

Studie av faktorer som påverkar skredutbredningen vid Norsälven, Värmland

Sara Järvin

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 392
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen
Lunds universitet
2014

Studie av faktorer som påverkar skredutbredningen vid Norsälven, Värmland

Kandidatarbete
Sara Järvin

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2014

Innehåll

1 Inledning	7
1.1 Syfte	7
1.2 Avgränsning	7
2 Bakgrund	7
2.1 SGI och utredningen	7
2.2 Utredningsområde	7
2.3 Skred	8
2.4 Utbredning av tidigare skred	10
2.5 Trossnässkredet	10
2.6 Metoder för bedömning av skredutbredning	10
2.7 Faktorer av betydelse för skredutbredning	11
2.7.1 Slänthöjd	11
2.7.2 Jordarter	11
2.7.2.1 Lera	11
2.7.2.2 Silt	11
2.7.3 Sensitivitet	12
2.7.3.1 Kvikklera	12
2.8 Konsekvenser av skred	12
3 Metoder	13
4 Resultat	13
4.1 Slänthöjd	13
4.2 Jordarter	13
4.3 Sensitivitet	13
5 Analys	15
5.1 Analys och zonindelning	15
5.2 Tolkning	18
6 Diskussion	19
7 Slutsatser	19
8 Tack	19
9 Referenser	20

Studie av faktorer som påverkar skredutbredningen vid Norsälven, Värmland

SARA JÄRVIN

Järvin, S. 2014: Studie av faktorer som påverkar skredutbredningen vid Norsälven, Värmland. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 392, 20 sid. 15 hp.

Sammanfattning: Ett förändrat klimat som en funktion av den pågående globala uppvärmningen kan i Sverige komma att leda till en ökning av naturkatastrofer i form av bland annat skred. Längs Norsälven i Värmland har det vid flera tidigare tillfällen inträffat skred och området har nu valts ut av Statens Geotekniska Institut (SGI) för att under 2013-2014 användas som ett pilotprojekt inom ett regeringsuppdrag för skredriskkartering.

Då flera av de inträffade skreden är starkt bakåtgripande i de sediment som omger Norsälven, med de största inträffade skreden inom ett avsnitt 17 000–21 000 m från älvens mynning i Väneren, är det av intresse att undersöka vilken eller vilka faktorer som påverkar utbredningen av dessa skred. Bland ett stort antal faktorer valdes slänthöjd, sensitivitet och andelen siltjordar ut som lämpliga att undersöka med avseende på deras betydelse för skredutbredning.

Resultaten från studien visar bland annat att det finns stora förekomster av extremsensitiva jordar och kvicklera längs Norsälven fram till 16 000 m från dess mynning. Resultaten visar även att slänthöjd, som varierar kraftigt inom intervallet 3-43 m höjd, med de högre värdena uppmätta inom området 12 000–24 500 m, är av stor betydelse. Siltjordar dominerar inom intervallet 15 000–21 000 m från älvens mynning, medan leriga sediment är dominerar i områdena norr och söder om detta intervall.

Studien visar att det i området söder om 16 000 m från älvmyningen främst är sensitiviteten, i kombination med en hög slänthöjd, som bidrar till stora bakåtgripande skred. I det intervall längs älven där de största skreden är uppmätta indikerar resultaten istället att det är en hög andel silt, i kombination med en hög slänthöjd, som påverkar skredens utbredning.

För framtida studier skulle det behövas ytterligare undersökningar där bland annat portryck och grundvattenförhållanden längs älven utreds för att på så sätt få en klarare bild över hur dessa faktorer påverkar skredutbredningen.

Nyckelord: skred, bakåtgripande skred, sensitivitet, slänthöjd, silt, kvicklera, Norsälven.

Handledare: Per Möller, Geologiska institutionen och Hjördis Löfroth, Statens Geotekniska Institut

Ämnesinriktning: Kvärtärgeologi

Sara Järvin, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige. E-post: sara.jarvin.584@student.lu.se

Study of factors influencing the spread of landslides at Norsälven, Värmland

SARA JÄRVIN

Järvin, S. 2014: Study of factors influencing the spread of landslides at Norsälven, Värmland. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 392, 20 pp. 15 hp (15 ECTS credits).

Abstract: The oncoming climate change due to the progressing global warming may in Sweden lead to an increase in natural disasters, among other e.g. in the form of landslides. Alongside the river Norsälven in Värmland there has on several occasions occurred landslides and this area has now been selected by the Swedish Geotechnical Institute (SGI) to be used during the period 2013-2014 for a pilot project for mapping of landslide risks as part of a government commission.

Since several of the landslides that have occurred were regressive, with the largest landslides occurring within a section from 17 000 to 21 000 meters from the river's mouth in Lake Vänern, it is of interest to investigate which factors are most important for the initiation and lateral spread of these landslides. Out of a large number of factors, slope height, sensitivity and the percentage of silt in the sediment along Norsälven were selected as suitable choices to investigate.

The results from this study show that there are large deposits of extremely sensitive soils and quick clay along Norsälven, up to 16 000 m from its mouth in the south. They also show that the slope height varies widely in the range of 3-43 m, with the higher values measured in between 12 000 to 24 500 m from the river mouth. Silty sediments dominate between 15 000 to 21,000 m from the river mouth, while clayey sediments are predominant in the areas north and south of this length interval.

The analysis further shows that in the area south of 16 000 m from the river mouth, it primarily is the sensitivity of the sediment, in combination with a high slope height, that contributes to large backward moving landslides. In the length section where the largest landslides have been identified, the contributing factors instead seems to be a high proportion of silty sediment, in combination with a high slope height that has been the driving mechanisms.

Further investigation is needed to examine pore pressure and groundwater conditions alongside the river in order to get a clearer picture of how these factors might affect and be important for regressive landslides in the area.

Keywords: landslide, regressive landslides, sensitivity, slope height, silt, quick clay, Norsälven.

Supervisors: Per Möller, Department of Geology och Hjärdis Löfroth, Swedish Geotechnical Institute

Subject: Quaternary Geology

Sara Järvin, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden. E-mail: sara.jarvin.584@student.lu.se

1 Inledning

Massrörelser är vanligt förekommande runt om i Sverige. Skred och ras inträffar årligen i liten skala men då och då inträffar även större händelser som kan få stora samhällsliga konsekvenser (Strandberg, 2009). Norsälven är ett Värmländskt vattendrag som fram till nutid har drabbats av flera skred. Problematiken är betydande då älven flyter genom flera kommuner och flera mindre samhällen finns i närområdet. Trossnäs, i de södra delarna av älven, har varit särskilt drabbat och under 2000-talet har en ökad skredrisk, på grund av stora mängder nederbörd, tvingat familjer att evakuera (Blumenthal, 2010). Statens Geotekniska Institut har valt ut Norsälven som ett lämpligt område för ett pilotprojekt inom ett regeringsuppdrag för skredriskkartering, vilken pågår under 2013-2014 (Bergdahl et al., 2013).

1.1 Syfte

Föreliggande rapport behandlar skred och de faktorer som kan tänkas påverka utbredningen av dem längs Norsälven. Fokus är lagd på faktorerna sensitivitet, slänthöjd samt siltighet då dessa parametrar har visat sig ha en stor påverkan på utbredningen av regressiva (bakåtgripande) skred.

1.2 Avgränsning

På grund av det begränsade tidsintervall som fanns utsatt för arbetets utförande var flera viktiga faktorer för skredbildning och skredutbredning tvungna att bortses från. Bland dessa finns bland annat faktorer som erosion, jorddjup, grundvatten- samt portrycksförhållanden. För att få en bättre och mer exakt inblick över vilka faktorer som faktiskt påverkar skredens utveckling i området skulle även dessa faktorer behöva behandlas.

2 Bakgrund

2.1 SGI och utredningen

Statens Geotekniska Institut (SGI) bildades 1944 (Statens Geotekniska Institut, 2004a) och är en förvaltningsmyndighet som ansvarar och bidrar med expertkunskap kring miljögeotekniska och geotekniska frågor, både nationellt och internationellt (Statens Geotekniska Institut, 2004b). De arbetar aktivt med bl.a. metod- och utrustningsutveckling och kunskaps- och informationsspridning, samt vägledning inom geoteknik och miljögeoteknik. Ett av deras viktigaste projekt gäller samhällets anpassning till de framtida klimatförändringar som troligen kommer orsakas av den pågående globala uppvärmningen samt den därmed högst troligt ökade frekvensen av naturolyckor i form av bland annat skred (Statens Geotekniska Institut, 2004a).

2008 fick SGI i uppdrag av Regeringen att utföra en kartering av Göta älvdalen för att undersöka riskerna för skred genom ökade vattenflödena i Göta älv, i sin tur en konsekvens av klimatförändringarna.

Uppdraget pågick mellan 2009 och 2011 och genomfördes genom insamling av data, skredsannolikhetsberäkning, samt värdering av skredkonsekvenser. Dessa undersöktes för de förhållanden som gäller för dagens klimat samt de som förväntas gälla år 2100. SGI utförde även en metodutveckling för skredriskanalys med syfte att förbättra och effektivisera tidigare använda metoder. De bedömde även på vilka platser som det kommer att krävas geotekniska förstärkningsåtgärder samt även en översiktlig kostnadsbedömning för detta (Lundström & Rydell, 2012).

Under 2012 utfördes av SGI en identifiering och prioritering av vattendrag som ansågs med hänsyn till klimatförändringarna vara i behov av skredriskkartering, bland annat på grund av förekomster av skred i betydande omfattning. Tio vattendrag togs fram genom statistiska analyser av skredförutsättningar, klimateffekter samt konsekvenserna av skred. Resultaten sammanvägdes med andra ur sammanhanget viktiga samhällsaspekter. Norsälven valdes ut som ett lämpligt område för ett pilotprojekt som med utgångspunkt från metoden som utvecklades vid Göta älvtredningen, har till syfte att skapa en förenklad utredningsmetod som går att använda för samtliga skredriskbenägna vattendrag. Skredriskkarteringen av Norsälven påbörjades under våren 2013 och beräknas vara avslutad hösten 2014 (Bergdahl et al., 2013).

2.2 Utredningsområde

Norsälvens nedre avrinningsområde är belägen mellan Nedre Fryken och Väneren (Fig. 1) och sträcker sig 28,4 km genom Kil och Karlstad kommun. Dess totala avrinningsområde innefattar 4174 km², av vilka 11 % är belägna i Norge (Blumenthal, 2010). Utmed Norsälven finns flera mindre samhällen som potentiellt kan drabbas av skred. Längs älven finns två mindre vattenkraftverk, Edsvalla vattenkraftverk och Fryksfors vattenkraftverk, ägda av Fortum Generation AB. Dessa hjälper bland annat till att kontrollera vattennivån i älven och mängden vatten som rinner ut i Väneren.

Under Weichselnedisningens avsmältningssfas befann sig området under högsta kustlinjen (Hk; ca 170 m.ö.h. vid Karlstad; Fredén, 2009). Silt och lera, transporterat ut från den vikande isranden med isens smältvatten, kunde därför deponeras på djupare vatten under marina förhållanden. Sedimenten avsattes i relativt mäktiga sekvenser över områden som nu är torra land genom den glacialisostatiskt orsakade landhöjningen (en landhöjning som fortfarande är aktiv med ca 3.5 mm/år; Fredén, 2009). Norsälvsdalen har på grund av detta, i likhet med flera andra västsvenska vattendrag, geologiskt gynnsamma förhållanden för skredutveckling i de idag upplyfta marina sedimenten. Känsligheten för skred och risken för skred har tidigare visat sig öka i samband med höga vattenflöden orsakade av ökad nederbörd. I Trossnäs (Fig. 2) inträffade under hösten 2000 två



Fig. 1. A, B. Översiktskartor över Norsälvens läge. C. Detaljkarta över Norsälvens nedre del. Blå begränsningslinje visar SGI:s utredningsområde. Gröna punkter visar längdmättningsmarkeringar var 1000:e m. Bakgrundskarta © Lantmäteriet, GIS-data © SGI.

skred på grund av just detta. En liknande händelse inträffade i januari 2008 då sex fastigheter i Trossnäs evakuerades på grund av en förhöjd skredrisk efter larm om observerad markrörelse (Blumenthal, 2010). Förutom skredärr, indikerande tidigare aktiva skredprocesser, finns ett stort antal utbredda raviner i området (Fig. 3), främst inom intervallet 11 000–24 000 m från älvens mynning.

