Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

Hundars och andra djurs beteende som varnings-system för bedömning av risken för följdskred/ras under räddningsinsats

UPPSALA UNIVERSITET

Hundars och andra djurs beteende som varningssystem för bedömning av risken för följdskred/ras under räddningsinsats

Ari Tryggvason, Roland Roberts, Caterina Melchiorre, Olafur Gudmundsson, Björn Lund, Hossein Shomali, Reynir Bödvarsson

Hundars och andra djurs beteende som varningssystem för bedömning av risken för följdskred/ras under räddningsinsats

Litteraturstudie på uppdrag av MSB för ”Projekt Ras & Skred – säker och effektiv räddningsinsats” utförd av

Ari Tryggvason
Roland Roberts
Caterina Melchiorre
Olafur Gudmundsson
Björn Lund
Hossein Shomali
Reynir Bödvarsson

Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala universitet, Villavägen 16. 752 36 Uppsala.
November, 2012.

Innehållsförteckning

Sammanfattning 4
Executive summary (eng) 7

Inledning 10

Jordskred
1.1 Processer och fenomen 11
1.2 Kritiska parametrar och utlösande faktorer 13
1.3 Riskbedömningar 13
1.4 Förebådande fenomen och förutsägelser av förestående skred 14
1.5 Skredvarningar baserade på djurbeteende 15
1.6 Instrument för att detektera skredrörelser 15

Jordbävningar
2.1 Processer och fenomen 16
2.2 Jordbävningsmagnitud 17
2.3 Seismisk vågutbredning och dämpning (Q-värden) 17
2.3.1 Dämpning av ljudvågor och hörselområden 18
2.4 Varningstecken inför jordbävningar 18
2.4.1 Förskalv samt ”tidig varning” 19
2.4.2 Ultraljud och infraljud 19
2.4.3 Elektromagnetiska signaler 20
2.5 Djurbeteende och jordskalvsförutsägelser 21
2.5.1 Marvibrationer 22
2.5.2 Variationer i det magnetiska fältet 23
2.5.3 Infraljud 24
2.6 Fenomen som signalerar jordbävningar och jordskred – en teoretisk utgångspunkt 24

Diskussion
3.1 Sammanträffanden, möjliga samband och förutsägelser 25
3.2 Fenomen som signalerar jordbävningar – och jordskred 26
3.3 Övriga fenomen 27
3.4 Jordbävningar och skred, möjliga förvarningar likheter och skillnader 27
3.5 Djurs beteende inför jordskalv 28
3.6 Slutsatser 29

Litteraturlista 31

Appendix I – Uppdraget 33

Sammanfattning
Enligt de ledande internationella databaserna över naturkatastrofer är det jordskred som har krävt flest liv i Sverige under det gångna seklet bland händelser klassade som geologiska och hydrometeorologiska naturkatastrofer. Det är välkänt att jordskredsriskerna i stora delar av Sverige är betydande, bl.a. p.g.a. förekomsten av kvicklera – en sorts lera som har förlorat stor andel av sin skjuvstyrka. Omfattande arbeten har därför genomförts i Sverige för att kartlägga skredförutsättningarna, och där det varit praktiskt och ekonomiskt möjligt har åtgärder genomförts för att minska risken för farliga skred. Eftersom riskerna är starkt beroende av markens mekaniska egenskaper, vilka kan skilja sig kraftigt åt mellan två angränsande platser, inte bara p.g.a. variation i komposition utan också i t.ex. hydrologiska förutsättningar, är sådan kartläggning långt ifrån exakt. Efter att ett skred har skett finns det ofta anledning för räddningspersonal och andra att befinna sig i skredområdet. Om risken för sekundära skred underskattas kan detta innebära påtagliga risker, och om den överskattas kan det förhindra räddnings- och andra arbeten inom det aktuella området. Information om kommande rörelser kan delas in i ett antal olika kategorier. Statisk risk beror på en slänts lutning och form och interna struktur, berget och jordarternas mekaniska egenskaper, samt den rådande hydrologiska situationen. Externa faktorer såsom regn kan tillfälligt öka riskerna. Innan ett skred sker kan det finnas direkta varningstecken, såsom mätbar och relativt snabb deformation av släntens yta.

På grund av de kända riskerna från jordskred, och med fokus på riskerna för räddningspersonal från sekundära skred, vill MSB undersöka möjliga metoder för att öka riskuppskattningens pålitlighet. Det finns, både i facklitteratur och i vetenskaplig litteratur, många rapporter som indikerar att djurs beteende kan ändras inför stora naturkatastrofer – också de som har med jordens mekaniska beskaffenhet att göra, såsom jordbävningar, vulkanutbrott och jordskred. En relevant fråga är därför om det kan finnas möjlighet att använda djur i förvarningssyfte och därmed minska riskerna och rädda liv. Under 2012 bad MSB (Bilaga 1) Uppsala Universitet att kartlägga de nuvarande vetenskapliga rönen om detta. I denna rapport presenteras resultaten av denna undersökning.

Der finns oerhört många fler rapporter om anomala djurbeteende inför stora jordbävningar än inför jordskred. Eftersom båda fenomen beror på mekaniska brott i marken är det möjligt att det finns gemensamma nämnare, och i linje med uppdraget från MSB är en stor del av belysningen av djurvarningar relaterade till jordbävningar, eftersom det är här det finns data. Det finns dock många skillnader mellan skred och jordbävningar, och därför innehåller rapporten även en beskrivning av de olika fenomenen i relation till respektive förvarningstecken och en mer principbetingad diskussion om vilka fenomen som förefaller möjliga eller sannolika som varningstecken inför skred.

Vi konstaterar att de vetenskapliga beläggen för att djur framgångsrikt har uppfattat stora jordbävningar eller jordskred i förväg är mycket svaga. Visserligen finns många rapporter i vetenskapliga tidskrifter om onormala djurbeteende inför stora händelser som eventuellt kan visa ett samband, men många av dessa har senare dementerats. Andra kan varken bekräftas eller dementeras, och förblir därmed enbart möjliga förvarningstecken. En tredje kategori är där det förefaller troligt att djur har känt av ett fenomen, men samma fenomen har uppfattats av människor, direkt eller via mätinstrument. I samtliga fall som vi bedömer som trovärdiga är det sannolikt att

djuren känt av seismiska signaler som kommit innan de destruktiva vågorna, antingen signaler från större förskalv, eller P-vågssignaler som kommer från huvudskalvet och som färdas med ca dubbla hastigheten relativt de långsammare men mer destruktiva seismiska ytvågorna. Det är även konceptuellt tänkbart att djuren får en förvarning av möjliga kommande tsunamier genom att känna av de seismiska vågorna, men vi hittar enbart svaga belägg för den tanken. Det som är säkert är att det inte idag finns någon rutinmässig och pålitlig metod för att, precist i tid, kunna förutsäga vare sig jordskred eller jordbävningar. Av de metoder som finns bygger de mest lovande på fysikaliska mätningar av mindre deformationer innan den stora, farliga, rörelsen. Sådana mätningar kan vara direkta mätningar av en sluttytas deformation, så kallad akustisk emission eller förskalv innan ett skred eller skalv. Vi rekommenderar att framtida undersökningar som har för avsikt att bättre förutse och varna för risker fokuserar på sådana fenomen, inte på djurbeteende. De mest lovande metoderna att förutsäga skred bygger på direkta mätningar av långsamma ytrörelser med hjälp av laser eller radarvågor (lidar, synthetic aperture-radar, m.m.). Upprepade mätningar över längre tid på områden som bedöms som riskabla kan tänkas ge information om kommande primära skred, men kan även ligga till grund för uppskattningar av möjliga sekundära skred i samband med räddningsarbeten. Vi bedömer att detta är ett forskningsfält där den grundläggande tekniken finns tillgänglig redan idag och där fortsatt forskning och metodutveckling relativt snart kan ge bättre och snabbare prognosverktyg för jordskred. Det är inte orimligt att med dagens teknik kunna ha ett övervakningssystem baserat på att upptäcka kryprörelser installerat inom några timmar, och lika snabbt bör de första resultaten kunna produceras. Ska djurs möjliga användning i sammanhanget undersökas vidare i samband med sekundära skred bör man fokusera på ytdeformation (t.ex. kryprörelser) samt ljudsignaler eller vibrationer p.g.a. pågående ytdeformation. Vi har inte funnit några belägg för att hundar eller andra däggdjur skulle vara generellt bättre än människor på att uppfatta vibrationer eller markrörelser. Hundar har bättre hörsel än människan i frekvensområdet 4 till 50 kHz, men om det överhuvudtaget är relevant för skredövervakning är idag ytterst osäkert. Även om forskning visat att ultraljud kan förekomma i samband med jordskred måste mer forskning avgöra hur pass vanligt förekommande sådana fenomen är i samband med jordskred, om de genereras endast vid en viss typ av skred, och om vissa speciella förutsättningar måste vara uppfyllda för att så ska ske. Utöver det föreligger problemet att ljud i det frekvensområdet dämpas väldigt kraftigt och man förmodligen måste befinna sig väldigt nära källan för att uppfatta dessa. Om sedan hundar effektivt kan tolka sådana förtecken till användbara varningar är dock mindre säkert, men innan den frågan ens går att formulera precist måste man ha bättre kännedom om dessa signaler.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att:

- Det finns mycket lite belägg för att djur kan känna av kommande skred eller jordbävningar innan lätt mätbara fysikaliska signaler, främst markvibrationer, nått observationspunkten.
- I fallen som vi bedömer som trovärdiga i relation till förvarningar av jordbävningar (vi har inte hittat några sådana gällande jordskred), är det sannolikt att djuren känt av signalerna från huvudhändelsen i sig, och som nått observationspunkten snabbare än de mer destruktiva fenomenen (vågorna).
- Vi rekommenderar att framtida arbeten med förbättrade varningsmetoder fokuserar på fysikaliskt grundade mätningar.
- Av möjliga förvarningstecken inför kommande stora skred är ytdeformation

den mest lovande i samband med varningar och prognoser.

- Mätningar av ljud kan möjligtvis vara av relevans i samband med sekundära skred, men mer forskning behövs.
- Även mätningar av akustisk (ultraljud) och elektromagnetisk emission kan möjligtvis så småningom vara användbara i varningssammanhang, men dels är de empiriska underlagen för att sådana regelmässigt förekommer svaga, samt (i fallet elektromagnetisk emission) saknas en fullgod fysikalisk modell för hur fenomenen skulle vara sammankopplade.

Executive summary

According to the leading international databases of natural disasters, landslides have claimed most lives in Sweden during the past century among events classified as geological and hydro-meteorological disasters. It is well known that the landslide risk in large parts of Sweden is significant, sometimes (but not always) due to the presence of “quick clay” - a high-sensitive clay that has lost a large portion of its shear strength. Extensive work has been carried out in Sweden to map the prerequisites for landslides, and where practically and economically feasible measures have been implemented to reduce the risk of dangerous landslides. Since the prerequisite for landslides is highly dependent on the mechanical properties of the soil, which may vary considerably between two adjacent places not just in terms of composition but also due to e.g. hydrological conditions, such a survey is far from exact. After a landslide has occurred, rescue workers and others are often in the landslide area. If the risk for secondary landslides is underestimated, this may involve significant risks, and if it is overestimated, this may unduly restrict rescue efforts and other work in the area. Information about future slides can be divided into different categories. Static risk depends on the morphology of the surface and the shape and internal structure of the rock and soil types involved, as well as on current hydrological conditions. External factors such as rain can temporarily increase the risk. Before a landslide occurs, there may be direct warning signs, such as measurable and relatively rapid deformation of the slope surface.

Because of the known risks from landslides, and focusing on the risks to emergency response personnel from secondary landslides, the Swedish Civil Contingencies Agencies (MSB) wanted to investigate possible methods to increase the reliability of various risk assessments. There have been many reports, including those in the scientific literature, that animal behaviour may be different before major natural disasters - including those related to the earth's mechanical nature, such as earthquakes, volcanic eruptions and landslides. A relevant question is therefore whether animal behaviour could be used for warning purposes to reduce risk and save lives. In 2012, MSB (Appendix 1) asked Uppsala University to survey the current scientific knowledge on this. This report presents the findings of this survey.

There are many more reports on anomalous animal behaviour before major earthquakes than before landslides. Since both phenomena are due to mechanical failure in the ground, it is possible that there is a common denominator, and in line with the mandate from MSB a big part of the evaluation of animal warnings is related to earthquakes, because this is where data exist. However, there are many differences between landslides and earthquakes. Therefore a description of the various phenomena in relation to the respective warning sign is also given, including a principle contingent discussion of which phenomena seem possible or likely to occur before a landslide.

