STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

Avlagringar längs Klockbäcken, Ånn.

Slamströmmen i Ånn 30 juli 2006

Dokumentation och analys.
Analys av befintlig metodik för översiktlig och detaljerad utredning av faran för slamströmmar

Karin Lundström
Håkan Persson

Varia 614

LINKÖPING 2010

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

Varia 614

Slamströmmen i Ånn 30 juli 2006

Dokumentation och analys.
Analys av befintlig metodik för översiktlig och detaljerad utredning av faran för slamströmmar

Karin Lundström
Håkan Persson

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
BANVERKET
Vägverket

LINKÖPING 2010

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--10/614--SE
Dnr SGI	2-0905-0367
Proj.nr SGI	13984

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD **4**

SAMMANFATTNING **5**

1 INLEDNING **7**

2 SYFTE **8**

3 ANALYS AV SLAMSTRÖMMEN 30 JULI 2006 ..... **9**

3.1 Händelseförlopp **9**
3.2 Beskrivning av avrinningsområdet och dess nederbörds och hydrologiska förhållanden **10**
3.2.1 Läge, storlek och topografi 10
3.2.2 Geologi 11
3.2.3 Nederbörd och hydrologi 14
3.2.4 Fältinspektion 14
3.2.5 Avrinningsförhållanden 15
3.3 Nederbördssituation vid händelsen **16**
3.4 Bestämning av vattenhastighet längs Klockbäcken under händelsen **17**
3.5 Bestämning av vattenflöde längs Klockbäcken under händelsen **18**
3.6 I avrinningsområdet total mängd avrunnet vatten under händelsen **20**
3.7 Jämförelse mellan vattenflöden under händelsen bestämda med olika metoder **21**
3.8 Flödeskapacitet för trummorna genom väg- och järnvägsbankar **21**
3.9 Uppskattning av mängden transporterat jordmaterial under händelsen **22**

4 ANALYS AV KLOCKBÄCKENS AVRINNINGSOMRÅDE MED METODIK FÖR DETALJERAD UTREDNING AV FARAN FÖR SLAMSTRÖMMAR **25**

4.1 Översiktlig kartering av faran för slamströmmar **25**
4.2 Detaljerad utredning av faran för slamströmmar **25**
4.2.1 Bestämning av dimensionerande regnintensitet 25
4.2.2 Dimensionerande högvattenflöde enligt Rationella metoden 26
4.2.3 Dimensionerande högvattenflöde enligt VVMB 310 27
4.2.4 Bäckens kapacitet att transportera jordmaterial 27
4.2.5 Slutsatser från detaljerad analys av faran för slamströmmar längs Klockbäcken 28

5 DISKUSSION KRING BEFINTLIG METODIK FÖR ÖVERSIKTLIG OCH DETALJERAD UTREDNING AV FARAN FÖR SLAMSTRÖMMAR **30**

5.1 Viktiga slutsatser av händelsen i Ånn, 2006 ..... **30**
5.2 Synpunkter på befintlig metodik **33**
5.2.1 Översiktlig kartering 33
5.2.2 Detaljerad utredning 34

REFERENSER **35**

Bilagor

1. Klockbäckens avrinningsområde uppströms E14
2. Fältinspektion: beskrivning och inmätningar
3. Foton tagna längs Klockbäcken under fältinspektion i juli 2009
4. Nederbördsintensitet med kort varaktighet bestämd enligt Dahlström (2007)
5. Längsgående profil för Klockbäcken uppströms E14

FÖRORD

På uppdrag av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), Vägverket, Banverket och Statens geotekniska institut (SGI), har SGI utfört en utredning av stabilitets- och avrinningsförhållanden i Klockbäckens avrinningsområde, Åre kommun. Utredningen har genomförts av Karin Lundström, Håkan Persson och Ann-Christine Hågeryd, alla SGI. Delar av utredningen utfördes i fält den 29 till 30 juni 2009.

Fotografier i rapporten är tagna av Karin Lundström.

Rapporten har granskats av Susanne Edsgård och Margareta Nisser-Larsson, MSB, Magnus Karlsson och Björn Åstedt, Trafikverket (tidigare Banverket), Jan Ekström och Mikael Ånäs, Trafikverket (tidigare Vägverket) och Jan Fallsvik, SGI.

Linköping 2010-05-04
Författarna

SAMMANFATTNING

Den 30 juli 2006 spolades en nära 8 m hög järnvägsbank och en lika hög bank tillhörande E14 strax väster om Ånn i Åre kommun, bort vid ett kraftigt regn. Inga personer skadades men kostnader för återställning och konsekvenser för fordons- och tågtrafiken blev betydande.

Det kraftiga regnet medförde att Klockbäcken uppströms E14 drog med sig jord, sten, block och träd längs sin väg ner mot väg- och järnvägsbanken. Trummorna genom bankarna förmådde inte avbörda allt vatten och blev sannolikt igensatta av jordmaterial, grenar och träd. Vägbank och järnvägsbank dämde upp vatten till en nivå belägen cirka 0,5 under vägbanan och 2 meter under rälskant innan bankarna kollapsade.

Denna utredning syftar till att: (1) skaffa kunskap om och förståelse för de processer som ledde fram till den naturolycka som inträffade 30 juli 2006, (2) öka kunskapen om slamströmmar, (3) analysera befintlig metodik för detaljerad utredning av faran för slamströmmar genom att applicera den på Klockbäckens avrinningsområde och (4) ge förslag till hur liknande händelser kan förutses. Utredningen har omfattat dokumentation och analys av förhållanden i avrinningsområdet uppströms väg- och järnvägsbankarna i Ånn, analys av nederbördsförhållanden för området samt beräkningar av högvattenflöden och bäckens kapacitet för materialtransport.

Avrinningsområdet har en yta av 6,4 km^2 (enligt Bergström, 2006) och sträcker sig från höjdpartierna drygt 3 kilometer norr om väg E14 och ned till E14. Klockarbäcken gör en kraftig krök innan den passerar i trummor under vägen och järnvägen. Inom avrinningsområdet upptar myrmarker en stor andel av ytan och mellan myrmarkerna finns mestadels gles granskog med undervegetation av gräs och ris. Jordlagren är mestadels tunna och uppbyggda av morän och issjösediment. Berggrunden består i huvudsak av skiffrar; framförallt kärvskiffer och glimmerskiffer. På grund av den stora andelen myrmarker och det tunna jordtäcket avrinner en stor del av nederbörden till vattendragen.

Enligt vittnesuppgifter (Alexandersson, 2006) och SMHI:s beräkningar (Bergström, 2006) föll cirka 100 mm regn på 12 timmar över området den aktuella dagen. När det regnade som intensivast kan så mycket som 78 mm ha kommit på 30 minuter.

Analys av den inträffade händelsen visar att vattenhastigheten och flödet var högt och bäcken har därmed kunnat förorsaka kraftig erosion och materialtransport trots relativt måttliga lutningar inom området. Flödet, beräknat genom inmätning av våta areor och med rationella metoden, översteg under händelsen troligen 15 m^3/s i den nedre delen av bäckfåran just uppströms E14. Med hjälp av överslagsberäkning och ett antaget flöde av 20 m^3/s har den mängd jordmaterial som transporterats av högvattenflödet till läget uppströms E14 bestämts till drygt 500 m^3.

Avbördningskapaciteten för trummorna under väg och järnväg har i utredningen beräknats till 8 respektive 15 m^3/s vid en antagen nivåskillnad av 1 meter mellan inströmnings- och utströmningssidan. Kapaciteten för trummorna var alltså, enligt denna beräkning, för liten för det flöde som kom i juli 2006. Tillståndet för trummorna före händelsen är dock inte känd. Eventuellt kan kapaciteten ha varit ännu lägre om jordmaterial och grenar redan före händelsen fanns i trummorna och om trummorna hade defekter.

Detaljerad utredning av förutsättningar för slamströmmar i Klockbäcken har utförts med hjälp av befintlig metodik (metodik finns presenterad av Rankka & Fallsvik, 2005). Resultaten visar att det dimensionerande högvattenflödet fås vid en regnvaraktighet av 45-60 minuter, och detta

ger ett flöde på cirka 20 m^3/s för ett medelvärde på avrinningskoefficienten av 0,3. Till läget för trummorna under E14 har beräknats att en jordmängd av knappt 1000 m^3 kan transporteras vid ett flöde av 20 m^3/s. Det framräknade dimensionerande flödet är ungefär lika stort som det flöde som analyser och överslagsberäkningar visar förekom under händelsen 2006. Dock gav beräkningarna av den dimensionerande nederbörden en längre varaktighet än vad vittnesmål angav som varaktighet för det kraftiga regnet den 30 juli 2006. Av denna anledning ger beräkningarna en större mängd jordmaterial som kan transporteras av högvattenflödet än vad som beräknades ha transporterats vid händelsen 2006. Beräkningar av transporterbar jordvolym är överslagsmässiga.

Baserat på denna utredning har följande slutsatser dragits avseende bestämning av faran för uppkomst av slamströmmar för andra liknande platser:

Översiktlig kartering av faran för slamströmmar har tidigare, 2004, utförts för Åre kommun på uppdrag av Räddningsverket. Vid karteringen ingick inte Klockbäcken eftersom ingen hotad bebyggelse finns i området. Om bebyggelse hade funnits vid läget för E14 är vår bedömning att Klockbäcken skulle ha bedömts ha ett utredningsbehov. Dock är det vid bedömningen viktigt att bäckens och avrinningsområdets förhållanden studeras inte enbart i en punkt utan i flera punkter belägna i kritiska delar av området.

Eftersom MSB inte har som uppgift att inventera risker utanför bebyggda områden, bör riskerna för infrastrukturen inventeras av Trafikverket.

Den metodik för detaljerad utredning av faran för slamströmmar som använts för Klockbäckens avrinningsområdet bedöms inte ha några större brister eller sakna någon väsentlig del. Dock är det viktigt att påpeka följande:

- De hotade objektens sårbarhet och läge i förhållanden till partier längs bäckfåran som kan erodera och transportera material bör bestämmas.

- Vid bedömning av den dimensionerande nederbörden bör nederbörd med minst 100 års återkomsttid väljas. Hänsyn bör även tas till klimatförändringarna.

- Vid bestämning av dimensionerande varaktighet måste avrinningsområdets utseende och avrinningshastigheter i olika delar studeras. För stora avrinningsområden kommer inte hela avrinningsområdet att medverka till högvattenflödet.

- Vid bedömning av avrinningskoefficienter bör jordlagrens förmåga att magasinera vatten analyseras.

- Förutom jordlagrens bör även berggrundens eroderbarhet bedömas.

- Bäckfårans lutning och förekomst av en djup åfåra eller ravinformationer är viktiga att kartlägga. Detta därför att förutsättningarna för uppkomst av slamströmmar påverkas i hög grad av dessa faktorer.

Slutligen bör påpekas att få liknande analyser av inträffade slamströmmar har utförts i Sverige. Det finns behov av mer erfarenhet och kunskap inom området och föreliggande utredning bör därför följas upp med ytterligare utredningar i framtiden.

1 INLEDNING

Den 30 juli 2006 spolades en nära 8 m hög järnvägsbank och en lika hög vägbank av E14 strax väster om Ånn i Åre kommun bort vid ett kraftigt regn. Inga personer skadades, men kostnader för återställning och konsekvenser för fordons- och tågtrafiken blev betydande.

Det kraftiga regnet medförde att bäcken uppströms E14 drog med sig jord, sten, block och träd och skapade därmed stor förödelse längs sin väg ner mot väg- och järnvägsbanken. Trummorna genom bankarna förmådde inte avbörda allt vatten och blev sannolikt igensatta av jordmaterial, grenar och träd. Vägbanken dämde upp vatten till en nivå belägen cirka 0,5 under vägbanan innan den kollapsade.

Vägverket och Banverket har utrett orsaken till varför vägbankarna kollapsade (se Ånäs et al, 2006 och Bergström, 2006). Utredningarna omfattade dock inte någon analys eller dokumentation av erosion, materialtransport och detaljerade förhållanden i avrinningsområdet uppströms vägen.

Med slamströmmar avses jordrörelser där vatten och jord snabbt transporteras ner för en sluttning. Vid häftiga regn eroderar ytvatten jordlagren och för med sig jordmaterialet ner längs sluttningen så länge lutningen är tillräckligt stor. Där lutningen avtar avsätts materialet. Andelen jordpartiklar i slamströmmen kan variera, beroende bland annat på vattnets hastighet och jordens eroderbarhet. Slamströmmen kan orsaka kraftig erosion och skada längs vägen.

Bortspolning av vägbankar i samband med kraftiga regn är inte ovanligt och har inträffat exempelvis i Sysslebäck 1997, i mellersta Norrland sommaren 2000 och i Hagfors 2004. Även järnvägsbankar har spolats bort. Under de senaste 10 år har bland annat Norge-Vänerbanan, Värmlandsbanan, Västra stambanan och Kust- till Kustbanan varit utsatta. Bortspolningar kan orsakas av att trummorna är underdimensionerade, av att trummorna sätts igen eller av att vattnet eroderar i själva bankmaterialet. Banverket bedömer att den viktigaste orsaken till bortspolningar av järnvägsbankar är eftersatt underhåll av trummor, diken och dräneringar. Vid analys av faran för bortspolning av bankar bör, förutom det maximala flödet, även bestämmas risken för materialtransport (bland annat genom slamströmmar) till trumman, risken för erosion i banken samt upprättas en underhållsplan.

2 SYFTE

Slamströmmar är vanligt förekommande i den svenska fjällvärlden, i huvudsak där bäckar eller åar rinner längs branta sluttningar eller i ravinformationer, men förekommer också utanför fjällvärlden. Slamströmmar kan även uppstå i branta moränslänter. Erfarenheterna och kunskaperna slamströmmar är begränsad i Sverige. Det beror till stor del på att konsekvenserna från inträffade händelser varit små för samhället. Därför har få inträffade händelser analyserats i Sverige, och verifiering av befintlig metodik för utredning av faran för slamströmmar har inte kunnat utföras i tillräckligt stor omfattning.