2.3 Skred

Skred är en typ av gravitationsbetingad, sammanhängande massrörelse som kan inträffa i både berg och jordar. Begreppen ras och skred blandas ofta ihop men bör hållas åtskiljda, då partiklarna i ras till skillnad från skred rör sig fritt och rörelsen i allmänhet inträffar i grövre material och bergväggar (Engdahl, u.å.).

Hastigheten för skred kan variera kraftigt från

nästintill momentana inträffanden till mycket långsamma framåtrörelser. Bell (1999) beskriver skredrörelsen som ett resultat av bildandet av en glidyta mellan materialet i rörelse och det kvarliggande materialet. Han menar även att det finns flera faktorer som inverkar på skredbildning men att det vanligtvis krävs en utlösningsmekanism och ett instabilt material för att utlösa ett skred (Bell, 1999).

Utlösningsmekanismen kan variera men innefattar oftast att jämvikten i slänten rubbas. Detta kan ske på flera olika sätt. Vanligt är att utschaktning eller erosion vid släntfoten, i kombination med en sjunkande vattennivå i närbelägna vattendrag, minskar mothållet i slänten och därigenom ger en minskad stabilitet. En annan faktor kan vara att marken vid slänkrönet utsätts för en ökad belastning. Även grundvattenförhållandena påverkar starkt. Förhöjda grundvattennivåer orsakade av t.ex. ökad nederbörd



Fig. 2. Översiktsbild Trossnäs. Bakgrundskarta © Lantmäteriet, GIS-data © SGI.

kan minska stabiliteten genom ökade porvattentryck. Förutom dessa mekanismer kan skred även utlösas genom en kraftig störning i slänten, t.ex. på grund av vibrationer orsakade av förbipasserande tåg (Caragounis & Thellberg, 2013).

Det finns två huvudsakliga former av skred; flak- eller släntskred samt rotationsskred. Flak- eller släntskred är en form av skred som kan förekomma i både berg och jordar. Rörelsen sker i gränserna mellan avsättningar med horisontell lagring och rör sig i de plan där materialens fysiska egenskaper skiljer sig från varandra. Härvid utvecklas mer eller mindre plana brott/glidytor, parallella med svaghetszoner. Dessa typer av skred är vanligtvis ytliga och kan i branta slänter uppkomma i mycket höga hastigheter vilket kan, om vattenhalten och deformationen är tillräckligt hög, börja övergå från skred till jordström (Bell, 1999). Den andra typen, rotationsskred, inträffar först och främst i kohesionsjordar men förekommer även i siltjord och viss finkornig morän. Skreden sker längs en skålförmad glidyta och lämnar en distinkt geomorfologi med ett brant skredärr och en tunga av framskjutet material i foten av skredet. Dessa skred kan på grund av bristande hållfasthet i skredärr successivt växa till stora bakåtgripande skred som kan dra sig bakåt betydande sträckor (Bell, 1999).

Vid inträffandet av ett skred finns ofta flera varningstecken som, om de uppmärksammas i tid av människor i området, kan hjälpa till att minska risken för personskador. Uppträdande av sättningar, sprickor

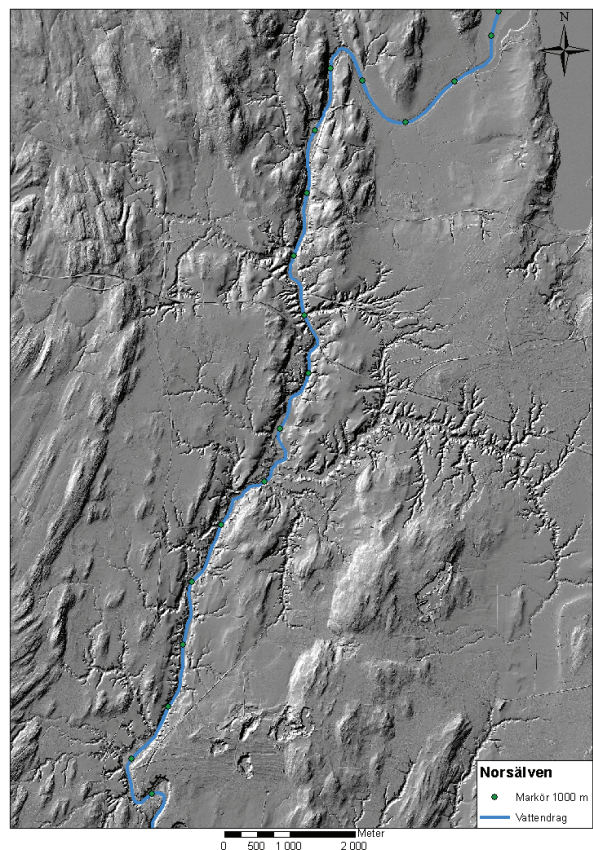


Fig. 3. Ravinbildning längs Norsälven, vilken framträder tydligt i en digital höjdmodell över området skapad med utgångspunkt från NNH-data med sidskuggeffekt. Kartutsnittet omfattar sträckan 11 000–28 400 m från Norsälvens mynning. NNH-data © Lantmäteriet, GIS-data © SGI.

eller utbuktningar i mark eller byggnader, att fönster och dörrar ej går att öppna, rörelser i marken och erosionsskador är samtliga tecken på att ett skred har eller kommer att inträffa. Förekomsten av mindre startskred, så kallade initialscred, kan indikera att ett större sekundärskred kan vara närstående. Förutom detta kan kabel- och ledningsbrott, vattenläckage ur marken samt grumling av vattendrag indikera att ett skred har inträffat (Caragounis & Thellberg, 2013).

Flera olika faktorer påverkar skredbildningen och dessa samverkar ofta i komplexa system. Inom geotekniken används vanligtvis säkerhetsfaktorn (F) som ett sätt att definiera släntstabilitet. Säkerhetsfaktorn ger förhållandet mellan krafterna som står emot rörelse (mothållande krafter/moment) och de som skapar rörelse (pådrivande krafter/moment). Med hjälp av säkerhetsfaktorn går det att fastställa hur stabil slänten ifråga är. Vid en säkerhetsfaktor $F = <1$ anses slänten vara instabil, d.v.s. den befinner sig redan i ett så kallat brottillstånd. Vid säkerhetsfaktorn $F=1$ balanserar mothållande respektive pådrivande faktorer varandra och man ligger precis vid ett brottillstånd. För att en slänt skall anses stabil bör säkerhetsfaktorn ligga på minst $F=1.5-2$ (Bell, 1999). Några viktiga faktorer för skredutbredning presenteras i avsnitt 2.7.

2.4 Utbredning av tidigare skred

Förekomsten av skredärr från tidigare skred längs Norsälven finns identifierade och omfattar totalt 58 separata händelser. Mätdata från SGI, med utgångspunkt vid älvmyningen, visar att samtliga skred förekommer mellan den nuvarande älvmyningen och 25 000 m norrut. Längre norrut har inga skredärr registrerats (Fig. 4). Skredens utbredning är varierande med en stor förekomst av mindre skred och förekomster av större händelser. Förekomsten av skred med en regression (bakåtgripande skredutbredning) under 100 m är förhållandevis stor och 34 av skreden har inträffat i detta intervall. Spridningen av skred i detta intervall är jämnt fördelad längs älven, med enstaka zoner med förekomster i större anhopningar. Dessa zoner förekommer främst inom intervallet 7000 – 11000 m från älvmyningen, där 16 av det totala antalet skred inträffat. Mellan 2000 och 5000 m förekommer också ett flertal skred med de största koncentrationerna vid 3000 m från älvmyningen. 14 skred har inträffat med en regression mellan 100 och 200 m och förekommer inom intervallet 7000 och 19000 m. Endast 2 skred har en regression mellan 200 och 300 m och dessa inträffade runt 15 500 och 17 500 m. Inom intervallet 300 – 400 m har totalt 6 skred inträffat, samtliga mellan 15 500 och 22 000 m. Två av de inträffade skreden ingår i de allra största skreden som uppmätts längs Norsälven och har inträffat vid 18 000 respektive 21 000 m. Deras utbredning har uppgått till strax över

520 m respektive 603 m för det allra största skredet.

2.5 Trossnässkredet 1969

En av de största skredhändelserna som inträffat längs Norsälven under modern tid är Trossnässkredet den 12 april 1969. Skredet, med en vidd på 150 m och en längd på 350 m, var ett bakåtgripande rotations-skred med en totalvolym på 100 000 m³ sediment som tros ha triggats av en kombination av faktorerna kvicklera, tjällossning, muddring, trafikrelaterad erosion samt en tillfällig avsänkning av vattennivån i Norsälven. Skredet inträffade i ett högsensitivt, varvigt lerlager med en mäktighet mellan 15 och 30 m och under händelsen sänktes vattendjupet med 4-5 m. Detta ledde således till en uppdämning av ett 750 m stort område längs med älven. Översvämning kunde dock undvikas tack vare den reglering av mängden vatten som släpps mot Väneren vid vattenkraftverken (Åkesson, 2010). Inga personsador skedde under själva skredet och skadorna på infrastruktur var små i förhållande till dess magnitud. De skador som observerades omfattade bland annat en mindre väg som förstördes och fick förflyttas längre österut.

2.6 Metoder för bedömning av skredutbredning

Ett antal metoder har utvecklats för att kunna bedöma hur omfattande bakåtgripande skred kan komma att bli. I Sverige och Kanada där skred är vanligt

