post, 2009-08-18.
- European Commission (2009). Impact assessment guidelines. Rapport nr SEC(2009) 92
- European Commission (2008). Guide to cost-benefit analysis of investment projects - Structural Funds, Cohesion Fund and Instrument for Pre-Accession, Final report. ISBN 978-92-79-09412-5.
- Edstam, T., Larsson, R., Bengtsson, P.-E., (2008), Vägverket Region Väst, Vägbyggnad med hänsyn till omgivningens stabilitet, Beaktande av faktorer som ytvatten, erosion, portryck, jordlagerföljd, sensitivitet och störningskänslighet, progressiva brott m.m., Statens geotekniska institut, Dnr 1-0712-0880
- EEA 7/2005: Vulnerability and adaptation to climate change in Europe. European Environmental Agency, Technical report No 7/2005.
- Fallsvik, J., (ed), Hågeryd, A.-C., Lind, B., Alexandersson, H., Edsgård, S., Löfling, H., Thunholm, B., (2007), Översiktlig bedömning av jordrörelser vid förändrat klimat, Klimatförändringens inverkan i Sverige, Underlagsrapport för Klimat- och sårbarhetsutredningen, SGI Varia 571, ISSN: 1100 6692
- Finlay, P.J. (1996). The risk assessment of slopes. School of Civil Engineering, University of New South Wales, Australia, PhD thesis.
- Geokalkyl (1991), Schabloniserad kalkylmetod för markbyggnadskostnader, Bohm, H., Henricsson, L., Jansson, K.-E., Bygghälsningsrådet, T7:1991, ISBN 91-540-5319-6, Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm, Avsnitt IV, Schablonkalkyl för utvändiga markarbeten
- Gillesén, D., Räddningstjänsten Storgöteborg, Utvecklingsavdelningen, muntlig kommunikation och kommunikation via e-post, 2009-07-15.
- Hammitt, J. (2000). Valuing Mortality Risk: Theory and Practice. *Environ. Sci. Technol.* Vol. 34, pp. 1396-1400.
- Harr, M. (1987), Reliability-Based Design in Civil Engineering, McGraw-Hill
- Helldén, J., Juvonen, B., Liljedahl, T., Broms, S. & Wiklund, U. (2006). Åtgärdslösningar – erfarenheter och tillgängliga metoder. Rapport 5637. ISBN 91-620- 5637-9.pdf. Naturvårdsverket.

- HM Treasury (2003). The Green Book. Appraisal and Evaluation in Central Government. Treasury Guidance. London, tillgänglig: http://www.hm-treasury.gov.uk/media/3/F/green_book_260907.pdf
- Hultén, C., Olsson, M., Rankka, K., Svahn, V., Odén, K., Engdahl, M. (2006). Släntstabilitet i jord. Underlag för handlingsplan för att förutse och förebygga naturolyckor i Sverige vid förändrat klimat. Deluppdrag 1. Varia 560:1. Statens geotekniska institut. Linköping.
- ICCP, WG1 (2007), Intergovernmental Panel on Climate Change, FN:s Klimatpanel, Working Group 1, The physical science basis of climate change, <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1_home.html>, 2009-08-14
- Jansson (2009), Muntlig kommunikation 2009-10-08 med Karl-Erik Jansson som är en av författarna till Geokalkyl (1991).
- Kaplan, S. and Garrick, B. J. (1981). On the Quantitative Definition of Risk. PLG-P0196, Risk Analysis Vol 1, no 1, pp 11-27.
- Kaplan, S. (1997). The Words of Risk Analysis. Risk Analysis. Vol 17, no 4, pp 407-417. Society for Risk Analysis, London.
- Kågebro, E. & Vredin Johansson, M. (2008). Ekonomiska verktyg som beslutsstöd i klimatanpassningsarbetet. FOI. ISSN 1650-1942.
- Larsson, L., Miljögeotekniker, Statens Geotekniska Institut, muntlig kommunikation 2009-07-09.
- Lindhagen, A. Naturvårdsverket, Natur och biologisk mångfald, muntlig kommunikation 2009-07-07.
- MSB (2009). Analys av samhällsekonomisk kostnad – Skredet vid Småröd, 2006. ISBN 978-91-7383-032-4. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.
- MSB (2009b). Schablonersättning 2009- Statlig ersättning till kommuner enligt lagen om skydd mot olyckor. PM 2009-05-04, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.
- MSB (2009c) Nationell databas över inträffade naturolyckor. Databas. Tillgänglig: <http://www.raddningsverket.se/templates/SRV_ExternalPage____22396.aspx>
- Nadim, F. (2009). Risk assessment and management for geohazards. Geotechnical Risk and Safety – Honjo et al. (eds). Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-49874-6.
- Nilsson, B.-G., Fysisk planerare/GIS-samordnare, Samhällsbyggnad, Plan-Bygg, Lidköpings kommun, kommunikation via e-post 2009-08-11.
- Norrman, J. (2004), On Bayesian decision analysis for evaluating alternative actions at con-taminated sites, Chalmers University of Technology, Akademisk avhandling, Department of GeoEngineering, Geology and Geotechnical Engineering, Swedish Geotechnical Institute, SGI. Report 67, 248 p, Göteborg , ISBN 91 7291 520 X
- Nystedt, F. (2000) Riskanalysmetoder. Rapport 7011. Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet.