Föreliggande utredning syftar till att: (1) skaffa kunskaper, förståelse och orsaker till de processer som ledde fram till den naturolycka som inträffade 30 juli 2006, (2) öka kunskapen om slamströmmar, (3) analysera befintlig metodik för detaljerad utredning av faran för slamströmmar och (4) ge förslag till hur liknande händelser kan förutses. Utredningen har omfattat dokumentation och analys av förhållanden i avrinningsområdet uppströms väg- och järnvägsbankarna i det område som drabbades 2006, analys av nederbördsförhållanden för området samt beräkningar av högvattenflöden och bäckens kapacitet för materialtransport. Utredningen har inte omfattat analys av den erosion och materialtransport som skedde nedströms väg- och järnvägsbankarna.

3 ANALYS AV SLAMSTRÖMMEN 30 JULI 2006

3.1 Händelseförlopp

Den 30:e juli 2006 inträffade en slamström i Klockbäcken i samband med ett mycket kraftigt regn, vilken orsakade ras och bortspolning av både järnväg och väg E14.

Klockan 18:44 inkom larm till SOS centralen (Östersunds-Posten, 2006). Tåget från Trondheim på väg mot Östersund passerade den aktuella platsen omkring 18:40. Direkt efter det att tåget passerat rasade banvallen och de två första hjulparen på motorvagnen spårade ur, som en följd att detta (Tidningarnas Telegrambyrå, 2006).

En privatperson som kommit till platsen från Storlien videoinspelade en del av händelseförloppet. Då personen kom till platsen och började filma, hade vägbanan försvunnit längs en bredd av cirka 2-3 m och vattnet uppströms E14 stod cirka 50 cm under vägbanan. Nedströms E14 dämdes vattnet upp mot banvallen och stod cirka 2-3 m under järnvägens rälsunderkant. På videon framgår att vägbanan rasade först, och efter en inte bestämd tid rasade även banvallen. Två cirka 10 m djupa och 50 m breda kratrar hade bildats i vardera bankarna (Östersunds-Posten, 2006).

Några hundra meter öster om olycksplatsen rinner Sågbäcken genom en trumma under E14 och därefter under banvallen. Vid denna plats är bankarna endast 3 m höga. Enligt vittnesuppgift, Eriksson (2009), översvämmades på denna plats vägen och ett område uppströms då trumman under vägbanan inte förmådde att avleda vattnet.

I Vägverkets utredning (se Ånäs et al, 2006) bedömdes olyckan har berott på trummorna genom bankarna inte var dimensionerade för det extrema flöde som rådde, samt att bankarna bestod av lätteroderat material, vilket vattnet "åt sig in" i och orsakade kollaps. Enligt utredningen var väg- och järnvägsbankarna uppbyggda av siltig sand och/eller sand medan undergrunden består av morän och skifferberg. I området uppströms vägen observerades, av Vägverkets personal efter händelsen, spår av erosion, uppfläkt grässvål och grässtrån 2-4 m upp i träden. Utredningen bedömer vidare att även "bråte" täppte trumöppningen.

På uppdrag av Banverket fick SMHI uppgift att belysa de hydrologiska förhållande vid tiden för händelsen. Resultatet, presenterat av Bergström (2006), visar att ett mycket intensivt regn, uppemot 100 mm, kom på kort tid. Se vidare Avsnitt 3.3.

3.2 Beskrivning av avrinningsområdet och dess nederbörds och hydrologiska förhållanden

I detta avsnitt beskrivs topografiska, geologiska, hydrologiska och meterologiska förhållanden i Klockbäckens avrinningsområde uppströms väg E14. Beskrivningen bygger på studier av kartor, flygbilder, rapporter och fältstudier i området enligt Tabell 3-1.

Tabell 3-1. Underlagsmaterial för utredningen.

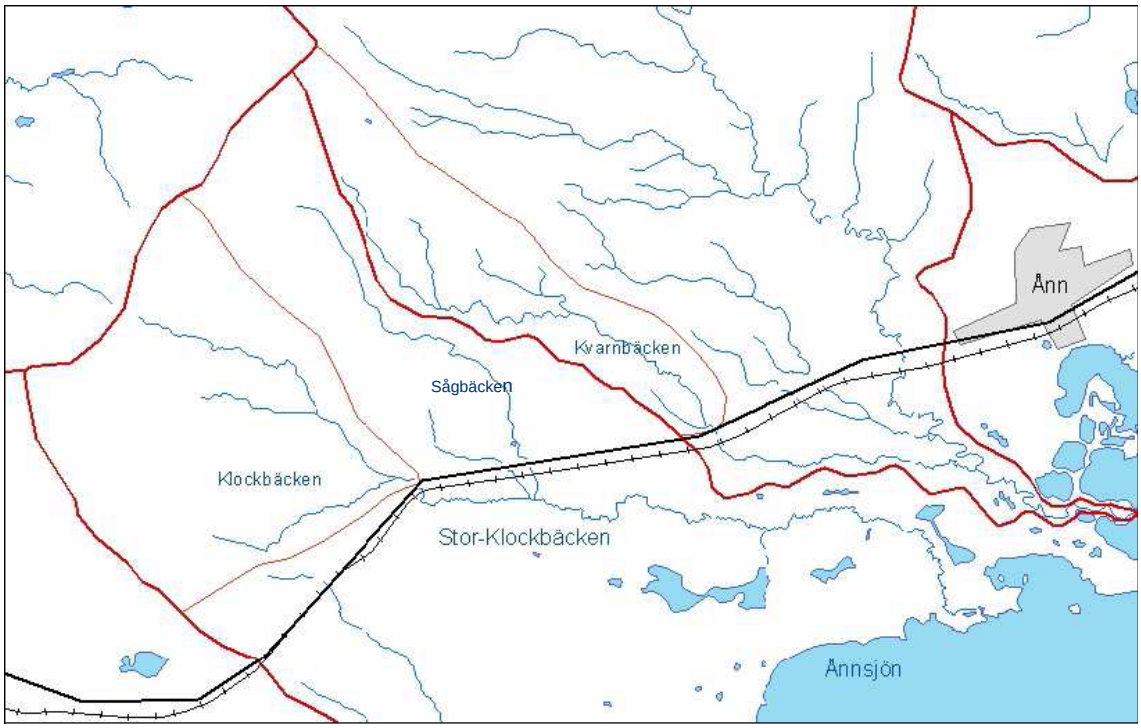
Underlag	*Referens*
Topografisk karta	Vägkartan
Flygbilder, skala 1:30 000	Flygbilder, papper (1985-09-12 Digitala lodbilder utskrivna på papper (2008-07-02)
Jordartskarta, skala 1:250 000	Lundqvist, 1969, Serie Ca Nr 45, SGU
Beskrivning geologisk karta	Lundqvist, 1969, Serie Ca Nr 45SGU
Geomorfologisk karta, skala 1:250 000 samt beskrivning	Borgström, 1979, Naturvårdsverket
Satellitbilder	Lantmäteriet, Saccess satellitdatabasen
Nederbörd	Alexandersson & Eggertsson-Karlström, 2001
Hydrologi	Bergström, 2006
Händelsen	Video inspelad vid olyckan (VV:s egendom)

3.2.1 Läge, storlek och topografi

Det studerade området, Klockbäckens avrinningsområde, är beläget norr om E14 cirka 6 km väster om samhället Ånn i Jämtlands län, se Figur 3-1 och Bilaga 1. Avrinningsområdet, som har en yta vid horisontell projektion av 6,4 km^2 (enligt Bergström, 2006), sträcker sig från höjdpartierna drygt 3 kilometer norr om väg E14 och ned till E14. Klockbäcken gör en kraftig krök innan den leds genom trummor under väg och järnväg. Bäcken inte kulverterad mellan vägen och järnvägen.

Nedströms E14 sammanflödar bäcken med Sågbäcken och kallas därefter Stor-Klockbäcken ned till utflödet i Ånnsjön. Längs sträckan från E14 till Ånnsjön är lutningen låg (20 m på 7 km) och bäcken passerar endast en mindre grusväg, varför denna utredning endast omfattar förhållandena uppströms E14. Den högsta punkten inom Klockbäckens avrinningsområde uppströms E14 ligger på 730 m.ö.h. och den lägsta, vid trumman under E14 på 545 m.ö.h, vilket innebär att höjdskillnaden inom avrinningsområdet uppströms E14 uppgår till cirka 185 m.

Vid flygbildstolkning av bilder tagna 1985 framkom att huvudbäcken ovanför kraftledning, se Bilaga 1, längs många sträckor rann i små ravinformationer med låga slänthöjder. Längs övriga sträckor rann bäcken över myrområden som saknade ravinformationer. Nedströms kraftledning fanns djupt urskurna ravinformationer ned till ett avstånd av cirka 400 m uppströms E14. Dock har dessa formationer fördjupats ytterligare och några nya har bildats under händelsen 2006, vilket framgår av flygbilder tagna 2008.



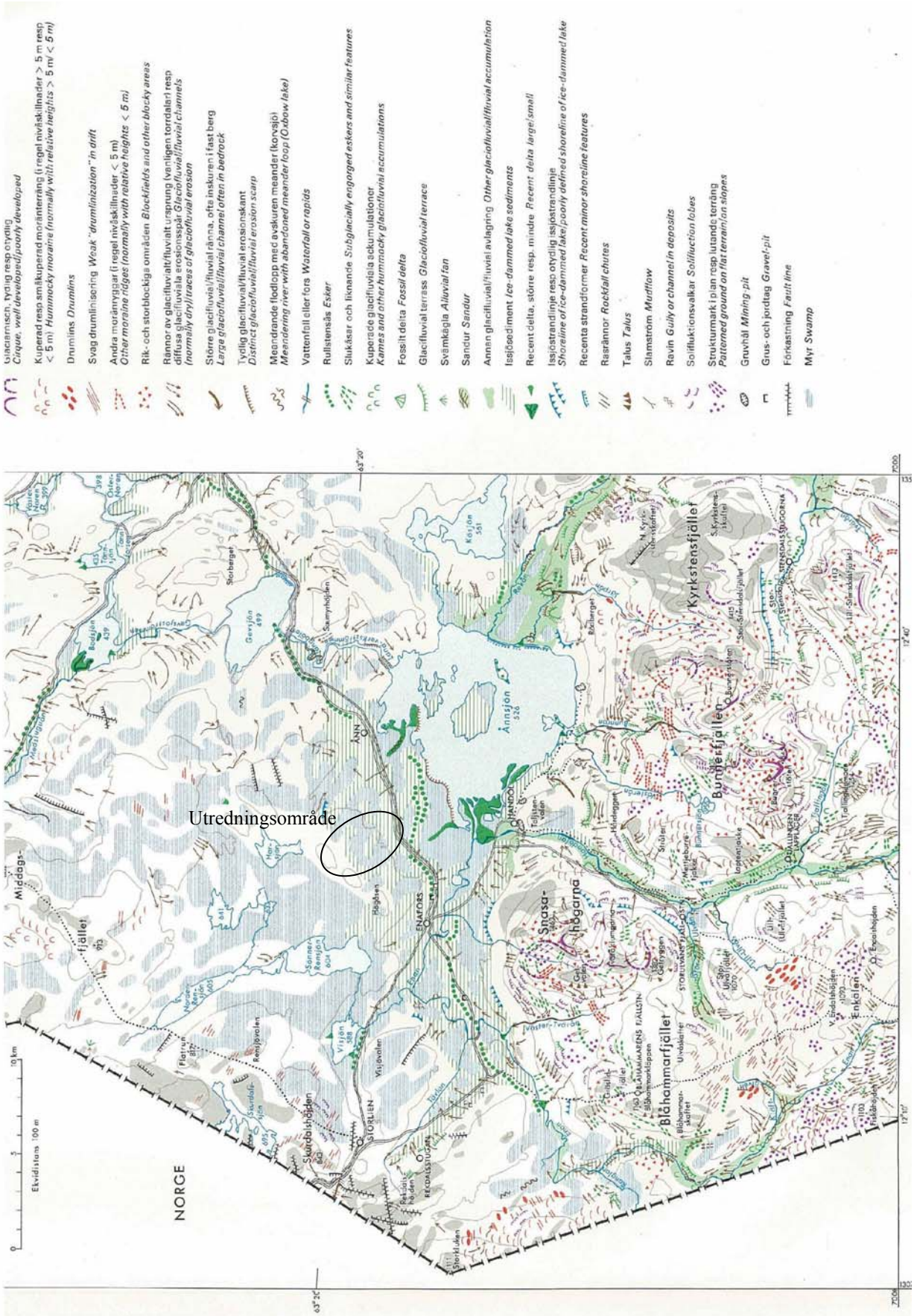
Figur 3-1. Stor-Klockbäckens och Kvarnbäckens avrinningsområde (efter Bergström, 2006). Klockbäckens avrinningsområde uppströms E14 är markerat med tunna linjer.

3.2.2 Geologi

Det aktuella området ligger i Ånnsjösänkan som utgör den västligaste delen av Åredalen. Jordarten i markytan i området runt Klockbäcken utgörs enligt jordartskartan över Jämtlands län (Lundqvist, 1969) i huvudsak av finsand och torv. De omgivande höjdpartierna är täckta av moig morän (finsandig morän). Myrmarker har stor utbredning inom avrinningsområdet, vilket framgår av Bilaga 1. I området nedströms E14 återfinns även isälvsavlagringar bestående av grus samt sjösediment bestående av silt.

Området karaktäriseras av utbredda issjösediment och stora subakvatiska rullstensåsar (Borgström, 1979). Enligt Lundqvist (1969) utgörs issjösedimenten till övervägande delen av mo och jorddjupet överstiger sällan 2-2,5 m. Längs Ånnsjöns norra strand löper en rullstensås som kan följas miltals österut i Indalsälvens dalgång, se Figur 3-2. Sjösystemet inom området är helt oreglerat.