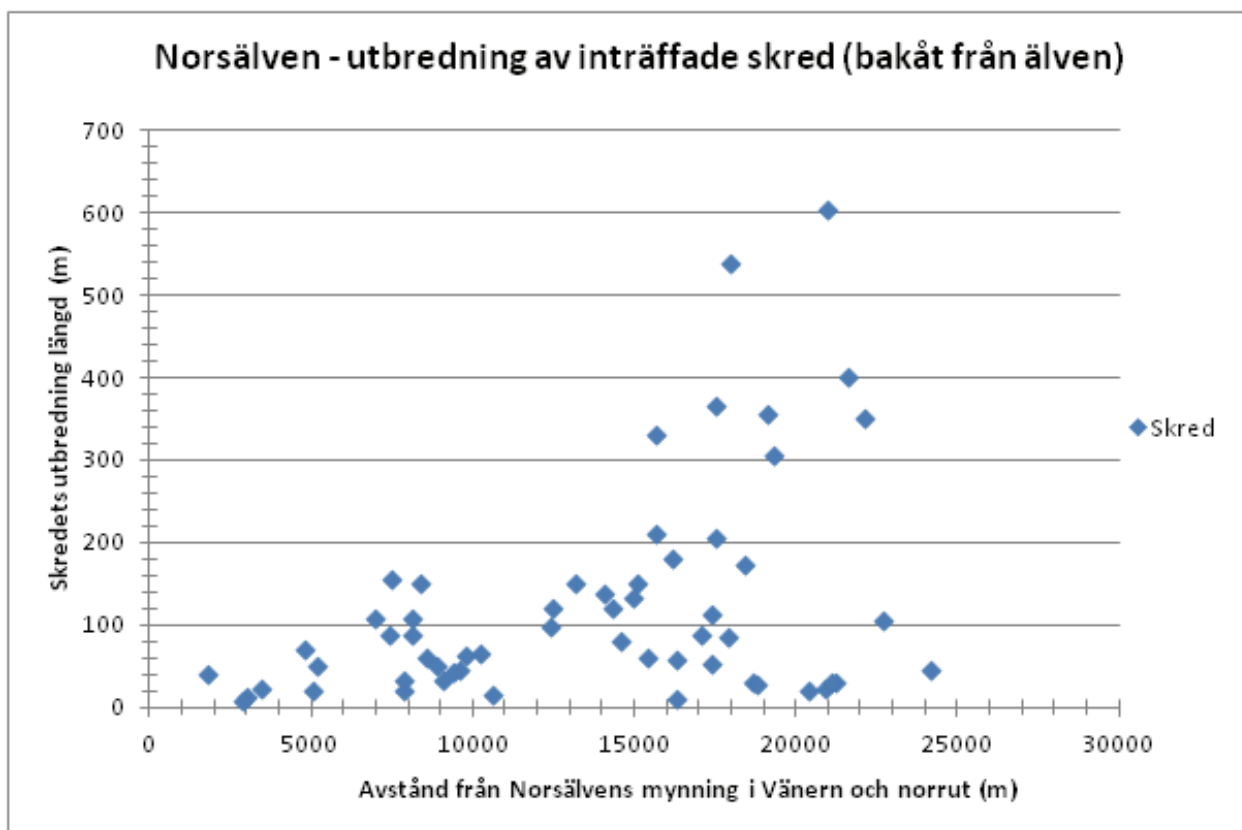


Fig. 4. Maxutbredning av inträffade bakåtgripande skred längs Norsälven. Skred har uppmätts av SGI utifrån inlagd skrededata från NNH-data framtagen av SGU samt av SGI flygbildstolkade skred. Efter Elm (u.å.).

förekommande har olika metoder framtagits vilka skiljer sig från varandra.

Den metod som har nyttjats i Sverige, bland annat vid Göta älvutredningen, är baserad på en metod utvecklad av Per-Evert Bengtsson som gör det möjligt att med hjälp av slänthöjden beräkna hur omfattande bakåtgripande skred kommer att bli i lerjordar. Genom att multiplicera slänthöjden med en faktor n , som är en funktion av lerans sensitivitet är det möjligt att få fram ett rimligt värde för utbredningens omfattning (Åhnberg et al., 2011).

I Quebec, Kanada har en metod tagits fram av Lebuis et al. (1983). Denna metod baseras på antagandet att skred och fortsatta sekundära bakåtgripande skred kommer att fortgå tills ett stabilt skred är uppnått. Genom att bland annat undersöka faktorerna plasticitetsindex (differensen mellan plasticitets- och flytgräns), flytindex (en strukturs känslighet för mekanisk störning) (Larsson, 2008) och sensitivitet är det möjligt att få en indikation om hur utbredd ett skred kommer att bli (Lebuis et al., 1983).

I Norge finns en metod utarbetad för skredriskartering, där de bland annat använder släntens lutning för att avgöra om skred riskerar att bildas. Metoden framhåller att för att ett skred ska bildas krävs det en lutning som överstiger 30° (Schanche, 2011). Denna metod talar dock tillskillnad från den svenska och kanadensiska inte om hur utbredda skred inom området kan komma att bli.

2.7 Faktorer av betydelse för skredutbredning

2.7.1 Slänthöjd

Slänterna utmed ett vattendrag kan höjdmässigt skilja sig kraftigt. Slänthöjden är höjdskillnad mellan släntkrön och slänthöjd, varvid slänthöjden vanligen sammanfaller med thalweg (linje längs de lägsta delarna i en kontinuerlig sänka).

Om det laterala avståndet mellan slänthöjd och släntkrön är känt kan värdet för slänthöjd tala om släntens lutning och därigenom hur brant eller flackt ett område är. I brantare områden är risken större för instabilitet i slänten, medan flackare områden vanligtvis inte är lika känsliga.

2.7.2 Jordarter

Jordarter skiljer sig på flera olika sätt, med en första uppdelning i organiska respektive minerogena jordarter. Ytterligare klassificeringar utförs för mineraljord, som utgår från kornstorleken och kornfraktionsfördelningen i jordarten (Statens Geotekniska institut, u.å.). För skredbildning är det finkorniga jordarter med kornstorlekar mindre än $0,06$ mm av intresse, d.v.s. kornstorleksfraktionerna silt ($0,06-0,002$ mm) och ler ($< 0,002$ mm).

2.7.2.1 Lera

Lera är inte något singulärt utan det finns flera olika definitioner av begreppet. Benämningen lera kan dels

syfta på lermineral, dels på lerpartiklar ($< 0,002$ mm) eller på jordarten lera.

Lermineral är sekundära mineral som bildats i samband med kemisk vittring av silikatmineral. De förekommer oftast som illit, smektit, kaolinit och klorit, varav illit är den vanligaste i Sverige.

För att en partikel ska kunna klassificeras som en lerpartikel krävs det att diametern för partikeln i fråga således understiger $0,002$ mm. Vanligt förekommande är att dessa partiklar har en flat form (Rankka, 2003).

För att kunna betraktas som jordarten lera krävs det att innehållet av lerpartiklar i jordarten överstiger 40 procent. Lerjordar betraktas som kohesionsjordar och hålls, till skillnad från friktionsjordar som hålls samman av friktionskraften, ihop av kohesiva krafter (molekylära attraktionskrafter). Detta medför att då skred inträffar i lerjordar hålls skredet samman av kohesionskraften och det blir således ett sammanhängande stycke som hamnar i rörelse (Statens Geotekniska Institut, u.å.).

2.7.2.2 Silt

Silt, jordart med en kornstorlek mellan $0,002-0,06$ mm, betraktas i många fall som en mellanjord och har flera faktorer som kornstorlek, permeabilitet, kompressabilitet och kapillaritet som gör att det kan ses som en gradvis övergång mellan kohesionsjord och friktionsjord (Knutsson et al., 1998). Silt har tack vare dessa egenskaper en förmåga att absorbera och hålla kvar vatten vilket innebär att jordarter med högt siltinnehåll således lätt kan hamna i ett flytande tillstånd om vid vattenmättnad (Engdahl, u.å.). Jordarten är känslig för skakningar och vibrationer, främst då den är löst lagrad och vattenmättad. Detta medför att det vid belastning kan ske en strukturell kollaps av materialet med en total hållfasthetsnedsättning som får den att bete sig som en vätska. Om silt förekommer löst lagrad som lager eller skikt inbäddad i lera finns det på grund av instängningen mellan kompaktare jord en ökad risk för att den kommer att bete sig som en flytjord (Knutsson et al., 1998). Förutom skred är raviner ett vanligt förekommande fenomen i siltjordar. Raviner kännetecknas av sina branta kanter och v-form och bildas ofta i anslutning till vattendrag som genom erosion har skurit sig ned i siltiga sediment. Bildningen mynnar oftast i ett vattendrag och kan genom siltens instabilitet vid vattenmättnad utveckla stora ravinnätverk (Sveriges Geologiska Undersökning, u.å.).

Vanligtvis förekommer glidytor och skreden i siltjordar ytligt och är därför mycket känsliga för externa faktorer såsom ytavrinning och tjällossning. Skred vid tjällossning är vanligt förekommande och inträffar vanligtvis innan all tjäle i en slänt hunnit smälta. Detta i kombination med vatten från snösmältning och dålig infiltration gör att vattnet rinner längs ytskiktet och försämrar stabiliteten (Knutsson et al., 1998).

2.7.3 Sensitivitet

Sensitiviteten, förkortat S_t , fastställer förhållandet mellan den odränerade skjuvhållfastheten i ostört och stört tillstånd. Med stört tillstånd menas att provet har omrörts till den grad att de strukturer som finns i materialet har brutits ned fullständigt (Larsson, 2008). Sensitiviteten kan ge en indikation om hur stor utsträckningen av ett regressivt skred kan komma att bli (Potvin et al., 2014). Undersökningar utförda i homogena leror i Quebec Kanada av Lubuis et al. (1983) har påvisat följande samband. Jordarter med en sensitivitet som överstiger 25 samt en odränerad skjuvhållfasthet i omrört tillstånd som understiger 1 kPa ger jordströmmar som sträcker sig mer än 100 m bakåt. Då sensitiviteten är mellan 25 och 15 och den omrörda odränerade skjuvhållfastheten befinner sig mellan 1,5 och 1 kPa kan skred förväntas som har en regression som understiger 100 m. Är sensitiviteten mindre än 15 och den omrörda odränerade skjuvhållfastheten större än 1,5 kPa förväntas skålskred (Lebuis et al., 1983). Definitionen av högsensitiv lera och kvicklera skiljer sig dock åt mellan Kanada, Norge och Sverige. I Sverige betraktas lera med en sensitivitet som överstiger 30 som högsensitiv (Rankka, 2003). Då sensitiviteten för en jordart överstiger 50 samt den odränerade skjuvhållfastheten i omrört tillstånd understiger 0,4 kPa kan den betecknas som kvicklera (Larsson, 2008).

2.7.3.1 Kvicklera

Kvicklera och andra sediment med kvicka egenskaper är ur ett geologiskt perspektiv unga och återfinns i de områden som i pleistocen varit under nedisning. Kvicklera har bland annat påträffats i Sverige, Norge, Finland, Alaska och Kanada och i de flesta fall har avsättning skett i saltvatten. Det förekommer dock även kvicklera som avsatts i sött och bräckt vatten (Brand & Brenner, 1981). Den isostatiska landhöjningen som förekommer i dessa områden har lett till de processer som kunnat ge hög sensitivitet i sedimenten då denna egenskap oftast bildas efter avsättning. Flera olika faktorer influerar bildningen av kvicklera. Några av dessa är urlakning av saltjoner, porvattnets sammansättning samt partikelformen (Rankka, 2003). Urlakning av saltjoner är den faktor som brukar anses vara en av de främsta orsakerna till kvicklerebildning. Urlakningen påverkar inte strukturen i materialet utan de krafter som finns mellan partiklarna som fungerar som ett klister (kohesionskrafterna). Detta medför att leran efter omrörning inte kan återfå strukturen. Förloppet sker genom tre olika processer, (i) saltdiffusion mot lågkoncentrationszoner, (ii) perkolation av regnvatten samt en (iii) uppåtriktad hydraulisk gradient. Förekomsten av permeabla skikt såsom sand eller silt har visat sig kunna öka möjligheten för urlakning om de är i kontakt med vattenförande skikt (Rankka, 2003). Porvattnets jonsammansättning har också visat sig ha stor inverkan på sensitiviteten, där andelen Na^+ och K^+ av totalmängden joner är avgörande. Ju större

antalet joner av Na^+ och K^+ är, desto större är förutsättningarna för hög sensitivitet (Rankka, 2003). Förutom dessa är partikelform en viktig faktor, främst i normalkonsoliderade leror och leror med låg densitet. Pusch (1962) menar att lerpartiklar med en flat form separeras i större utsträckning vid omrörning än partiklar av liksidig form och leder därigenom till en hög sensitivitet (Pusch, 1962). Även andra faktorer såsom pH och naturligt förekommande organiska samt oorganiska ämnen, som fungerar som dispergeringsmedel, har möjlighet att skapa höga sensitiviteter (Rankka, 2003).

Då skred inträffar i kvicklera bryts den tidigare högsensitiva orörda strukturen ner vilket medför att de skredmassor som efterlämnas i området inte längre är sensitiva (Rankka, 2003).