We note that the scientific evidence that animals have successfully sensed great earthquakes or landslides in advance is very weak. While there are many reports in the scientific literature of abnormal animal behaviour before major events that may or may not be significant, many of these have later been discredited. Others can neither be confirmed nor denied, and thus remain only possible warning signs. A third category is where it seems likely that the animal has sensed a phenomenon, but humans have also noticed it either directly or through instruments. In all cases that we

consider reliable, it is likely that animals have reacted to seismic signals that come before the destructive earthquake waves, either signals from larger foreshocks, or P-waves from the main event that travel about twice as fast as the slower but more destructive surface waves. It is also conceptually possible that animals may have escaped from possible coming tsunamis by detecting seismic waves, but we find only weak evidence for this. What is certain is that today there exists no reliable method to routinely and precisely in time predict landslides or earthquakes. The methods that are most promising are based on physical measurements of deformations before the large, dangerous, movement. Such measurements can be direct measurements of the deformation of a slope, or so called “acoustic emissions” or foreshocks before a landslide or an earthquake. We recommend that future studies that aim to better predict and warn for risks focus on such phenomena, not on animal behaviour. The most promising methods to predict landslides are based on direct measurements of slow surface movements using laser or radar waves (lidar, synthetic aperture radar, etc.). Repeated measurements over time in areas that are considered at risk may provide information about the upcoming primary landslide, but can also be the basis of estimates of possible secondary landslides during the rescue work. We believe that this is a research field where the basic technology is available today and where further research and method development relatively quickly can provide better and faster prediction tools for landslides. It is not unreasonable to expect that with today's technology a monitoring system based on the detection of creep movements could be deployed within hours, and that first results could be produced just as quickly. If animal behaviour were to be further investigated in connection with secondary landslides, then focus should be on surface deformation (e.g. creep movements) and sounds or vibrations due to ongoing surface deformation. We have found no unequivocal evidence that dogs or other mammals are better than humans at perceiving vibrations or ground movements. Dogs have better hearing than humans in the frequency range 4-50 kHz, but it is extremely uncertain if this is relevant at all to landslide monitoring. Although research has shown that ultrasound may occur in relation to landslides, more research is needed to determine how widespread such phenomena are in association with landslides, if they are generated only when a certain type of landslide occurs, or if certain special conditions must be met for these to be generated. In addition, high levels of attenuation (damping) are a problem in this frequency range, and probably such sound cannot be perceived except at very short range. Weather dogs can effectively interpret such sounds to useful warnings, is, however, less certain. Before this question can even be properly posed a better knowledge of these phenomena is needed.

In conclusion it can be stated that:

- There is very little evidence that animals can sense coming landslides or earthquakes before easily measurable physical signals, mainly ground vibrations, have reached the observation point.
- In the cases that we consider credible in relation o premonitions of earthquakes (we have not found any such for landslides), it is likely that the signals the animals have sensed are from the main event itself, signals that have reached the point of observation faster than the more destructive phenomena (the surface waves).
- We recommend that future work on improved warning methods focus on physical measurements.

- Of the possible warnings and forecasts for future large landslides the most promising methods are based on effects associated with surface deformation.
- Measurements of sound may possibly be relevant in the context of secondary landslides, but more research is needed.
- Measurements of acoustic (ultrasonic) and electromagnetic emissions can possibly be useful for warning in the future, but the empirical evidence that such phenomena regularly occur is weak, and (in the case of electromagnetic emission) an adequate physical model for how this phenomenon may be related to the landslide process is lacking.

Inledning

Jordskred och relaterade naturkatastrofer dödar tusentals människor över hela världen årligen. Enligt CRED finns 11622 dödsfall inrapporterade för torra och blöta skred (deras distinktion) från åren 2000 till 2012, dvs. ca 1000 per år (http://www.emdat.be/). Den siffran inkluderar inte dödsfall i jordskred som orsakats av t.ex. jordbävningar eller vulkanutbrott – dessa hänförs vanligtvis till naturkatastrofen som utlöst jordskredet. Dessa databaser omfattar inte heller händelser med endast ett fåtal dödsfall, såsom t.ex. åsknedslag. Nivån och karaktären på riskerna varierar kraftigt från land till land. Sveriges geologi och geografi innebär att riskerna från naturkatastrofer är ganska låga. Hur siffrorna faller ut styrs förstås hur vi väljer att definiera en naturkatastrof. Med allmänt vedertagna internationella definitioner (CRED), och om man exkluderar biologiska katastrofer såsom epidemier, visar statistiken att svenska dödsfall under det senaste århundradet domineras av ett litet antal mycket extrema händelser, och att de allra flesta registrerade svenska dödsfallen inte förekommit geografiskt inom Sverige. Gällande svenska dödsfall har de två mest katastrofala händelser under den senaste tiden varit Annandag Jul-skalvet med efterföljande tsunami 2004 och Estoniakatastrofen 1994. Den senare klassas dock i CRED som en "transportolycka" snarare än en naturkatastrof orsakad av storm vid tidpunkten för katastrofen. Inom Sverige dominerar jordskreden dödstalen för naturkatastrofer, följt av stormar. Som med många naturkatastrofer sker de flesta dödsfallen i samband med sekundära fenomen som orsakats av naturkatastrofen. T.ex. skedde den hittills värsta tågolyckan i Sverige efter att ett jordskred förstört järnvägsrälsen i närheten av Getå, norr om Norrköping, 1918. 41 personer dog och lika många skadades.

Ett jordskred förändrar sluttningens morfologi. Detta förändrar spänningarna i angränsande delar av sluttningen. I vissa fall kan detta leda till ytterligare skred i dessa områden. Även den del av sluttningen som har rört sig kan röra sig ytterligare. Flera faktorer kan medföra att följdskred kan inträffa med viss tidsfördröjning, dvs. inte samtidigt med det första eller primära skredet. Den viktigaste faktorn är förändringar i portryck då vatten långsamt rör sig i leran för att anpassa sig till den nya situationen efter skredet. Vissa leror är betydligt elastiska, dvs. de kan expandera när krafterna som de utsätts för förändras. En omedelbar ökning i lervolym leder till en minskning i portryck, vilket ökar skjuvhållfastheten. Om portrycket senare ökar, minskar skjuvhållfastheten. Sålunda kan exempelvis nästan vertikala ytor vara temporärt stabila i vissa leror, för att sedan kollapsa efter en tid. Hur mycket tid detta tar beror på lerans egenskaper, volymen som omfattas och de mekaniska och hydrologiska randvillkoren. Härav följer att ett stort skred kan följas av omfattande sekundära skred. Detta kan medföra risk för räddningspersonal och andra i området.

Uppenbarligen är det viktigt att bedöma risken både för skred i opåverkade sluttningar och för följdskred. Det primära syftet med denna studie är att fokusera på de senare, men som diskussionen ovan illustrerar är frågorna om primär och sekundär stabilitet mycket nära besläktade och flera metoder för bedömning av skredrisken kan troligen tillämpas i båda situationerna. Av praktiska skäl kan det vara viktigt att bedömningen av risken för följdskred kan ske snabbt. Ett antal indikatorer på skredrisken finns lätt tillgängliga, bl.a. topografin i området efter det primära skredet. Den förändrade topografin kan bedömas med ögat eller genom lämpliga mätningar. Information om de mekaniska egenskaperna hos jordmaterialet kan snabbt bedömas, men sluttningar kan vara inhomogena och prover är inte alltid lätt tillgängliga för alla viktiga

områden. Mer avancerade hydrologiska och geofysiska metoder för att undersöka portryck och den inre strukturen i en sluttning skulle kunna göras, men sådana undersökningar kan ta tid och skulle utsätta personal för risker om sluttningen är instabil. Därför är det rimligt att försöka hitta enkla och direkta metoder som kan uppskatta risken för följdskred.

En allmän uppfattning är att djur är mer uppmärksamma för naturkatastrofer än vad vi människor är. Vi vet t.ex. att vissa djur har mer känsliga sinnen än vi, vilket skulle innebära att djur kan ha möjligheten att upptäcka förebådande signaler som vi människor inte uppfattar. Många naturkatastrofer åtföljs också av åtskilliga rapporter om onormalt djurbeteende strax innan katastrofen. Här närmar vi oss den frågan från flera olika synvinklar. Det visar sig att medan det ofta anförs att hundar och andra djur är uppmärksamma för kommande naturkatastrofer, inklusive jordskred, är det mycket svårt att hitta dokumenterade rapporter om detta, både gällande primära och sekundära skred. De allra flesta rapporter om onormalt djurbeteende före naturkatastrofer relaterar till jordbävningar. Vissa egenskaper hos jordbävningar och jordskred är likartade, eftersom båda fenomenen innefattar skjuvbrott under belastning av berg och/eller jordmaterial. Om det finns påvisbara fenomen inför skjuvbrott skulle dessa fenomen kunna vara likartade för jordbävningar och jordskred. Vi vet t.ex. att förskalvssekvenser ibland observeras strax före stora jordbävningar, och akustisk emission har registrerats före några jordskred. Om det är möjligt att förutsäga jordbävningar med hjälp av djur eller på annat sätt, vore det inte helt orimligt att en liknande metod är tillämplig för jordskred. Nedan granskar vi kortfattat jordskred och jordbävningar som fenomen. Vi går igenom vilka typer av förebådande fenomen som kan tänkas finnas, och i vilken utsträckning dessa kan vara instrumentellt och/eller biologiskt detekterbara. Vi granskar den stora mängd information om förmodade förebådande djurbeteende i syfte att identifiera och bedöma väldokumenterade rapporter. Vi diskuterar begrepp som gäller orsak och verkan, statistisk osäkerhet, selektionsbias, och negativa bevis. Vi berör mycket kortfattat känsligheten hos djurs sinnen i förhållande till människans, de möjliga evolutionära effekterna av en biologisk anpassning till naturkatastrofer – "genetiskt minne", eventuell förekomst av sinnen som vetenskapen ännu är omedveten om, och även i vilken utsträckning djur kan vara bättre rustade än människor för att bedöma eventuella naturkatastrofer, även om båda har tillgång till liknande information. Vi lägger särskilt fokus på prognoser som redovisas i peer-reviewed vetenskaplig litteratur och/eller där medierapporteringen av förutsägelsen har varit stor.

JORDSKRED

1.1) Processer och fenomen

Jordskred definieras som en rörelse av berg, jordarter och humus orsakad av gravitationen. Jordskred skiljer sig från andra former av gravitationella flöden (som flodvågor eller flöden av suspenderade partiklar) i det att den rörliga massans densitet är minst 10% högre än vattnets densitet (De Blasio, 2011). Denna definition delar in massflöden i vattenburna och solidburna flöden. Volymen materiel som omfattas av ett jordskred varierar kraftigt, från ett fåtal till flera millioner kubikmeter material. Skredens hastighet varierar också stort, från rörelser som ej kan detekteras utan instrument till hastigheter runt 5 m/s. Pyroklastiska flöden från vulkanutbrott (en blandning av solitt vulkaniskt material och gas) kan röra sig ännu hastigare, upp till ett par 100 km/h. Laviner rör sig också ofta hastigt och räknas för det mesta som ett specialfall av skred. Jordskred kan initieras med en mycket långsam rörelse som

plötsligt accelererar tills dessa att brottet sker. De vanligaste sätten att klassificera jordskred utgår ifrån materialet och typen av rörelse.

Jordskred i jordarter och jordskred i berg behandlas oftast separat. Vanliga jordarter är finkorniga (lerlika), granulära (sandlika) eller en kombination av de två. Huvudskillnaden mellan dessa är att när partiklarna är mycket små spelar ytladdningen en större roll i den mekaniska beskrivningen. I allmänhet är de minsta partiklarna (lermineral) plattliknande medan sandpartiklar är mer rundade. Kvickleror kan bära sig väldigt annorlunda åt jämfört med andra jordarter och dessa diskuteras separat. Hansen (1984) delar upp jordskred i tre huvudtyper beroende på rörelsemönstret: fall, skred och flöden. För fall rör sig materialet som en fastkropp, som en fritt-fall rörelse i riktning bort från branta sluttningar. I skred liknar rörelsen en fastkropps-liknande rörelse längs en eller flera identifierbara skjuvytor. En ungefärlig beskrivning av rörelsen är ett eller flera rigida block som flyttar sig längs en yta. Enligt denna enkla modell krävs en kontinuerlig glidyta mellan blocket och det underliggande materialet. Skred kan delas upp ytterligare i transiella och roterande skred. De nästan plana skredytorna för de transiella skreden kontrolleras av interna svagheter, i berggrunden av t.ex. förkastningar och i jord av lagerföljder, eller av kontakten mellan berggrunden och det överliggande lösa materialet (som i fallet med grunda jordskred). Vid roterande skred kan brottytorna oftast approximeras med cirkulärt cylindriska ytor. I ett sådant fall sker de kritiska processerna längs den blivande glidytan, och det är när skjuvspänningen på denna når en kritisk nivå som skredet inträffar. I flöden dominerar interna kornrörelser över skjuvningsrörelser längs ytan, därför rör sig material som en viskös massa.

Ofta kan mer än en typ av rörelse ske i en instabil sluttning. Ett exempel på detta är sluttningar där det förekommer instabila leror (typ kvicklera). En typisk brottsmekanism i instabila leror innefattar först en roterande rörelse, följt av ett flöde, där det fasta materialet omvandlas till och rör sig som en trögflytande vätska. Kvicklera är sediment som avsattes under havsytan, dvs. i vatten med hög salthalt. På grund av saltet formar de plattliknande lerpartiklarna som utgör sedimentet en relativt öppen struktur. Permeabiliteten hos lera är låg, men om postglacial landhöjning lyfter sådana marina sediment till över havsnivå, kan flödet av (regn-) vatten genom leran långsamt laka ur saltet. Den öppna lerpartikelstrukturen blir då meta-stabil, och stöds endast av den relativt svaga bindningen mellan de plattliknande lerkornen. En sådan öppen lerstruktur kan plötsligt kollapsa när urlakningen har tagit bort tillräckligt mycket av saltet så att volymen inte längre håller för de krafter den utsätts för. När detta händer minskar skjuvhållfastheten i materialet dramatiskt. När en liten delvolym av kvickleran kollapsar leder detta till ökade belastningar på intilliggande områden, vilka i sin tur kollapsar. Således kan en kedjereaktion inträffa som leder till en plötslig kollaps i en stor volym, dvs. ett jordskred. Eftersom skjuvhållfastheten i urlakad kvicklera kan vara mycket låg kan sådana skred inträffa på sluttningar med en lutning på endast några få grader. I vissa fall kan förändringar i hydrologiska förhållanden, sluttningens morfologi som t.ex. tå-erosion, eller en mekanisk störning, t.ex. från mänsklig verksamhet, utlösa en sådan kollaps.