Berggrunden i området tillhör fjällkedjan, som i huvudsak består av bergarter bildade genom överskjutning, ovanpå urberget. Dessa överskjutande så kallade skollor tillhör i området nordväst om Ånnsjön, enligt Sjöstrand (1999), Seveskollan och den överliggande Köliskollan. Stora delar av berggrunden i detta området består av de metamorfa bergarterna kärvskiffer och glimmerskiffer. Kärvskiffer är en slags glimmerskiffer som innehåller porfyrblaster av hornbländemineral. Hornbländet kan ligga inneslutet som kärvar i bergarten, se Figur 3-3. Skiffrar är vittringsbenägna längs sedimentationsplanen i strukturen. Då dessa plan i huvudsak är horisontellt orienterade inom området kan vatten erodera loss stora flak och transportera dessa vidare ner längs vattendraget, se Figur 3-4.



Figur 3-2. Geomorfologisk karta över området runt Ånnsjön. Efter Borgström, 1979.

Figur 3-3. Kärvskiffer med hornblände som stavar (kärvar) i strukturen.

Figur 3-4. Skiffer längs huvudfåran i Klockbäcken (hm 80,2)

3.2.3 Nederbörd och hydrologi

Närheten till Atlanten samt avsaknad av höga fjäll i väster ger området ett maritimt, milt klimat. Årsnederbörden i området är relativt måttlig med värden kring 700 mm (enligt Alexandersson & Eggertsson-Karlström, 2001). Resultat från mätningar utförda av SMHI för stationerna Klocka, Medstugan och Storlien-Visjövalen framgår av Tabell 3-2. Det framgår av tabellen att juli är den månad som vanligtvis har störst nederbördsmängd i Klocka. Slamströmmen inträffade den 30 juli 2006.

Tabell 3-2. Nederbörd, presenterade som referensnormaler, för stationerna Klocka, Medstugan och Storlien-Visjövalen (från Alexandersson & Eggertsson-Karlström, 2001).

Station		*Årsnederbörd*	*Högsta månadsnederbörd*	
Namn	*Nr*	*(mm)*	*Månad*	*(mm)*
Klocka	13219	628	Juli	82
Storlien-Visjövalen	13218	857	September	115
Medstugan	13232	642	September	78

SMHI gjorde på uppdrag av Banverket en hydrologisk utredning av raset vid Ånn (Bergström, 2006). Utredningen omfattade inga mätningar i Klockbäckens avrinningsområde, utan områdets hydrologi jämfördes med den intilliggande och liknande Kvarnbäckenens. Kvarnbäckens avrinningsområde är cirka 4 km^2, och sträcker sig från cirka 545 m ö.h. till cirka. 740 m ö.h. Således är Kvarnbäckens avrinningsområde något mindre än Klockbäckens men det är liknande höjdskillnader inom de båda områdena.

För Kvarnbäcken utförde SMHI, på uppdrag av K-konsult i Jämtland, 1995 en beräkning av det högsta dygnsmedelflödet under en 50-årsperiod till 3,8 m^3/s. SMHI (Bergström, 2006) bedömde ett momentant 50-årsflöde till cirka 12 m^3/s, samt ett motsvarande dygnsmedelflöde till 6 m^3/s för Klockbäcken.

Grundvattennivån ligger i de flesta delar av området troligen i eller just under markytan eftersom jordtäcket på många ställen är tunt och stora delar av området är täckt av myrmark (se Bilaga 1). I områden där jordtäcket är mäktigt kan grundvattennivån antas variera under året med höga nivåer under hösten och våren. Under högsommaren är grundvattennivån vanligtvis som lägst eftersom temperaturen är högre samt att växtligheten då upptar och avger stor andel av nederbörden.

3.2.4 Fältinspektion

Genom att i fält studera och dokumentera spåren efter en inträffad slamström kan kunskap och förståelse inhämtas för vilka processer och problem som föreligger i avrinningsområdet. Denna information är värdefull som underlag vid analys av eventuella behov av preventiva åtgärder och vid dimensionering av dessa i det aktuella området. Kunskapen och förståelsen är även värdefull vid analyser i andra, liknande områden. Dokumentationen kan framförallt ge:

- orsaksförklaring till uppkomna jordrörelser
- lägesbestämning av var erosion uppstått
- information om ungefärlig mängd material som tillförts vattendraget på grund av skred och/eller erosion längs sidoslänterna
- information om ungefärlig mängd material som transporterats och var materialet har deponerats

- en bestämning av en inträffad slamströms hastighet och flöde i någon/några punkter
- överblick av risken för nya slamströmmar i form av instabila slänter, erosionskänsliga områden och befintliga löst avlagrade massor längs bäckbottnen som kan dämma upp bäcken och/eller eventuellt sättas i rörelse vid nytt kraftigt vattenflöde.

En fältinspektion i området utfördes av Håkan Persson och Karin Lundström, båda SGI, i juni 2009. Bland annat utfördes inmätningar av spår från högt vattenstånd i ett flertal punkter längs Klockbäcken, lutning i bäckfåran, förekomst av erosion och deposition, sänktlutningar, omkullfallna och transporterade träd samt analys av avrinningsförhållanden. Protokoll fört vid inspektionen finns redovisade i Bilaga 2 och foton i Bilaga 3. Dessutom finns resultaten och ytterligare analys av händelsen presenterade i följande avsnitt.

En fältinspektionen av en bäck startar lämpligast där bäcken rinner upp och följer därefter vattnets väg neråt. På så sätt får man en bra överblick över vad som inträffat från källa till slut. I syfte att lokalisera platser av intresse i avrinningsområdet har Klockbäcken numrerats var hundrade meter. Denna numrering börjar vanligtvis vid bäcken utlopp, i detta fallet i Ånnsjön, och slutar där bäcken rinner upp. Denna motsatta ordning, jämfört med fältinspektionen, används eftersom flera små bäckar ofta rinner samman till huvudbäcken och numreringen bör utgå från huvudbäcken. Numreringen är satt som avståndet från Ånnsjön antal hundra meter. Exempelvis betyder hm 73,5 ett avstånd av 7350 meter uppströms Stor-Klockbäckens mynning i Ånnsjön. Numreringen framgår av Bilaga 1.

Utredningen har också haft tillgång till två videofilmer. En av dessa togs under själva händelseförloppet (Vägverkets egendom). Den andra (Vägverket konsult, 2006) spelades in någon vecka efter händelsen och visar framförallt förödelsen nedströms bankarna.

3.2.5 Avrinningsförhållanden

Förhållanden i avrinningsområdet så som topografi, hydrologi och vegetation påverkar vad som sker med nederbörden efter den har fallit över området. En del av nederbörden återgår till atmosfären genom avdunstning och genom växtlighetens transpiration och en del magasineras i området som grundvatten eller i sjöar. Med avrinning menas vattenflödet från ett område, och kan ske direkt på markytan eller via grundvattnet till bäckar, åar eller sjöar.

Storleken på den avrinning som orsakas från ett nederbördstillfälle beskrivs vanligen med hjälp av en parameter kallad avrinningskoefficient, ψ. Avrinningskoefficienten uttrycks i andel av nederbörden och varierar mellan 0 och 1. Storleken på avrinningskoefficienter kan bestämmas exempelvis genom mätningar av nederbörd kopplat till flöde i bäcken där avrinningskoefficienten eftersöks. I denna studie har avrinningskoefficienter bestämts erfarenhetsmässigt genom att i fält och med kartor studera vegetationen, de hydrauliska och de topografiska förhållandena. Dessutom har en jämförelse gjorts mellan koefficienter bestämda för Mörviksåns avrinningsområde i Åre och koefficienter bestämda i alperna av Markart et al (2004).

I Klockbäckens avrinningsområde är avrinningen direkt till vattendragen i delar av området betydande på grund av tunt jordtäcke, stor andel myrmarker, hög grundvattennivå, hög markfuktighet och avsaknad av sjöar. Växtligheten i området utgörs huvudsakligen av myr och blandskog. Trädgränsen ligger förhållandevis lågt, ca 700-800 möh (Borgström, 1979). I det aktuella området kan två olika typer av områden särskiljas med avseende på avrinningsförhållanden: 1) myrmarker och 2) granskog med undervegetation av ris (för nivåer <680 möh). Karaktäristika för respektive område redovisas i Tabell 3-3 och utbredning framgår av Bilaga 1.

Avrinningskoefficienterna har valts till 0,5 för myrområde och 0,1 för skogsområde. En medelavrinningskoefficient för hela området erhålls då enligt:

$$\overline{\psi} = \frac{0{,}5 \cdot 3{,}5 + 0{,}1 \cdot 2{,}9}{3{,}5 + 2{,}9} \approx 0{,}3$$

Då storleken på avrinningskoefficienterna är svåra att bestämma och eftersom de har stor betydelse för beräkningar av flöden har en känslighetsanalys av dess betydelse utförts. I känslighetsanalysen har medelavrinningskoefficienter på 0,2; 0,3 och 0,4 använts, se avsnitt 3.5.

Tabell 3-3. Beskrivning av förhållanden inom Klockbäckens avrinningsområde.

Område och area	*Topografi och jordförhållanden*	*Vegetation*	*Avrinningsförhållanden*	*ψ*
Myr Area = 3,5 km^2	Jämn markyta med låg lutning. Störst lutning i väster (upp mot 5°). Tunna lösa jordlager, ca 0,5-0,8 m. Organiska jordar, överlagrar troligen morän.	Enstaka eller glest med träd. Fjällbjörk, gran, vide, gräs, polarull, mossor. Delvis frodig undervegetation.	Blött. Avrinning genom myrar till Klockbäcken. Avrinning hög vid vattenmättade jordar. Små vattenhål där bäck rinner upp. Snabb avrinning. I myrar har jordrörelser endast inträffat i anslutning till bäckar..	0,5
Skog Area = 2,9 km^2	Småkuperad terräng med medellutning 4-5°, korta branta slänter förkommer. I bäckravin sidoslänter med lutning upp mot 40 grader och 5-8 m höga. Morän.	Skogsbevuxen mark med blandskog och blåbärsris, ljung	Förhållandevis torrt. Stor del av nederbörd kan fångas upp av vegetation och marklager. Längs bäcken erosion och avlagringar (block, sten och finmaterial) från slamströmmar. Delvis branta sidoslänter. Flera nya bäckfåror efter 2006. Avsatt material längs bäckbottnen utgör källa till nya slamströmmar. Slänter som saknar vegetationstäckning är känsliga för erosion.	0,1

3.3 Nederbördssituation vid händelsen

Nederbörden i området kring Ånn var sommaren 2006 något under det normala (Bergström, 2006). Den 30:e juli utvecklades ett lokalt oväder med kraftigt skyfall väster om Ånn. Hur mycket nederbörd som föll inom Klockbäckens avrinningsområde har inte kunnat fastställas eftersom ingen nederbördsmätare fanns inom området. Intressant att notera är att bland de närbelägna nederbördsstationerna var den högsta dygnsnederbörden som registrerades det aktuella dygnet endast 2,8 mm (i Medstugan) (Bergström, 2006).

Boende i området har rapporterat att det den 30:e juli var ett intensivt oväder, där nederbörden var som kraftigast under ungefär en timme, vilket stämmer väl överens med SMHI:s radarobservationer, som visar de högsta reflektiviteterna mellan ungefär kl. 16 och 17.30 (Bergström, 2006). I Bergström (2006) har ett försök gjorts att omräkna radarekon till total nederbörd, uttryckt i mm, vilket ger en nederbörd i området strax under 100 mm under 12 timmar. Dessa siffror är ganska osäkra, men de bekräftar att det rörde sig om ett mycket kraftigt regn. Nederbörder som överstiger 100 mm brukar ungefär en gång per år registreras någonstans i Sverige (Bergström, 2006).

Flera privata mätningar visade på stora mängder regn under kort tid den aktuella eftermiddagen. Exempelvis fick SMHI uppgift att 78 mm regn uppmätts på en halvtimme (Alexandersson, 2006) och SGI fick uppgift om att 35 mm regn uppmätts på en halvtimme.

Enligt Östersund-Posten (2006) föregicks regnovädret av nederbördsrika dagar med bland annat ett kraftigt regn den 27 juli som gav 27,4 mm i Storlien. Baserat på denna information kan antas att markfuktigheten var relativt hög för årstiden dagarna före 30 juli.

3.4 Bestämning av vattenhastighet längs Klockbäcken under händelsen

Det flöde som kan ha förekommit vid händelsen 2006 uppströms trummorna längs Klockbäcken har bedömts med rationella metoden. Flödeshastigheter i bäckfåran har uppskattats med Mannings formel.

Genom inmätning av våta areor som förekom i Klockbäcken under händelsen 30:e juli och bottnens lutning, kan vattenhastigheten överslagsmässigt bestämmas. Inmätning av våt area görs bäst i karaktäristiska sektioner där vattnet har tvingats gå i en smal sektion över kalspolat berg. I trånga sektioner är vattenhastigheten oftast som högst.

Beräkning av flödeshastigheten i kanaler kan, vid fullt utbildad turbulent strömning, utföras enligt Mannings formel:

$$v = MR^{2/3}\sqrt{I} \qquad (m/s)$$

där
v = *flödeshastighet (m/s)*
M = *Mannings tal* ($m^{1/3}/s$)
R = *A/P (m)*
A = *våta arean* (m^2)
P = *våta perimetern (m)*
I = *bottenlutning (höjd/längd)*

Beräkningar med Mannings formel bör göras i områden där strömningen är så likformig som möjligt, det vill säga i områden där bäckens lutning och bottenmaterial är relativt lika över en längre sträcka.

En svårighet vid användandet av Mannings formel är att bestämma Mannings tal. Mannings tal beror av råheten längs bottnen. Enligt Cederwall och Larsen (1976) kan Mannings tal empiriskt antas till 20-35 för strömning över kalt berg. Enligt Sauermoser (2003) kan Mannings tal antas till 7-20 för strömning över kalt berg i naturliga vattendrag baserat på mätningar i Österrike.