- Olsson, M., Odén, K. (2007), Inventering och jämförelse av stabilitetsberäkningsprogram – Förstudie, SGI Varia 582, ISSN 1100-6692, ISRN SGI-VARIA--07/582--SE, Linköping
- Persson, U., Norinder, A., Hjalte, K. & Gralén, K. (2001). The Value of a Statistical Life in Transport: Findings from a New Contingent Valuation Study in Sweden. *Journal of Risk and Uncertainty*. Vol 23:2, ss. 121-134.
- Rosenbluth, E. (1975), Pont estimates for probability moments, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, Vol 72, No 10,
- SCB (2009). Bostads- och byggnadsstatistisk årsbok 2009. Statistiska centralbyrån, enheten för byggande, bostads- och fastighetsstatistik.
- Schelling, T. C. (1968) *I Problems in Public Expenditure Analysis*; Chase, S. B., red; Brookings: Washington, DC.
- SGI, (1994). Kompletterande stabilitetsutredning för Åbrinken mot Lidan vid Lasarettområdet i Lidköping. Delrapport 1, 2 och 3. Objekt nr 2-9301-005. Statens geotekniska institut. Linköping
- SGI, (2006). Kvarteret Orren, Lidköping. Stabilitetsutredning. Delrapport 1, Fält- och laboratorieundersökningar. Objekt 2-9509-424. Statens geotekniska institut. Linköping.
- SGI, (2006). Kvarteret Orren, Lidköping. Stabilitetsutredning. Delrapport 2, geotekniska förhållanden och stabilitetsanalyser. Objekt 2-9509-424. Statens geotekniska institut. Linköping.
- SIKA (2008). Övergripande kalkylparametrar Delrapport. Rapport 2002:7.
- Skredkommissionen, (1995), Anvisningar för släntstabilitetsutredningar, IVA, Rapport 3:95, ISSN 1101-105X, IVA//SKRED/R--95/3--SE, Linköping.
- SOU, (2006). Översvämningshot. Risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Vänern. Statens offentliga utredningar 2006:94. Stockholm.
- SRV (2008). Statlig ersättning enligt lagen om skydd mot olyckor - Rapport och sammanställning 2007. Diarienumr 200-13-2008, Räddningsverket.
- SRV (1998). Stora olyckor - Skredet i Vagnhärad 23 maj 1997. ISBN 91-88891-38-0, Räddningsverket.
- Staveren, M. van (2006). *Uncertainty and Ground Conditions: A Risk Management Approach*, Elsevier Ltd.
- Sveriges Länsstyrelser och vattenmyndigheter (2009). Vattenkartan. GIS, tillgänglig: <www.gis.lst.se>.
- SWECO (2006). Högshallsvägen, Partille. Fördjupad stabilitetsutredning. PM Geoteknik. Uppdrag nr 2305185, daterad 2006-05-29. SWECO VBB, Göteborg.
- Sällfors, G. (1990). Punktskattningsmetoden – en statistisk metod användbar på geotekniska problem. Meddelande nr 89. Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.
- Vägverket (2005). Fördjupning, Riskanalys vald vägsträcka. Publikation 2005:55.

Vägverket (2009). Info om vägar. GIS, tillgänglig (<http://gis.vv.se/iov/>).

Vägverket Konsult (2004). Utredning av erosions- och stabilitetsförhållanden utefter Dalälven, sträckan Islingby-Torsång. PM daterat 2004-11-30. Vägverket Konsult, Borlänge

Vägverket Konsult (2006). Fördjupad stabilitetsutredning av befintlig bebyggelse i Årby och Kårby, Borlänge kommun. Teknisk PM. Uppdrag nr 4950185 daterad 2006-02-28. Vägverket Konsult, Borlänge.

Westin, U. (2008). Kvalitetsredovisning 2008 Montessoriförskolan Smultronstället. Lidköpings kommun.

Odränerad och dränerad skjuvhållfasthet

Denna text är huvudsakligen baserad på SGI Information 19 (2007).

Friktionen mellan partiklarna i jordlagren beror på kontakttrycket mellan partiklarna. Det totala trycket, σ , beror på tyngden av ovanliggande jordmassor och eventuella ytlaster, samt hur trycken av dessa sprids i materialet på grund av skjuvkrafter och spänningsomlagringar, SGI Information 19 (2007). I ett vattenmättat material tas i den aktuella punkten och på den aktuella nivån de totala trycken upp dels av vattentrycket (portrycket), u , dels av kontakttrycken mellan partiklarna. Kontakttrycket i samma punkt och nivå kallas effektivtrycket, σ' , ($\sigma' = \sigma - u$).

Jord, som är ett kornigt material, består normalt av två faser med olika spänningstillstånd. En fast fas som kan ta upp skjuvkrafter och där normalspänningarna motsvarar effektivtrycken, samt en vattenfas som inte kan ta upp några skjuvspänningar och där normalspänningarna motsvarar vattentrycket. Av dessa två faser är kornskelettet kompressibelt så att en viss töjning och omlagring måste ske för att det skall kunna ta upp en spänningsförändring, medan vattenfasen är praktiskt taget inkompressibel. Som en följd av detta innebär en plötslig spänningsändring i princip att porvattentrycket ändras momentant för att kompensera för förändringen, SGI Information 19 (2007).

Om kornskelettet tenderar att komprimeras på grund av att normalspänningen ökar, ökas porvattentrycket.

Om kornskelettet å andra sidan tenderar att expandera på grund av att skjuvspänningen ökar i ett fast lagrat material och partiklarna tenderar att "klättra över varandra" och öka den totala volymen, motverkas detta av att portrycken minskar. I fullt vattenmättade material blir portrycksförändringen så stor att praktiskt taget alla tendenser till volymändring momentant undertrycks. På grund av portrycksförändringarna uppstår tryckgradienter i porvattnet och vatten börjar strömma ut ur eller in i materialet för att återställa jämviktsläget, SGI Information 19 (2007).