Jordskred, speciellt de som involverar kvicklera, kan ske snabbt. Oavsett typ av rörelse måste ett större område vara nära brottpunkten för att en stort skred ska ske, annars orsakar inte en första liten rörelse en kedjereaktion av belastningsöverföringar till angränsande volymer. Stora delar av Sverige innehåller sluttningar där risken för

skred bedöms som stor. Om sådana skred riskerar att skada vägar eller järnvägar, eller påverka bebodda områden kan de orsaka omfattande materiella skador och många dödsfall. Det finns en uppenbar risk för att mycket värre katastrofer än vad hittills har observerats i Sverige mycket väl kan ske.

1.2) Kritiska parametrar och utlösande faktorer

Eftersom jordskred innefattar ett brett spektrum av fenomen, vilka beskrivits i föregående avsnitt, är variationen av de kritiska parametrarna ganska stor, liksom tidsskalan för förloppen. Viktiga parametrar kan vara: geometriska faktorer (lutningsvinkel, längd på sluttningen, etc.), statisk och dynamisk belastning, mekaniska egenskaper hos materialet i sluttningen, samt hydrologiska faktorer. Många långsiktiga förändringar i jordens material leder till större mekanisk hållfasthet, t.ex. omvandlas marken till berg på en geologisk tidsskala. Det finns dock undantag, som t.ex. urlakning av marina leror (se diskussionen ovan om kvickleror). Generellt sett kan en sluttning anses instabil när belastningen överskrider de mothållande krafterna. På kort sikt kan en variation i de viktiga faktorerna förändra kraftbalansen och leda till kollaps. Ökad lutning på en sluttning, orsakad av antingen mänskliga aktivitet (omfördelning av stora jordmassor) eller naturliga processer (floderosion) är huvudsakliga utlösande faktorer som påverkar de geometriska förhållandena för en sluttning. En avgörande roll för utlösandet av jordskred spelas ofta av vatten (t.ex. intensiv nederbörd eller snösmältning). En ökning av vattenhalten i marken kan antingen förorsaka en förändring i grundvattennivån men även i matrisens struktur, med effekten att materialets skjuvhållfasthet minskar och/eller att den statiska belastningen ändras. Dynamisk belastning, såsom markvibrationer från jordbävningar eller explosioner, kan också öka sannolikheten för skred.

1.3) Riskbedömningar

Risk (eng. hazard) kan uttryckas som sannolikheten för inträffandet inom en referensperiod (t.ex. år, designperioden för en byggnad etc.). Risk är en funktion av den rumsliga sannolikheten (i samband med statiska miljöfaktorer såsom lutning, hållfastheten, djupet, etc.) och den temporala sannolikheten, indirekt relaterad till statiska miljöfaktorer som lutning och hydraulisk konduktivitet – och direkt till dynamiska faktorer som nederbörd och jordbävningar. Skredrisken bedöms vanligtvis i första hand genom att bedöma tidigare händelser i området och utvärdera den samlade informationen om markens topografi och kvartärgeologi, dvs. den geologiska strukturen i materialet nära ytan. I vissa fall är det praktiskt och ekonomiskt möjligt att ändra topografin eller dräneringen av en sluttning för att minska risken för skred. Stora resurser har på senare tid lagts på denna slags riskbedömningar, och i vissa fall har förebyggande åtgärder planerats eller genomförts. Då områdena är stora där en viss risk för jordskred bedöms föreligga och översiktliga riskbedömningar baserade på relativt enkla ingångsdata inte är helt befriade från förenklingar eller fel, kan vi förvänta oss att överraskas av allvarliga jordskred i Sverige även i framtiden.

Variation i riskbedömningar som görs är stor och beror på typen av utredning, de insamlade data och på metoden som används. Metoden som används är i sin tur beroende på vilken typ av jordskred som är fokus för bedömningen, dess omfattning och syfte. På både stor och liten skala kan en första stabilitetsbedömning göras genom att utvärdera vissa lätt observerbara statiska parametrar. Dessa innefattar marktopografin samt olika sluttningars lutningar och längder. Detta kan ge en första indikation på vilka sluttningar som kan vara instabila. Det kan också vara möjligt att

bedöma karaktären på marken vid ytan (som t.ex. jordart och fuktighet), vilket kan ge ytterligare information om sluttningarnas stabilitet. Vinkeln för den inre friktion, dvs. skjuvhållfastheten, för olika jordarter kan vara mycket olika. Skred kan förekomma även vid mycket svaga lutningar, medan nästan vertikala klippor är vanliga. Spår av tidigare jordskred är naturligtvis ett tecken på instabilitet. Recenta jordskred kan vara en indikation på storskalig instabilitet.

Det finns också fenomen som kan tyda på en pågående ökning av risken för jordskred. Några av dessa är lätta att observera, som tå-erosion, schaktning vid foten av sluttningar, kraftigt regn, eller markvibrationer från jordskalv eller explosioner. Trotts det är det en svår uppgift att bedöma om ett jordskred är nära förestående utifrån endast dessa lätt observerbara indikatorer. Självklart är en sådan analys inte tillräckligt vid planeringen av byggnader och annan infrastruktur, vilket kräver en mer noggrann och detaljerad uppskattning av stabilitetsförhållandena. I det fallet är en omfattande och detaljerad insamling av data innefattande mekaniska egenskaper och hydrologiska förhållanden nödvändig, följt av en fullständig stabilitetsberäkning.

På regional eller nationell nivå är en insamling av detaljerade mekaniska och hydrologiska data i allmänhet inte ekonomiskt motiverade och fullständiga stabilitetsberäkningar beräkningsmässigt för dyra för djupt liggande jordskred. Vid den skalan är stabilitetsberäkningar endast möjliga för grunda skred, genom t.ex. Skempton och De Lory's (1957) approximativa infinite-slope stabiltetsmodell, eller från en distribuerad hydrologisk modell (Rosso et al., 2006). Andra metoder och tillvägagångssätt (Guzzetti et al., 2005) har utvecklats för att utföra riskbedömningar på nationell och regional skala baserad på analys av statiska faktorer som är viktiga för jordskred snarare än på geotekniska parametrar, och på regional nivå innefattande återkomsttider för utlösande (dynamiska) faktorer som regn och jordbävningar.

1.4) Förebådande fenomen och förutsägelser av förestående skred

Den mest använda indikationen för ett kommande jordskred är rörelse. Större instabiliteter uppkommer nästan alltid efter mindre förskjutningar och rörelser. Tidsintervallet mellan början på rörelserna, dess upptäckt, och huvudskredet beror på egenskaperna hos berget och/eller jordmassan, samt känsligheten hos instrumenten, och varierar från dagar till månader. Generellt sett kan två huvudsakliga rörelsemönster urskiljas – gradvis acceleration fram till huvudskredet eller konstant eller avtagande rörelser tills stabilitet har uppnåtts. Undantag från de två mönstren har observerats (skred som inträffar efter en retardationsfas). Rörelsen som observeras innan den strukturella kollapsen (skredet) kallas krypning. Krypning inträffar när en skjuvspänning mindre än maxhållfastheten appliceras på en jordmassa, som då deformeras med tiden. Krypning kan delas in i tre steg i beroende på hur deformationshastigheten förändras med tiden. Den viktigaste fasen för att förutsäga det förestående skredet är den tertiära, när deformationshastigheten börjat accelerera fram till huvudskredet. Eftersom acceleration och den maximala hastigheten är starkt beroende på vilken typ av material som deformeras, är det viktigt att övervaka rörelser under krypningsfasen för att kunna förutsäga utvecklingen av deformationen och det eventuella skredet. Två huvudsakliga metoder kan användas för att förutse skred. I den första används semi-empiriska metoder för att extrapolera deformationskurvan över tid (Crosta & Agliardi, 2003), i den andra används numerisk modellering för att först anpassa modellen till de observerade rörelserna och sedan modellera (extrapolera) deformationsutvecklingen framåt i rum och i tid.

Ljud som alstras under krypningen kan också betraktas som en skredvarning. Ljudet (ultraljud) är inte hörbart för det mänskliga örat och genereras under de olika deformationsfaserna. Mikroseismiska händelser kan alltså vara relaterade till graden av instabilitet i bergmassorna. Jämfört med den stora mängd publicerade artiklar som handlar om direkta mätningar av markrörelser, är det relativt få arbeten som avhandlar akustisk övervakning för jordskredsprognoser. Detta trots att man funnit god överensstämmelse mellan accelerationsfasen av deformationen och den mikroseismiska aktiviteten (Amitrano et al, 2007). Alla massrörelser genererar seismiska signaler, så när ett skred väl startat är det i princip även en ”seismisk händelse”. Stora skred kan förväntas generera lägre frekvenser än små skred, men massrörelsen inblandad även i ett stort jordskred kommer inte i närheten av den som genereras av en större jordbävning (se även diskussionen i Kapitel 3.4).

Liknande, men begreppsmässigt olika verktyg för att förutsäga jordskred sker inte med avseende på förebådande fenomen i egentlig mening utan snarare av direkt observation av miljöförändringar som kan stimulera rörelse. Den mest uppenbara parametern att observera är nederbörden, då jordskred kan utlösas av regn. Empiriska Intensity-Duration (ID) gränsvärden har framtagits i flera regioner i världen (Guzzetti et al., 2008), där man korrelerat nederbörd med jordskredshändelser. Dessa ID kurvor används ofta i system för tidig-varning (Baum & Godt, 2010). ID kurvor kan även erhållas genom kopplad hydrologisk-stabilitetsmodellering. Om vi utvidgar begreppet skredvarningar från tid till rymd, så kan akustiska sensorer användas för att förutsäga (spatialt) långa massrörelser, såsom ”debri flows” och fallande block, eftersom de orsakar markvibrationer längs vägen (Arattano & Marchi, 2008). Dessutom kan maxflöde och skredfronten uppskattas genom att övervaka markvibrationerna, vilket gör akustisk emission ett viktigt redskap att använda i sådana tidig-varning-system.

1.5) Skredvarningar baserade på djurbeteende

Jämfört med jordbävningar föreligger anmärkningsvärt få vittnesberättelser på internet eller i massmedia om att djur uppträtt konstigt innan ett jordskred. Vi hittade ett exempel i en italiensk tidning, publicerad 1 månad efter översvämningen i "Le 5 terre" i slutet av oktober 2011. En man som lever mellan två av de fem byarna (Le 5 terre) berättade att den 25:e oktober 2011 när han körde hem regnade det så mycket att han trodde att vindrutan skulle krossas. Vägen var full av stenar, han kunde inte se någonting, och han visste inte vad han skulle ta sig till. Plötsligt hoppade Leo (hunden) på honom från baksätet. Hunden tvingade honom att stanna bilen med gälla gnyenden, samtidigt som berget framför honom kollapsade. "En meter till och jag skulle ha dött", berättade han (http://www.humanimal.it/superleo.php). Vi har svårt att se hur Leo skulle kunnat uppfatta några eventuella förebådande signaler inifrån en bil som befann sig i rörelse med motorn igång i ett kraftigt oväder: I en bil befinner man sig i princip i en s.k. Faraday-bur och är effektivt avskärmad från alla elektromagnetiska signaler, eventuella markvibrationer är givetvis omöjliga att uppfatta då bilen befinner sig i rörelse, och eventuella ljud utifrån är också ganska effektivt avskärmade. Kanske är en mer trolig förklaring att det var husses oro som Leo reagerade på och/eller det extrema ovädret – och den lyckliga slumpen att Leos husse stannade bilen i tid?

1.6) Instrument för att detektera skredrörelser

Vid instabila slänter, som kan vara antingen svåra eller direkt farliga att komma åt,

kan pågående deformationer ofta upptäckas av instrument som bygger på laser- och radarteknik som kan opereras på säkert avstånd. Bland de markbaserade instrument som oftast används i geotekniska övervakningssammanhang är Terrestrial Laser Scanner (TLS) och Terrestrial SAR Interferometry (TInSAR) att betrakta som fullständiga "icke-kontakt" fjärranalysmetoder. Den största skillnaden mellan radar och laserteknik är att TInSAR mäter deformationer i ”line of sight”, medan TLS kan mäta rörelser i 3D. Robotic Total Station (RBT) är en annan typ av instrument baserad på laserteknik som ofta används för att upptäcka rörelser. RBT kan användas både med mål (reflektorer som placeras på slänten man misstänker rör sig) eller utan. Endast utan reflektorer kan RBT betraktas som en "icke-kontakt" teknik, men noggrannheten hos instrumentet är betydligt sämre då, så det används utan reflektorer endast för slänter som kryper snabbt.

JORDBÄVNINGAR

2.1) Processer och fenomen

Jordbävningar, eller jordskalv, är brottrelaterade fenomen precis som jordskred. Bergmassan bär sig åt som ett sprött, elastiskt material vid de låga temperaturer och tryck som råder nära jordytan. Det betyder att berg deformeras som en fjäder när det utsätts för krafter eller spänningar, tills det slutligen bryts sönder när spänningarna överskrider bergets egen styrka. Jordens yttre elastiska lager kan därför över långa sträckor överföra spänningar stora som bergets egen styrka, i likhet med en rigid platta. Detta yttre lager belastas kontinuerligt av de tektoniska processerna, till största delen orsakade av krafter från Jordens gravitation och horisontella densitetsvariationer.