Inmätningar av den våta arean och den våta perimetern utfördes i åtta sektioner längs Klockbäcken och i en sektion längs Sågbäcken (för läge, se Bilaga 1). Beräkningar av vattenhastigheten har utförts med Mannings formel med Mannings tal antaget till 15. Resultaten, som presenteras i Tabell 3-4, visar att flödeshastigheten i huvudfårorna troligen var i storleksordningen 2 m/s och något lägre i Sågbäcken och i bäck B1.

Vid en liknande utredning för Mörviksån i Åre kommun (SGI, 2004) beräknades flödeshastigheter vid en inträffad slamström till omkring 3 m/s vid flöde på kalt berg. Medelhastigheten i Mörviksån bestämdes till 2 m/s. Vid mätningar av flöden i två mindre bäckar på Åreskutan av Wilén et al (1993) bestämdes medelvärdet för flödeshastigheten i bäckarnas avrinningsområden

till 0,1 m/s. Dessa bäckars avrinningsområden består av flera våtmarker och små sjöar varför hastigheten är förhållandevis låg.

Baserat på ovanstående har för Klockbäckens avrinningsområde vid vidare analyser följande hastigheter antagits:

- Flöde utanför bäckar: 0,2 m/s
- Flöde i bäckar 2 m/s

Tabell 3-4. Beräkning av flödeshastighet vid högvattenflöde i juli 2006 längs Klockbäcken (Mannings tal = 15).

Antal hundra meter upp-ströms Ånnsjön	*A* (m^2)	*P* (m)	*R*	*I* (°)	*v* (m/s)
82,4-H	3,5	8	0,44	4	2,3
80,5-H	2,6	5,6	0,47	5	2,7
	1,8	6	0,29	8	2,5
	2,1	4,4	0,48	5	2,7
80,0-H	6,3	10,4	0,61	8	4,0
79,7-H	4	12	0,33	8	2,7
Bäck B1: 3,0	1	3	0,33	2,5	1,0
Sågbäcken, punkt S2	2,1	4,4	0,48	2	1,7

3.5 Bestämning av vattenflöde längs Klockbäcken under händelsen

En uppskattning av det maximala flödet i Klockbäcken, till följd av det inträffade regnet, kan göras med den så kallade rationella metoden. Detta är en enkel metod som främst används i urban miljö, men som är tillämplig även i naturliga avrinningsområden. För beräkning med den rationella metoden behövs information om hur stor andel av regnet som bildar avrinning, intensitet för regnet samt storleken på avrinningsområdet. Beräkningen görs enligt:

$$Q = \psi \cdot I \cdot A \qquad (m^3/s)$$

där
Q = *flöde* (m^3/s)
ψ = *avrinningskoefficient* (-)
I = *regnintensitet* (m/s)
A = *avrinningsområde* (m^2)

För att metoden ska fungera måste hela avrinningsområdet bidra till flödet i den plats som beräkningen görs för. Detta innebär att regnet (som antas ha konstant intensitet) måste ha en varaktighet som är åtminstone lika lång som den tid det tar för vattnet i den mest avlägsna delen av avrinningsområdet att nå beräkningsplatsen. Denna maximala rinntid kallas avrinningstid.

Avrinningstiden, T, kan bestämmas empiriskt eller utifrån uppskattade flödeshastigheter för avrinningsområdets olika delar, tillsammans med flödesvägarnas respektive längd. För Klockbäcken har platsen just uppströms vägtrummorna valts för att bestämma maximalt flöde (hm ca. 73). Den längsta rinntiden fås för det vatten som inte når bäcken förrän just uppströms vägtrummorna, och således rinner över mark hela sträckan från avrinningsområdets yttersta del.

Avrinningstiden, med flödeshastighet enligt avsnitt 3.4 och flödessträckan uppskattad från karta, har då beräknats enligt:

$$T = \frac{L}{v} = \frac{3600}{0{,}2} = 18000 \text{ (s)} = 300 \text{ (min)} = 5 \text{ (timmar)}$$

De empiriska formler som finns tillgängliga är framtagna för de förhållanden som råder i Alperna. Dessa formler är inte fullt tillämpliga för svenska förhållanden, men kan dock vara relevanta för jämförelse med den ovan presenterade metoden.

$$\textit{Hampel:}\quad T = 27{,}8 \cdot A^{0,5} = 27{,}8 \cdot 6{,}4^{0,5} = 70 \qquad \textit{(min)}$$

$$\textit{Kreps:}\quad T = 52{,}2 \cdot A^{0,4} = 52{,}2 \cdot 6{,}4^{0,4} = 110 \qquad \textit{(min)}$$

där T = *avrinningstid (min)*
A = *avrinningsområdets storlek(km^2)*

Den stora skillnaden i beräknad avrinningstid, mellan metoden baserad på flödeshastighet och de empiriska metoderna, kan delvis förklaras av att avrinningstiden beräknad med den första metoden är baserad på flöde endast över mark. Eftersom avrinningsområdet emellertid är väl täckt av bäckar är den andel av vattnet som rinner över mark hela vägen ned till vägtrummorna mycket liten. Detta innebär att en stor del av avrinningsområdet bidrar till det maximala flödet även för kortare avrinningstider.

Nederbördssituationen som rådde den 30:e juli 2006 är inte till fullo känd, se avsnitt 3.3. Därför har två nederbördsscenarier använts vid beräkningarna, med både olika intensitet och varaktighet. För vartdera scenariot har den maximala area i avrinningsområde, som bidrar till flödet, beräknats utifrån flödeshastighet enligt avsnitt 3.4 och flödessträckan uppskattad från karta. Vidare har olika värden på avrinningskoefficienten använts, då uppskattningen av denna parameter är mycket osäker, se avsnitt 3.2.5. Flödesberäkningen redovisas i Tabell 3-5.

Tabell 3-5. Bestämning av maximalt vattenflöde utifrån rationella metoden för Klockbäcken den 30:e juli 2006 baserad på rationella metoden.

	Data					
Intensitet[mm/min]	2,7[1]			0,3[2]		
Area [km^2]	1,8			6,4		
Avrinningskoefficient[-]	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4
Flöde (m^3/s)	16	23	31	7	11	14

[1] Nederbördsmängd 78 mm och varaktighet 0,5 timmar
[2] Nederbördsmängd 100 mm och varaktighet 5 timmar

Som Tabell 3-5 visar, bidrar endast omkring 30% av avrinningsområdet till det högsta flödet då nederbördens varaktighet är 0,5 timmar. Trots detta ger beräkningarna med den kortare varaktigheten de högsta flödena. Beräkningarna visar på maximala flöden i intervallet 7-31 m^3/s.

Ett alternativ till rationella metoden, för bedömning av maximala flöden, är beräkning av dessa utifrån så kallade våta areor. Våta areor kan mätas in vid fältundersökning i de fall det finns spår av erosion från de högsta flödena. Inmätning av dessa för några platser längs Klockbäcken, se Tabell 3-4, samt beräkning av maximala flöden utifrån inmätningarna, gav att flödet i vänst-

ra huvudfåran kan uppskattas till cirka 5 m^3/s, i högra huvudfåran till cirka 10 m^3/s och i bäck B1 till cirka 1 m^3/s, se Tabell 3-6. Sammantaget skulle flödet nedströms bäck B1, där alla tre bäckarna har sammanstrålat, ha varit i storleksordningen 15-20 m^3/s den 30 juli 2006. Precis som för rationella metoden är dock dessa flöden behäftade med osäkerheter.

Tabell 3-6. Beräkning av hastighet och flöden baserat på inmätning av våta areor (se även Tabell 3-4).

Antal hundra meter uppströms Ånnsjön	*v (m/s)*	*Q (m^3/s)*
80,5-V	2,7	7,0
	2,5	4,5
	2,7	5,7
82,4-H	2,3	8
80,0-H	4	25,2
79,7-H	2,7	10,8
Bäck B1: 3,0	1	1
Sågbäcken, punkt S2	1,7	3,6

Den sammantagna bilden, från ovanstående två beräkningsmetoder, är att det maximala flödet bör ha varit över 15 m^3/s. Detta är något högre än de12 m^3/s som Bergström (2006) bedömde motsvara ett 50-årsflöde, se avsnitt 3.2.3.

3.6 I avrinningsområdet total mängd avrunnet vatten under händelsen

Såväl vägbanken som järnvägsbanken dämde stora mängder vatten före de kollapsade. Några hundra meter uppströms E14 följer Klockbäcken en 4-5 m djup ravinformation innan den, just före banken, kommer ut i en 150 m bred sänka. Sänkan avgränsas nedströms av vägbanken och åt väster, öster och norr av små höjdryggar. Sänkan var före kollapsen i stort sett fylld med vatten. Inspektion som utfördes av Vägverket efter olyckan visade på spår av gräs 2-4 m upp i trädgrenarna. Även vid SGI:s inspektion kunde spåren noteras, se Figur 3-5, cirka 2-3 m ovan markytan 50 m uppström vägbanken.

Vid SGI:s fältbesiktning mättes områdes geometri in och volymen för sänkan beräknades översiktligt till 125 000 m^3. Dessutom var området mellan banvall och järnvägsvall fyllt med uppskattningsvis 10 000 m^3. Detta ger att alltså minst 135 000 m^3 vatten under regnovädret kom ner till vägen. För att verifiera rimligheten i flödesbedömningen i avsnitt 3.5 kan en bedömning av den totala volymen avrunnet vatten jämföras med denna volym. Den totala mängd regn som föll över avrinningsområdet under det aktuella dygnet var i storleksordningen 500 000-600 000 m^3. En avrinningsserie med flödena 5 m^3/s i 5 timmar, 10 m^3/s i 1 timma, 15 m^3/s i 30 minuter och 20 m^3/s i 1 minut, ger en total avrinning på ca. 155 000 m^3. Liknande storlek på den totala avrinningen fås även då beräkning för Klockbäcken görs med ett program framtaget för nederbördsförhållanden i österrikiska alperna (Kohl, 2009).

Figur 3-5. Gräs i trädgrenar 2-3 m ovan markytan.

3.7 Jämförelse mellan vattenflöden under händelsen bestämda med olika metoder

Den goda överensstämmelsen mellan de olika sätten att bestämma mängden vatten antyder att storleksordningen på beräknade flöden och hastigheter är rimlig.

3.8 Flödeskapacitet för trummorna genom väg- och järnvägsbankar

Genom vägbanken gick innan raset dubbla Ø1200 trummor av betong, och bankhöjden för vägen var ca. 8 m (Ånäs et al, 2006). Beräkning av flödeskapaciteten i trummorna, med en vattennivåskillnad på 1 m mellan uppströms och nedströms vägen, samt en längd på trummorna på 15 m ger en flödeskapacitet på cirka 8 m^3/s för bägge trummorna. Beräkningen är gjord med allmänna friktionsformeln och hänsyn har tagits till in- och utströmningsförluster. Om nivåskillnaden mellan uppströms och nedströms vägen istället är 8 m, vilket skulle kunna motsvara förhållandet just före bankens kollaps, fås motsvarande flödeskapacitet till omkring 22 m^3/s. Detta senare värde förutsätter att banken tål det höga vattentryck den då utsätts för, och ska enbart ses som en teoretisk övre gräns för flödeskapaciteten.

Genom järnvägsbanken gick innan raset dubbla stentrummor 1,2·1,8 m, och bankhöjden var cirka 9 m (Ånäs et al., 2006). Beräkning av flödeskapaciteten i trummorna, med en vattennivåskillnad på 1 m mellan uppströms och nedströms järnvägen, samt en längd på trummorna på 15 m ger en flödeskapacitet på cirka 15 m^3/s för bägge trummorna. Beräkningen är gjord med Mannings formel och hänsyn har tagits till in- och utströmningsförluster (dessa är dock avsedda för rörströmning). Om nivåskillnaden mellan uppströms och nedströms järnvägen istället är 8 m, vilket skulle kunna motsvara förhållandet just före bankens kollaps, fås motsvarande flödeskapacitet till omkring 42 m^3/s. Detta senare värde förutsätter att banken tål det höga vattentryck den då utsätts för, och ska enbart ses som en teoretisk övre gräns för flödeskapaciteten.

Tillståndet för trummorna före händelsen är dock inte känd. Eventuellt kan kapaciteten ha varit ännu lägre om jordmaterial och grenar redan före händelsen fanns i trummorna och om trummorna hade defekter

3.9 Uppskattning av mängden transporterat jordmaterial under händelsen

På grund av områdets geologiska förhållanden kunde vattnet i bäcken lossgöra och transportera stora mängder jordmaterial. (se Avsnitt 3.2.2). Finsand (som ingår i moränen inom området) tillhör en av de mer lätteroderade jordarterna och den skiffriga berggrunden kan skjuvas sönder i plana flak exempelvis av strömmande vatten, se Figur 3-6.

Spår längs bäcken visar på betydande erosionsdjup som på vissa platser uppgår till över 2 m, se Figur 3-7. På vissa sträckor har bäcken eroderat ner till och i berggrunden. Det är dock oklart om det även fanns sträckor där berget var blottlagt före slamströmmen 30 juli 2006.

Avlagringar har ansamlats längs bäckbottnen där lutningen är låg. Inmätning utfördes under fältinspektioner av vissa av dessa massor, se Bilaga 3. I hm 81,0 inmättes exempelvis drygt 500 m^3 och i hm 78,9 inmättes 1500 m^3. Eftersom syftet med uppdraget inte var att dimensionera förebyggande åtgärder utfördes ingen fullständig inmätning av avlagringar.

Figur 3-6. Kärvskiffer eroderad till plana flak(hm 76,3).