Tillståndet direkt efter belastningsökningen, d.v.s. innan någon vattenströmning hunnit komma igång, betecknas som odränerat, och tillståndet då vattenströmningen upphört och portrycken återgått till jämviktsläget betecknas som dränerat. Bortsett från krafter från extraordinaära händelser (explosioner, jordbävningar och liknande) sker belastning inte momentant utan förs på under ett mer utdraget förlopp, SGI Information 19 (2007).

Grovkorniga material (grus, sand, etc.) är så vattengenomsläppliga att något odränerat stadium normalt aldrig inträffar utan portrycksförändringarna hinner utjämnas i samma takt som de skapas. Å andra sidan är jordlager av lera täta och ett praktiskt taget odränerat tillstånd råder i dem under en relativt lång tid efter en spänningsförändring. Detta gäller i viss mån även jordlager av silt, SGI Information 19 (2007).

För inte helt vattenmättade material sker i princip samma spänningsändringar men här finns också en gasfas. Denna medför att portrycksökningarna blir mindre än i ett vattenmättat material. Är gasmängden stor blir utjämnningen snabbare eftersom genomsläpplighet för gas är större än för vatten. Är gasmängden begränsad förekommer gasen som isolerade blåsor varvid

tryckutjämnningen går långsammare. De hålrum som vattnet kan strömma i blir då färre och genomsläppligheten minskar, SGI Information 19 (2007).

Skjuvhållfastheten, τ_f , vid odränerade förhållanden längs en glidyta är:

$$\tau_f = \tau_{fu}$$

Skjuvhållfastheten, τ_f , vid dränerade förhållanden längs en glidyta är:

$$\tau_f = \sigma' N \tan \phi' + c'$$

där

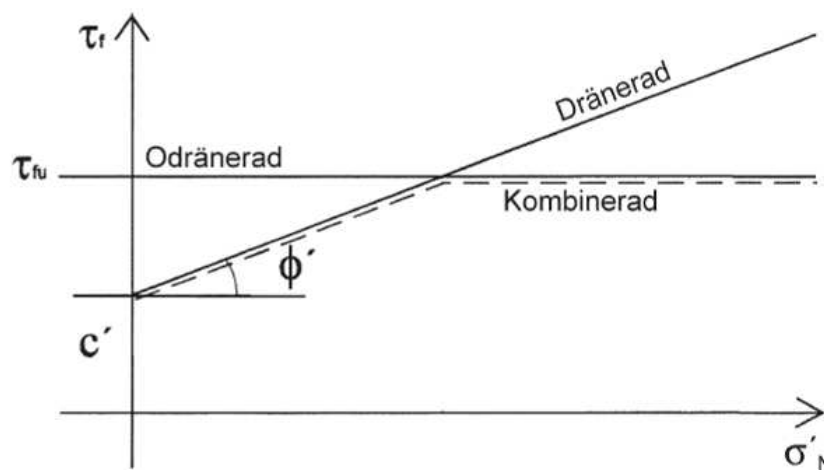
$\sigma' N$ = det effektiva trycket mot glidytan = den effektiva normalspänningen i glidytan

ϕ' = friktionsvinkeln baserad på effektiva spänningar

c' = kohesionsintercept, hållfasthetsparameter som motsvarar mekaniska och kemiska bindningskrafter

I grovkorniga material som sand och grus tas normalt endast hänsyn till dränerad skjuvhållfasthet medan såväl odränerad som dränerad hållfasthet måste beaktas i finkornigare material.

Den hållfasthet som blir dimensionerande i det senare fallet beror på den effektiva normalspänningsnivån. Skjuvhållfastheten som funktion av effektiv normalspänning redovisas i Figur B1.1. Vid låga effektiva normalspänningsnivåer ger de dränerande parametrarna en lägre skjuvhållfasthet medan det vid högre effektiva normalspänningsnivåer är den odränerade skjuvhållfastheten som är lägst. Detta beaktas vid en så kallad kombinerad analys, där det lägsta värdet av dränerad respektive odränerad hållfasthet vid den aktuella effektiva normalspänningsnivån väljs, SGI Information 19 (2007).



Figur B1.1 Skjuvhållfasthet som funktion av effektiv normalspänning.

REFERENS

SGI Information 19 (2007), Deponiers stabilitet, Vägledning för beräkning, Statens geotekniska institut, ISSN 0281-7578, ISRN SGI-INF--06/18--SE, Linköping.

Anvisningar för släntstabilitetsutredningar

Enligt Skredkommissionens anvisningar för släntstabilitetsberäkningar, Skredkommissionen (1995), skall stabiliteten för ler- och siltslänter beräknas enligt såväl odränerad som kombinerad analys (se Bilaga 1) så att så kallad erforderlig säkerhetsfaktor erhålls. Enligt dessa anvisningar varierar erforderlig, d.v.s. ”godkänd”, säkerhetsfaktor med undersökningens omfattning samt konsekvensen av ett skred.