Initialskred inträffar i ett område med kvicklera kan orsaka sekundära skred som är extremt omfattande även i flacka områden (Caragounis & Thellberg, 2013). I kvickleror med sensitiviteter som överstiger 200 förväntas det enligt Åhnberg et al. (2011) att hela det område som är högsensitivt kommer att hamna i rörelse vid ett initialskred och kan komma att sprida sig ända fram till det när icke skredkänslig mark, så kallad fastmark (Åhnberg et al., 2011).

2.8 Konsekvenser av skred

Det finns både direkta och indirekta konsekvenser av skred. De direkta konsekvenserna innefattar bland annat förstörelse av infrastruktur, hus eller, i extrema fall, hela samhällen. Skred kan begrava människor och på så sätt orsaka dödsfall, infrastruktur och byggnader i det drabbade området deformeras, bryts sönder, försvagas eller kollapsar. Skred kan även orsaka uppdämning av vattendrag och därigenom bidra till översvämning och flodvågor då fördämningen bryts. I drabbade områden med kvicklera har byggnader och dylikt visat sig kunna förflyttas flera hundra meter från ursprungsläget (Caragounis & Thellberg, 2013). Ett exempel på skred som haft stora direkta konsekvenser för samhället är Tuveskredet i Göta älvdalen 1977. Vid detta skred omkom nio personer, 400 personer blev bostadslösa och 65 byggnader förstördes (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2013).

Indirekta konsekvenser innefattar bland annat spridning av smittoämnen på grund av uppdämning och efterföljande översvämning (Länsstyrelsen Värmland, u.å.). Åkesson (2010) har i sin studie av massrörelser som föroreningsspridare konstaterat att skred, förutom deras förmåga att exponera förorenad mark, även kan vara en potentiell transportkälla för föroreningarna. Åkesson (2010) menar att då skredmassorna kommer i kontakt med vattendrag kan föroreningar spridas flera kilometer upp- såväl som nedströms och därigenom förorena stora områden flera kilometer från skredområdet. Att en stor spridning kan uppkomma beror på finkorniga materials (lera och silt) förmåga att transporteras i suspension, d.v.s. fritt svävande i vattenmassan. Suspensionen kan vara i upp

till flera månader och har därmed potential till betydande spridning av hälso- och miljöfarliga ämnen (Åkesson, 2010).

3 Metoder

Studien påbörjades med en kortare litteraturstudie för att få mer inblick om skred, varför Norsälven undersöks, tidigare använda metoder, samt faktorerna sensitivitet och silt.

Ett antal GIS-data från SGI och Lantmäteriet fanns att tillgå via GIS-programmet ArcMap. Bland dessa fanns bland annat NNH-data (Ny Nationell Höjdmmodell) för Norsälven samt området kring Norsälven. Även jordartskartering utförd av SGU, markanvändning, jorddjup samt placering av provpunkter och sektioner där mätningar utförts. Utöver detta fanns längdmätning över Norsälven, med utgångspunkt från dess mynning, med markeringar var 100:e och 1000:e meter.

Sensitivitetsvärden hämtades från laboratorieprotokoll från fallkonförsök utförda av jordlaboratoriet hos SGI Linköping. Proven var tagna genom kolvprovtagning och varje prov har flera sensitivitetsvärden. I detta fall har det högsta värdet för varje prov, oberoende på vilket djup det befinner sig på, valts ut. GIS-programmet ArcMap användes sedan för att kunna hitta de provpunkter varifrån de olika proverna tagits och även för att se vart de är belägna i älvens längdled. Sensitivitetsvärdena och deras placering i längdled matades sedan in i ett diagram för att se hur sensitiviteten förändras längs älven.

Siltigheten undersöktes via samma laboratorieprotokoll som för sensitivitetsanalyserna. Vid dessa analyser har laboratoriepersonal även utfört en okulär jordartsbestämning för flera sektioner längs djupet för varje borrhäna. Från dessa protokoll är det sedan möjligt att se hur andelen silt förändras på djupet och längs älvens längdaxel.

Slänthöjden togs fram från CAD-ritningar framtagna av SGI där släntröner uppmätts 200 meter från älvkanten på östra sidan längs älvens längd från älvens mynning och norrut. På ritningarna fanns även data från batymetrimätningar utförda av Marin Miljöanalys, vilken talade om på vilket djup älvens bottennivå befinner sig. För att minska mängden data bestämdes det att data skulle tas var 200:e meter. Ett diagram utformades sedan där höjdvärdet för släntröner samt älvdjupet markerades. I diagrammet lades även medelvattennivån längs älven in för att åskådliggöra nivåskillnaderna. I de fall då höjdvärdena för släntröner var mycket höga behövdes en undersökning utföras i ArcMap för att se så att mätningen inte har utförts på berg i dagen. Om så var fallet förkastades värdet då det inte finns något jordtäckte på platsen för skred att inträffa i. Även låga värden som indikerar att mätningen kan ha utförts i ravinbotten undersöktes. Om mätningen var utförd i ravinbotten har dessa också utslutits då det inte är ett släntröner. Jordarterna som mätningarna utfördes i kontrollerades också; om

mätningen var utförd i jordart som inte var finjord har dessa strukits då det är i finjordarna som skreden inträffar. Resultaten presenteras i ett diagram där värdena för släntröner interpolerats med spline interpolation för att fylla i de tomrum som uppstod på grund av bortplockade värden.

4 Resultat

4.1 Slänthöjd

Fig. 5 visar slänthöjdens och medelvattennivåns variation längs älvens längdaxel, vilka förändras kraftigt från norr till söder. Resultaten visar att topografin 200 m lateralt från älven varierar kraftigt inom spannet 45 – 95 meter över havet. Även botten-topografin i älven varierar, vilket medför att slänthöjden, som är skillnaden i höjd mellan släntrönet och botten-djupet, därmed också varierar starkt och stäcker sig längs älven mellan 3 och 43 m.

I längdintervallet 0 till 10 000 m från älvmyningen finns en höjdvariation för slänthöjd som växlar mellan 7 och 25 m. Från 10 000 till 25 000 m sker en övergång från jämnhöga värden (Fig. 5) till starkt varierande slänthöjder, fluktuerande mellan 17 och 43 m. I detta intervall har flera data tvingats plockas bort då mätningarna var utförda i ravinbotten. Från 25 000 m sjunker slänthöjden och ligger på ca 10 m fram till älvens utlopp från nedre Fryken där den sjunker kraftigt ner till 3 m.

De tydliga terrassbildningarna som uppstår vid medelvattennivå (Fig. 5) beror på den konstlade vattennivån i älven som regleras av vattenkraftverken som kontrollerar mängden vatten som släpps ut till Väneren.

4.2 Jordarter

Data från de okulära jordartsbedömningarna inom djupintervallet 4-15 m i respektive borrhäna presenteras i Fig. 6. Detta intervall är utvalt då det inom detta fanns värden för samtliga borrhål. Resultaten visar att lera och siltig lera dominerar i de sydligaste delarna av älven fram till 7100 m. Förekomster av silt och lerig/sandig silt och silt med sand-/lerskikt uppträder i intervallet 3300 – 3400 m och uppgår vid 3358 m till 45 % av totalmängden. Vid 6200 uppgår värdet för siltigare jordarter till 50 %. Från 8600 m fram till 24 000 m börjar större mängder lerig/sandig silt, silt med ler-/sandskikt att uppträda, och mellan 15 000 och 18 000 m ligger nivån på 100 %. Från 24 000 m till 27 500 m dominerar siltig/sandig lera och lera med silt-/sandskikt. Längre norrut finns inte några observerade värden.

4.3 Sensitivitet

De uppmätta sensitiviteterna på lerprov från kolvprovtagning visar flera avsnitt längs Norsälven där höga sensitivitetsvärden förekommer (Fig. 7). Sediment i form av kohesions- och mellanjordar med kvicka egenskaper förekommer på flera platser. Kvicka mellanjordar, i detta fall, silt, lerig silt eller silt

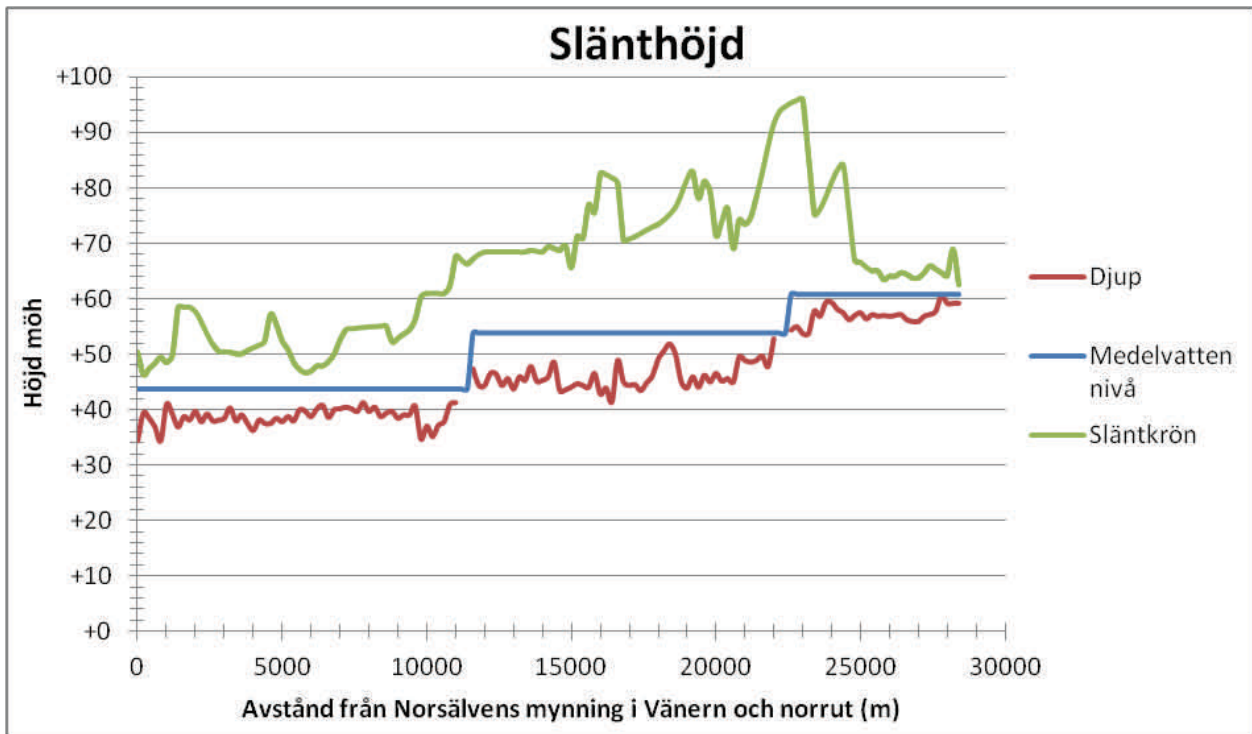


Fig. 5. Slänthöjd med slänthöjd och slänthöjd utmed Norsälven. Diagrammet visar också medelvattennivån längs älven, vilken regleras av vattenkraftverken längs älven. Saknade värden för djup sammanfaller med vattenkraftverk. Mätningar av slänthöjd som utförts på berg i dagen eller grova sediment har uteslutits då dessa ej är skredbenägna.