Om Jordens styrka vore enhetlig och belastningen på Jorden konstant skulle jordbävningar vara ett regelbundet och enkelt förutsägbart fenomen. Spänningen skulle byggas upp med konstant hastighet över en bestämd tid tills dess att bergets styrka överskridits och ett brott sker. Detta kallas för jordbävningscykeln, eller “stick-slip” uppförande, och skulle, om Jorden vore så enkel, tillåta förutsägelser av jordbävningar baserade endast på tiden mellan två tidigare skalv i cykeln. Tyvärr är Jorden inte så enkel och konceptet jordbävningscykel är endast användbart i statistisk mening. Vanligtvis är återkomsttiden för större jordbävningar hundratals år.

När berg bryts under homogena spänningsförhållanden sker detta som en enhetlig rörelse på en plan yta, en förkastning. Rörelseriktningen och förkastningens orientering bestäms av spänningsgeometrin. Den geometrin definieras ofta i termer av tre olika klasser baserade på hur två rigida block på var sida om förkastningen rör sig i spänningsfältet. I ett töjningstillstånd dras de två blocken isär och rörelsen sker närmast vertikalt på en relativt brantstående förkastning där det överliggande blocket rör sig neråt. Detta kallas för en normalförkastning och spänningstillståndet därför normalspänningstillstånd. I ett kompressivt spänningstillstånd sker rörelsen tvärtom uppför det underliggande blocket och förkastningen är betydligt mindre brantstående. Därför kallas detta för en reversförkastning och reverst spänningstillstånd. Om de två blocken glider förbi varandra längs en vertikal förkastning med horisontell rörelse kallas det för en horisontalförskjutningsförkastning (engelska “strike-slip”). Med dessa tre enkla geometrier kan alla jordbävningar klassificeras. Alla tre innebär rörelse av en massa över ett förkastningsplan, mycket likt processen i ett jordskred. Man kan därför på vissa sätt likställa ett jordskred med en jordbävning och ett skred skickar som regel ut elastiska vågor liknande de från ett jordskalv, om än med något

annorlunda frekvensinnehåll än ett skalv med liknande energiutlösning.

2.2 Jordbävningsmagnitud

Jordbävningars storlek, kallad magnitud, mäts på den empiriska Richterskalan baserat på amplituden hos de elastiska vågorna som sänts ut i skalvet. På grund av den stora variationen i jordbävningars storlek är magnituden definierad som logaritmen av vågamplituden. Inom seismologin används flera olika typer av magnitudskalor, som dock alla är kalibrerade till en gemensam standard. Den mest fysikaliskt riktiga skalan kallas för momentmagnituden och är relaterad till energiutlösningen i skalvet. För en enhets ökning på magnitudskalan ökar energiutlösningen cirka 32 gånger. Energin är proportionell mot tre längskalor i jordskalvprocessen: medelrörelsen längs förkastningen, förkastningens längd och dess bredd.

Spänningsutlösningen i ett skalv är alltså å ena sidan proportionell mot produkten mellan rörelsen och förkastningsdimensionen, men beror också på bergets styrka. Bergets styrka varierar inom ett relativt begränsat intervall och inte med många storleksordningar. Därför är storleken på rörelsen i en jordbävning kopplad till förkastningsstorleken. Detta leder till enkla skalningslagar för jordbävningar. Vi kan uppskatta energiutlösningen från skalvets magnitud och från magnituden får vi också en uppfattning om förkastningens och rörelsens storlek. En riktigt stor jordbävning med magnitud 9 (M9) sker på en förkastning som är fler hundra kilometer lång och med tiotals meters rörelse. Ett magnitud 6 (M6) skalv sker på en förkastning som är 10-15 km lång och där rörelsen är en dryg meter. Ett litet M 3 skalv har en förkastningsstorlek på cirka 500 m och en rörelse på någon centimeter. Ett mikroskalv, med magnitud 0 (M0), sker på förkastningar som är tiotals meter långa och med en rörelse som bara är bråkdelen av en millimeter. Dessa skalor är viktiga eftersom det område som jordbävningen påverkar mest bestäms av förkastningsstorleken. Spänningseffekterna från en jordbävning på ett avstånd motsvarande tio gånger förkastningsstorleken är bara en tiondel av de i förkastningens omedelbara närhet.

2.3 Seismisk vågutbredning och dämpning (Q-värden)

Seismiska vågor innefattar flera typer av vågor. I princip skiljer man på inre vågor eller ”kroppsvågor” (från engelskans ”body waves”) och ytvågor. Av de inre vågorna skiljer man på P- och S-vågor. S-vågen är den elastiska våg som kontrolleras av materialets skjuvstyrka. Som tidigare nämnts är det ibland S-vågen, men oftast ytvågorna, som är de med högst energi och de som är de ”farliga” vågorna från en jordbävning. P-vågen är tryck- eller ljudvågen, och den våg som har högst utbredningshastighet. Då P-vågen från en jordbävning når markytan går viss energi över i luften, vilket vi kan uppfatta som ljud. Vittnesmålen är därför många av människor som upplevt att de hört en jordbävning, ibland även innan de destruktiva vågorna ankommit. Det kan lätt förklaras av diskussionen rörande ”tidig varning” längre fram, och innebär alltså att det de hört är P-vågen från själva jordbävningen, och inget förebådande fenomen. En jordbävning innehåller ett brett frekvensband med både frekvenser under (infraljud) och över (ultraljud) det frekvensomfång människan kan höra. Eftersom varken berg eller jord är perfekt elastiska material sker all vågutbredning där med viss energiförlust. Hur mycket energi går förlorad beror på materialets kvalitet (eller Q-värde). Ett lågt Q-värde innebär att dämpningen är hög. Q-värdet är generellt sett högre ju ”hårdare” ett material är, Q-värdet är alltså högre i berg än i lösa sediment som jord och lera. Vanligen är det fullt tillräckligt att beskriva

Q-värdet som energiminskningen per svängning i ett material. Alla ljudvågor utbreder sig med samma hastighet i ett material oberoende av frekvensen. Det innebär att en högfrekvent våg svänger ”oftare” än en lågfrekvent våg längs samma sträcka. Man inser då att den högfrekventa vågen dämpas snabbare än den lågfrekventa, eftersom den svänger ”oftare” längs samma väg.

2.3.1 Dämpning av ljudvågor och hörselområden

I gaser och vätskor förekommer inga S-vågor, utan bara P-vågor. Det vi uppfattar som ljud är alltså P-vågor, och resonemanget ovan om dämpning (Q-värden) av seismiska vågor gäller på samma sätt för ljudvågor. En konsekvens av detta som vi ofta noterar i vardagen är att ju längre bort från en ljudkälla man är, desto dovare (lägre) låter den. Tillslut är det bara infraljudet kvar, som vi inte kan uppfatta. I det här sammanhanget är det relevant att notera att för ljud med låga frekvenser (lägre än i storleksordningen 100Hz, ungefär) är dämpningen större i luften än i marken. För högre frekvenser, i kHz-området, är dämpningen däremot mycket högre i marken än i luften. Man räknar med att seismiska källor som generar signaler i kHz-området endast transporteras ett fåtal 100 m i marken. I luft kan ljud med såpass höga frekvenser färdas mycket längre, i alla fall en faktor 10. Fortfarande dämpas höga frekvenser mer än lägre frekvenser, och en liten förenklad beskrivning ger vid handen att ljudet dämpas proportionellt med kvadraten på frekvensen. T.ex. dämpas ljudet med över 100 dB per km vid 10 kHz – en frekvens människor fortfarande kan höra. Hundar (som har sämre hörsel än människor vid lägre frekvenser än ungefär 4 kHz) kan uppfatta ljud så höga som 50 kHz (Heffner, 1983), men vid såpass höga frekvenser är dämpningen i luft över 1000 dB per km (Cramer, 1993). En konsekvens av det är att för att en hund ska höra ett skarpt ljud som en människa inte uppfattar och som genererats i marken måste 1) källan vara ganska nära marken (eller i allt väsentligt inte vara täckt av lösa jordmassor) och 2) så måste hunden befinna sig inom fåtalet hundra meter från källan.

2.4 Varningstecken inför jordbävningar

Jordbävningar är svåra att förutsäga, men fördelningen av jordbävningar följer en vanlig statistisk fördelning som kallas Gutenberg-Richter lagen. Denna fördelning följer en exponentialfördelning av jordbävningsmagnituden. Exponenten i exponentialfördelningen tenderar att vara nära ett. Det innebär att det förekommer cirka tio gånger så många jordbävningar av magnituden M i en viss region och i ett visst tidsintervall som jordbävningar av storleksordningen M+1. Därför kan vi i en statistisk mening förutse hur många jordbävningar av en given storlek som kan förväntas inom ett givet område genom ett räkna jordbävningar av en annan storlek. Detta gäller på global men även på regional skala. När jordbävningar analyseras på en global skala och under en period av ett år är överensstämmelsen för en sådan uppskattning hög. Till exempel inträffar omkring 1400 magnitud $M \geq 5$ jordbävningar i världen varje år.

Vi kan idag förutse ganska väl var stora jordbävningar kommer att inträffa, och i grova drag hur ofta. Vi kan dock sällan förutse specifikt i tid då dessa ska komma. Man kan alltså använda jordbävningsstatistik, insamlad över till exempel hundra år, för att utvärdera jordbävningsrisken i ett visst område. Det är dock inte möjligt att förutse jordbävningar endast baserat på statistiken eftersom förekomsten av jordbävningar inte är likformig. Detta har gjort att man inom seismologin letar efter varningstecken (engelska ”precursors”) som kan användas för att förutse jordbävningar. Ett flertal sådana varningstecken har föreslagits och i Wyss (1997)

rapporteras resultat från en särskild kommission under IASPEI (International Association on Seismology and Physics of the Earth's Interior) som utvärderat de föreslagna varningstecknen. På förslag var förskalv (mindre skalv före det stora, både nära i tid och under lång tid innan), seismisk tystnad (brist på förskalv), förändringar i radonhalten (framförallt en minskning) i grundvatten och höjningar i grundvattennivån. Dessa kom alla med som förslag på varningssignaler i kommissionens betänkande. Kommissionen tog med dem trots att det inte fanns konsensus om att de skulle kunna kvarstå som varningstecken efter ytterligare tester och trots att de som varningstecken inte var väl förstådda. Kommissionen kom inte till några slutsatser vad det gäller varningstecken baserade på ytdeformationer, framförallt för att det saknades längre tidserier med mätningar. Cirka två tredjedelar av alla nominerade varningstecken avfärdades av kommissionen. Dessa inkluderade alla elektromagnetiska fenomen, alla kemiska fenomen och alla nominerade tidsförändringar i seismisk vågutbredning. "*This demonstrates that the proponents of precursors still have considerable work to accomplish to convince the sceptics of the merit of the precursor hypotheses and case histories proposed*" (Wyss, 1997). Nedan redogörs i mer detalj för några av dessa möjliga varningstecken, även för några som inte anses tillräckligt underbyggda för att hamna på IASPEIs lista, men som förekommer som möjliga förklaring till djurs onormala beteenden i redogörelser av mer anekdotisk karaktär.

2.4.1 Förskalv samt "tidig varning"

Uppskattningsvis har omkring 60-70% av alla jordbävningar förskalv, det är därför inte oväntat att två typer av förskalv (skilda åt endast därför att man valt att dela in dem i två grupper utifrån hur nära inpå huvudskalvet de inträffar) finns högst upp på IASPEI's lista. Problemet att använda dem som prognosverktyg är huvudsakligen svårigheten att skilja dem från "vanliga" skalv, som inte är förskalv. Man kan tänka sig att i områden där seismiciteten är hög är det extra svårt att skilja dessa från "vanliga" skalv. Samtidigt ligger det förstås närmare till hands att betrakta en plötslig ökning i frekvens och magnitud av de "vanliga" jordskalven som signaler om att ett större skalv är på gång. Det faktum att man endast vid ett mycket begränsat antal tillfällen identifierat förskalv före det att huvudskalvet skett visar hur svårt det hittills har visat sig vara att använda dessa som prognosverktyg. Det kan vara värt att även ta upp det man brukar kalla för "tidig varning" (från engelskans "early warning") här. När en jordbävning skett är det de relativt ofarliga P-vågorna som förflyttar sig snabbast. Om dessa kan registreras och snabbt analyseras får man en varning om att större och farligare jordbävningsvågor eventuellt är på väg. I förekommande fall där sådana system har implementerats handlar det ofta om att man får en varning i storleksordningen 15-20 s innan de destruktiva jordbävningsvågorna kommer. Många gånger, om man är väl medveten om vad man ska göra för att sätta sig i säkerhet, kan det göra skillnad mellan liv och död. Ofta är dessa P-vågor kraftiga nog att uppfattas direkt även av människor och dessa fungerar då i sig som en "tidig varning". Detta betraktas emellertid i sammanhanget inte som ett fenomen som förvarnar om själva jordbävningen, eftersom när dessa kan registreras har jordbävningen ifråga redan skett.