- Vid geotekniska besiktningar och överslagsberäkningar för bebyggda slänter och annan mark skall jordlagrens hållfasthet och porvattentrycksförhållanden baseras på antaganden som bedöms vara klart på den säkra sidan. Med dessa parametrar och det begränsade underlag som då finns krävs för överslagsberäkningar att stabilitetsberäkningen ger säkerhetsfaktorn $F_c > 2$ för odränerad analys och $F_{c\varphi} > 1,5$ för dränerad analys eller $F_{KOMB} > 1,5$ för kombinerad analys. Varje form av nyexploatering måste dock föregås av minst detaljerad utredning, se nedan.
- På basis av detaljerade stabilitetsutredningar kan en slänt avsedd för nyexploatering eller med befintlig bebyggelse klassas som tillfredsställande stabil om både $F_c > 1,7-1,5$ och $F_{KOMB} > 1,45-1,35$. Erforderliga säkerhetsfaktorer inom spannen bedöms enligt aktuella förutsättningar med hänsyn till gynnsamma och ogynnsamma förhållanden. För annan mark utan befintlig eller planerad bebyggelse är konsekvenserna av ett eventuellt skred mindre, och säkerhetsfaktorn tillåts därför vara något mindre.
- I de fall fördjupad utredning utförs är bedömningsunderlager mer omfattande och kraven på erforderliga säkerhetsfaktorer kan sänkas något. Kraven vid nyexploatering bör då vara i storleksordningen $F_c > 1,5-1,4$ och samtidigt $F_{KOMB} > 1,35-1,3$. För befintlig bebyggelse kan något lägre värden accepteras om kraven som ställs vid nyexploatering inte kan uppnås med rimliga åtgärder. I dessa fall bör gälla att $F_c > 1,4-1,3$ och $F_{KOMB} > 1,3-1,2$ under förutsättning att restriktioner införs för markens nyttjande. För annan mark utan befintlig eller planerad bebyggelse kan kraven med samma förbehåll sättas i storleken $F_c > 1,3-1,2$ och $F_{KOMB} > 1,2-1,15$.

För stabilitetsberäkningar i slänter med andra typer av jordlager än lera och silt finns samt för naturmark finns andra regler. Reglerna för erforderlig säkerhetsfaktor har sammanställts schematiskt i Tabell B2.1.

Tabell B2.1. Reglerna för erforderlig säkerhetsfaktor vid stabilitetsberäkning, Skredkommissionen (1995).

Skede	Markanvändning			
	Nyexploatering	Befintlig bebyggelse och anläggning	Annan mark	Naturmark
Geoteknisk besiktning och överslagsberäkning	Minst detaljerad utredning skall utföras	$F_c > 2 +$ $F_{c\phi} > 1,5$	$F_c > 2 +$ $F_{c\phi} > 1,5$	F_c, F_{KOMB} och $F_\phi > 1$ (Under förutsättning att omgivande mark ej påverkas)
Detaljerad utredning	$F_c \geq 1,7 - 1,5 +$ $F_{KOMB} \geq 1,45 - 1,35$ $F_\phi \geq 1,3$ (sand)	$F_c \geq 1,7 - 1,5 +$ $F_{KOMB} \geq 1,45 - 1,35$ $F_\phi \geq 1,3$ (sand)	$F_c \geq 1,6 - 1,4 +$ $F_{KOMB} \geq 1,4 - 1,3$ $F_\phi \geq 1,3$ (sand)	F_c, F_{KOMB} och $F_\phi > 1$ (Under förutsättning att omgivande mark ej påverkas)
Fördjupad utredning (och kompletterande utredning)	$F_c \geq 1,5 - 1,4 +$ $F_{KOMB} \geq 1,35 - 1,30$ $F_\phi \geq 1,3$ (sand)	$F_c \geq 1,4 - 1,3 +$ $F_{KOMB} \geq 1,30 - 1,20$ $F_\phi \geq 1,3 - 1,2$ (sand) Under förutsättning att restriktioner införs.	$F_c \geq 1,3 - 1,2^* +$ $F_{KOMB} \geq 1,2 - 1,15^*$ $F_\phi \geq 1,2 - 1,15$ (sand) *) Lägre värden avser befintlig anläggning av mindre betydelse	F_c, F_{KOMB} och $F_\phi > 1$ (Under förutsättning att omgivande mark ej påverkas)

REFERENS

Skredkommissionen, (1995), Anvisningar för släntstabilitetsutredningar, IVA, Rapport 3:95, ISSN 1101-105X, IVA//SKRED/R--95/3--SE, Linköping.