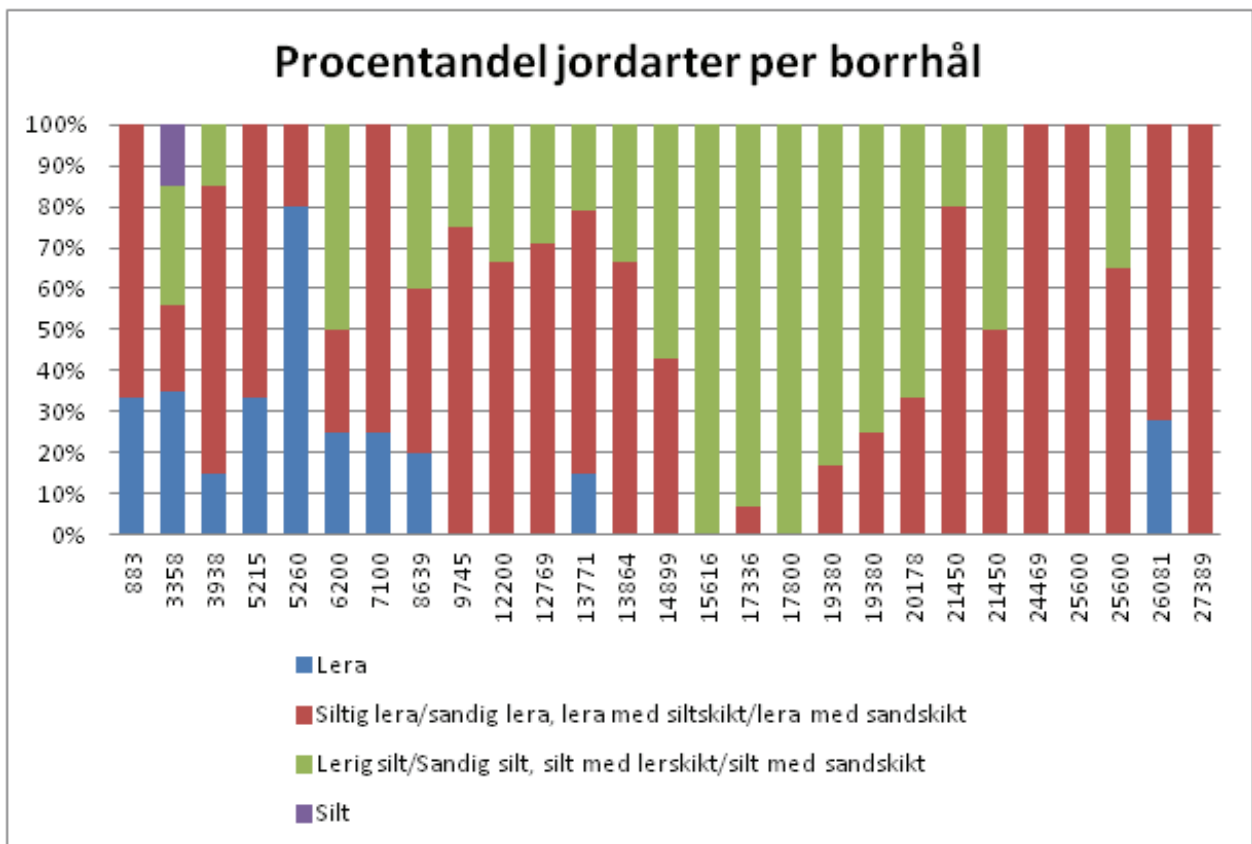


Fig. 6. Procentandel olika korstorleksfraktioner i djupintervallet 4-15 m för respektive provpunkt längs Norsälven. Längdmätning från älvens mynning och norrut.

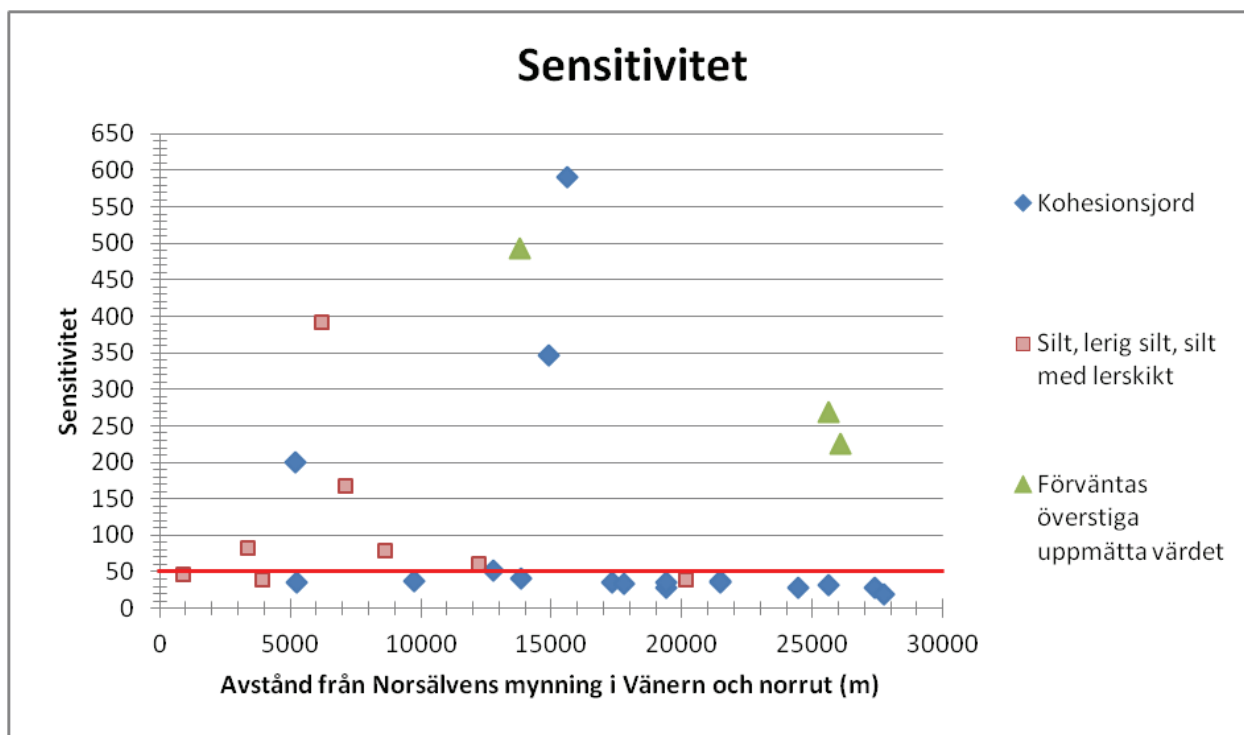


Fig. 7. Sensitivitetsdata från provpunkter utmed Norsälven. Gröna trianglar visar punkter där sensitiviteten bedöms högre än den faktiskt uppmätta. Röda kvadrater indikerar höga sensitivitetvärden uppmätta i silt, lerig silt eller silt med lerskikt. Sensitivitetsvärden som överstiger 50 indikerar kvicka sediment

med lerskikt, förekommer främst i de södra delarna av älven från dess mynning fram till ungefär 12 000 m och har ett högsta uppmätta sensitivitetvärde som uppkommer till strax under 400 m. Kvicka kohesionsjordar förekommer med extremt höga sensitivitetvärden främst i de norra och mellersta delarna av älven vid 15 000 respektive 26 000 m från älvens mynning. Det finns även förekomster vid ca 5000 m. Av samtliga uppmätta sensitivitetvärden förväntas tre överstiga de faktiskt uppmätta värdena. Detta beror på att det vid fallkonförsök i laboratorium inte gick att mäta upp några exakta värden då den omrörda skjuvhållfastheten var för låg. Dessa punkter presenteras som gröna trianglar i Fig. 7. Antalet sensitivitetvärden som överstiger gränsvärdet 50 är 12 av total 26 punkter. Det högsta uppmätta sensitivitetvärdet är strax under 600.

5 Analys

5.1 Analys och zonindelning

Observationerna över utbredningen av tidigare skred (Fig. 4) har för förenklad åskådligheten och analys delats in i fyra zoner längs Norsälven från dess mynning i Vätern och norrut (Fig. 8).

- Zon 1: 2200-4000 m
- Zon 2: 4400 - 5800 m
- Zon 3: 6500 – 11 000 m
- Zon 4: 12 000 – 24 500 m.

Samma zonindelning har även utförts för resultaten för slänthöjd (Fig. 9), jordarter (Fig. 10) och sensitiviteten (Fig. 11) av samma anledning.

Utifrån utförd zonindelning är det möjligt att observera att det i zon 1 förekommer få skred. Deras utbredning är också jämförelsevis liten, med en maximal lateral regression på ca 40 m (Fig. 8). Höga sensitiviteter förekommer i zonen vid 3358 m (Fig. 11) och kan vara en bidragande orsak till att det runt 3000 m finns ett större kluster av skred. Skreden är dock små och har en maximal utbredning på strax över 20 m. Området är för Norsälven förhållandevis flackt och slänthöjden uppnår knappt 13 m (Fig. 9). Vid 3358 m förekommer det, förutom höga sensitiviteter, även en stor andel silt och lerig silt/silt med lerskikt (Fig. 10) på upp mot 45 % av jordarterna i undersökta provpunkter.

I zon 2 förekommer det vid ca 5000 m också ett mindre kluster av skred (Fig. 8) vars maximala laterala regression uppgår till ca 70 m. I området förekommer extrema sensitiviteter på upp mot 200 i de leriga sedimenten (Fig. 11). De övre jordlagren domineras helt av lera och siltig lera/lera med siltskikt (Fig. 10). Även detta område är relativt flackt och slänthöjden uppgår maximalt till 19 m i avsnittet 4400 – 5400 m. Längre norrut sjunker slänthöjden drastiskt och uppgår som högst till 8 m (Fig. 9).

En större ansamling skred förekommer i zon 3 (Fig. 8) där den laterala regressionen uppnår 160 m i avsnittet 7000-8500 m. Sensitiviteten är vid 7000 m ungefär 160. Regressionen minskar norr om 8500 m

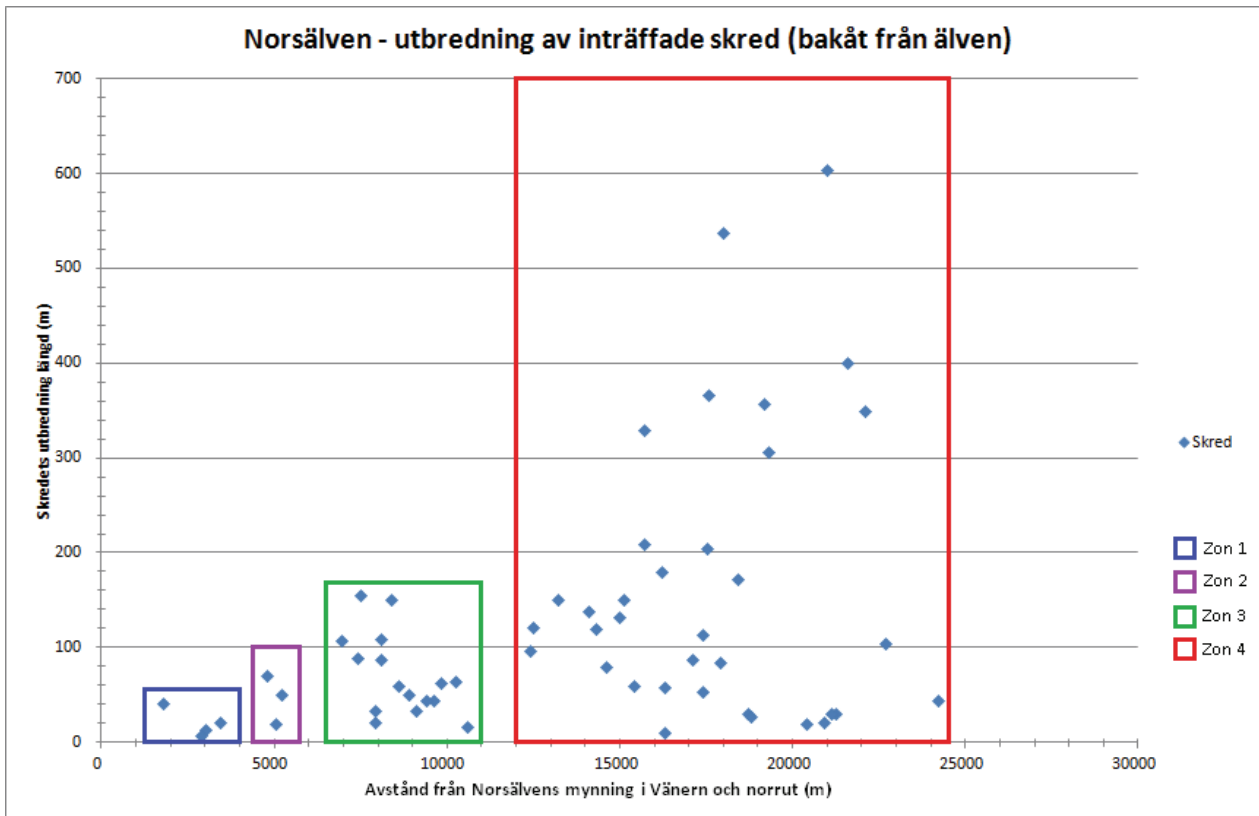


Fig. 8. Maxutbredning av inträffade regressiva skred längs Norsälven (enligt fig. 4), indelat i 4 zoner för att förenkla analys. Efter Elm (u.å.), reviderad Järvin (2014).