Figur 3-7. Djupt nerskuren erosion i finsandig morän (hm 76,0)

Mängden transporterbart jordmaterial kan uppskattas med empiriska formler och beror på jordmaterialets kornstorleksfördelning, flödets storlek och hastighet som i sin tur beror på lutningen längs bäckbottnen. Hampel (1990) har föreslagit en empirisk formel för att beräkna transportkapaciteten då bottenlutningen i bäcken överstiger 5% (motsvarande cirka 2,8^o). Den andel jordmaterial, av högvattenflödet, som kan transporteras beräknas enligt Hampel som:

$$G_T = 250 \cdot I^{1,6}$$

där G_T = *andel jordmaterial som kan transporteras vid högvattenflöde (%)*
I = *bottenlutning (höjd/längd)*

Den totala mängden jordmaterial, G_F (i m^3), som kan transporteras kan beräknas enligt:

$$G_F = \frac{G_T}{100} \cdot HQ \cdot T \ \ (\mathrm{m}^3)$$

där G_F = *mängd jordmaterial som kan transporteras (m^3)*
G_T = *andel jordmaterial som kan transporteras vid högvattenflöde (%)*
T = *regnets varaktighet (s)*
HQ = *högvattenflöde (m^3/s)*

Eftersom transportkapaciteten beror av lutningen längs bottnen innebär det att material som eroderat och transporterats iväg från ett ställe kan avsättas nedströms om lutningen minskar. Det finns, på flera platser, jordmaterial längs åfåran som avsatts av slamströmmen där bottenlutningen är liten. Nedströms dessa platser har bäcken ånyo eroderat och transporterat material där lutningen ökar.

Nivåprofil och lutningar för Klockbäcken uppströms vägtrumman framgår av Tabell 3-7 och Bilaga 5. Lutningarna uppgår som mest till drygt 5° (9%). Bestämning av lutningarna, som baseras på Vägkartan med ekvidistansen 5 m, är dock grov och det framkom vid fältinspektionen att betydligt brantare partier (upp mot 10°) förekommer längs bäcken, se Bilaga 2.

Just uppströms E14 är medellutningen under en sträcka av 300 m omkring 4,7 % (2,7°). Med ett antaget flöde av 20 m^3/s kan mängden material som transporterades till läget för trummorna under E14 uppskattas med Hampels metod enligt:

$$G_T = 250 \cdot I^{1,6} = 250 \cdot 0{,}047^{1,6} = 1{,}9\,\%$$
$$G_F = G_T \cdot HQ \cdot T = 0{,}019 \cdot 20 \cdot 30 \cdot 60 \approx 700 \ \mathrm{m}^3$$

Den mängd jordmaterial som enligt beräkningen nått trummorna uppgår alltså till omkring 700 m^3. Då Hampels formel inte bör användas för lutningar under 5 % är denna beräkning egentligen utanför formelns giltighetsområde. Men då bestämningen av lutningen är mycket grov och ovanstående beräkning endast gjorts i syfte att ge en uppfattning om storleksordningen för mängden transporterbart material, bedöms Hampels formel ändå vara användbar. Betydligt större mängder kan ha transporterats högre upp i bäcken där lutningen är brantare. Exempelvis ger en lutning av 9° (16%) och ett flöde av 15 m^3/s (något mindre flöde på grund av längre uppströms) en jordmängd av drygt 3600 m^3.

Tabell 3-7. Lutning för bottnen längs Klockbäcken uppströms E14 (se även Bilaga 5).

Antal hundra meter uppströms Ånnsjön	*Längd (m)*	*Höjdskillnad*	*Lutning*	
	(m)	*(m)*	*(grader)*	*(%)*
107,0-102,0	500	23	2,6	5
102,0-96,8	520	20	2,2	4
96,8-94,4	240	0	0,0	0
94,4-88,0	640	13	1,2	2
88,0-83,0	500	26	3,0	5
83,0-80,6	240	18	4,3	8
80,6-78,0	260	23	5,1	9
78,0-76,5	120	0	0,0	0
76,5-73,4	300	15	2,7	5

4 ANALYS AV KLOCKBÄCKENS AVRINNINGSOMRÅDE MED METODIK FÖR DETALJERAD UTREDNING AV FARAN FÖR SLAMSTRÖMMAR

Förutsättningar för uppkomst av en slamström i Klockbäcken har analyserats inom detta uppdrag enligt metodik för översiktlig kartering av faran för slamströmmar och enligt metodik för detaljerad utredning av stabilitets- och avrinningsförhållanden i slänter och raviner i grov sedimentjord. Metodikerna finns presenterad av Räddningsverket (2007) och av Rankka & Fallsvik (2005). Den intressanta frågan är huruvida en utredning före olyckan hade pekat ut området som ett riskområde för slamströmmar.

4.1 Översiktlig kartering av faran för slamströmmar

Översiktlig kartering av faran för slamströmmar (se Räddningsverket, 2007) syftar till indela undersökningsområden efter behov av detaljerad undersökning och kontroll med avseende på benägenheten för slamströmmar, erosion och ras i raviner.

Karteringen inleds med en förstudie. I förstudien identifieras, med hjälp av kartor och ett kort fältbesök, bäckraviner i morän eller grov sedimentjord med bebyggelse ovanför, i eller nedanför ravinen. Samtliga bäckar som inte direkt kan avfärdas studeras vidare i Etapp 1a och 1b.

I Etapp 1a görs ett fältbesök till samtliga bäckraviner och flygbildstolkning vid vilka bäckens förhållanden översiktligt bestäms. Förhållanden som då studeras är ravinens utseende, bebyggelsens läge i förhållanden till bäcken, spår från tidigare jordrörelser och lutningsförhållanden.

I Etapp 1b görs en bedömning av benägenheten för slamströmmar som grundas på en sammanvägning av flera faktorer, bland annat förekomst av tidigare händelser, lutningar, avrinningsförhållanden, vegetationsförhållanden och stabilitet för sidoslänter. De olika faktorerna bedöms översiktlig och den slutgiltiga bedömningen är subjektiv.

En översiktlig kartering är utförd för Åre kommun 2004 (se http://www.msb.se). Då ingen bebyggelse är belägen i anslutning till Klockbäcken ingick inte bäcken i de undersökta områdena.

Om bebyggelse hade funnits i anslutning till Klockbäcken är vår bedömning att bäcken skulle valts ut att studeras vidare enligt förstudien, eftersom bäcken gick i en ravinformation längs hm 78 till hm 83 och att spår från erosion fanns även före händelsen. Bäckens utredningsbehov, enligt Etapp1, är svår att bedöma eftersom bäckens utseende före händelsen 2006 inte har studerats annat än med flygbilder. Vår bedömning är att bäcken hade klassats ha ett utredningsbehov men angelägenhetsgraden av utredningsbehovet går dock inte att bedöma i efterhand.

4.2 Detaljerad utredning av faran för slamströmmar

4.2.1 Bestämning av dimensionerande regnintensitet

För att bestämma det högsta vattenflöde som kan uppkomma i Klockbäcken för en viss återkomsttid måste den för avrinningsområdet dimensionerande nederbördens varaktighet och intensiteten bestämmas. Höga flöden i fjälltrakterna kan uppkomma i samband med snösmältning på våren och vid kortvariga, konvektiva regn sommartid. Mätningar av flöden för Klockbäcken finns inte utförda. Därför har vi i denna rapport valt att bestämma dimensionerande flöde baserat på statistik över kortvarig nederbörd.

Dahlström (2006) har presenterad en metod för framtagning av dimensionerande intensitet för kortvarig nederbörd. Metoden baseras på nederbördsdata med hög tidsupplösning från 32 sta-

tioner spridda över landet och som drivs av SMHI och på några kommunala stationer . Regnintensitet för olika återkomsttid och varaktighet enligt metoden presenteras tabellerad i Bilaga 4. För en återkomsttid av 100 år finns intensiteten även presenterad i Tabell 4-1.

Vid kortvariga regn och stora avrinningsområden är det troligt att inte hela avrinningsområdet medverkar till högvattenflödet. Om avrinningshastigheterna i området är kända kan flödet för en viss varaktighet (och därmed intensitet) bestämmas och olika varaktigheter testas för att bestämma det dimensionerande flödet, se avsnitt 4.2.2.

Tabell 4-1. Nederbördsintensitet och nederbördsmängd bestämd enligt Dahlström (2006) för varaktigheter mellan 0,5 och 5 timmar med återkomsttiden 100 år.

Varaktighet (min)	*Intensitet (mm/h)*	*Intensitet (mm/min)*	*Total nederbörd (mm)*
30	95,4	1,6	47,7
40	77,6	1,3	51,7
50	65,8	1,1	54,8
60	57,4	1,0	57,4
120	33,6	0,6	67,1
240	19,2	0,3	76,8
360	13,8	0,2	82,5

4.2.2 Dimensionerande högvattenflöde enligt Rationella metoden

Beräkning av högvattenflöde från regn med olika varaktigheter och intensiteter har utförts enligt rationella metoden. Rationella metoden ger maximala flöden enligt Tabell 4-2, för nederbördsintensiteter presenterade i Tabell 4-1. Andelen av avrinningsområdet som medverkar till flödet vid olika varaktigheter har bestämts överslagsmässigt baserat på flödeshastigheter enligt avsnitt 3.4 och flödessträckan uppskattad från karta.

Tabell 4-2. Högvattenflöde i Klockbäcken just uppströms E14 för olika varaktigheter. Återkomsttid 100 år.

I [mm/min]	1,6			1,2			1,0			0,6			0,3		
T [min]	30			45			60			120			300		
A [km2]	1,8			3,4			4,1			6,3			6,4		
Ψ [-]	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4
HQ	10	15	20	14	21	28	14	21	27	13	19	26	7	11	14

Resultaten från beräkningarna visar att dimensionerande flöde fås vid en varaktighet på omkring 45 min – 1 timma. Med en avrinningskoefficient av 0,2 fås det dimensionerande flödet, *HQ*=14 m^3/s, med en avrinningskoefficient av 0,3 fås 21 m^3/s, och med en avrinningskoefficient av 0,4 fås *HQ*=27-28 m^3/s.

De inom uppdraget utförda beräkningarna är utförda för en återkomsttid på regnet av 100 år. Vid en beräkning med 50 års återkomsttid fås ett högvattenflöde av 16 m^3/s för avrinningskoefficienten 0,3. Detta resultat kan jämföras med de 12 m^3/s som beräknades som ett momentant 50-års flöde av Bergström (2006).

4.2.3 Dimensionerande högvattenflöde enligt VVMB 310

I Vägverkets skrift Hydraulisk dimensionering, VVMB 310 (Vägverket, 2008), anges en metod att bestämma högsta högvattenföring med 50 års återkomsttid. Metoden har använts här i syfte att jämföra resultaten med dem från den rationella metoden, se avsnitt 4.2.2.

För oreglerade vattendrag över naturmark med ett avrinningsområde mindre än 10 km^2 beräknas högsta högvattenföringen enligt följande:

$HHQ_{50} = MHQ_{just} \cdot 3$ *(för områden med en sjöyta mindre än 5%)*

där: $MHQ_{just} = MHQ \cdot f$ *(där f är en korrektionsfaktor för klimatförändringen)*

$MHQ = MQ \cdot k$ *(där k är en korrektionsfaktor för sjöprocent)*

$MQ = Mq \cdot N \cdot 10^{-3}$ *(m^3/s)*

Mq är specifik medelvattenavrinning och fås från karta (l/(s·km^2))

N = avrinningsområdets storlek (km^2)

För Klockbäcken fås högsta högvattenföring enligt följande:

$N = 6{,}4$ km^2

$Mq = 25\text{-}30$ l/(s·km^2)

$MQ = 0{,}16$ m^3/s

$MHQ = 0{,}16 \cdot 15{,}5 = 2{,}5$ m^3/s

MHQ_{just} *sätts i detta fall lika med MHQ då klimatförändringen inte har tagits hänsyn till i övriga delar av rapporten*

$HHQ_{50} = 2{,}5 \cdot 3 = 7{,}5$ m^3/s

I rapporten står att vid mindre avrinningsområden, speciellt i sjöfattiga områden kan momentat toppflöden erhållas som är högre än HHQ. Dessa toppflöden kan bestämmas genom att multiplicera HHQ med en faktor=1,7 då avrinningsområdet är kring 10 km^2 och inga sjöar finns i området.

$HHQ_{50,\ topp} = HHQ_{50} \cdot 1{,}7 \approx 13$ m^3/s

Resultatet är något lägre än de värden som räknats fram med rationella metoden, se avsnitt 4.2.2, men ändå i samma storleksordning.

4.2.4 Bäckens kapacitet att transportera jordmaterial

Beräkningar har utförts av transportkapaciteten av jordmaterial för ett högvattenflöde just uppströms E14. Beräkningarna är gjorda enligt Hampels metod, se avsnitt 3.9. Resultaten redovisas i Tabell 4-3. Som framgår att tabellen kan mellan 700 och 1300 m^3 antas transporteras till trummorna vid högvattenflöde.

Tabell 4-3.Klockbäckens kapacitet att transportera jordmaterial just uppströms E14.

Flöde (m^3/s)	*Lutning (%)*	*G_T[1] (%)*	*Varaktighet (min)*	*G_F[2] (m^3)*
14	4	1,5	50	650
21	4	1,5	50	950
28	4	1,5	50	1250

[1]G_T = andel jordmaterial av högvattenflödet (%)
[2]G_F = total mängd jordmaterial som kan transporteras av högvattenflöde (m^3)

Vid fältinspektion längs en bäckfåra bör tillgänglig mängd jordmaterial för transport av en slamström bedömas. Begränsande för möjligheten till erosion är exempelvis avsaknad av jord då bäcken rinner över kalt berg, där jordtäcket är tunt eller där sidoslänterna bedöms stabila. Vid fältinspektionen längs Klockbäcken konstaterades att jordtäcket varierar längs bäcken. På många ställen finns stora mängder material tillgänglig för slänterosion, se Figur 4-1. Men även där bäcken rinner över kalt berg (exempelvis mellan hm 79 och 80 samt mellan hm 82 och 83) kan stora mängder material eroderas eftersom även berggrunden i området är lätteroderad.

Figur 4-1. För slamströmmar tillgängligt jordmaterial i sidoslänter.

4.2.5 Slutsatser från detaljerad analys av faran för slamströmmar längs Klockbäcken

Utförda beräkningar visar att det dimensionerande högvattenflödet just uppströms E14 fås vid en varaktighet för nederbörden av cirka 50 minuter. Med en återkomsttid av 100 år fås ett högvattenflöde på 14, 21 respektive 28 m^3/s för medelavrinningskoefficienter 0,2; 0,3 respektive 0,4.

Enligt beräkningar hade trummorna under E14 (se avsnitt 3.8), en avbördningskapacitet av 8 m^3/s totalt för bägge trummorna (beräkning utförd med en nivåskillnad mellan uppströms-

och nedströmssidan av 1 m). Således var avbördningskapaciteterna genom trummorna för låga jämfört med beräknade högvattenflöden.

Omkring 1000 m^3 jordmaterial uppskattas kunna transporteras till E14 av Klockbäcken vid ett högvattenflöde. Detta jordmaterial kan täppa igen trummorna och orsaka översvämning uppströms trummorna och eventuell kollaps av vägbanken. Bankarnas höga höjd, 8 m, medverkar till att konsekvenserna av en igentäppning av trummorna blir stor.

Det framräknade dimensionerande flödet är ungefär lika stort som det flöde som från fältinspektion och beräkningar kan antas ha förekommit under händelsen 2006. Dock gav beräkningarna av den dimensionerande nederbörden en längre varaktighet än vad vittnesmål angav som varaktighet för det kraftiga regnet den 30 juli 2006. Av denna anledning ger beräkningarna en större mängd jordmaterial som kan transporteras av högvattenflödet än vad som beräknades för händelsen 2006. Det bör påpekas att beräkningar av transporterbar jordvolym är mycket överslagsmässiga.

Beräkningar enligt befintlig metodik visar att Klockbäcken hade förutsättningar för slamströmmar och att vägbank och järnvägsbank troligen hade bedömts ha för låga avbördningskapaciteter, om en utredning hade gjorts före olyckan.

Det bör påpekas att i samband med slamströmmen 2006 lossgjordes och transporterades stora mängder jordmaterial. Materialet ligger nu avlagrat längs och vid sidan av bäckbottnen på många platser uppströms E14. Vid ett nytt högt vattenflöde kan dessa massor åter sättas i rörelse och nå läget för trummorna.

5 DISKUSSION KRING BEFINTLIG METODIK FÖR ÖVERSIKTLIG OCH DETALJERAD UTREDNING AV FARAN FÖR SLAMSTRÖMMAR

I Sverige utförs på uppdrag av MSB översiktlig kartering av stabiliteten i raviner och slänter i morän och grov sedimentjord för bebyggda områden (se Räddningsverket, 2007). Denna kartering utförs kommunvis. I den översiktliga karteringen görs inga beräkningar av dimensionerande flöden utan bestämning av faran för slamströmmar baseras på en subjektiv bedömning.

Eftersom MSB inte har som uppgift att inventera risker utanför bebyggda områden, bör riskerna för infrastrukturen inventeras separat av respektive huvudman, det vill säga av Trafikverket.

Detaljerad utredning av faran för slamströmmar kan utföras enligt metodik föreslagen av Rankka & Fallsvik (2005). Metodiken har tidigare använts vid analys av förhållanden i Mörviksravinen, Åre kommun (utförd 2003, se SGI, 2004) och i Kittelfjäll, Vilhelmina kommun (utförd 2009, se SGI, 2009).

I föreliggande uppdrag har ingått att verifiera dessa metodiker och att eventuellt ge synpunkter på förändringar.

5.1 Viktiga slutsatser av händelsen i Ånn, 2006

Från analysen av händelsen i Ånn kan konstateras att det var flera faktorer som påverkade möjligheten till uppkomst av en slamström och som bidrog till olyckan. Kollapsen av bankarna kunde fått mycket allvarliga konsekvenser och det var exempelvis nära att tåget mellan Östersund och Trondheim hade kört ner i hålet efter den bortspolade banken.

Nedan följer några slutsatser som kan dras från analysen av händelsen i Ånn avseende metodik för översiktlig och detaljerad utredning av faran för slamströmmar.

Urval av områden där slamströmmar kan uppstå

Vid urval av områden som kan anses ha förutsättningar för uppkomst av slamströmmar bör flera delar av bäcken studeras. Det räcker inte med att kontrollera endast en punkt. En bäck kan se ofarlig ut vid en första anblick, men helt olika förhållanden kan råda vid andra delar av bäcken.

Bankens höjd och material

Vägbankens respektive banvallens höjd spelar en avgörande roll för hur allvarliga konsekvenserna kan bli av en slamström. I den till Klockbäcken intilliggande Sågbäcken uppstod också höga flöden och materialtransport den 30 juli, 2006. Någon detaljerad undersökning av de maximala flödenas storlek har inte gjorts för Sågbäcken, från fältobservation bedömdes dock dessa varit mindre än i Klockbäcken. Där Sågbäcken korsar väg och järnväg är bankarna endast någon meter höga, varför vattnet kunde strömma över vägbanan då trummorna genom vägbanken inte kunde avbörda hela flödet. Överströmning av väg och järnväg kan orsaka erosion i bankslänterna, speciellt då vägen har en tydlig lågpunkt och vattnet strömmar över en liten bredd. Men även om vägbanken vid Sågbäcken hade spolats bort bedöms de potentiella konsekvenserna från denna händelse varit mindre än motsvarande vid Klockbäcken, där bankarna är högre.

Det jordmaterial som banken är uppbyggd av har betydelse för vilken påverkan höga flöden kan ha. Eftersom bankarna i Ånn var uppbyggda av erosionskänslig, finkornig morän kunde

vattenflödet orsaka inre och yttre erosion av bankarna som tillsammans med det höga trycken från det dämda vattnet orsakade bankarnas kollaps.

Författarna föreslår därför att Trafikverket bör översiktligt analysera faran för slamströmmar för alla bankar i erosionskänslig jord och för bankar till vilka vatten leds från vattendrag som går i ravinformationer.

Åfårans läge i terrängen

Förhållanden längs Klockbäcken före händelsen har endast studerats från flygbilder tagna 1985. Från dessa framkom att det längs Klockbäcken före olyckan fanns ravinformade delar framförallt mellan hm 79 och 85 (speciellt i vänster fåra med även i höger), se Figur 5-1. I dessa delar fick vattnet en hög hastighet och förorsakade därmed kraftig erosion och materialtransport. Längre nedströms, där bäcken inte längre går i någon djupt nedskuren sänka och lutningen planar ut, finns betydande mängder avlagrat material, se Figur 5-2 och Figur 5-3. Även ovanför kraftledning fanns små sänkor och ravinformationer före händelsen som bäcken flöt igenom. I dessa formationer har också erosion och materialtransport skett under händelsen 2006.

En djup åfåra innebär att det finns möjlighet till en koncentration av vatten och därmed en hög hastighet. Vid grunda fåror svämmar bäcken istället över sina bräddar och hastigheten minskar. Partier med djupt nedskurna fåror/ravinformationer bör därför ägnas speciell uppmärksamhet. Flygbilder bör studeras för att lokalisera bäckraviner.

Figur 5-1 Klockbäcken nedskuren i hm 80,5V.

Figur 5-2. Stora mängder avlagrat material längs hm 77,0.

Figur 5-3. Avlagrat material längs hm 78.

Lutning längs bäcken

Händelsen i Ånn kunde fått än mer allvarliga konsekvenser om bäckens lutning just uppströms vägbanken hade varit högre. Lutningen var i denna del cirka 5 % (2,7°) men betydligt brantare partier fanns längre uppströms.

Längslutningen för bäcken påverkar vattnets hastighet och jordmaterialets stabilitet. Vid hög lutning ökar flödet samtidigt som materialets stabilitet minskar. Höga flöden och materialtransport kan uppstå för vissa branta delar längs bäckfåran för att längre nedströms minska om lutningen minskar. Stor materialtransport kunde konstateras längs Klockbäcken framförallt mellan hm 78 och 83,5 där lutningen också är som störst, omkring 3-10°. Bäckens lutning 4-500 meter uppströms platsen av intresse bör studeras extra noggrant.

Jord och bergs eroderbarhet

Jord- och berglagrens eroderbarhet längs åfåran har betydelse för den mängd material som kan lossgöras och transporteras vidare. Längs Klockbäcken förekommer bergrund bestående av lätteroderad skiffer. Detta innebar att, förutom jordmaterial, även stora mängder bergmaterial kunde eroderas och transporteras längs bäckfåran.

Förekomst av myrmarker

En stor andel, drygt hälften, av Klockbäckens avrinningsområdet består av myrmarker (se Bilaga 1). Jordlagrens tjocklek är dessutom begränsad på många ställen. Efter regniga perioder är därför möjligheten för magasinering av ytterligare nederbörd i myrmarkerna låg. Då grundvattenytan låg högt före den kraftiga nederbörden den 30:e juli, se avsnitt 3.3, rann stora delar av nederbörden som kom över myrmarkerna vidare direkt ner i bäckarna. Flödet i bäckarna blev därmed stort.

Myrmarker i kombination med tunna jordlager kan vara problematiska vid långvarig nederbörd eller vid kraftig nederbörd efter en längre, våt period. Myrmarkernas utbredning bör därför studeras och de kan exempelvis identifieras på topografisk karta och från satellitbilder och infraröda bilder.

Avrinningsområdet storlek och utseende i plan

Klockbäckens avrinningsområdet har en yta av cirka 6,4 km^2 och ett rektangulär utseende, se Figur 3-1. Bäckens huvudfåra går från nordväst till sydost i områdets östra del. Avrinningstiden varierar därför inom området, och vid kortvariga regn kommer inte hela avrinningsområdet att medverka vid ett högvattenflöde. Vid beräkning av nederbördens dimensionerande varaktighet, se avsnitt 4.2.2, framkom att en varaktighet av 45-60 min var dimensionerande och att då medverkar mellan 3,4 och 4,1 km^2 (cirka 50-65%) av avrinningsområdet till avrinningen.

Avrinningsområdets storlek och utseende i plan samt bäckarnas läge och utbredning inom avrinningsområdet har således betydelse för avrinningsförloppet. Detta måste beaktas vid analyser.

5.2 Synpunkter på befintlig metodik

Baserat på erfarenheter erhållna vid analys av händelsen i Ånn ges följande synpunkter på befintlig metodik för utredning av faran för slamströmmar.

5.2.1 Översiktlig kartering

Vår bedömning är att om en översiktlig kartering utförts enligt befintlig metodik skulle Klockbäcken ha bedömts ha ett utredningsbehov, se avsnitt 4.1. Dock är det vid bedömningen viktigt

att bäckens och avrinningsområdets förhållanden studeras inte enbart i en punkt utan i flera punkter belägna i kritiska delar av området.

5.2.2 Detaljerad utredning

Den metodik för detaljerad utredning av faran för slamströmmar som använts för Klockbäckens avrinningsområde, se avsnitt 4.2, bedöms inte ha några större brister eller sakna någon väsentlig del. Dock kan ett antal förtydligande göras vad gäller omfattning och vikt av några bedömningar. Dessa presenteras nedan.

Hotade objekt
De hotade objektens sårbarhet och läge bör bestämmas. Exempelvis ger det större konsekvenser om en vägbank rasar än om den överspolas. Likaså ger det större konsekvenser om ett hus rasar än om det översvämmas. Därför att det väsentligt att bedöma objektets läge i förhållanden till partier längs bäckfåran som kan erodera och transportera material

Dimensionerande nederbördens varaktighet och intensitet
Nederbörd med minst 100 års återkomsttid bör väljas vid bedömning av den dimensionerande nederbörden. Hänsyn bör även tas till klimatförändringarna som för många delar av Sverige bland annat tyder på intensivare och rikligare nederbörd.

Vidare bör, vid bestämning av dimensionerande varaktighet, avrinningsområdets utseende och avrinningshastigheter i olika delar studeras. För stora avrinningsområden kommer inte hela avrinningsområdet att medverka till högvattenflödet.

Jordlagrens förmåga att magasinera vatten
Vid bedömning av avrinningskoefficienter bör jordlagrens förmåga att magasinera vatten analyseras. Stora områden med myrmarker och tunna jordlager minskar möjligheten till magasinering och ökar därmed avrinningskoefficienten. Däremot innebär förekomst av sjöar och tjärnar att möjligheten till magasinering ökar.

Bergs eroderbarhet
Förutom jordlagrens bör även berggrundens eroderbarhet bedömas. Lätteroderad berggrund kan ge stora mängder transporterbart material.

Bäckfåran
Bäckfårans längslutning och förekomst och läge av en djup åfåra eller ravinformationer är viktiga att kartlägga. Bäckens längslutning uppströms hotade objekt är speciellt viktig.

REFERENSER

Alexandersson, H., och Eggertsson-Karlström, C., (2001). Temperaturen och nederbörden i Sverige 1961-1990. Referensnormaler – utgåva 2. Meteorologi, nr 99. SMHI, Norrköping.

Alexandersson, H., (2006). Väder och Vatten, september 2006. SMHI, Norrköping.

Bergström, S., (2006). Hydrologisk utredning av raset vid Ånn. SMHI Rapport, Nr. 2006-51. Norrköping.

Borgström, I., (1979). Geomorfologiska kartbladet 19C Storlien. Beskrivning och naturvärdesbedömning. Naturvårdsverket Rapport snv pm 1144. Solna.

Cederwall, K., Larsen, P., (1976). Hydraulik för väg- och vattenbyggare. Liber Läromedel, Malmö.

Dahlström, B., (2006). Regnintensitet i Sverige – en klimatologisk studie. VA-Forsk-serien: nr 2006-26. Svenskt vatten AB. Stockholm

Eriksson, J., (2009). Personlig kontakt. Timmerkojan, Ånn.

Hampel, R., (1990). Geschiebefracht und Geschiebetrieb, WLV Zeitschrift 114, August 1990, 54 Jahrgang.

Kohl, B., (2009). Personlig kontakt. Innsbrucks Universitet. Innsbruck.

Lundqvist, J., (1969). Beskrivning till jordartskarta över Jämtlands län. Serie Ca 45. Sveriges geologiska undersökning, Uppsala.

Markart, G., Kohl. B., Soiter, B., Schauer, T., Bunza, G., Stern, R., (2004). Provisorische Geländeanleitung zur Anschätzung des Oberflächenabflusses auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen. Research Report. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. BFW-Dokumentation: Schriftenreihe des Bundesamtes und Rutschungs zentrums für Wald, Wien.

Rankka, K., Fallsvik, J., (2005). Stability and run-off conditions - Guidelines for detailed investigation of slopes and torrents in till and coarse-grained sediments. Rapport 68. Statens geotekniska institut. Linköping.

Räddningsverket (2007). Översiktlig kartering av stabilitets- och avrinningsförhållanden i raviner och slänter i morän och grov sedimentjord. Rapport P21-484/07. Räddningsverket, Karlstad.

Sauermoser, S., (2003). Personlig kontakt. Forsttechnischer Dienst für Wildbach und Lawinen Verbauung, Section Tirol, Innsbruck, Österrike.

SGI (2004). Detaljerad utredning av stabilitets- och avrinningsförhållanden i Mörviksravinens avrinningsområde, Åre. Uppdrag av Åre kommun. Statens geotekniska institut, diarienummer 2-0309-0544. Linköping.

SGI (2009). Detaljerad utredning av stabilitets- och avrinningsförhållanden i Kittelfjäll, Vilhelmina kommun. På uppdrag av Vilhelmina kommun. Statens geotekniska institut, diarienummer 2-0805-0427. Linköping

Sjöstrand, T., (1999). Berggrundskartan 19C Storlien NO. Skala 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning, Serie Ai nr 107. Uppsala.

Tidningarnas Telegrambyrå (2006). Bara turen räddade tågpassagerare. Nyheter från TT, 2006-07-31.

Vägverket (2006). Videofilm inspelad av privatperson som befanns sig vid olyckan. Vägverket, Borlänge.

Vägverket (2008). Hydraulisk dimensionering, VVMB 310. Publikation nr 2008:61. Borlänge.

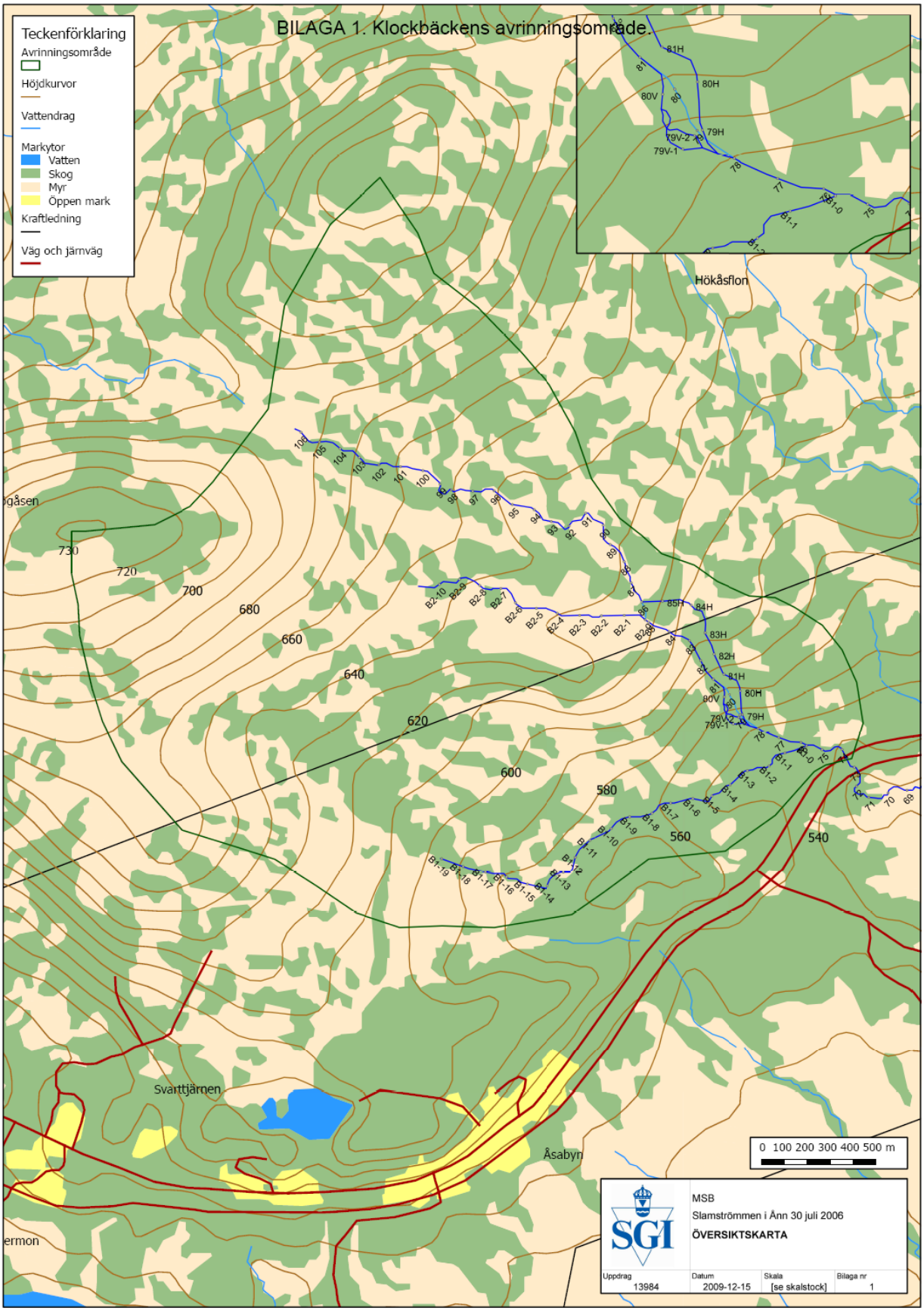
Vägverket konsult (2006). Väg E14. Ras vid Timmerkojan, Stor-Klockbäcken. Film inspelad 2006-09-04 av P Hjortsberg. Vägverket konsult.

Wilén, P., Eurenius, L., Anderberg, J., (1993). Avrinning och erosion i Åredalen. Slutrapport. VBB Viak AB och Geo Information consult AB.

Ånäs, M., Håkansson, S., Bashiry, E., Johansson, S., Berg, K-O., (2006). Orsakerna till rasen av väg E14 och järnvägen mellan Östersund och Storlien i Ånn söndagen den 30 juli 2006. Vägverket, Region Mitt.

Östersunds-Posten (2006). Störtskurar inte hela förklaringen till raset. Artikel 2006-08-02.

BILAGA 1. KLOCKBÄCKENS AVRINNINGSOMRÅDE UPPSTRÖMS E14



BILAGA 2. FÄLTINSPEKTION: BESKRIVNING OCH INMÄTNINGAR

Östra delen av avrinningsområdet

Punkt	Beskrivning	Lutning, volymer, djup	Inmätning våtarea
Söder 001	Första 100 m: myr, blött, enstaka granar och vide		
001	Gran, lövträd (mest björk). Något torrare än tidigare.		
Strax norr 001	I alla sänkor blött. Orkidéer, tätört (förekommer i hela Sverige på fuktig mark, virtuella floran).	0,5 m lösjord	
A1	Höjd, något torrare. Blåbärsris, björk, gammal granskog.		
001-002		0,7 m lösjord	
002	Myr, blött i alla sänkor s om rännor	0,8 m lösjord	
003	Hyggeskant. Gran, björk, ris, relativt torrt		
85,0H till A1	Omväxlande myrar och höjder		
007	Myr, något torrare, liten bäck		
008	Liten bäck. Viss bottenerosion, av-lagring i och vid sidan av bäck.	5 ^{o} där erosion	
009	Myr. Gräs, viden		
Bäckdelare	Myr, vattensamlingar, mycket blött. Gräs, ängsull.		

Sågbäcken

Punkt	Beskrivning	Lutning, volymer, djup	Inmätning våt area
S2 tillS3	Avsatt material i kurva		
S2	Våt sektion		Våt area : B=3, d=0,7 rektangel. 2 ^{o}. På berg.
S2-S1	Sidoslänter 6 m, 33 ^{o}. 11 ^{o} vid gam-mal såg. Sten upp på bankar 2-3 ^{o}. Erosion vid 4 ^{o}		
S1	Ny fåra. 12 ^{o} ned mot dammen. Efter brant parti avsättning. Träd och stora block avsatta.	12 ^{o}	
50 m ned-ströms S1	Nedströms damm.	2 ^{o}	
E14	Inget material ned till vägen. E14 översvämmades dock. Tog lång tid före vattnet stod över vägbanan.		

Huvudbäck

Antal hundra meter uppströms Ånnsjön	Beskrivning	Lutning, volymer, djup	Inmätning våt area
105,0	Bäckstart. Myr, gräs, ängsull, låga träd, bred sänka, ingen erosion.	8 ^{o}	
104,0	Liten meandrande bäck i sänka		
101,0	Två bäckars sammanflöde (en parallell bäck enl flygbilder). Myr övergår i skog. Bottenerosion 1,2 m. Avlagring vid sidan av bäck.	Erosion vid 4 $^{o.}$	
100,5	Skogsbeklädd myr. Avlagringar vid sidan om bäck.		
100,0	Bottenerosion, lite brantare		
99,4	Två bäckar sammanflöde. Ingen erosion eller avlagring		
99,0	Botten och bankerosion.	4 ^{o}	
98,0	Ras i kurva och nedanför avlagrat vid sidan av bäck.		
96,0	Erosion då bäck i sänka och därefter avlagring då sänka försvann.		
95,0	Ingen erosion eller avlagring. Lugn bäck.		
89,0	Erosion		
87,0	Avlagringar		
86,0	Ras och uppfläkt grässvål i kurva Gräs, örter, ris, gran, björk. Inga sidoslänter på vänster sida. 1,5 m bred bäck, 0,5 m djup erosion före kurva..		
85,0H	Renspolat berg i sänka	4 ^{o}	
84,6H	Flacka sidoslänter. Erosion till berg 4 ^{o} Nedströms litet ras och direkt avlagrat mkt mtrl 0 ^{o}	Bäck b= 3m, d=1 m.	
84,4H-83,4H	Erosion och avlagring om vart annat. Massor långt från bäck (15-20 m) sten och block.	0,5-1°	
84,4H	Inga sidoslänter. Lugn bäck. Material uppifrån stannat här. Avsatt mot träd	3 ^{o}	
84,35H	Avsatt material	0,5-1°	
84,3H	Mosse, dvärgbjörk, gräs, vide. Bottenerosion. Inget material transporterats härifrån förbi kraftledning.		
83,7H	Mosse, plant, liten bäck, inga sidoslänter, ingen erosion	2-3°	
83,4H	Under kraftledning. Bäck eroderat. Bro förstörd 2006. Ny kraftledning under byggande.	Bäck b=5 m, d=4 m. 1 ^{o}	
83,3H	Bäckfåra vid kraftledning. Erosion: botten och bank.		
83,2H	Bottenerosion, 0.5 m djupt		
83,1H	Stora block avsatta		
83,0H	Ras i hög slänt	H=5-6 m, 40 ^{o} 3 ^{o}	
82,6H	Blocklevée.	4 ^{o} .Storlek block, 1*0,5*0,15	

Huvudbäck

Antal hundra meter upp-ströms Ånn-sjön	Beskrivning	Lutning, volymer, djup	Inmätning våt area
82,4H	Erosion till berg. Ras. Våt sektion		Våt area : B=7, d=0,5 rektangel. Berghäll 4 ^{o}
82,1H	Avlagring i bakvatten. 3 m bred bäck		Avlagring i bakvatten. 3 m bred bäck
81,7H	Våt sektion ej på kalt berg. Sido-slänter 5 m, 35 ^{o}	4 ^{o}.	B=8, d=1,5 triangel
81,6H	Bred bäck 4m, erosion. Bankero-sion 2 m.	4 ^{o}	
81,5H	Slänter planar ut. Bottenerosion.		
81,2H	Kraftig kurva ras 4*3*30 m. Ren-spolat på berg tom 80 nedströms.	8 ^{o}	
81,2H	Våt sektion		Våt area : B=7, d=0,7 rektangel. 1,5 ^{o} på avlagrat
81,0H	Avlagrat mycket material. Område kalhugget.	B=20, l=50, d=0,5 m.	
80,8H	Sidoslänter 4 m, 25 ^{o}. Inte nederoderat till berg.		
80,5H	Bäck avsmalnat 2-3 m bred, 1 m djup. Brantare. 3-4 m sidoslänter 25-30 ^{o}	3 ^{o}	
80,0H	Våt sektion		Våt area : B=9, d=0,7 rektangel. Kantig berghäll 8 ^{o}
79,7H	Våt sektion. Eroderat ca 1 m till berg ytterligare ca 70 m med 10 ^{o,} inget deponerat, slutar strax ned-ströms 041.	10°	Våt area : B=10, d=0,8 triangel. Kantig berghäll 8 ^{o}
79,1H	Just nedströms finns avsatt materi-al. Material avsatt 2,5 m upp ovan bankar, även stora stenar. Eroderat 2 m djupt.	2 ^{o,} 4-5 ^{o}	
78,8H	Avsatt material, även stora stenar, 2,5 m ovanför bäckfåran. 2m djup erosion.	4 ^{o} såväl erosion som deposition	
78,4H	Sammanflöde två bäckar. Avsatt material, både fin och grov. Ev dämning.	2 ^{o} Levée: l=100, b=10, d=1,5	
77,4H	Avsatt material, fint och grovt. Om-kullfallna träd. Viss slänterosion. Dämt mot träd.		
77,2H	Ras. Avsatt material, erosion i yt-terkurva	b=8, d=0,3 l=10	
76,7H	Släntras. 1 m^3 stenar flyttats >10 m.	Ras h=3, l=25, b=5	
76,0H	Avlagringsområde, dämt mot träd.	0-1 ^{o} Levée: 2*15*10	
75,8H	Bäck svänger åt öster. Material avsatt före sväng. Myr öster.		

Huvudbäck

Antal hundra meter uppströms Ånnsjön	Beskrivning	Lutning, volymer, djup	Inmätning våt area
75,0H till 73,8H	Avsättningsområde då vattnet dämde men även transportområde. Spår på träd då vattnet dämt. Area bestämt för beräkning av volym vatten före vägkroppen kollapsade		
73,8H	Material avsatt efter ombyggnad, grus och sten. Inget material i trummor.	1 ^{o}	Trummor Ø= 2m. Flödet 090630 uppskattades till 8 l/s.
72,5H	Avsatt material, eroderat botten och bank. Bankerosion 1,5 m. Avlagring d=1,5 m.	Bredd bäck=15 m,	
71,3H	Avsatt material i stor mängd. Stora stenblock från trumma under banvall > 3 ton	Avlagring: d=1 m, b=15-20 m. 1 ^{o}	
70,5H	Träd avsatta och begravda. Många stående träd dött pga avsatt material.		
70,4H	Brett med avsatt material, mest fint. Många avsatta träd. Bäck avsmalnat till 2m.	Avlagrat: b=20-30 m, d=0,5-1 m	
68,0H	Träd och material avsatt på bankarna. Bäck ca 2 m bred. Nedströms troligen endast finmaterial. Meandrande bäck.		
38,0H	Tre trummor under Klockarvägen. Avsatt material i trummor och nedströms. Området var översvämmat 2006. 50 cm av vägen spolades bort.		

Bäck B2 samt huvudbäck vänster (7800-8500

Antal hundra meter upp-ströms Ånn-sjön	Beskrivning	Lutning, volymer, djup	Inmätning våtarea
B2-0	Avsatt material	1*2*0,2 m 1°	
B2-1,0	Erosion 0,2 m		
80,5V	Eroderat till berg 60 m. Bottenero-sion > 1m. Ras i branta slänter, 5-7 m höga. 40°.	5 -8°	Våt area 1: B=5, d=0,7 triangel, 8°. Våt area 2: B=4,3, d=0,6 rektangel, 5° Våt area 3: b=3, h=0,7 rektangel 5° Lutande sväng: b=4,3 h1=0,4, h2=1,2 R=?
80,2V	5 m sidoslänter, 40°, erosion till berg		
79,9V	Liten bäck åt öster. Mest deposition mellan 018 och 022. Avsatt b=3, d=0,5 m. Träd och stora block	3°	
79,5V1	Sammanflöde liten östlig del.		
79,2V1	Avsatt material pga dämning	7*1,5*0,5m 8°	
79,0V1	Huvudbäck för västra delen. Avsatt och erosion i sväng.	10°	
79,0V2-79,902	Små östliga förgreningar. Inget vatten idag.		

Bäck B1

Antal hundra meter upp-ströms Ånn-sjön	Beskrivning	Lutning, volymer, djup	Inmätning våt area
B1-4,0	Meandrande, inga branta sidoslän-ter, kärr, gran, björk, gräs, botten-erosion. Lika i stort sett hela vägen.	Bäck 1*0,5 m 1°. Vatten hållit sig i bäcken.	
B1-3,0	Erosion botten. Våt area		Våt area : B=2, d=0,5 rektangel. 2,5°
B1-2,5	Sväng. Planar ut. Avsatt 1*3*0,1		
B1-1,5	Sidoslänter. Ras högra sidan. Viss andel material fortsatt nedåt. Avsatt 7*2*0,6 m utanför bäck i innerkurva. Kalspolat just nedan.		
B1-1,0	Ras väster sida. Allt avsatt där. Erosion nedströms, avsatt ovan bankslänter – tyder på högt flöde.	2°	
B1-0,4	Sväng, plant, avsatt material från huvudfåran.		

BILAGA 3. FOTON TAGNA UNDER FÄLTINSPEKTION LÄNGS KLOCKBÄCKEN I JUNI 2009

Punkt 002. Typisk myr inom avrinningsområdet.

Punkt 003. Ungskog med undervegetation av ris.

Hm 105,0. Blöt myr där Klockbäcken rinner upp.

Hm 86,0. Transporterat jordmaterial avsatt vid sidan om bäckfåran.

Hm 83,5. Erosion längs bäckbotten och sidoslänter just nedströms kraftledning.

Hm 83,3. Block avsatta i bäcken.

Hm 81,0. Kraftig erosion i sidoslänt där bäcken gör en kraftig sväng.

Hm 80,5 V. Slänt- och bottenerosion i vänstra bäckförgreningen.

Hm 78,5. Avsatt material längs bäcken.

Hm 78,2. Sammanflöde vänstra och högra bäckförgreningarna.

Hm 77,0. Stor mängd avsatt material.

Hm 76,7. Erosion i kurva.

Hm 75,8. Avsatt jordmaterial.

Hm 72,5. Avsatt jordmaterial.

Hm 73,0. Erosion nedströms banvall. (kort taget 2007)

Hm 70,4. Förödelse nedströms banvall.

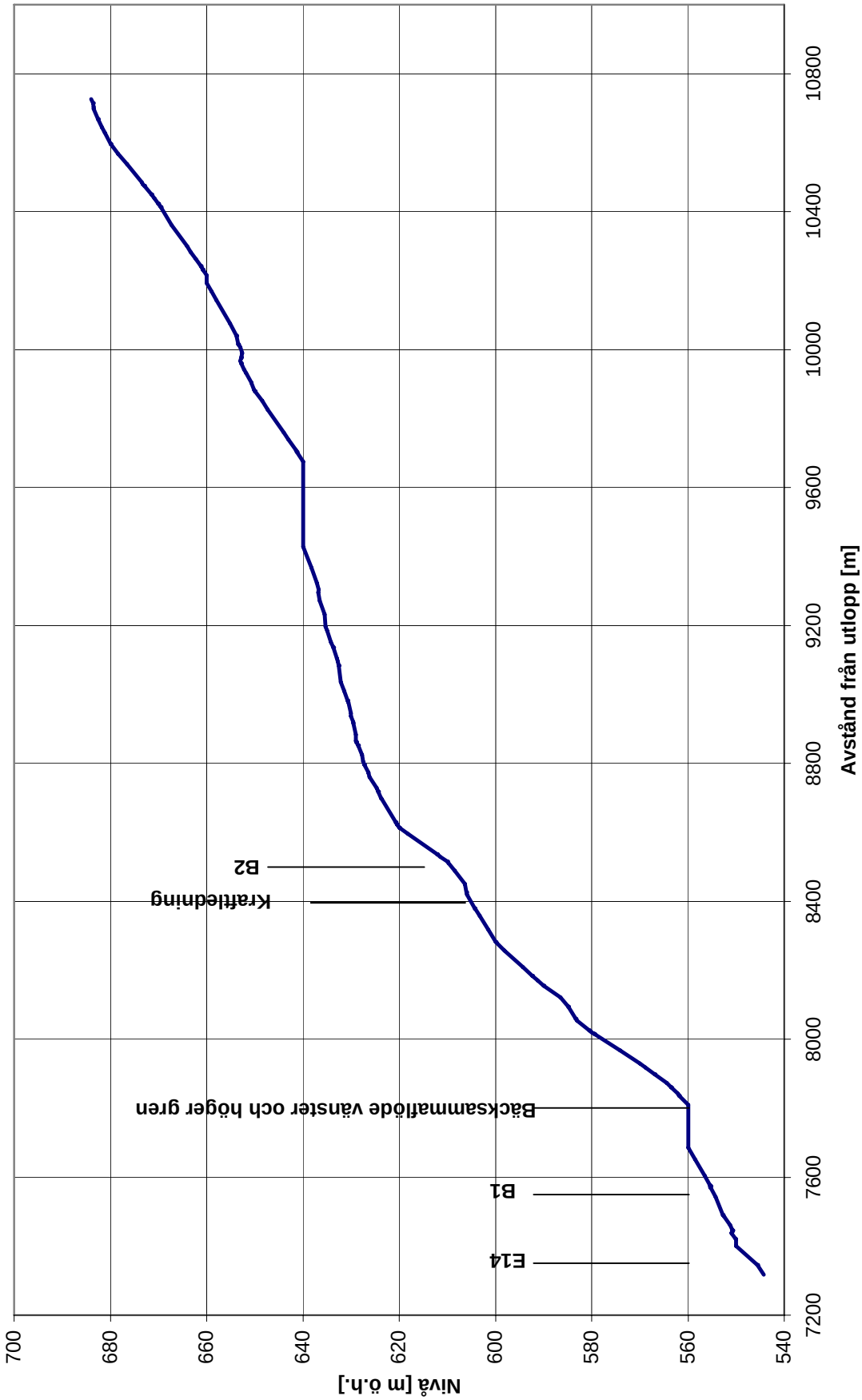
Tabell C-2. Regnintensitet – varaktighet: Korrigerade värden.

Formeln $R_{ij} \approx 200\tau_i^{1/3} \ln(\Delta t_j)/\Delta t_j$ *, formel (8) har justerats för 10% vindförlust. Formeln baseras på data från 47 orter i Sverige.*

Värden i tabellen är korrigerade för systematiska underskott i mätdata orsakade av förluster på grund av vind, instrumentfel m.m. Korrektionen innebär ett tillägg av 10 % på nederbördsmängder samt motsvarande justering av regnintensitetsvärden. Siffror med röd färg (understrukna) har extrapolerats med formeln och är därför osäkrare än siffror med grön färg.

Återkomsttid	Varaktighet																				
	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min	40 min	50 min	1 tim	1½ tim	2 tim	4 tim	6 tim	8 tim	10 tim	12 tim	24 tim	36 tim	48 tim	96 tim
1mån, mm	1,4	2,1	3	3,6	4	4,2	4,5	4,9	5,2	5,4	5,9	6,3	7,2	7,8	8,1	8,4	8,7	9,6	10,1	10,5	11,4
1 mån, l/s ha	80,6	70,8	50,7	39,7	33	28,3	24,9	20,3	17,2	15	11	8,8	5	3,6	2,8	2,3	2	1,1	0,8	0,6	0,3
3mån, mm	2,1	3,1	4,4	5,2	5,7	6,1	6,5	7	7,4	7,8	8,6	9,1	10,4	11,2	11,7	12,2	12,5	13,8	14,6	15,2	16,5
3 mån, l/s ha	116,2	102,1	73,1	57,3	47,5	40,9	36	29,3	24,8	21,7	15,9	12,7	7,2	5,2	4,1	3,4	2,9	1,6	1,1	0,9	0,5
6 mån, mm	2,6	3,9	5,5	6,5	7,2	7,7	8,2	8,8	9,4	9,8	10,8	11,5	13,1	14,1	14,8	15,3	15,8	17,4	18,4	19,1	20,8
6 mån, l/s ha	146,4	128,7	92	72,2	59,9	51,5	45,3	36,9	31,3	27,3	20	15,9	9,1	6,5	5,1	4,3	3,7	2	1,4	1,1	0,6
1 år, mm	3,3	4,9	7	8,2	9	9,7	10,3	11,1	11,8	12,4	13,6	14,5	16,5	17,8	18,6	19,3	19,9	22	23,2	24,1	26,1
1 år, l/s ha	184,4	162,1	116	90,9	75,4	64,9	57,1	46,4	39,4	34,4	25,2	20,1	11,5	8,2	6,5	5,4	4,6	2,5	1,8	1,4	0,8
2 år, mm	4,2	6,1	8,8	10,3	11,4	12,2	12,9	14	14,9	15,6	17,1	18,2	20,9	22,4	23,5	24,3	25	27,7	29,2	30,3	32,9
2 år, l/s ha	232,4	204,3	146,1	114,6	95,1	81,7	71,9	58,5	49,7	43,3	31,7	25,3	14,5	10,4	8,2	6,8	5,8	3,2	2,3	1,8	1
5 år, mm	5,7	8,3	11,9	14	15,5	16,6	17,6	19	20,2	21,1	23,2	24,7	28,3	30,4	31,9	33	34	37,6	39,6	41,1	44,7
5 år, l/s ha	315,4	277,2	198,3	155,5	129	110,9	97,6	79,4	67,4	58,8	43,1	34,4	19,7	14,1	11,1	9,2	7,9	4,3	3,1	2,4	1,3
10 år, mm	7,1	10,5	15	17,6	19,5	20,9	22,1	24	25,4	26,6	29,3	31,1	35,7	38,3	40,2	41,6	42,8	47,3	49,9	51,8	56,3
10 år, l/s ha	397,4	349,3	249,9	195,9	162,5	139,7	123	100,1	84,9	74	54,3	43,3	24,8	17,7	14	11,6	9,9	5,5	3,9	3	1,6
20 år, mm	9	13,2	18,9	22,2	24,6	26,4	27,9	30,2	32,1	33,6	36,9	39,2	44,9	48,2	50,6	52,4	53,9	59,6	62,9	65,3	71
20 år, l/s ha	500,7	440,1	314,8	246,8	204,8	176	155	126,1	107	93,3	68,4	54,5	31,2	22,4	17,6	14,6	12,5	6,9	4,9	3,8	2,1
50 år, mm	12,2	17,9	25,6	30,1	33,3	35,8	37,8	41	43,5	45,5	50,1	53,3	61	65,5	68,7	71,2	73,2	80,9	85,4	88,6	96,3
50 år, l/s ha	679,5	597,3	427,2	335	277,9	238,9	210,4	171,1	145,2	126,6	92,8	74	42,4	30,3	23,9	19,8	17	9,4	6,6	5,1	2,8
100 år, mm	15,4	22,6	32,3	38	42	45,1	47,7	51,7	54,8	57,4	63,1	67,1	76,8	82,5	86,5	89,7	92,2	101,9	107,6	111,6	121,4
100 år, l/s ha	856,1	752,5	538,3	422,1	350,2	301	265	215,6	182,9	159,5	116,9	93,3	53,4	38,2	30,1	24,9	21,4	11,8	8,3	6,5	3,5

BILAGA 5. LÄNGSGÅENDE PROFIL FÖR KLOCKBÄCKEN UPPSTRÖMS E14



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