Genomgång lämpliga stabilitetsutredningar

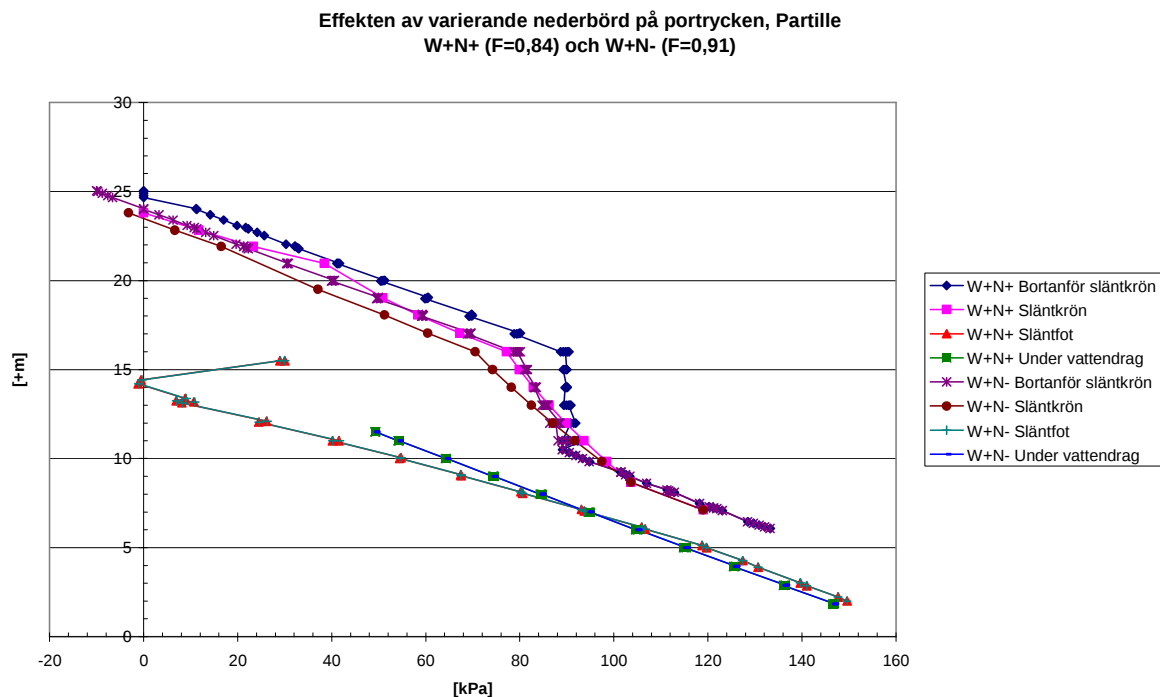
Område	Stabilitetsutredning (typ, datum, dnr)	Geotekniska undersökningar och förhållanden	Hotade objekt	Förstärkningsåtgärd
Härenevägen , Lidköpings kommun	Detaljerad stabilitetsutredning, 1999 av SGI. Dnr 2-9702-090	CPT3 (4), Vb (4), Skr (4), Pb (2 pkt, 4 nivåer) 3-3,5 m silt överlagrande lera till 30-40 m. Kvicklera. Portryck artesiskt från gwy 4 m under my. $F_{komb}=1,25-1,28$, efter åtgärd $F_{komb}=1,39-1,44$	2 bostadhus	Tryckbank
Kvarteret Orren , Lidköpings kommun	Stabilitetsutredning, 1996 av SGI. Dnr 2-9509-424	CPT3 (2), Vb (2), Kv (1 pkt, 7 nivåer), Gw (3), lodning. 4 m silt överlagrande siltig lera till 30 m djup. Kvicklera. Hydrostatiska gwförhållanden från 3,2 m u my. $F_{komb}=1,44$	3 bostadhus, en affärslokal	Erosionsskydd utlagt 1995.
Sjukhusområdet , Lidköpings kommun	Stabilitetsutredning 1994 av SGI. Dnr 2-9301-005	CPT3 (7), Vb (4), Kv (2), Skr (2), Gw (7), CRS (6). 3,5-4 m sand och silt, därunder 15-25 m lera. Högsensitiv lera. Hydrostatiska grundvattenförhållanden från gw 2,5 m u my. $F_{komb}=1,0-1,1$, efter åtgärd $F_{komb}=1,2-1,35$ (stora eller lilla åtgärden)	Vissa sjukhusbyggnader, parkering	Tryckbank
Norra Sävedalens industriområde , Partille kommun	Översiktlig, detaljerad och fördjupad utredning. Sista 2003 av SWECO VBB, Göteborg. Dnr 241-4250-2003	Stor mängd "normala" undersökningar, dessutom CRS, direkta skjuvförsök, triaxialförsök. Lera. Portryck hydrostatiskt från 1 m under my ovan slänt, ansluter mot Sävåån. Skred har skett inom området tidigare. $F_{komb}=1,20-1,26$ då anisotropi medräknas. (tillräcklig för fördjupad utredning)	Ett flertal industribyggnader	Inget behov erosionsskydd för dagens flöde. Tidigare kcpelarförstärkning (farliga glidytor går under förstärkningen)

Område	Stabilitetsutredning (typ, datum, dnr)	Geotekniska undersökningar och förhållanden	Hotade objekt	Förstärkningsåtgärd
Utansjö 3:102, Härnösands kommun	Stabilitetsutredning 1998, ”bedömd som fördjupad enligt 3:95” av Tyrens (Jan B)	4 sektioner med undersökningar, varav 3 st är beräknade. Jordlagerföljden är 3-4 m sediment av silt och lera (siltens högst upp) därunder friktionsjord. $F_c = 1,65$ och $F_{komb} = 1,14$ för oförstärkt slänt i skredområdet, Sektion B. $F_c = 1,33$ och $F_{komb} = 1,10$ för oförstärkt slänt i Sektion C.	3 bostadhus	Tryckbank av bergmaterial, $F_c = 1,59$ och $F_{komb} = 1,31$
Skolan i Näsåker , Sollefteå kommun	Stabilitetsutredning utförd av bla Tyrens 1994, KM 1997, WSP 2000 + några kompletterande utredningar	Sektionen i direkt anslutning till skolan. $F_{komb} = 1,28$ enligt KM, har tagit hänsyn till negativa porttryck). $F = 1,19$ enligt WSP och $F_c = 1,1$ enligt Tyrens båda utredningarna har försummat de negativa porttrycken. Flera porttrycksmätningar finns tillgängliga samt massor av sonderingar av olika slag.	1 skola	Jordspikning planerad, vet ej om den är utförd.
Högshallsvägen , Jonsäter, Partille kommun	Fördjupad stabilitetsutredning utförd av SWECO VBB i Göteborg, 2006	Utredning i syfte att undersöka möjlighet för nyexploatering.	Två vägar (lokal+fyrfil), tre st flerbostadhus	Avschaktning, utfyllnad och erosionsskydd föreslagna om nyexploatering utförs. Inga tillstånd erhöles dock från LS för åtgärder.
Prästgården, Nor , Karlstads kommun	Fördjupad och kompletterande stabilitetsutredningar utförda av SWECO VBB Karlstad, 2002 och 2003	Omfattande utredning, analys av porttryck med Chalmersmetoden. Silt (5-6 m), lerig silt, sand och därunder lera (omkring 10-35 m). Känslighetsanalys visar att stabiliteten relativt okänslig för porttryckshöjning däremot har nivån i älven stor påverkan.	3 bostadhus, ekonomibyggnader	Avschaktning, stödmur, erosionsskydd