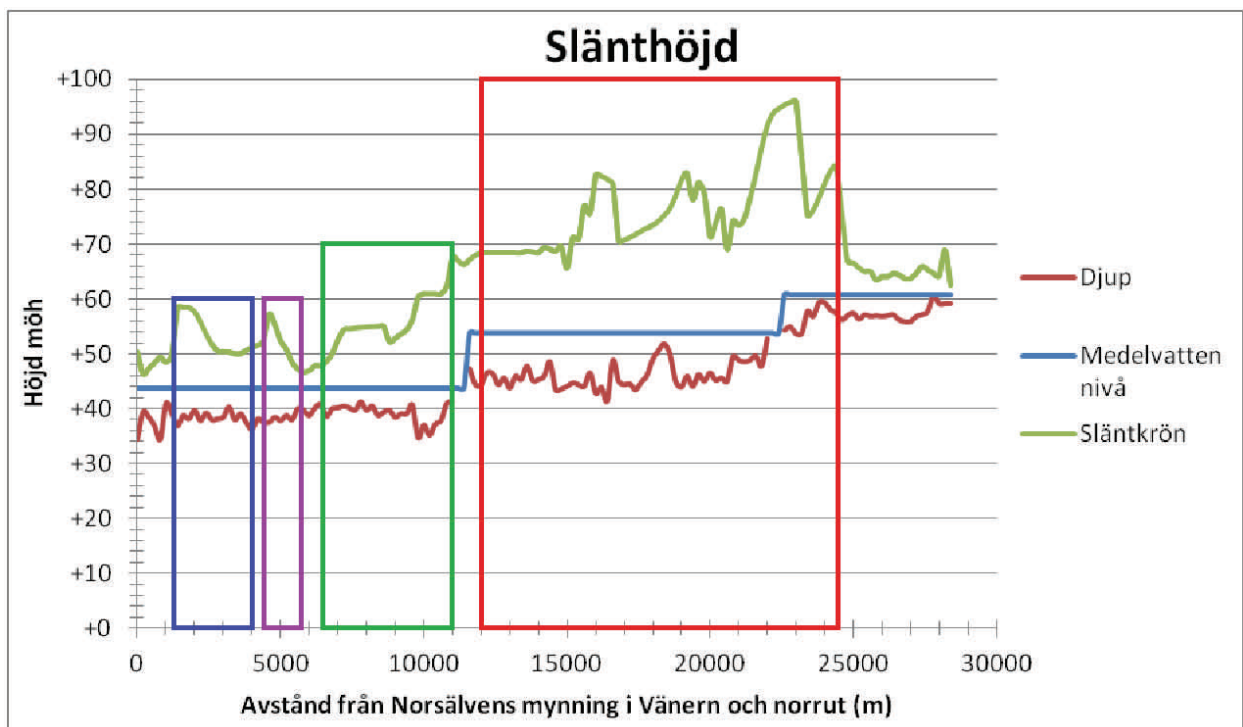


Fig. 9. Slänthöjd med släntkrön och botten djup utmed Norsälven enligt figur 5. Data är indelat i 4 zoner för att förenkla analys och beskrivning (se text).

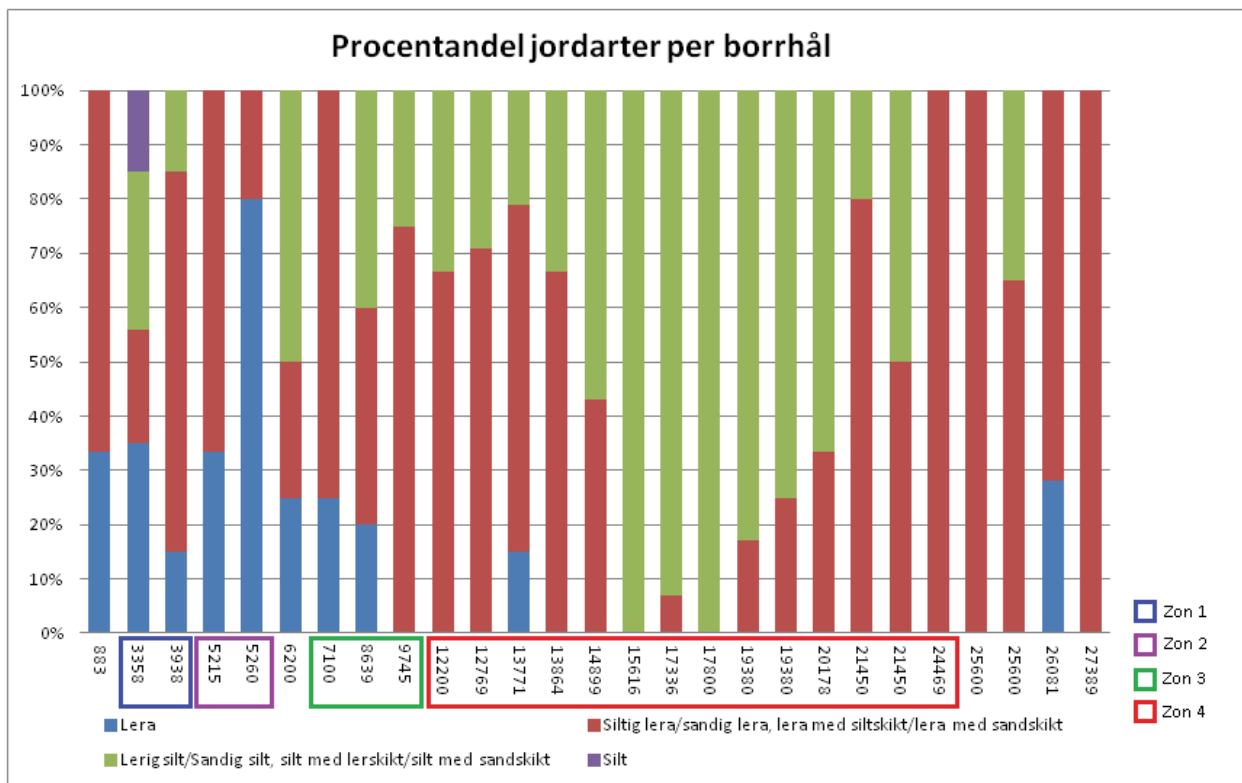


Fig. 10. Procentandel jordarter från djupintervallet 4-15 m för samtliga provpunkter, med dess placering i Norsälvens längdled. Längdmätning från älvens mynning och norrut. Data indelat i 4 zoner för att förenkla analys.

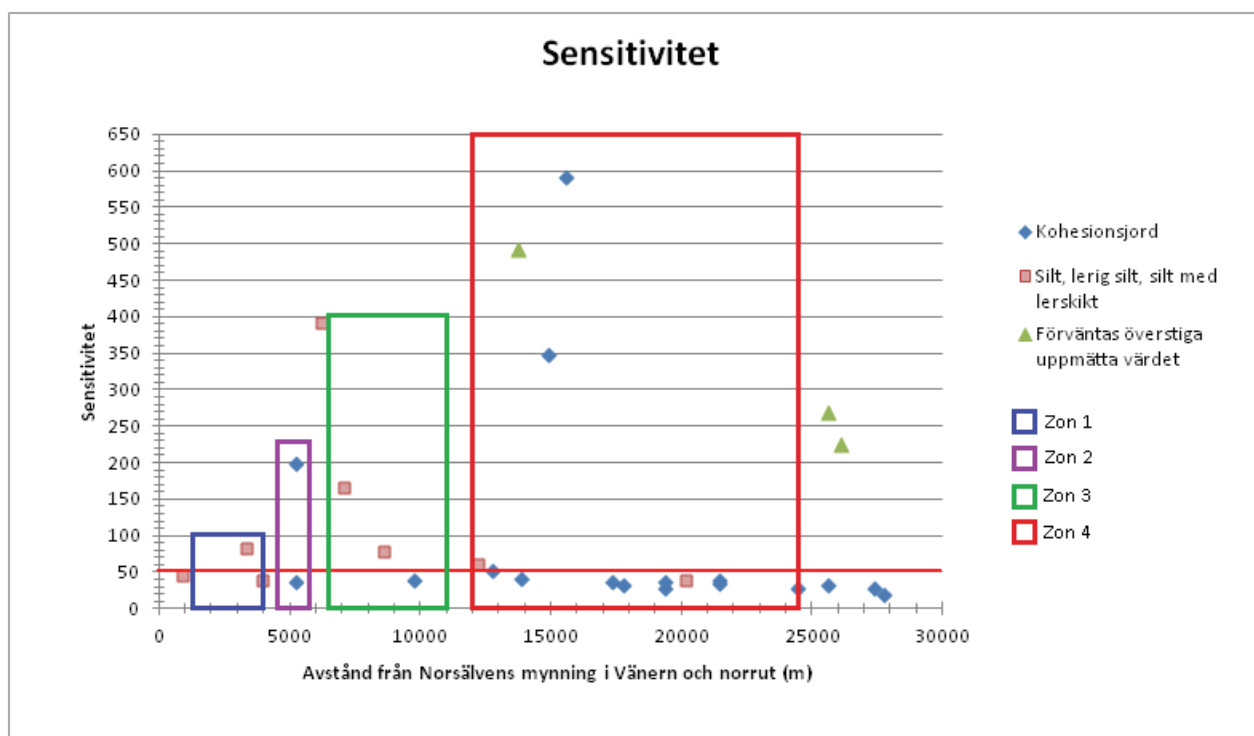


Fig. 11. Sensitivitetsdata från provpunkter utmed Norsälven enligt fig 7, indelade i 4 zoner för att förenkla analys.

och uppgår som mest till ungefär 70 m. Vid ca 8500 m ligger sensitivitet runt 75. Slänterna är fortsatt relativt flacka med slänthöjder kring 15 m. Från 9800 m och norrut förekommer dock brantare slänter än tidigare och slänthöjden uppgår som högst till ca 26 m. Jordarterna är dominerande siltig lera/lera med siltskikt (Fig. 10).

I zon 4, mellan 12 000 och 24 000 m, märks en tydlig anhopning av skred med en allt större lateral regression (se Fig. 8). Vid jämförelse med framtagna sensitivitetsdata går det att urskilja att det inom detta intervall, mellan 12 000 – 16 000 m, finns höga till extremt höga sensitivitetsvärden (Fig. 11). Dessa korresponderar väl med den ökade förekomsten av skred. I intervallet 15 000 – 16 000 m går det att observera att även slänthöjden ökar och går från 20 m till 40 m. Det föreligger dock kraftiga topografiska variationer, som tydligt kan urskiljas i Fig. 9.