2.4.2 Ultraljud och infraljud

Ultraljud utanför det mänskliga hörselintervallet från jordbävningar generas som mikroseismer från bristande berg. Teoretiska beräkningar härrör från frekvensen för det ljud som avges vid preliminär berguppspräckning vid höga spänningar. Resultaten

för bergsprickning i gruvor överensstämmer med frekvenserna i de observerade signalernas spektra. Förhållandena som råder vid en jordbävning tyder på att en viss emission kan ske i intervallet mellan höga frekvenser hörbart ljud till låga ultraljudsfrekvenser. Uppskattningar som gjorts av intensiteten för sådan ”akustisk emission” har också tagits fram för att undersöka om det kan påvisas. Resultaten tyder på en mycket kort räckvidd i sten med Q-värden vid normalt tryck, men som i bästa fall skulle vara möjligt att upptäcka under vissa mycket gynnsamma omständigheter. Men eftersom Q-värdet i berg är känt för att öka med trycket påpekas att detta kan leda till en betydande ökning i överföringsavstånd i regioner med hög spänning. Denna effekt skulle kunna göra det praktisk möjligt att observera akustisk emission för grunda jordskalv där spänningsfälten sträcker sig till ytan.

Infraljud är lågfrekventa ljud nedanför vårt hörselområde. Medan ultraljud anförts som att möjligen kunna genereras före och/eller under själva jordskalvet (brottet), är en vanligare hypotes att infraljud generas antingen under och/eller efter att jordbävningen skett. På samma sätt skulle möjligen större jordskred kunna generera infraljud, men det är mindre studerat. Ofta förekommande vittnesuppgifter anger att de även ”hört” jordbävningen, och en förklaringsmodell är att lågfrekvent hörbart ljud samt infraljud genereras när jordbävningsvågorna överförs från marken till luften (se Kapitel 2.3).

2.4.3 Elektromagnetiska signaler

Under lång tid har det förekommit rapporter om olika sorts elektriska, magnetiska och elektromagnetiska signaler som förvarningar inför kommande stora jordskalv. De flesta bygger på registreringar av det horisontella elektriska fältet vid jordytan eller en eller flera komponenter av det magnetiska fältet. Det är känt att vissa processer i jord och berg som är kopplade till de fysiska spänningarna i materialet kan producera elektriska signaler. Ett exempel är den piezoelektriska effekten. Detta, tillsammans med observationen av anomala elektriska eller magnetiska signaler innan stora jordbävningar har uppmuntrat många forskare att leta efter signaler förknippade med kommande jordskalv. Litteraturen på området är mycket omfattande, både i allmänna och i vetenskapligt granskade tidskrifter. Trots detta är det fortfarande mycket omtvistat om det finns signaler som kommer förre stora jordskalv. Efter många års studier kan detta anses märkligt, och därför förklaras lite nedan.

Det elektromagnetiska fältet består av många separata signaler, vid olika frekvenser. Därför finns det många (tusentals) olika tidsserier som man kan välja att titta på. Eftersom dessa varierar kontinuerligt, och ofta av anledningar som vi i detalj inte känner till, är det naturligtvis vanligt att ”onormala” signaler registreras vid olika tidpunkter, inklusive innan stora jordskalv. Hur kan vi bedöma om dessa är relaterade till jordskalvet eller inte? En möjlighet kunde vara att signalerna som observerats är extremt anomala, dvs. syns sällan eller aldrig utom inför ett större jordskalv, men syns upprepade gånger inom ett visst tidsintervall förre ett skalv. Tyvärr är inte det fallet med något data som vi känner till. En annan möjlighet är att vi har en fullgod modell för hur signalerna genereras, som möjliggör att vi kan analysera både signalernas egenskaper i stort och vissa kritiska detaljer. Inte heller hittar vi vad vi bedömer som övertygande i det fallet. Den kvarvarande möjligheten är att något fenomen upprepar sig så många gånger inför större skalv att ett samband kan bekräftas statistiskt. Hur svårt eller inte det är att bekräfta ett sådan statistiskt samband beror naturligtvis på hur starkt det är, samt vilka andra möjliga komplikationer som finns. Det har visat sig att

signalerna som tolkats som förvarningar om kommande jordskalv är svåra att bekräfta statistiskt. För att bekräfta ett samband måste man specificera vilket tidsfönster innan skalvet som krävs för att förvarningen ska uppfattas som framgångsrik, samt hur nära korrekt position och magnitud prognosen måste vara. I vissa fall ges specifika prognoser om magnitud, i andra fall bara att det ska finnas en ”större” jordbävning. Sedan måste man bedöma om prognosen är bättre än ”slumpen”. Jordbävningar sker inte slumpmässigt i tid eller rum, utan är koncentrerade temporalt och spatialt. Man måste ta numerisk hänsyn till detta då en prognos jämförs med verkligheten. Det visar sig att inga av de påstådda signalerna som har föreslagits förebåda en jordbävning har gett tillräckligt bra utfall för att bli allmänt accepterade som gångbara prognosverktyg. Det är heller inte ovanligt att samma prognoser bedöms olika av olika forskare då de tillämpar lite olika statistiska metoder, men faktum kvarstår att även om de mest optimistiska forskarna skulle ha rätt i att en uppmätt signal faktiskt kan kopplas ihop med en specifik jordbävning, så har dessa fenomen endast observerats inför ett mycket begränsat antal jordbävningar.

I många fall är det svårt att ”bevisa” att en prognos inte är korrekt. Det kan ske om ett tekniskt mätfel identifierats. I andra fall kan man identifiera en annan specifik och övertygande förklaring för fenomenet. Vanligt är att man relativt lätt kan visa att fenomenet mycket väl stämmer i karaktär med ett annat känt fenomen, utan att explicit kunna bevisa att så är fallet. Detta behöver inte vara bevis på att fenomenet inte beror på jordbävningen, men i dessa fall måste fenomenets koppling till jordskalv naturligtvis starkt ifrågasättas.

Det kanske mest kända exemplet av elektromagnetiska signaler som indikation på ett kommande jordskalv kommer från mätningar av magnetfältet vid så kallade ultralåga frekvenser (ULF, 0.01-10 Hz) före jordbävningen i Loma Prieta, Kalifornien, 1989 (Fraser-Smith et al., 1990). Det skalvet hade magnitud M6.9 och orsakade 63 dödsfall, tusentals skadade samt stora skador på infrastruktur i San Francisco med omnejd. De magnetiska ULF mätningarna visade på en ökad aktivitet tolv dagar före skalvet, med en kraftig topp i frekvensbandet 0.01-0.5 Hz tre timmar före skalvet. Den möjlighet till jordskalvsvarning som mätningarna visade på gjorde att ULF-mätningar intensifierades i Kalifornien. Dock kunde inga liknande signaler observeras vid jordbävningarna i Northridge 1994 (M6.7), San Juan Bautista 1998 (M5.1) eller Parkfield 2004 (M6.0) (sammanfattning i Campbell, 2009). ULF mätningarna vid Loma Prieta-skalvet har också ifrågasatts som varande antingen ett storskaligt fenomen (Campbell, 2009) eller ett instrumentproblem (Thomas et al, 2009). Detta tillbakavisas dock av originalförfattarna (Fraser-Smith et al., 2011).
Jordbävningen i italienska L'Aquila 2009 rapporterades också till en början ha föregåtts av ULF anomalier. En noggrann genomgång av data visade dock att inga av dessa signaler kan betraktas som anomala (Masci och DiPersio, 2012).

2.5 Djurbeteende och jordskalvsförutsägelser

Skriftliga redogörelser för onormalt djurbeteende före stora jordbävningar går tillbaka mer än 3000 år (Tributsch, 1982). Trots att en Google-sökning på olika kombinationer av sökord relaterade till ”animals", "earthquakes" och "precursors" lätt ger många miljoner träffar, finns det få vetenskapliga studier som stödjer att djur faktiskt har kunnat känna en förestående jordbävning. Ännu färre av dessa har kunnat komma med en rimlig förklaring till vilket fysikaliska fenomen djuret i själva verket reagerar på (Kirschvink, 2000). Mycket av den vetenskapliga

litteraturen i frågan om avvikande djurbeteende före jordbävningar är från 70- och 80-talen. En förklaring till detta ligger i mytbildningen kring en av de få framgångsrika jordbävningsförutsägelser som har gjorts – och i särklass den mest kända - som ägde rum i Kina 1975. Den moderna eran av vetenskapliga jordbävningsförutsägelse började förmodligen då, i mitten till slutet av 1970-talet, då världens första förutsägelse av en stor jordbävning ägde rum i Kina den 4 februari 1975. Sedan augusti 1971 hade *the State Seismological Bureau of China* börjat samla in rapporter om ovanligt djurbeteende i syfte att använda för jordbävningsförutsägelser (Bhargava et al., 2009). År 1975 beordrade kinesiska tjänstemän evakueringen av staden Haicheng (befolkning ca 1 miljon) baserat på rapporter från forskare och lyckades därmed rädda tusentals liv. Under en period av månader hade förändringar i markhöjd och grundvattennivåer rapporterats, och det fanns omfattande uppgifter om märkliga djurbeteenden. Bl.a. rapporterades om ormar i ide som lämnat sina hålor under vintern en månad före 1975 Heicheng (M7.3) jordbävningen, och som hade frusit ihjäl. En ökning av seismiciteten i området (som senare konstaterats vara förskalv) hade föranlett en låg-nivå varning. Därefter utlöste en ytterligare ökad förskalvsaktivitet en evakueringsvarning. M7.3 jordbävningen skedde bara några dagar senare, den 4 februari 1975. Jordbävning orsakade omfattande skador på befintliga byggnader och jordbruksmark, och den framgångsrika evakueringen ansågs ha räddat mer än 100.000 liv. Den optimism denna framgång inspirerade var tyvärr kortlivad: följande år, den 28 juli 1976, drabbade en M7.6 jordbävning staden Tangshan utan at en varning utfärdats. Inga av de förebådande fenomen som observerats i närheten Haicheng observerades denna gång. Tangshan jordbävningen orsakade uppskattningsvis 250.000 dödsfall och 164.000 skadade och räknas som en av de värsta jordbävningskatastroferna i historien. I en senare genomgång av den framgångsrika förutsägelsen av Heicheng-jordbävningen konstaterar dock Kanamori (2003) att det inte är möjligt att bedöma denna förutsägelse med fullständig objektivitet. Tvärtemot den vanliga uppfattningen finns det inte mycket stöd för att rapporterna om onormalt djurbeteende spelat någon roll för beslutet att evakuera. Att döma av de olika rapporterna verkar det som om den mycket omfattande förskalvsaktiviteten, innefattande omkring hundra instrumentellt registrerade skalv, spelade en avgörande roll för att besluta om massevakueringen som räddade tusentals liv. Det är dock oklart (1) hur många falsklarm som utfärdades före den slutliga evakueringen, (2) om evakueringen gjordes under ledning av den lokala regeringen eller genom ett mer spontant beslut av lokala enheter eller invånare, och (3) vilket det totala antalet dödsoffer var (uppskattningar går från 0 till 1300). Utan att känna till dessa uppgifter är det oklart om metoden för jordbävningsförutsägelsen som användes i detta fall skulle fungera på andra ställen, särskilt i andra länder med andra ekonomiska och sociala förutsättningar (Kanamori, 2003). I det följande diskuteras i lite mer detalj huvuddragen i de vanliga förklaringsmodellerna som brukar anföras i de fall då djur påstås ha förvarnat om ett jordskalv.

2.5.1 Markvibrationer

För en stor grupp av redogörelser om onormalt djurbeteende är det rimligt att anta att det djuren har reagerat på är markrörelsen självt (vibrationer) som genererats av jordbävningen. I detta sammanhang kan det vara viktigt att skilja på vad i seismologiska sammanhang avses med "tidig varning" och ”förskalv” (se Kapitel

2.4.1). Den första signalen från en jordbävning är P-vågen som är mindre än de mycket större S- eller ytvågorna. P-vågor från ett stort jordskalv kan även uppfattas av människor och, beroende på avståndet till jordbävningens epicentrum, kan dessa anlända flera tiotals sekunder innan de destruktiva S-vågorna. Med "tidig varning" avses dessa P-vågor, och, vilket har konstaterats av flera författare (Kirschvink, 2000) är det inte orimligt att anta att det är dessa vibrationer som djuren har reagerat på. Förmågan att upptäcka markvibrationer är en primitiv funktion hos de flesta ryggradsdjur. Eftersom jordbävningar har förekommit på jorden mycket längre än det har förekommit djur, föreslår Kirschvink (2000) även att ett flyktbeteende från markvibrationer (från jordbävningar) finns tidigt inprogrammerat i den genetiska koden. Krischvink (2000) har även med Monte-Carlo simuleringar visat att det kan vara evolutionärt fördelaktigt att kunna reagera på och sätta sig i säkerhet för jordbävningar – även om det går många generationer mellan större jordbävningar. Anekdotiska rapporter om katter och andra husdjur som springer ut ur huset strax innan husen förstörts av en jordbävning bör därför inte vara alltför förvånande. Värt att nämna i detta sammanhang är att en person (eller ett djur) som ligger ner vanligen med större sannolikhet känner markvibrationer än någon som står upp eller går – på grund av den större kontakten med marken. Detta kan vara en del av förklaringen till varför människorna i många fall inte uppfattade vibrationerna djuren gjorde. "Tidiga varningar" är inte med på IASPEI's lista av betydande jordbävningsförnimmelser, men de första två är båda relaterade till jordrörelse eller vibrationer - förskalv och ”preshocks” (Wyss, 1997; se även Kapitel 2.4). I de fall där jordbävningar föregås av stora förskalv är det inte heller orimligt att anta att dessa kunnat uppfattas av djur. Ett fall som fick stor medial uppmärksamhet är en jordbävningsvarning som utfärdades av geologen Jim Berkland några dagar innan M6.9 Loma Prieta-jordbävningen den 17:e oktober 1989 och som baserades på antalet annonser för saknade katter och hundar i en lokaltidning för San José-området, Kalifornien. Antagandet för varningen var att djuren hade känt förnimmelser om jordbävningen någon gång i förväg och rymt hemifrån, vilket alltså lett till en ökning i antalet annonser över saknade och upphittade djur. Detta samband hade en grundlig statistisk behandling av antalet annonser över saknade djur och antalet jordbävningar inom en 70 mils radie från centrala San José bara året innan kunnat konstatera inte existerade. Den studien innefattade data för åren 1983 till 1985. Under perioden inträffade 224 skalv större än M2.5, varav ett var M6.2 Morgan Hill-jordbävningen som inträffade den 24:e april 1984. Författaren kunde inte finna något stöd för en ökning av antalet annonser före varje jordbävning, men en liten ökning kunde hittas varje år veckan efter den 4: e juli – vilket möjligen tyder på att hundar är rädda för fyrverkerier (Shaal, 1988). Berklands förutsägelse tillhör i och för sig kategorin som faktiskt utfärdats före händelsen ifråga, men som visat sig svåra att upprepa. T.ex. suspenderades Berkland från sitt arbete efter att han utfärdat en ny varning för ett skalv veckorna efter Loma Prieta-jordbävningen – en förutsägelse som visade sig vara falsk (Walsh, 2009).