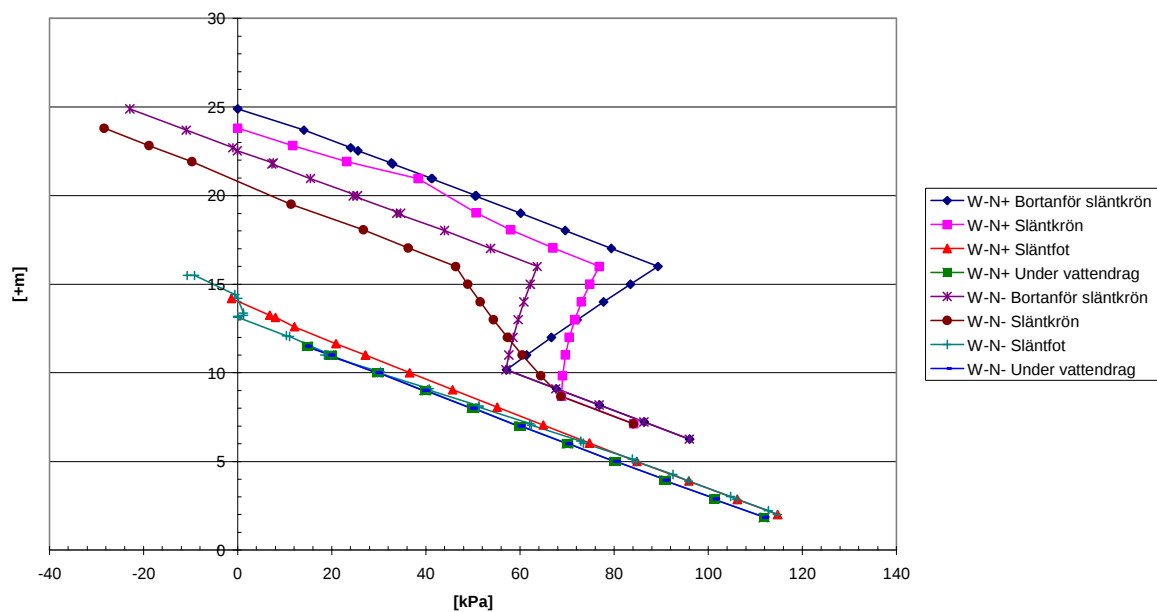
Högshallsvägen, Partille – Effekten av varierande nederbörd på portrycken

Portrycksprofilen i slänten vid Högshallsvägen i Partille har modellerats i programmet GEOS-TUDIO Seep/W, som ingår i samma programfamilj som Slope/W.

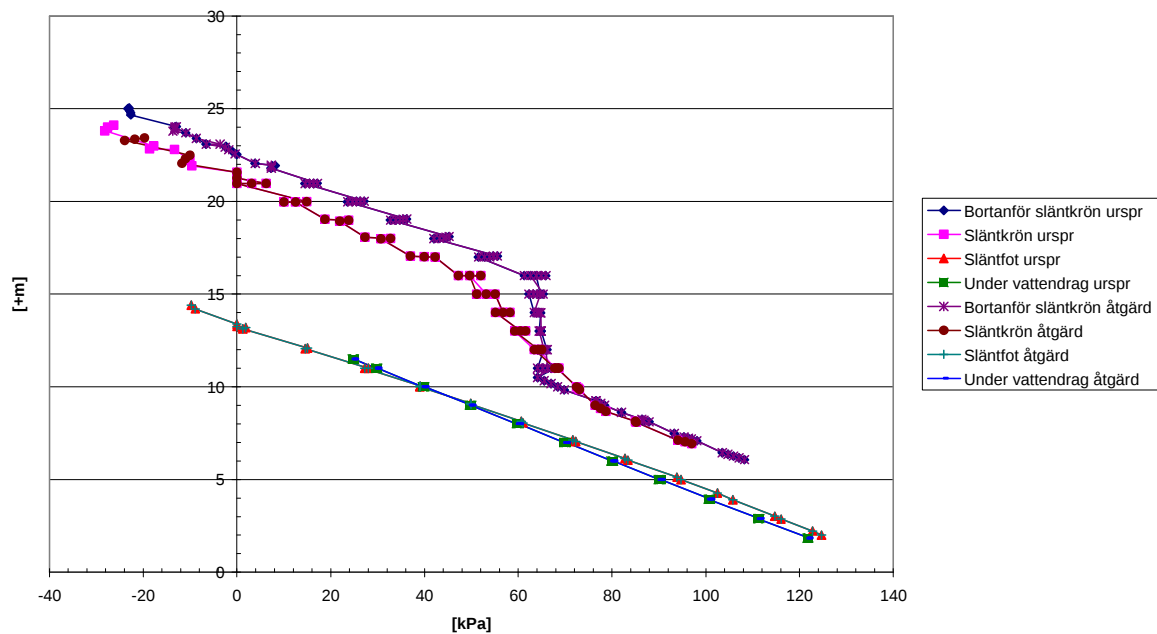
Först har modellen och dess randvillkor kalibrerats mot dagens rådande portrycks- och grundvattenförhållanden. Bortanför släntkrön styrs portrycken av grundvattentrycket från underliggande friktionslager samt av nederbördsökningen i form av en förhöjd grundvattenyta. Vid slänttån och under Säveån styrs portrycket uteslutande av Säveåns vattennivå. Efter kalibrering har klimatförändringens variationer lagts på och de så beräknade portrycken har använts vid stabilitetsberäkningarna.



Effekten av varierande nederbörd på portrycken, Partille
W-N+ (F=0,85) och W-N- (F=1,18)



Effekten av åtgärd (avlastning vid slänkrön) på portrycken, Partille



Konsekvensberäkning i fallstudierna

I konsekvensberäkningen delades konsekvenserna in i klasserna miljö, liv, samhälle och egendom. I Tabell B6.1 visas en mall för beräkningarna med de närvarofaktorer, omräkningsfaktorer och värderingar uttryckta i antal basbelopp som ligger till grund för resultaten i respektive fallstudie. Utgångspunkt för Tabell B6.1 är Berggren et al. (1991) men innehållet har modifierats och uppdaterats. I fallstudierna Högshallsvägen och Kvarteret Orren har värden av byggnader och tomtmark beräknats utifrån taxeringsvärdet enligt formeln

$$\text{Marknadsvärde} = \frac{\text{Taxeringsvärde}}{0,75}$$

med undantag för förskolan i Kvarteret Orren vilken har värderats enligt Tabell B6.1.