I detta intervall, där det även förekommer sensitiviteter på upp till 600, finns det bakåtgripande skred uppmätta med en lateral regression på uppemot 340 m. Längre norrut, från 16 000 till 24 500 m, ökar skredens regression kraftigt och uppgår som högst till 603 m (Fig. 8). Sensitiviteten sjunker dock kraftigt och uppnår inte de extremvärden som tidigare observerats. Inom detta intervall överstiger inte sensitiviteten gränsvärdet för kvicklera (Fig. 11). En närmare granskning i ArcMap visar att dessa provpunkters lägen inte överensstämmer med de skredärr som karterats.

Slänthöjden varierar fortfarande kraftigt och den högsta slänthöjden, 43 m, observeras vid 23 000 m (Fig. 9). Andelen lerig/sandig silt och silt med ler-/sandskikt ökar kraftigt inom detta intervall och är mellan 15 000–20 000 m klart dominerande (Fig. 10).

5.2 Tolkning

Utifrån den utförda zonindelningen och de observationer som kan göras från dem tycks det finnas ett förhållande mellan skredutbredning och de undersökta faktorerna. Detta förhållande skiljer sig dock beroende på var längs älven man befinner sig. Överlag går det att säga att skredens laterala regression är betydligt mindre i de delar där endast en av de undersökta faktorerna, hög sensitivitet, slänthöjd eller silthalt återfinns, än där en kombination av två eller fler är observerade. Detta indikerar att det är kombinationen av faktorer som utgör faromomentet för skredutbredning längs Norsälven. De olika faktorerna är dock olika viktiga beroende på var längs älven skred inträffar. Exempelvis, i de södra delarna fram till ungefär 16 000 m, går det tydligt att urskilja att sensitiviteten är en mycket viktig faktor för skredutbredningen. Vid högre sensitivitet blir skreden större, särskilt i de områden där kvickleror observerats. Det motsatta är även sant då det tydligt går att se att då sensitiviteten sjunker blir resultatet en minskning i skredutbredning. Något som tydligt framgår är att regressionen ökar markant då det i kombination med en hög sensitivitet finns en ökande slänthöjd. Vid

jämförelse med de södra delarna av zon 4 där slänthöjden uppkommer till 25 m fördubblas den bakåtgripande skredutbredningen vid 16 000 m där slänthöjden uppgår mot 40 m.

Efter 16 000 m tycks dock sensitiviteten inte alls vara lika viktig för skredutbredningen och sensitivitetsvärdena understiger inom hela det intervall där de största skreden inträffat, gränsvärdet för kvicklera. Orsaken till att de låga sensitiviteterna sammanfaller med den del av älven där de största bakåtgripande skreden uppmäts har inte detta läge inte kunnat fastställas.

Analysen visar även att inte enbart hög slänthöjd är nog för att skapa stora bakåtgripande skred. Det krävs en kombination av hög slänthöjd och någon av de andra faktorerna. Även om skred förekommer i delar där endast en hög slänthöjd mätts upp så är regressionen relativt låg. Detta förhållande syns extra tydligt i zon 3 där det trots en ökande slänthöjd norrut sker en minskning av skredutbredning, vilken sammanfaller med att sensitiviteten i samma område minskar.

Den zon som är av störst intresse är dock zon 4 där vi återfinner de allra största uppmätta skredutbredningarna. Det som skiljer denna zon från de tidigare är, förutom den markanta sänkningen av sensitivitet, det faktum att det i denna zon förekommer stora mängder lerig/sandig silt och silt med ler-/sandskikt. Trots att jordarterna har förekommit tidigare har det inte varit i samma utsträckning som inom denna zon, där den uppgår till 100 % inom sträckan 15 000–18 000 m. Att skredregressionen blir större inom samma zon där en ökad halt silt uppkommer tycks indikera att andelen silt är en av de viktigaste faktorerna för skredutbredning. Andelen silt är dock inte det enda som är högre inom denna zon utan även slänthöjden är här högre än i omgivande delar av älven. De största skredutbredningarna som observeras tycks därmed ha uppstått på grund av en kombination av stora andelar siltiga sediment samt höga slänthöjder.

Som tidigare nämnts av Åhnberg et al. (2011) förmodas skred som inträffar i kvickleror med en sensitivitet som överstiger 200 att ta med sig hela det högsensitiva området vid initialskred. Detta innebär att partierna belägna vid 5000 – 7000 m, 14 000 – 16 000 m respektive 25 000 – 26 000 m befinner sig i stor risk för mycket omfattande bakåtgripande skred i det fall ett initialskred skulle inträffa i något av områdena. Trots att tidigare skred i närliggande områden i flera av dessa fall har varit förhållandevis små kan det inte tas som en garanti för att ett kommande skred i området också kommer vara det. Det är dock mycket svårt att avgöra magnituden av potentiella skred i de extremsensitiva kvicklerorna utan att ha utrett de kvicka lagrens mäktighet och utbredning, något som inte är kartlagt i den här studien.

6 Diskussion

Trots att resultaten indikerar att den största skredutbredningen längs älven beror på en hög andel silt i kombination med hög slänthöjd, är det viktigt att också analysera andra bakomliggande faktorer för skredutbredning. Sensitiviteten ligger i samma avsnitt, 17 000 – 25 000 m, aldrig över gränsen för kvicklera och är betydligt lägre än innan och efter detta intervall. Rankka (2003) anger att högsensitiva jordarter i samband med att skred utlöses förlorar sin sensitiva struktur. Detta skulle kunna ses som en möjlig orsak till de låga sensitivitetensvärdena. Eftersom samtliga mätningar av sensitivitet och jordarter är utförda efter att skreden redan inträffat skulle detta kunna vara ett rimligt scenario och skulle även överensstämma med de förväntade resultaten där de största skreden skulle förekomma i högsensitiva kvickleror. Något som dock talar emot detta är att inga av de provpunkter som sensitivitetensvärden tagits ifrån sammanfaller med de lägen som uppmäts för skredärr och därmed gamla skredmassor. Detta medför att de låga värdena inom detta intervall fortsatt förblir något av ett mysterium. För en bättre förståelse kring orsaken till de låga sensitivitetensvärdena i området vore ytterligare undersökningar av intresse.

Intressant är dock att det i samma avsnitt som det förekommer stora bakåtgripande skred även förekommer omfattande ravinbildning. Eftersom ravinbildning är något som är typiskt för siltjordar så indikerar detta att jordarterna faktiskt över lag är siltigare än i andra partier längs älven. Detta innebär att siltigheten troligen är relevant i sammanhanget då det faktiskt är i just dessa delar av älven där skredutbredningen är som störst.

Något som behöver påpekas är att den zonindelning som utfördes för analysen i denna studie har utgått från en okulär analys av anhopningarna av skred från Fig. 4. Detta innebär att denna zonindelning inte nödvändigtvis är den enda korrekta. Ett annat exempel på en möjlig zonindelning skulle vara att slå ihop zon 3 och 4 då skredutbredningarna i de båda zonerna är förhållandevis lika. Även det faktum att antalet provpunkter och därmed jordartsprover är förhållandevis få, bör beaktas. Den ringa mängden gör att dessa värden inte ska tas som något exakt värde för området, utan det varierar troligen starkt. Även jordarts/kornstorleksbedömningarna är okulärt utförda och det finns därigenom en mänsklig faktor att beakta. Proverna ger dock en god indikation om hur de ungefärliga jordartsförhållandena ser ut i de olika områdena, men hade varit säkrare om de utförts genom normerad kornstorleksanalys i laboratorium (siktning, hydrometeranalys, sedigraph-analys, etc.).

Det är troligt att det förutom de faktorer som undersökts finns ytterligare faktorer som är viktiga för skredbildning och skredutbredningen. Särskilt intressant vore undersökningar av grundvattenförhållandena och portryck i det längdintervall längs älven där de största

skredutbredningarna är registrerade, då silt kan bete sig som en vätska vid vattenmättnad. Ytterligare undersökningar skulle därigenom kunna klargöra om siltjordarna har möjlighet att påverka skredutbredningen på det sätt som resultaten indikerar.

7 Slutsatser

Utifrån de resultat som framkommit kan följande slutsatser dras:

- Slänthöjden längs älven är mycket varierande och skiftar mellan 3 och 43 m höjd. Slänthöjden är dock något högre inom längdintervallet 12 000–24 500 m längs älven.
- Lera och siltig/sandig lera samt lera med silt-/sandskikt är dominerande i de södra och norra delarna. Inom intervallet 15 000–21 000 m dominerar dock lerig/sandig silt och silt med ler-/sandskikt.
- Sedimentens sensitivitet är överlag extremt hög längs älven och kvicklera förekommer i flera områden.
- Av tidigare inträffade skred är den laterala regressionen som störst inom intervallet 17 000–23 000 m längs älven med en maximal bakåtgripande utbredning på 603 m.
- Analysen visar att i delarna söder om 16 000 m från älvmyningen är sensitiviteten en av de viktigaste faktorerna för skredutbredning, särskilt i kombination med en hög slänthöjd.
- I delarna norr om 16 000 m från älvmyningen är det istället en hög andel silt, i kombination med en hög slänthöjd, som påverkar skredutbredningen. Det är även i detta område där de största bakåtgripande skreden inträffat.
- En möjlig orsak till avsaknaden av kvicklera inom zonen med den största skredutbredningen kan bero på att lerans struktur brutits ner i samband med skredens inträffande. Provpunkterna sammanfaller dock inte med de skredärr som mätts upp.
- Skredutbredningen inom områden med en sensitivitet som överstiger 200 kan bli mycket omfattande. Det krävs dock ytterligare undersökningar över de sensitiva lagrens utbredning för att kunna avgöra magnituden.
- Ytterligare undersökningar av bland annat portryck och grundvattenförhållanden skulle behövas för att klargöra hur vattenmättade de siltiga jordarna är och deras faktiska förhållningssätt till skredutbredningen. Även vidare undersökning av bristen av kvicklera i zonen med de största bakåtgripande skreden är av intresse.

8 Tack

Jag vill börja med att tacka min handledare på SGI, Hjärdis Löfroth, som konstruktivt har hjälpt mig under arbetets gång med synpunkter och material. Jag vill

även tacka min handledare på geologiska institutionen vid Lunds universitet, Professor Per Möller, som har tagit sig tid för genomläsning och konstruktiv kritik trots ett fullspäckat schema. Ett extra tack till Karin Odén och Jim Hedfors som varit till hjälp med de data som SGI har bistått med. Även ett stort tack till samtliga medarbetare på SGI i Linköping som arbetar med Norsälven och som fick mig att känna mig välkommen under mitt besök. Jag vill även passa på att tacka Britta Smångs för hennes hjälp med referenserna. Till sist vill jag tacka min familj som läst igenom arbetet och gett mig nya perspektiv när det behövts som mest.