2.5.2 Variationer i det magnetiska fältet

Ett annat fenomen som anförts uppfattas av djur är fluktuationer i jordens magnetfält. Vissa djur navigerar bl.a. med hjälp av jordens magnetfält och är därför känsliga för magnetiska variationer. Djur som flyttfåglar och fisk, bland annat hajar och havskatt, samt mullvadar och sköldpaddor har magnetiska låg- eller hög-frekvensreceptorer och kan aktivt eller passivt känna av eventuella elektromagnetiska variationer i jorden före en jordbävning. Underlaget för att det ens förekommer sådana fenomen i samband med jordbävningar är mycket svagt, varför en utförligare redogörelse för djurs

eventuella förmåga att upptäcka dessa eventuella (i alla fall mycket ovanliga) fenomen förbigås.

2.5.3 Infraljud

Flera forntida kulturer har betraktat elefanter som heliga djur, utrustade med speciella förmågor. Faktum är att elefanter har fenomenal hörsel och kan både uppfatta och producera infraljud - ljud på en lägre frekvens att människa kan höra. Det är möjligt att extremt lågfrekventa ljudvågor som skapats av geo-fenomen är hörbara för elefanter. Forskning om både akustisk och seismisk kommunikation har funnit att elefanterna lätt uppfattar vibrationer som alstrats på stora avstånd av jordbävningar och tsunamier, vilket ger dem möjlighet att upptäcka en jordbävning eller en tsunami långt innan en människa blir medveten om den förestående katastrofen. Forskning har presenterats som visar att frekvenser under 20 Hz och eventuellt så låga som 1 Hz som utbreder sig i atmosfären som ljud och på jordens yta som seismiska vågor kan upptäckas av elefanter. Jordbävningar genererar signaler med frekvenser mellan 1 och 100 Hz i jordens yta och atmosfär, och i fallet med Annandag Jul-skalvet 2004 finns anekdotiska uppgifter om att elefanter kan ha reagerat på denna händelse på stora avstånd från epicentrum (Garstang, 2009).

2.6 Fenomen som signalerar jordbävningar och jordskred – en teoretisk utgångspunkt

Det har hittills visat sig vara svårt att empiriskt hitta användbara närtidsförvarningar av kommande skalv. Istället för att leta efter data, kan vi resonera om möjligheter utifrån en mer teoretisk utgångspunkt. Ett jordskalv beror på en långsam, oftast ganska regelbunden, ökning av spänning på en förkastning över väldigt lång tid. När förkastningen når bristningsgränsen sker en plötslig rörelse som släpper delar av spänningarna och producerar bl.a. markvibrationer. Långtidsuppskattningar av jordbävningsrisker, som kanske bör kallas något annat än ”prognoser”, kan därför (framgångsrikt) bildas på allmän förståelse och mätningar av de sakta pågående plattektoniska rörelserna. Om däremot ”förutsägelser” eller ”prognoser” i ett kortare tidsperspektiv verkligen ska vara möjliga, måste dessa bero på någon utveckling på förkastningen som avger mätbara signaler som tyder på att förkastningen håller på att brista. Egentligen kan man säga att brottprocessen redan då har börjat, och vi observerar en inledningsfas innan den stora plötsliga rörelsen. Stora delar av förkastningen måste ligga nära den kritiska skjuvbrottsgränsen om en större rörelse ska kunna ske. Eftersom tiden mellan stora skalv på en viss förkastning kan vara 100 år, måste stora delar av förkastningen ligga nära gränsen under många år innan brottet. Det följer att den allmänna situationen med hela förkastningen i ett stadium nära brottsgränsen och avger användbara signaler straxt förre ”det stora brottet” är osannolikt.

”Det stora brottet” är uppenbarligen en kedjereaktion som börjar på en del av förkastningen och fortplantas vidare till andra delar av förkastningen som ligger nära, fast inte vid, brottgränsen. En korttidsprognossignal måste således rimligtvis komma från den begränsade delen av förkastningen som rör sig först, eller dess närhet. Det förefaller därför logiskt att förvänta att de eventuella förvarningssignalerna kommer att vara mycket små. Det är inte absolut, men detta i sin tur tyder på att det är osannolikt att förvarningssignaler kan ses vid stora avstånd från förkastningen. Många rapporterade möjliga förvarningar är vid stora avstånd från förkastningen. Det måste

därför anses som mycket osannolikt att dessa signaler verkligen har med den förestående jordbävningen att göra.

Riktiga förvarningssignaler är därför troligtvis små och för att upptäckas krävs förmodligen mycket känsliga instrument relativt nära förkastningen. Vidare bör signalerna vara av en form som rimligtvis kan överföra information på en skala av några kilometer eller mer. Vissa elektriska eller elektromagnetiska fenomen kan möjligtvis uppfylla dessa kriterier, men på grund av den relativt låga ledningsförmågan i de flesta jordmaterial mättas rena elektriska spänningar ganska raskt. Av samma anledning dämpas elektromagnetiska vågor kraftigt av elektriskt ledande material, i synnerhet vid högre frekvenser. Om vanlig ”batteriström” (likströmsspänning) ska ge mätbara signaler vid jordytan, och källområdet är begränsat i yta eller volym, måste spänningen vid källan vara väldigt hög, och våra elektriska mätinstrument mycket känsliga. Möjligtvis är lågfrekventa elektromagnetiska signaler en mer lovande tanke. En liten antenn har svårt att producera lågfrekventa signaler. En möjlighet kan således vara att det finns ett frekvensband som är optimalt för detta. Inte osannolikt ligger detta någonstans i närheten av 1Hz, och många mätningar har fokuserat på det och liknande frekvensområden. Vi bedömer att möjliga förvarningssignaler vid mycket högre frekvenser är osannolika p.g.a. dämpningen i jorden. Teorier om enorma utflöden av elektriskt laddade partklar från jordytan till jonosfären strax innan ett jordskalv, som ger s.k. TEC anomalier, bedömer vi som extremt osannolika – och om sådant existerar bör de elektromagnetiska fälten nära jordytan associerade med dessa vara starka och lättmätta, vilket inte verkar vara fallet.

Jordens mekaniska dämpningsegenskaper (Q-värden, se Kapitel 2.3) tillsammans med den höga känsligheten av våra instrument betyder att vi kan mäta seismiska signaler från mycket små mikroskalv även vid långa avstånd från källan. Det finns många till synes övertygande fall av förskalvssekvenser innan större skalv. Vi skriver ”till synes” här av försiktighetsskäl – det finns inga absoluta bevis på att dessa är mekaniskt kopplade till huvudskalvet. Det finns dock ytterligare information, både teoretiska resonemang och data, som tyder på att det kan pågå en process på en förkastningsyta nära brottsgränsen där mindre ytor ger vika och rör sig lite, vilket överför spänningar till närliggande ”styvare” delar av förkastningen. Sådana resonemang tyder på att de mest sannolika möjliga signalerna innan stora skalv är antigen små förskalv eller elektromagnetiska signaler. I områden där en extern faktor såsom inträngande magma kan utlösa rörelser, är mätningar av sådant intressant. Det är rimligt att anta att förvarningar av jordskredsrörelser kan vara lite lättare att identifiera än för jordskalv, dels för att brottytorna är mycket närmare ytan, dels för att det är relativt vanligt med (förändringar i) ytrörelsen innan ett större skred.

DISKUSSION

3.1 Sammanträffanden, möjliga samband och förutsägelser

Rent vetenskapligt kan det vara motiverat att vi mäter ett visst fenomen för att se om det kan finnas ett samband med jordskalv eller ett jordskred, med eller utan en teoretisk modell för hur ett sådant samband kan se ut. Hittar man en möjlig relation mellan fenomenet och jordskalvet kan det vara meningsfullt att publicera informationen. Så länge resultatet presenteras som ett *möjligt* samband finns inget filosofiskt problem med detta. Det är därmed uppenbart att publicering i en vetenskaplig tidskrift av en sådan möjlig relation inte är ett bevis på att relationen

finns. Det är däremot mycket vanligt att sådana studier återrapporteras i allmän media (eller även i facktidskrifter inom ett annat forskningsfält) som om relation ifråga i och med publiceringen är vetenskapligt belagd. Detta är förstås mycket olyckligt. Vidare händer ofta efter att ett möjligt samband har rapporterats att även andra forskare letar efter liknande möjliga kopplingar – och publicerar dessa. Man kan således ofta få flera vetenskapligt publicerade artiklar på ett möjligt samband, utan att detta alls ska tolkas som ett bevis på att sambandet verkligen finns. Det har i flera fall varit möjligt att visa att möjliga förvarningar är falska, genom att visa att de kan kopplas till något annat känt fenomen. Detta kräver dock ganska stora insatser från en forskare. Eftersom det finns extremt många fenomen som i princip skulle kunna innehålla information om kommande jordskalv och att det ganska ”negativa” arbetet att kontrollera om det påstådda sambandet verkligen håller ofta kan vara resurskrävande, finns många fall som inte är ordentligt prövade i denna mening. De har således inte motbevisats – men detta är inte bevis på att de *inte kan* motbevisas (eller bekräftas).

Det finns således tiotusentals möjliga jordbävningsförvarningar, och många som har publicerats. Det är ofta svårt att bekräfta eller motbevisar dessa, och de förbli ”möjliga” förvarningar. Vi kan dock notera att inga av de föreslagna prognosverktygen hitintills har visat sig vara praktiskt framgångsrika. Den vetenskapliga litteraturen är full med *a-posteori* förutsägelser, dvs. där man efter ett skalv har tittat tillbaka och hittat ett fenomen före skalvet som man tycker skulle kunna vara en förvarning. I det här fallet är det viktigt att skilja på förutsägelser som gjorts före en händelse och de som gjorts efteråt. De senare är i överväldigande majoritet och bör kanske inte betraktas som förutsägelser i ordets egentliga mening.

För att belysa resonemanget ovan kan tas som exempel det nyligen publicerade möjliga sambandet mellan grodors påstådda onormala beteenden före och under jordbävningen (M 6.3) i L'Aquila, Italien 2009. En grupp vetenskapsmän observerade grodors beteenden under 29 dagar i en sjö 74 km från jordskalvets epicentrum. Gruppen observerade ovanliga beteenden 5 dagar före skalvet och grodornas beteende normaliserades först några dagar efter jordbävningen. I en artikel i Journal of Zoology (Grant & Hallidy, 2010) sätts direkt samband mellan grodornas onormala beteenden och jordbävningen 74 km bort. Det skulle kunna vara så, men frågan är om det är det mest sannolika och om dessa händelser alls har med varandra att göra. Det är alltså fullt möjligt att ett samband finns (i det här fallet i vår mening dock en väldigt liten möjlighet – särskilt med tanke på att avståndet är så pass stort för en jordbävning av den magnituden), men det är på inget sätt bevisat att ett sådant samband finns bara för att sammanträffandet ifråga har observerats (och publicerats).

3.2 Fenomen som signalerar jordbävningar – och jordskred

Det är alltså ett liknande resonemang som i stycket ovan som ligger bakom IASPEI’s upprättande av en lista av möjliga samband mellan olika observationer och kommande jordbävningar. Av de fenomen som efter den vetenskapliga granskningen av IASPEI finns kvar på listan över möjliga fenomen och som skulle kunna ligga till grund för jordbävningsförutsägelser är flera av dem markrörelser (främst vibrationer), en avser minskad radonhalt i marken, samt ändrade vattennivåer i brunnar. Är några av dessa överförbara som förvarningar för sekundära jordskred? Utan tvivel är olika former av markrörelser det. Ändrad radonhalt i marken samt ändringar av vattennivåer (grundvattennivåer) förefaller mindre användbara i sammanhanget.

Anledningen till att vi gör den bedömningen är först och främst att både markradon samt grundvattennivåer med stor sannolikhet befinner sig ur jämvikt efter ett skred, och att det förmodligen är svårt att skilja de förändringar som sker på vägen mot ett nytt jämviktsläge från eventuella förändringar som skulle kunna tyda på följdskred. Samtidigt innebär kanske alla förändringar i vattennivåer – vare sig de är på väg mot ett nytt jämviktsläge eller inte – en risk för följdskred. Att följa förändringar av grundvattennivåer även direkt efter ett skred torde alltså vara en möjlig väg att peka ut riskområden för sekundära skred. Möjligen skulle sådan information också kunna ligga till grund för prognoser och korttidsvarningar för sekundära skred.

3.3 Övriga fenomen

Övriga fenomen som vi diskuterat tidigare och som skulle kunna vara relevanta för förutsägelser av jordbävningar är olika elektromagnetiska fenomen. Det ska noteras att forskarvärden idag är mycket skeptisk till de anomalier som har uppmätts och som har påståtts vara signaler från en process som skulle kunna härröra från jordskalvets tidigaste skede. För att dessa anomalier ska kunna uppmätas har vi tidigare även diskuterat i vilket frekvensområde som kan anses rimligast att hitta dessa eventuella anomalier. Högre frekvenser dämpas kraftigt i (blöt) jord, och ju lägre frekvenser vi har desto större utbredning måste källan ha. Det förefaller inte på något sätt orimligt att små markrörelser skulle kunna ge upphov till svaga elektriska strömmar, men hur dessa ser ut varierar förmodligen mycket från plats till plats. Även om dessa skulle kunna uppmätas förefaller svårt att kunna avgöra varifrån dessa kommer. Utöver dessa svårigheter är det tveksamt om sådana signaler ens kan uppfattas av djur. Det är endast ett relativt begränsat antal djurarter som antas ha sådana egenskaper, och de flesta av dem är inte däggdjur.

3.4 Jordbävningar och skred, möjliga förvarningar - likheter och skillnader

De flesta jordskred innebär skjuvbrott längs en gränsyta i jord eller berg. De flesta jordbävningar orsakas av skjuvbrott längs en gränsyta eller förkastning mellan bergmassor. För att stora händelser ska inträffa krävs att en kedjereaktion uppstår där ett brott initieras på en del av förkastningsytan och spänningar överförs till angränsande områden, vilket leder till brott även där. Sålunda bör en stor del av den möjliga förkastningsytan vara relativt nära brottgränsen för att en stor händelse ska inträffa. Om det existerar fenomen som uppstår när materialet är nära brottsgränsen, då är det möjligt att dessa fenomen kan uppstå från en betydande del av förkastningsytan, eller i volymen runt denna. Detta även om skjuvbrottet inleds på ett litet område av förkastningen. Möjligen kan alltså ett mycket större område bidra till de förebådande signalerna än området runt det initiala brottet. Ytan som rör sig i ett stort skred kan exempelvis vara några tusen m^2. Detta motsvarar, grovt uppskattat, förkastningsytan för en M3 jordbävning. Den seismiska energi som avges i en jordbävning ökar med en faktor av ca 32 för varje steg i magnitud. Därmed avger de största jordbävningar som observerats (magnituder över 9) över en miljard gånger mer energi än en M3 jordbävning. Men den senare observeras lätt med lämpliga seismologiska instrument. Rörelsen längs en stor skredyta kan vara flera meter, eller mer. Rörelsen längs förkastningen i en M3 Jordbävning är mycket annorlunda, endast i storleksordningen cm. Men skredrörelsen sker i efterhand, och kan i denna mening inte vara direkt relaterade till eventuella förebådande signaler. Det är förmodligen rimligt att säga att i vårt sammanhang är den huvudsakliga skillnaden mellan jordskred och jordbävningar storleken av den normala (vinkelräta) belastningen över förkastningsytan. Denna bestäms av vikten av överliggande material och då

jordbävningar i allmänhet sker vid avsevärt djup är normalspänningen för dessa flera storleksordningar större än för de flesta skred. En del av skjuvhållfastheten längs en förkastningsyta utgörs av friktionen, vilken ökar ungefär linjärt med normalspänningen, och därmed är jordbävningens förkastingsyta mycket "starkare" än en skredyta. Därför är jordbävningens förkastningsyta och jordskredsytan på vissa sätt väldigt olika. Beroende på karaktären av ett möjligt förebådande fenomen kan effekterna i vissa fall vara jämförbara. Flera möjliga förebådande fenomen kommer sannolikt att vara större för jordbävningar, på grund av den större spänningen längs förkastningsytan. Men jordbävningens epicentrum är oftast på många kilometers djup, medan skredytan kanske bara är på några meters djup. Även en mycket svagare signal från ett sådant fenomen bör kunna observeras. En annan aspekt är att i granulärt material är det endast en liten del av partiklarnas yta som är i kontakt, och det är endast dessa kontaktpunkter som bär belastningen längs ytan. Därför kan trycket på några av dessa punkter vara mycket högt, trots att den totala belastningen inte är särskilt hög, och normalspänningen på kontaktpunkterna kan vara jämförbar med den för en jordbävning på betydligt större djup.

En stor skillnad mellan jordskredsprocesser och jordbävningar är att många jordarter deformeras plastiskt medan jordbävningen kan betraktas som ett sprödbrott för de aktuella tids- och rumsskalorna. Data finns som tyder på att vissa förkastningar kan röra sig aseismiskt, dvs. en gradvis rörelse i samband med någon typ av plastisk deformationsprocess längs förkastningsytan, istället för ryckiga rörelser som producerar jordbävningsvibrationer, men uppenbarligen avser inte en sådan rörelse jordbävningar som sådana. Gällande jordskred innebär plastisk deformation att en sluttning kan ”krypa”, dvs. ett fenomen som - om hastigheten är tillräcklig - är observerbart i samband med jordskred, men som inte är relevant för jordbävningar. Det finns många rapporter om accelererad kryprörelse före ett stort skred, men så är inte alltid fallet. Ändå är kryprörelser före primära eller sekundära skred ett intressant fenomen som bör kunna användas för att göra riskbedömningar. Betydande kryprörelser kan observeras direkt visuellt eller genom mätningar. Det kan också finnas indirekta effekter. Exempel är när kryprörelser ändrat lutningens morfologi vilket kan leda till små jordskred eller ”rock falls”. Kryprörelsen kan också leda till akustisk eller elektromagnetisk emission och att deformationen, speciellt om den är snabb i förhållande till materialets permeabilitet, kan leda till observerbara förändringar i hydrologiska parametrar såsom portryck.

3.5 Djurs beteende inför jordskalv

Även om internet bokstavligen svämmar över av vittnesmål och redogörelser för olika djurs påstått onormala beteende före och under naturkatastrofer är rapporterna i den vetenskapliga litteraturen betydligt glesare än på 70- och 80-talen. En anledning är i huvudsak att det gjordes flera förhållandevis grundliga granskningar (t.ex. Buskirk et al., 1981) av bakgrunden till dessa redogörelser redan då, och man har helt enkelt inte kommit mycket längre sedan dess. Nu och då rapporteras ett fenomen i den vetenskapliga litteraturen som skulle kunna tyda på ett verkligt samband, men studier som bevisar att ett sådant samband verkligen skulle föreligga förekommer helt enkelt inte. Ett försök till uppskattning av hur vanligt det är med anomala beteenden hos djur inför jordskalv gjordes av Buskirk et al. (1981). Författarna fann 36 jordskalv under perioden 1923 till 1978 som föregåtts av anomala djurbeteenden. Dessa rapporter kommer från Europa, de Amerikanska kontinenterna och från Asien, d.v.s. nästan hela världen. Detta antal kan vid första påseende förefalla betydande, men som jämförelse

sker mer än 1400 jordskalv med en magnitud 5.0 eller större varje år. Det betyder i princip att av 1000 jordbävningar har inga anomala djurbeteenden rapporterats för 999 av dessa. Visserligen kan man diskutera om verkligen samtliga fall har rapporterats, t.ex. bor det inte människor överallt där det förekommer jordbävningar. Samtidigt medger Buskirk et al. (1981) att det i deras data förmodligen förekommer flera rapporter som egentligen är ”tidig-varning” fenomen. Och – djur beter sig faktisk onormalt vid andra tillfällen än inför jordbävningar, alltså kan det inte uteslutas att flera av rapporterna innehåller djurbeteenden som orsakats av något helt annat. Siffrorna torde, trotts de stora osäkerheterna åt båda hållen, ge en indikation om hur ovanligt det faktiskt är att djur uppför sig konstigt inför jordbävningar. Att många trotts allt uppfattar 36 jordbävningar med rapporterade anomala djurbeteenden som ett betydande antal är ett typiskt exempel på ”selektions bias”, d.v.s. man baserar sitt urval endast på en delmängd av den totala mängden man tror eller uppfattar att urvalet görs ifrån.

3.6 Slutsatser

Vi konstaterar att de vetenskapliga beläggen för att djur har framgångsrikt uppfattat stora jordbävningar eller jordskred i förväg är mycket svaga. Visserligen finns många rapporter i vetenskapliga tidskrifter om onormala djurbeteende inför stora händelser som eventuellt kan visa ett samband, men många av dessa har senare dementerats. Andra kan varken bekräftas eller dementeras, och förblir därmed enbart möjliga förvarningstecken. En tredje kategori är där det förefaller troligt att djur har känt av ett fenomen, men samma fenomen har uppfattats av människor, direkt eller via mätinstrument. I samtliga fall som vi bedömer som trovärdiga är det sannolikt att djuren känt av seismiska signaler som kommit innan de destruktiva vågorna, antingen signaler från större förskalv, eller P-vågssignaler som kommer från huvudskalvet och som färdas med ca dubbla hastigheten relativt de långsammare men mer destruktiva seismiska ytvågorna. Det är även konceptuellt tänkbart att djuren får en förvarning av möjliga kommande tsunami genom att känna av de seismiska vågorna, men vi hittar enbart svaga belägg för den tanken. Det som är säkert är att det idag inte finns någon rutinmässig och pålitlig metod för att kunna, precist i tid, förutsäga vare sig jordskred eller jordbävningar. Av de metoder som finns gällande båda fenomenen, bygger de mest lovande på fysikaliska mätningar av mindre deformationer innan den stora, farliga, rörelsen. Sådana mätningar kan vara direkta mätningar av en sluttytas deformation, akustisk emission eller förskalv innan ett skred eller skalv. Vi rekommenderar att framtida undersökningar som har för avsikt att bättre förutse och varna för risker fokuserar på sådana fenomen, inte på djurbeteende. De mest lovande metoder bygger på direkta mätningar av långsamma ytrörelser m.h.a. laser eller radarvågor (lidar, synthetic aperture radar, m.m.). Upprepade mätningar över längre tid på områden som bedöms som riskabla kan tänkas ge information om kommande primära skred, men kan även ligga till grund för uppskattningar av möjliga sekundära skred i samband med räddningsarbeten. Vi bedömer att detta är ett forskningsfält där den grundläggande tekniken finns tillgänglig redan idag och där fortsatt forskning och algoritmutveckling relativt snart kan ge bättre och snabbare prognosverktyg för jordskred. Det är inte orimligt att inom en snar framtid redan med dagens teknik kunna ha ett övervakningssystem baserat på att upptäcka kryprörelser installerat inom några timmar, och lika snabbt bör de första resultaten kunna produceras. Ska djurs möjliga användning i sammanhanget undersökas vidare i samband med sekundära skred, bör man fokusera på ytdeformation samt ljudsignaler p.g.a. pågående ytdeformation. Vi har inte funnit några belägg för att hundar eller andra djur skulle

vara generellt bättre än människor på att uppfatta vibrationer eller markrörelser. Hundar har bättre hörsel än människan i frekvensområdet 4 till 50 kHz, men om det överhuvudtaget är relevant för skredövervakning är idag ytterst osäkert. Även om forskning visat att ultraljud kan förekomma i samband med jordskred måste mer forskning avgöra hur pass vanligt förekommande sådana fenomen är i samband med jordskred, och om de genereras endast vid en viss typ av skred, och om vissa speciella förutsättningar måste vara uppfyllda för att generera dessa. Utöver det föreligger problemet att ljud i det frekvensområdet dämpas väldigt kraftigt och man förmodligen måste befinna sig väldigt nära källan för att uppfatta dessa. Om sedan hundar effektivt kan tolka sådana förtecken till användbara varningar är dock mindre säkert, men innan den frågan ens går att besvara måste man ha bättre kännedom om dessa signaler.

Litteraturlista

Amitrano D., Gaffet S., Malet J.P., Maquaire O., 2007. Understanding mudslides through micro-seismic monitoring: the Super-Sauze (South-East French Alps) case study. BULLETIN DE LA SOCIETE GEOLOGIQUE DE FRANCE 178(2): 149-157

Arattano M., 1999. On the Use of Seismic Detectors as Monitoring and Warning Systems for Debris Flows. Natural Hazards 20: 197–213

Baum R., Godt J., 2010. Early warning of rainfall-induced shallow landslides and debris flows in the USA. Landslides 7(3): 259-272

Bhargava, N., Katiyar, V.K., Sharma, M.L., and Pradhan, P., 2009. Earthquake Prediction through Animal Behavior: A Review., Indian Journal of Biomechanics, 159-165,.

De Blasio F.V., 2011. Introduction to the Physics of Landslides: Lecture notes on the dynamics of mass wasting. Springer

Buskirk, R. E., Frohlich, K., and Litham G. V., 1981. Unusual animal behavior before earthquakes: A review of possible sensory mechanisms, Rev. Geophys. Space Phys., 19, 247–270,.

Campbell, W.H., 2009. Natural magnetic disturbance fields, not precursors, preceding the Loma Prieta earthquake, J. Geophys. Res., 114, A05307, doi:10.1029/2008JA013932.

Cramer, 1993. *J. Acoust. Soc. Am.*, **93**, 2510–2513.

Crosta G.B., Agliardi, F., 2003. Failure forecast for large rock slides by surface displacement measurements. Canadian Geotechnical Journal 4(1): 176-191

Evernden, J. F. (Ed): Abnormal animal behavior prior to earthquakes, 1. Proc. of Conf., Menlo Park, Calif.: USGS, 1, 429 p., 1976.

Evernden, J. F. (Ed): Abnormal animal behavior prior to earthquakes, Proc. of Conference, Menlo Park, Calif.: USGS, 2, 237 p., 1980.

Fraser-Smith, A.C., A. Bernardi, P.R. McGill, M.E. Ladd, R.A. Helliwell, and O.G. Villard, Jr, 1990. Low-frequency magnetic field measurements near the epicenter of the MS 7.1 Loma Prieta earthquake, Geophys. Res. Lett., 17, 1465-1468.

Fraser-Smith, A.C., P.R. McGill and A. Bernardi, 2011. Comment on " Natural magnetic disturbance fields, not precursors, preceding the Loma Prieta earthquake" by Wallace H. Campbell, J. Geophys. Res., 116, A08228, doi:10.1029/2010JA016379.

Galgaro A., Tecca P.R., Genevois R., Deganutti A.M., 2005. Acoustic module of the Acquabona (Italy) debris flow monitoring system. Natural Hazards and Earth System Sciences 5:211–215

Garstang, M., 2009. Precursor Tsunami Signals Detected by Elephants. The Open Conservation Biology Journal, , 3, 1-3.

Grant, R.A. and T. Halliday, 2010. Predicting the unpredictable; evidence of pre-seismic anticipatory behaviour in the common toad. Journal of Zoology, 281, pp. 263-271.

Guzzetti F., Peruccacci S., Rossi M., Stark C.P., 2008. The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update. Landslides 5(1): 3-17

Guzzetti F., Reichenbach P., Cardinali M., Galli M., Ardizzone F., 2005. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. Geomorphology 72 (1–4):272:299

Hansen M.J., 1984. Strategy for classification of landslides. In Slope Instability, Ed. By Denys Brunsden and David Prior. John Wiley & Sons

Heffner, H.E., 1983. Hearing in large and small dogs: Absolute thresholds and size of the tympanic membrane. *Behavioral Neuroscience*, 97, 310-318.

Kanamori, H., 2003, Earthquake Prediction: An Overview, in W.H.K. Lee, Kanamori, H., Jennings, P., and Kisslinger, C., eds., "International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology": San Diego, Academic Press, Part B, p. 1205-1216.

Kirschvink, J.L., 2000. Earthquake prediction by animals: Evolution and sensory perception, Bull. Seism. Soc. Am, 90:2, pp. 312-323.

Masci, F. And M. Di Persio, 2012. Retrospective investigation of geomagnetic field time-series during the 2009 L'Aquila seismic sequence, Tectonophysics, 530-531, 310-317, doi: 10.1016/j.tecto.2012.01.008.

Rosso R., Rulli MC, Vannucchi G, 2006. A physically based model for the hydrologic control on shallow landsliding. Water Resources Research v. 42, W06410, doi:10.1029/2005WR004369

Skempton AW, De Lory FA, 1957. Stability of natural slopes in London Clay. In: Proceedings of the 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering 2, London.

Thomas, J. N., J.J. Love, M.J.S. Johnston, 2009. On the reported magnetic precursor of the 1989 Loma Prieta earthquake, Phys. Earth Planet. Sci., 173, 207-215, doi: 10.1016/j.pepi.2008.11.014.

Tributsch, H., 1982. When the snakes awake. Animals and earthquake prediction. The MIT Press, Cambridge, MA.

Walsh, A., 2009. Loma Prieta predictor Jim Berkland still picking quake dates. Santa Cruz Sentinel (www.santacruzsentinel.com/localnews/ci_13574281, accessed 20121017).

Wyss, M., 1999. Without funding no progress, Nature debates: Is the reliable prediction of individual earthquake a realistic scientific goal?, http://www.nature.com/nature/debates/earthquake/equake_8.html.

Appendix I – Uppdraget

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

Datum
2012-04-20

Diarienr
2012-1859

Uppdragsbeskrivning gällande studier 2012

Hundars och andra djurs beteende som varningssystem för bedömning av risken för följdskred/ras under räddningsinsats

Bakgrund

Under räddningsinsats i samband med en ras eller skredhändelse utsätts räddningspersonalen för risken för följdskred/ras. Detta kräver fortlöpande riskanalys under insatsens gång. Geoteknisk expertis kan begränsas av faktorer som tillgänglighet inom relevanta tidsramar, områdesöverblick, förutsebarheten av naturliga händelsers utveckling etc. Tonvikten på utvecklingen av tekniska varningssystem ligger ofta på tidig varning; därutöver är installering och resultatanalys av tekniska system ofta tidskrävande.

Det finns dokumenterade incidenter som tyder på att djurs beteende möjligtvis förändras strax före naturhändelser som t ex jordbävningar, tsunamis och laviner. Detta har medfört att vissa länder med hög jordbävningsrisk, t ex Kina och Japan, bedriver aktiv forskning för att fastställa hur djurens beteende skulle kunna omsättas i ett praktiskt varningssystem.

Sökhundar används ofta i räddningsarbetet i ett ras- eller skredområde. Skulle det finnas vetenskapligt underlag för att hundar har möjlighet att uppfatta ett annalkande skred/ras så skulle sådan detektering kunna inkorporeras i utbildningen av räddningshundar.

Syfte

Studien är i första hand en förstudie med syfte att fastställa om vetenskapliga belägg existerar för att gå vidare med djupare forskning samt test av djurs, framförallt hundars, potentiella förmåga att uppfatta och förmedla varningssignaler i samband med ras/skred. Intresseområdet begränsas av emitteringen av faktiska fysikaliska signaler (d v s inte paranormala föraningar) samt varning inom den korta tidsfrist som överhängande fara innebär, dock tillräckligt lång tid för att varning och evakuering av räddningspersonal ska kunna tillgodoses (d v s sekunder och minuter, inte timmar och dagar).

Den första delen av studien är en forskningsöversikt över eventuellt befintlig forskning i ämnet djurs, framförallt hundars, möjlighet att uppfatta signaler vid ras/skred. Den andra delen av studien är en förstudie med syfte att fastställa vilka fysikaliska signaler som emitteras vid ras/skred som eventuellt skulle kunna uppfattas av djur/hundar.

Följande frågeställningar ramar in kartläggningen:

- Vilken (om någon) forskning existerar kring hundars och eventuellt andra djurs förmåga att uppfatta ett annalkande skred/ras?

- Vilken (om någon) forskning existerar kring hundars och eventuellt andra djurs förmåga att uppfatta annalkande jordbävningar?

- Är resultaten kvalitetssäkrade så att de eventuellt skulle kunna överföras på det praktiska planet?

Följande frågeställningar ramar in förstudien:

- Är fenomenet ras/skred jämförbart med jordbävningar med tanke på de fysikaliska parametrar som är relevanta för hundars/djurs förmåga att agera som varnare för en annalkande händelse?

- Vilka är förebuden till olika typer av ras/skred (mekanism betingat)?

- Vilka fysikaliska signaler (t ex vibrationer eller akustiska, kemiska, elektriska signaler) emitteras ifrån marken vid ras/skred?

- Kan hundar/eventuellt andra djur uppfatta markens signaler vid en ras/skred händelse?

- Är resultaten kvalitetssäkrade så att de eventuellt skulle kunna överföras på det praktiska planet?

Kvalitetssäkringen ramas in av bl a följande frågor:

- Är positiva utslag (hundar/eventuellt andra djur reagerar på ras/skred) tillräckligt tillförlitliga (systematiska, ej ad hoc)?

- Ger de positiva utslagen en indikation på när och var ras/skred kan väntas inträffa samt dess ungefärliga omfattning (stort/litet)?

- Är det rimligt att vänta sig en generisk reaktion av hundar/eventuellt andra djur med hänsyn till det breda spektrumet av olika ras/skred mekanismer?

- Kan hundar/eventuellt andra djur tränas till att filtrera bort alla andra ljud till förmån för en reaktion på enbart ras/skred signaler?

- Kan hundar/eventuellt andra djur tränas till att kommunicera faran till sin förare?

Mål

Målet är att fastställa om det finns anledning att gå vidare med fördjupad forskning, test och i slutändan utformning av träningsprogram för att använda hundar eller eventuellt andra djur i detekteringssyfte vid en ras/skredhändelse som en tillgång till Räddningstjänsten i sin riskhantering.

Studien förväntas resultera i klara svar (ja/nej/oklart med vetenskapligt baserad argumentation) på frågorna beskrivna under ”Syfte” och på så vis tjäna som underlag för målgruppen (MSB) att göra en kvalificerad bedömning på frågan om det finns framtidsutsikter för utvecklingen av ett varningssystem baserat på hundars eller andra djurs beteende.

Uppdraget

Uppdraget indelas i följande steg i kronologisk ordning. Reservation förbehålls för mindre ändringar i uppdragets inriktning beroende på forskningsresultat; sådana ändringar ska ske i samråd mellan uppdragsgivare och utförare.

1.1 Kartlägg existerande forskning samt praktiska erfarenheter inom ämnet hundars och eventuellt andra djurs beteende i samband med ras/skred utifrån varningsperspektivet. Utför kvalitetsanalys på befintlig forskning.

1.2 Kartlägg existerande forskning samt praktiska erfarenheter inom ämnet hundars och eventuellt andra djurs beteende i samband med jordbävningar utifrån varningsperspektivet. Utför kvalitetsanalys på befintlig forskning.

1.3 Undersök den fysikaliska jämförbarheten mellan fenomenet ras/skred med jordbävningar utifrån de parametrar som hundar eller andra djur kan uppfatta i de senare fenomenen för att fastställa om utslaget (positivt eller negativt) i samband med jordbävningar är överförbart på ras/skred. Upprätta en grov fysikalisk modell baserad på olika ras/skred mekanismer som beskriver vilka fysikaliska signaler som avges i de olika typerna samt vilka förebuden är. Stäm av med hundkännare för att ta reda på vilka signaler som skulle kunna uppfattas av hundar.

OBS: Kartläggningen (1.1 – 1.2) bör ske via efterforskning (litteratur) och i dialog med forskare nationellt/internationellt vid universitet, institut etc. Underlagsmaterialet kan bredda sig till områden utöver geovetenskaperna, t ex geoteknik, zoologi/etologi. Allt resultat ska vara vetenskapligt förankrat. Utredningen (1.3) kan komma att kräva samarbete med expertis inom områdena geoteknik, zoologi/etologi samt hundkunskap.

Omfattning

Enligt utförarens offert ska studien utföras under 5 veckors tid. Utföraren lägger själv upp tidsåtgången för de olika stegen (1.1 – 1.3).

Utförare

Huvudutförare för studien är Institutionen för Geovetenskaper vid Uppsala Universitet. Arbetet kan kräva inkoppling av expertis inom andra områden t ex geoteknik, zoologi/etologi och hundkunskap. Detta löses genom att huvudutföraren antingen engagerar systerinstitutioner eller upphandlar konsulttjänst inom den givna budgetramen. Reservation i samband med hundexpertis görs för Anders Hallgren (www.andershallgren.se) som redan involverats i konsultation i den aktuella frågan; MSB förmedlar kontakten.

Budget

MSB erlägger följande ersättning för uppdraget (inklusive ersättning för kommunikation, resor, traktamenten, eventuella konsulttjänster et c): 110 000 kr.

Avtalstid

Start så snart upphandlingen avslutats (dock senast 1 maj 2012), slutrapportering senast 22 juni 2012.

Rapportering

Muntlig rapportering och avstämning gällande utkastet av resultaten för Steg 1.1 – 1.3 innan den skriftliga slutrapporten utförs (slutet av maj 2012).

Slutrapporteringen för studien ska ske i form av en skriftlig rapport i elektronisk form indelad i Steg 1.1 – 1.3 samt en muntlig redovisning. Datum och plats för redovisningen fastställs i samspråk med utföraren.

För Steg 1.1 – 1.2 ska följande ingå i redovisningen:

- kartläggningsmetod (källtyper)
- omfattning
- resultat (tematiskt upplagd med tillhörande referens)
- kriterier för kvalitetsbedömning
- kvalitetsbedömningsresultat

För Steg 1.3 ska följande ingå i redovisningen:

- tillvägagångssätt

- vetenskapsgrenar som utnyttjats
- resultat
- kvalitetsbedömningsresultat

Uppföljning

Uppföljning kommer att ske i form av en öppen dialog (per e-post eller telefon, möten vid behov) under uppdragets varaktighet.

MSB kontaktperson för studien

Vivian Caragounis

vivian.caragounis@msb.se

010-240 51 88

072-533 99 22

Susanne Thellberg

susanne.thellberg@msb.se

010-240 54 33

072-530 22 77

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
651 81 Karlstad Tel 0771-240 240 www.msb.se
Publ.nr MSB513 – December 2012 ISBN 978-91-7383-310-3