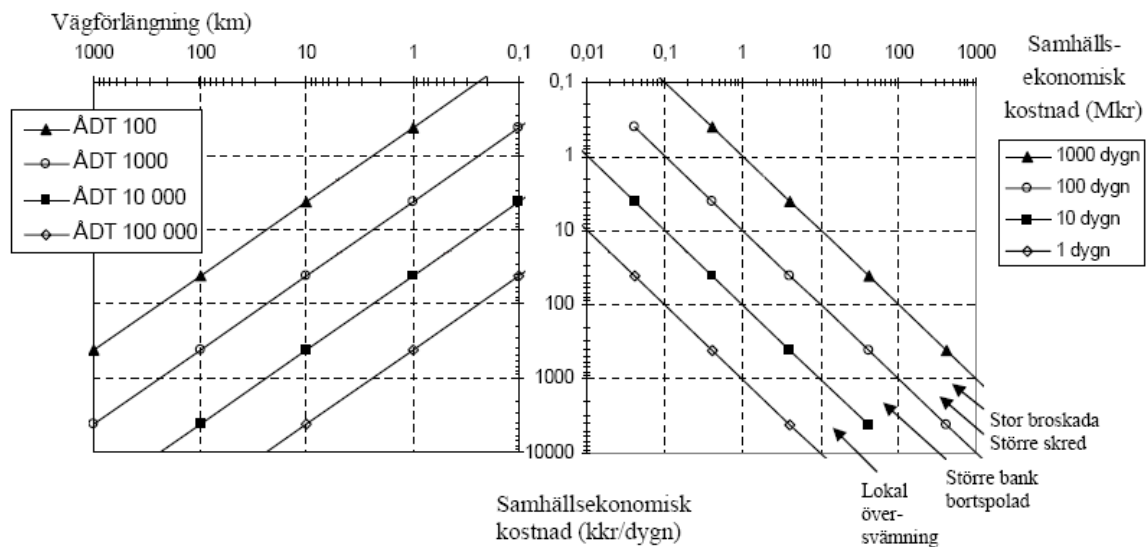
Tabell B6.1 Mall för konsekvensbedömning i fallstudierna.

				Sårbarhet (D)	Nuvärde basbelopp (E)
				0,04	42800
LIV	Hotad befolkning	A	B	C	Nuvärde för hotad befolkning A*B*C*D*E
	Antal personer	Närvarofaktor	Antal basbelopp		
	Permanentboende		0,5	605	
	Boende i fritidshus		0,1	605	
	Boende i hotell (antal bäddar)		0,3	605	
	Patienter på sjukhus (antal bäddar)		1	605	
	Patienter inom äldreomsorgen		1	605	
	Anställda, elever, dagbarn, etc.		0,35	605	
	Genomsnittl. Antal butikskunder/dag		0,014	605	
	Andra tillfälliga besökare, genomsnittl. ant./dag		0,014	605	
	Trafikanter	Antal m väg	Omräkningsfaktor	Antal basbelopp	
	Vägar med trafikintensiteten:				
MILJÖ	>5000 ÅDT		0,01	605	
	500-5000 ÅDT		0,0034	605	
	<500 ÅDT		0,001	605	
	Hotade järnvägar - passagerare	Antal m järnväg	Omräkningsfaktor	Antal basbelopp	
	Dubbelspårig stambana		0,05	605	
	Enkelspårig stambana		0,0025	605	
	Övriga trafikerade banor		0,001	605	
SAMHÄLLE	Vattendrag, kostnader för fysisk återställning				Nuvärde för hotad miljö
	Luftförorening orsakad av omledning av trafik				
	Föroreningsspridning				
SAMHÄLLE	Räddningstjänst, krisgrupper, etc. Insatser.				Nuvärde samhällsek. kostnad
	Direkta kostnadsökningar för restid, fordon, trafikolyckor, emissioner, drift och underhåll på grund av störningar/trafikavbrott	Vägförlängning (km)	ÅDT	Antal dagar	
					Totalt värde

Tabell B6.1 Mall för konsekvensbedömning i fallstudierna (forts.).

EGENDOM	A	B	Sårbarhet (D)	Nuvärde basbelopp (E)
			C	Nuvärde för hotad egendom A*C*D*E
Bostadsbebyggelse	Antal lgh		Antal basbelopp	42800
Lägenheter - Bostadsyta < 90 m ²			8	
Lägenheter - Bostadsyta > 90 m ²			12	
Villor, radhus - Bostadsyta <110 m ²			12	
Villor, radhus - Bostadsyta 110 - 130 m ²			17	
Villor, radhus - Bostadsyta >130 m ²			25	
Fritidshus - Bostadsyta < 70 m ²			7	
Övriga byggnader (beräknas mha nyttjad golvyta)	Antal m ²		Antal basbelopp	
Skolor, förvaltningsbyggnader, daghem, affärslokaler, hotell etc. med normala inventarier			0,1	
Enklare förråd, bodar, garage, ekonomibyggnader etc.			0,05	
Industribyggnader, magasinlokaler, sjukhus etc. med dyrbarare inventarier			0,2	
Broar			0,1	
Speciella byggnader och installationer: VA-verk, ställverk, kraftledningar, gasledningar etc. (värden utreds separat)				
Mark	Antal hektar		Antal basbelopp	
Tomtmark			40	
Gatemark, torg, p-platser. Ej jvgbank eller vägar			100	
Skogsmark			1	
Åkermark			2	
Övrig mark			0,1	
Natura2000, naturreservat			0	
Lös egendom			Antal basbelopp	
Bilar tillhörande boende			1	
Antal allmänna parkeringsplatser			0,5	
Fordon på vägar med trafikintensiteten:				
>5000 ÅDT			0,01	
500-5000 ÅDT			0,005	
<500 ÅDT			0,001	
Djurbesättningar (utreds separat)				
Övrig lös egendom (utreds separat)				
Tågset	Antal m jvg		Antal basbelopp	
Dubbelspårig stambana			0,02	
Enkelspårig stambana			0,01	
Övriga trafikerade banor			0,004	
Infrastruktur				
Vägar med trafikintensiteten:	Antal m väg		Antal basbelopp	
>5000 ÅDT				
500-5000 ÅDT				
<500 ÅDT				
Järnvägar	Antal m jvg		Antal basbelopp	
Dubbelspårig stambana				
Enkelspårig stambana				
Övriga trafikerade banor			100	

Direkta kostnadsökningar på grund av trafikavbrott beräknas enligt Vägverkets schablonmetod som presenteras i Vägverket (2005), se Figur B6.1. Metoden tar hänsyn till direkta kostnadsökningar för restid, fordon, trafikolyckor, emissioner samt drift och underhåll som orsakas av trafikavbrott.



Figur B6.1 Schablonmetod för bestämning av samhällsekonomisk kostnad vid vägavstängning, beroende på ÅDT, vägförlängning och hur länge vägavstängningen varar. Modifierad från Vägverket (2005).

I tabellerna B6.2, 3 och 4 redovisas indata och kostnadsposter för de tre fallstudierna. Konsekvenserna avrundas till tusentals kronor och uttrycks i 2009 års penningvärde.

Tabell B6.2 Sammanställning av indata samt värdering av konsekvenser i fallstudien Högsallsvägen, Partille kommun.

Riskobjekt och enhet för indata	Indata	Konsekvens (tkr)
Liv		
Permanentboende (antal)	58	30 037
Trafikanter, 500-5000ÅDT (antal m väg)	170	599
Egendom		
Bebyggelse (taxeringsvärde, tkr)	10 485	13 980
Gatumark, torg, p-platser. Ej jvgbank eller vägar (antal ha)	0,12	514
Övrig mark (antal ha)	0,74	3
Natura2000, naturreservat (antal ha)	0,4	0
Bilar tillhörande boende (antal)	15	642
Fordon på vägar, 500-5000 ÅDT (antal m väg)	170	36
Samhälle		
Räddningsinsats, se huvudrapport för antaganden		14 000
Direkta kostnadsökningar på grund av trafikavbrott		
ÅDT (Antal fordon per årsmedeldygn)	3500	
Vägförlängning (km)	10	
Antal dagar som störningen varar	100	10 000
Summa (tkr)		69 811

Tabell B6.3 Sammanställning av indata samt värdering av konsekvenser i fallstudien Kvarteret Orren, Lidköpings kommun.

Riskobjekt och enhet för indata	Indata	Konsekvens (tkr)
Liv		
Permanentboende (antal)	33	17 090
Anställda, elever, dagbarn, etc. (antal)	54	19 576
Genomsnittl. antal butikskunder/dag	460	6 670
Trafikanter, 500-5000 ÅDT (antal m väg)	200	704
Trafikanter, <500 ÅDT (antal m väg)	120	124
Egendom		
Bebyggelse (taxeringsvärde, tkr)	17 304	23 072
Förskola (nyttjad golvyta, m ²)	290	1 241
Gatumark, torg, p-platser. Ej jvgbank eller vägar (antal ha)	0,44	1 883
Övrig mark (antal ha)	0,57	2
Antal allmänna parkeringsplatser	10	214
Fordon på vägar, 500-5000 ÅDT (antal m väg)	200	43
Fordon på vägar, <500 ÅDT (antal m väg)	120	5
Samhälle		
Räddningsinsats, se huvudrapport för antaganden		8 000
Direkta kostnadsökningar på grund av trafikavbrott		
ÅDT (Antal fordon per årsmedeldygn)	2 000	
Vägförlängning (km)	0,5	
Antal dagar som störningen varar	100	400
Miljö		
Föroreningsspridning (bensinstation)		500
Summa (tkr)		79 524

Tabell B6.4 Sammanställning av indata samt värdering av konsekvenser i fallstudien Årby, Borlänge kommun.

Riskobjekt och enhet för indata	Indata	Konsekvens (tkr)
Liv		
Permanentboende (antal)	2	1 036
Egendom		
Villor, radhus - Bostadsyta >130 m ²	2	2 140
Enklare förråd, bodar, garage, ekonomibyggnader etc.	80	171
Tomtmark (antal ha)	0,41	702
Samhälle		
Räddningsinsats, se huvudrapport för antaganden		1 000
Summa (tkr)		5 049

REFERENSER

Berggren, B., Fallsvik, J., Hintze, S. & Stille, H. (1991). LerslänTERS stabilitetsförhållanden. Riskvärdering och beslutsteori. Förslag till metod för riskvärdering. SGI Varia 333. Statens Geotekniska Institut.

Vägverket (2005). Fördjupning, Riskanalys vald vägsträcka. Publikation 2005:55.



Statens geotekniska institut
Swedish Geotechnical Institute

SE-581 93 Linköping, Sweden

Tel: 013-20 18 00, Int + 46 13 201800

Fax: 013-20 19 14, Int + 46 13 201914

E-mail: sgi@swedgeo.se Internet: www.swedgeo.se