7 Referenser

- Bell, F.G., 1999: *Geological hazards: their assessment, avoidance and mitigation*. New York: Routledge. 648 sid.
- Bergdahl, K., Cederbom, C. & Göransson, G., 2013: Prioritering av områden för skredriskanalys. *Klimat-anpassningsanslag 2013. SGI Publikation 6 - Statens Geotekniska Institut*, 20 sid.
- Brand, E.W. & Brenner, R.P. 1981: *Soft clay engineering*. Elsevier scientific. 779 sid.
- Blumenthal, B., 2010: Översvämningsrisker i Värmland. 17 sid.
- Caragounis, V. & Thellberg, S. 2013: *Åtgärdskalender vid Ras, sker och slamströmmar*. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. 59 sid.
- Elm, D., u.å.: (pågående arbete), uppdrag Dnr. 1.1-1310-0636
- Engdahl, M., u.å.: Skred och ras. Hämtad 2013-04-15, från http://www.sgu.se/sgu/sv/geologi/skred_s.htm
- Fredén, C. (red.) 2009: Berg och Jord. *Sveriges Nationalatlas*. Nordstedts Kartor AB, Bromma.
- Knutsson, S., Larsson, R., Tremblay, M., Öberg-Högsta, A-L. 1998: Siltjordars egenskaper – Silt som konstruktionsmaterial – Bestämning av geotekniska egenskaper. *Information 16 - Statens Geotekniska Institut*, 71 sid.
- Larsson, R., 2008: Jords egenskaper. *Information 1 - Statens Geotekniska Institut*, 58 sid.
- Lebuis, J., Robert, J.-M., Rissmann, P., 1983: Regional mapping of landslide hazard in Quebec. *Rapport 17 - Statens Geotekniska Institut*, 205-262.
- Lundström, K. & Rydell, B. (red.) 2012: Skredrisker i Göta älvdalen i ett förändrat klimat. *Slutrapport Del 2 - Kartläggning*. Statens geotekniska institut, Göta älvutredningen 2009-2011, Slutrapport Del 2. Hämtad 2014-03-26, från www.swedgeo.se/upload/Publikationer/Gota%20alvutredningen/GAU_ENG_part2.pdf
- Länsstyrelsen Värmland. u.å.: Hälsoeffekter av översvämningar, stormar, ras och skred. Hämtad 2014-05-10, från <http://www.klimatanpassningvarmland.se/analys/manniskors-halsa/halsoeffekter-av-oversvamningar-stormar-ras-och-skred/>
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap., 2013: Ras och skred kan få stora konsekvenser. Hämtad 2014-05-14, från http://www.krisinformation.se/web/Pages/Page_72888.aspx
- Potvin, J., Thibault, C., Demers, D., Bilodeau, C. 2014: An Overview of the Mapping of Landslide-Prone Areas and Risk Management Strategies in the Province of Québec, Canada. *Landslides in Sensitive Clays*. 331-342.
- Pusch, R., 1962: *Clay particles; their size, shape and arrangement in relation to some important physical properties of clays*. 150 sid.
- Rankka, K., 2003: Kvikklara – bildning och egenskaper – Litteraturstudie. *Varia 526 - Statens Geotekniska Institut*, 39 sid.
- Schanche, S., 2011: Veileder: Kartlegging og vurdering av skredfare i arealplaner. *Vedlegg 2 til NVEs retningslinjer: Flom- og skredfare i arealplaner*. Norges vassdrags- og energidirektorat. 45 sid.
- Statens Geotekniska Institut., 2004a: Historik. Hämtad 2013-04-20, från http://www.swedgeo.se/templates/SGIStandardPage_1462.aspx?epslanguage=SV
- Statens Geotekniska Institut., 2004b: Om SGI. Hämtad 2013-04-20, från http://www.swedgeo.se/templates/SGIStandardPage_134.aspx?epslanguage=SV
- Statens Geotekniska Institut., u.å: Jordarter. Hämtad 2013-04-20, från http://www.swedgeo.se/templates/SGIStandardPage_1098.aspx?epslanguage=SV
- Strandberg, L-G., 2009: Beredskap inför ras och skred. Hämtad 2013-04-18, från <https://www.msb.se/sv/Insats--beredskap/Naturolyckor/Ras--skred>
- Sveriges Geologiska Undersökning, u.å.: Erosion. Hämtad 2013-05-24, från <http://www.sgu.se/om-geologi/jord/fran-istid-till-nutid/erosion-och-igenvaxning/erosion/>

**Tidigare skrifter i serien
”Examensarbeten i Geologi vid Lunds
universitet”:**

340. Kihlén, Robin, 2013: Geofysiska resistivitets-mätningar i Sjöcrona Park, Helsingborg, under-sökning av områdets geologiska egenskaper samt 3D modellering i GeoScene3D. (15 hp)
341. Linders, Wictor, 2013: Geofysiska IP-under-sökningar och 3D-modellering av geofysiska samt geotekniska resultat i GeoScene3D, Sjöcrona Park, Helsingborg, Sverige. (15 hp)
342. Sidenmark, Jessica, 2013: A reconnaissance study of Rävliiden VHMS-deposit, northern Sweden. (15 hp)
343. Adamsson, Linda, 2013: Peat stratigraphical study of hydrological conditions at Stass Mosse, southern Sweden, and the relation to Holocene bog-pine growth. (45 hp)
344. Gunterberg, Linnéa, 2013: Oil occurrences in crystalline basement rocks, southern Norway – comparison with deeply weathered basement rocks in southern Sweden. (15 hp)
345. Peterffy, Olof, 2013: Evidence of epibenthic microbial mats in Early Jurassic (Sinemurian) tidal deposits, Kulla Gunnarstorp, southern Sweden. (15 hp)
346. Sigeman, Hanna, 2013: Early life and its implications for astrobiology – a case study from Bitter Springs Chert, Australia. (15 hp)
347. Glommé, Alexandra, 2013: Texturella studier och analyser av baddeleyitombildning i zirkon, exempel från sydöstra Ghana. (15 hp)
348. Brådenmark, Niklas, 2013: Alunskiffer på Öland – stratigrafi, utbredning, mäktigheter samt kemiska och fysikaliska egenskaper. (15 hp)
349. Jalnefur Andersson, Evelina, 2013: En MIFO fas 1-inventering av fyra potentiellt förorenade områden i Jönköpings län. (15 hp)
350. Eklöv Pettersson, Anna, 2013: Monazit i Obbhult-komplexet: en pilotstudie. (15 hp)
351. Acevedo Suez, Fernando, 2013: The reliability of the first generation infrared refractometers. (15 hp)
352. Murase, Takemi, 2013: Närkes alunskiffer – utbredning, beskaffenhet och oljeinnehåll. (15 hp)
353. Sjöstedt, Tony, 2013: Geoenergi – utvärdering baserad på ekonomiska och drifttekniska resultat av ett passivt geoenergisystem med värmeuttag ur berg i bostadsrättsföreningen Mandolinen i Lund. (15 hp)
354. Sigfúsdóttir, Thorbjörg, 2013: A sedimentological and stratigraphical study of Veiki moraine in northernmost Sweden. (45 hp)
355. Månsson, Anna, 2013: Hydrogeologisk kartering av Hultan, Sjöbo kommun. (15 hp)
356. Larsson, Emilie, 2013: Identifying the Cretaceous–Paleogene boundary in North Dakota, USA, using portable XRF. (15 hp)
357. Anagnostakis, Stavros, 2013: Upper Cretaceous coprolites from the Münster Basin (northwestern Germany) – a glimpse into the diet of extinct animals. (45 hp)
358. Olsson, Andreas, 2013: Monazite in meta-sediments from Stensjöstrand: A pilot study. (15 hp)
359. Westman, Malin, 2013: Betydelsen av raka borrhål för större geoenergisystem. (15 hp)
360. Åkesson, Christine, 2013: Pollen analytical and landscape reconstruction study at Lake Storsjön, southern Sweden, over the last 2000 years. (45 hp)
361. Andolfsson, Thomas, 2013: Analyses of thermal conductivity from mineral composition and analyses by use of Thermal Conductivity Scanner: A study of thermal properties in Scanian rock types. (45 hp)
362. Engström, Simon, 2013: Vad kan slutsatser i zirkon berätta om Varbergscharnockiten, SV Sverige. (15 hp)
363. Jönsson, Ellen, 2013: Bevarat maginnehåll hos mosasaurier. (15 hp)
364. Cederberg, Julia, 2013: U-Pb baddeleyite dating of the Pará de Minas dyke swarm in the São Francisco craton (Brazil) - three generations in a single swarm. (45 hp)
365. Björk, Andreas, 2013: Mineralogisk och malmpetrografisk studie av disseminerade sulfider i rika och fattiga prover från Kleva. (15 hp)
366. Karlsson, Michelle, 2013: En MIFO fas 1-inventering av förorenade områden: Kvarnar med kvicksilverbetning Jönköpings län. (15 hp)
367. Michalchuk, Stephen P., 2013: The Sämfold structure: characterization of folding and metamorphism in a part of the ec-

- logite-granulite region, Sveconorwegian orogen. (45 hp)
368. Praszkie, Aron, 2013: First evidence of Late Cretaceous decapod crustaceans from Åsen, southern Sweden. (15 hp)
369. Alexson, Johanna, 2013: Artificial groundwater recharge – is it possible in Mozambique? (15 hp)
370. Ehlorsson, Ludvig, 2013: Hydrogeologisk kartering av grundvattenmagasinet Åsumsfältet, Sjöbo. (15 hp)
371. Santsalo, Liina, 2013: The Jurassic extinction events and its relation to CO₂ levels in the atmosphere: a case study on Early Jurassic fossil leaves. (15 hp)
372. Svantesson, Fredrik, 2013: Alunskiffern i Östergötland – utbredning, mäktigheter, stratigrafi och egenskaper. (15 hp)
373. Iqbal, Faisal Javed, 2013: Paleocology and sedimentology of the Upper Cretaceous (Campanian), marine strata at Åsen, Kristianstad Basin, Southern Sweden, Scania. (45 hp)
374. Kristinsdóttir, Bára Dröfn, 2013: U-Pb, O and Lu-Hf isotope ratios of detrital zircon from Ghana, West-African Craton – Formation of juvenile, Palaeoproterozoic crust. (45 hp)
375. Grenholm, Mikael, 2014: The Birimian event in the Baoulé Mossi domain (West African Craton) — regional and global context. (45 hp)
376. Hafnadóttir, Marín Ósk, 2014: Understanding igneous processes through zircon trace element systematics: prospects and pitfalls. (45 hp)
377. Jönsson, Cecilia A. M., 2014: Geophysical ground surveys of the Matchless Amphibolite Belt in Namibia. (45 hp)
378. Åkesson, Sofia, 2014: Skjutbanors påverkan på mark och miljö. (15 hp)
379. Härling, Jesper, 2014: Food partitioning and dietary habits of mosasaurs (Reptilia, Mosasauridae) from the Campanian (Upper Cretaceous) of the Kristianstad Basin, southern Sweden. (45 hp)
380. Kristensson, Johan, 2014: Ordovicium i Fågelsångskärnan-2, Skåne – stratigrafi och faciesvariationer. (15 hp)
381. Höglund, Ida, 2014: Hiatus - Sveriges första sällskapsspel i sedimentologi. (15 hp)
382. Malmer, Edit, 2014: Vulkanism - en fara för vår hälsa? (15 hp)
383. Stamsnijder, Joaen, 2014: Bestämning av kvartshalt i sandprov - medtutveckling med OSL-, SEM- och EDS-analys. (15 hp)
384. Helmfrid, Annelie, 2014: Konceptuell modell över spridningsvägar för glasbruksföreningar i Rejmyre samhälle. (15 hp)
385. Adolfsson, Max, 2014: Visualizing the volcanic history of the Kaapvaal Craton using ArcGIS. (15 hp)
386. Hajny, Casandra, 2014: Ett mystiskt ryggradsdjursfossil från Åsen och dess koppling till den skånska, krittida ryggradsdjursfaunan. (15 hp)
387. Ekström, Elin, 2014: Geologins betydelse för geotekniker i Skåne. (15 hp)
388. Thuresson, Emma, 2014: Systematisk sammanställning av större geoenergianläggningar i Sverige. (15 hp)
389. Redmo, Malin, 2014: Paleontologiska och impaktrelaterade studier av ett anomalt lerlager i Schweiz. (15 hp)
390. Artursson, Christopher, 2014: Comparison of radionuclide-based solar reconstructions and sunspot observations the last 2000 years. (15 hp)
391. Svahn, Fredrika, 2014: Traces of impact in crystalline rock – A summary of processes and products of shock metamorphism in crystalline rock with focus on planar deformation features in feldspar. (15 hp)
392. Järvin, Sara, 2014: Studie av faktorer som påverkar skredutbredningen vid Norsälven, Värmland. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund