Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

Kvickleremodellering

Förutsägelser och tillämpning

FORSKNING

MSB:s kontaktperson:
Susanne Edsgård, 010-240 53 62

Publikationsnummer MSB388
ISBN 978-91-7383-222-9

Förord

Denna rapport är en sammanfattning av arbete som skett inom projektet *Verktyg för kartläggning av skredfaktorer och analys av dessa* som genomförts mellan 2008 och 2012. Mera fullständiga beskrivning av projektets utformning och använda metoder finns tillgänglig i rapporten *Predictive modeling of quick-clay distribution in SW Sweden*.

En referensgrupp bestående av representanter från Statens geotekniska institut, Sveriges geologiska undersökning, Stadsbyggnadskontoret i Göteborg, Trafikverket och WSP, Göteborg har funnits tillgänglig för projektändamål. Vidare har flera myndigheter, organisationer och enskilda personer på olika sätt varit till stor hjälp under arbetet. Författarna är tacksamma till alla som bidragit till studien.

Martin Persson och Rodney Stevens

Göteborgs Universitet
Institutionen för geovetenskaper

Innehållsförteckning

Förord **3**
Innehållsförteckning **4**
1. Bakgrund **5**
1.1 Geologisk utveckling 5
2. Förutsägelser av kvicklereförekomster **7**
2.1 Modellering 8
2.2 Resultat 9
2.3 Utvärdering av resultaten 10
2.4 Modellens styrkor och möjliga förbättringar 12
3. Möjliga tillämpningar **13**
4. Slutsatser **14**

1. Bakgrund

Flera stora jordskred har drabbat infrastruktur, egendom och liv i Västsverige under historisk tid och förmodligen redan innan dess. I leravsättningar beror ett skreds händelseförlopp och dess konsekvenser i hög grad på lerans hållfasthetsegenskaper. Kvicklera som från början var fast kan genom omrörning förlora stora delar av sin hållfasthet och bli flytande. Små skred i kvicklereområden kan utvecklas till större genom lerans omrörning i det inledande skedet. Kvicklera har bidragit till konsekvenserna vid flera välkända västsvenska skred, till exempel de i Tuve och Småröd. Kunskap om orsaker till kvicklerebildning har utvecklats främst under 1900-talet. Dessa förutsättningar är för det mesta välkända genom laboratorieförsök men deras naturliga variation är mindre känd. Genom att konstruera en modell, i huvudsak med geomorfologiska och geologiska kriterier, har prediktion av förutsättningar för kvicklerebildning varit möjlig. Inblandade kriterier har kontrollerats med hjälp av arkivuppgifter och mätningar.

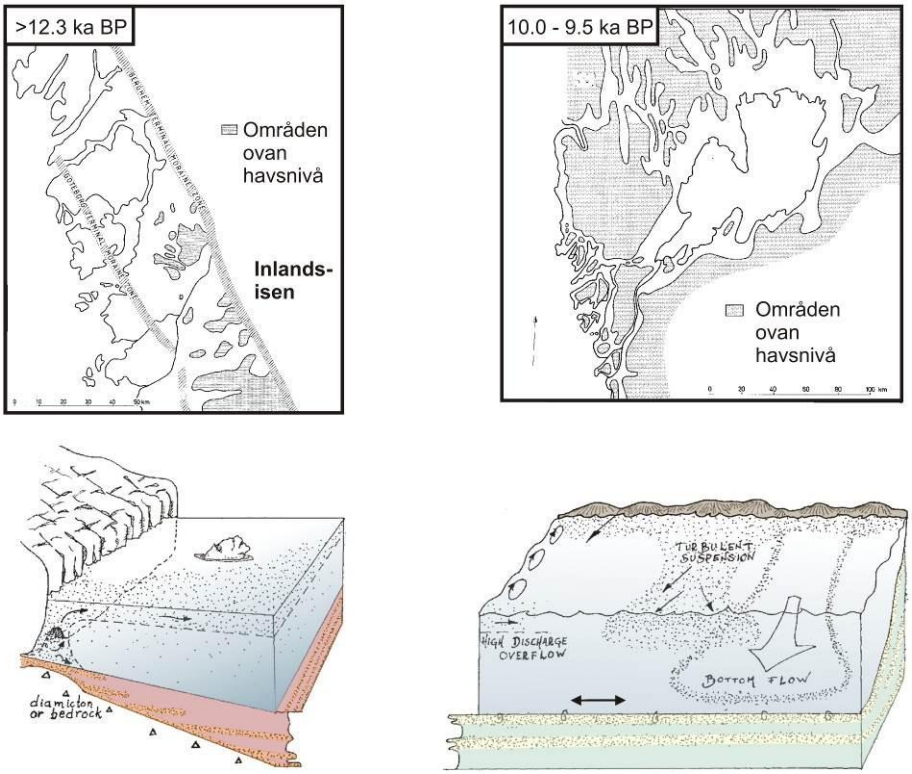
1.1 Geologisk utveckling

Kvicklerebildning är oftast förknippad med leravsättningar som upplyfts ur havet och exponerats för grundvattenlakning. Lerorna bildades när den skandinaviska inlandsisen drog sig tillbaka i slutet av förra istiden. Landområden, som var nerpressade av isen, höjdes gradvis ur havet. Dessa miljöförändringar över tusentals år förklararar att det finns lager av grus (ex. morän), sand och lera på olika djup under markytan i många delar av Västsverige (se illustrationerna i figur 1). I närheten av isen var grusiga och sandiga lager vanligare. Dessa tillåter grundvatten att röra sig under marken och på så vis komma i kontakt med den överliggande leran. Leran ligger oftast över de grova lagren eftersom den bildades senare när isen var ännu längre bort där havet var rätt djupt. Även andra sandlager högre upp i leravsättningarna har betydelse för genomströmning av grundvatten, saltlakning och kvicklerebildning. Dessa har bildats då isen dragit sig tillbaka ytterligare och smältvattnet huvudsakligen transporterade finkornigt material till de dåvarande havsmiljöerna i Västsverige. Sand kunde dock eroderas från närliggande sluttningar som stack upp på grund av landhöjningen. Vid vissa exponerade platser och tillfällen gynnades dessa sandavsättningar. Sandlager i de mellersta och övre delarna av sedimentavsättningar (högersidan av figur 1) kan ibland vara tillräckligt tjocka för att grundvatten ska kunna röra sig igenom de och öka saltlakningen av leran.

Havsvattnet har ett saltinnehåll som gör att lerpartiklarna kan komma nära och fastna mot varandra. Detta sker eftersom deras negativt laddade ytor kan dra åt sig positiva joner (främst natrium) som finns in havsvattnet. Lerpartiklarna som från början verkade bortstötande på varandra klumpar istället ihop, dock med mycket vatten mellan partiklarna. Lerstrukturen har liknats vid ett korthus eftersom lerpartiklarna är mycket platta. Om grundvattnet rör sig i

kontakt med leran kan positiva joner lakas bort. Strukturen blir då mindre stabil eftersom lerpartiklarna blir mer negativt laddade och därför vill stöta ifrån varandra, särskilt om någon störning sker som gör att de tappar närkontakt. När partiklarna stöter bort varandra blir leran mycket svagare. En ”kvicklera” definieras som en lera vars skjuvhållfasthet i omrört tillstånd är mycket låg (västskeliknande) och högst en femtiondel av den ursprungliga. Kvoten mellan skjuvhållfasthet i den orörda och omrörda leran benämns sensitivitet.

Den generaliserade bilden som visas i figur 1 kan naturligtvis variera mellan olika platser. Vår modell bygger på förmågan att, i viss mån, förutsäga de förväntade trenderna i landskapet. Eftersom det bara finns mycket sporadisk täckning av information om markens uppbyggnad (geologi) använder vi också oss av teoretiska kunskaper om hur dessa avlagringar kan förväntas variera i olika geografiska situationer. Till exempel, tjocklekar för viktiga sand- och grusavsättningar i botten är delvis förutsägbara med hänsyn till om isen stannade till i närheten och hur mycket smältvatten som dränerades förbi platsen. I modelleringen nedan har ett flertal faktorer används på liknande sätt för att förutse var och hur effektivt grundvatten skulle kunna påverka lerans salthalt, och därmed dess stabilitet samt benägenhet att vara ”kvick”.

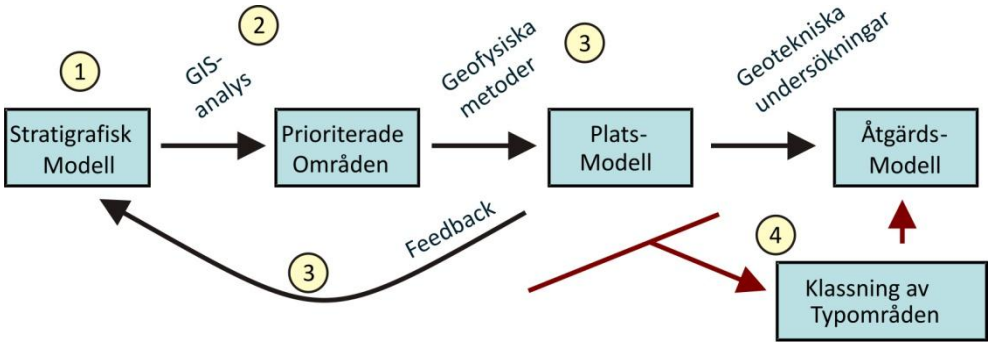


Figur 1. Ändringar i avsättningsmiljö beroende på inlandsisens tillbakadragande och landhöjning i Västsverige. De övre kartbilderna beskriver fördelningen av hav, is och land under två tidsperioder. Samma tidsperioder beskrivs i de två miljöbilderna nederst (ritade av S. Ekman) som även visar bottenuppbyggnaden med olika lager av grövre och finare sediment.

2. Förutsägelser av kvicklereförekomster

Med målsättningen att bidra till en förbättring av i dag använda kartläggningsmetoder för kvicklera och i förlängningen också stabilitetskartering i stort har fyra delmål definierats. Dessa sammanfattas nedan och i figur 2.

1. En geologisk modell som förutsäger den geografiska och stratigrafiska (vertikala) förekomsten av vattenförande lager i och under lera.
2. GIS-verktyg (Geografiskt informationssystem) för att sammankoppla geologisk kunskap och de geografiska förhållanden (både tidigare och nuvarande) som ger förutsättningar för förekomst av kvicklera.
3. Testning med effektiva geofysiska undersökningsmetoder (t.ex. elektrisk resistivitetsprofilering) som kan bidra både med att kontrollera modellprognoserna samt ge en mer platsspecifik modellering till minimala kostnader.
4. En klassificering av typområden där sannolikheten för kvicklereförekomst är hög.

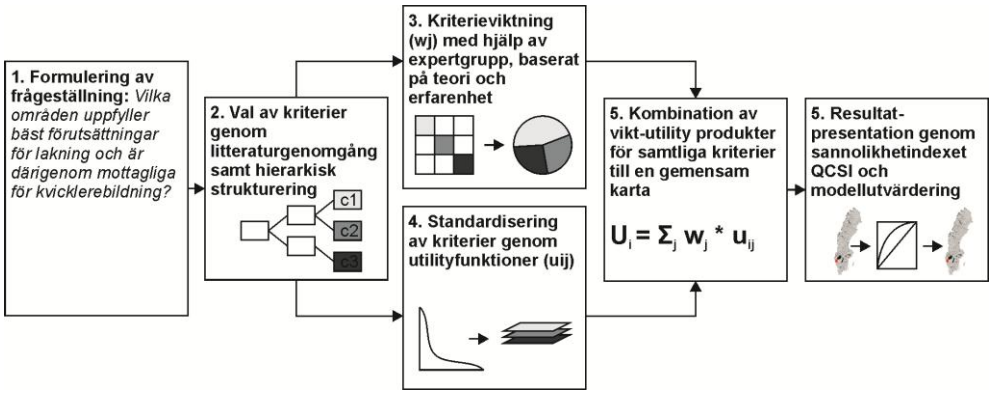


Figur 2. Projektets gång och målsättningar

Huvuddelen av arbetet i projektet har varit kopplad till framtagandet av den multi-kriteriella modellen som möjliggör förutsägandet av kvicklereutveckling. Denna tar hänsyn till Västsveriges geologiska utvecklig och därmed förknippade jordlagerföljder. Modellen kan också vara användbar i andra områden med liknande geologisk bakgrund. Sensitiviteten och den omrörda skjuvhållfastheten uppvisar i det aktuella området en stark korrelation. Detta har gjort att enbart sensitivitetsdelen av definitionen har använts i modelleringen beskriven nedan.

2.1 Modellering

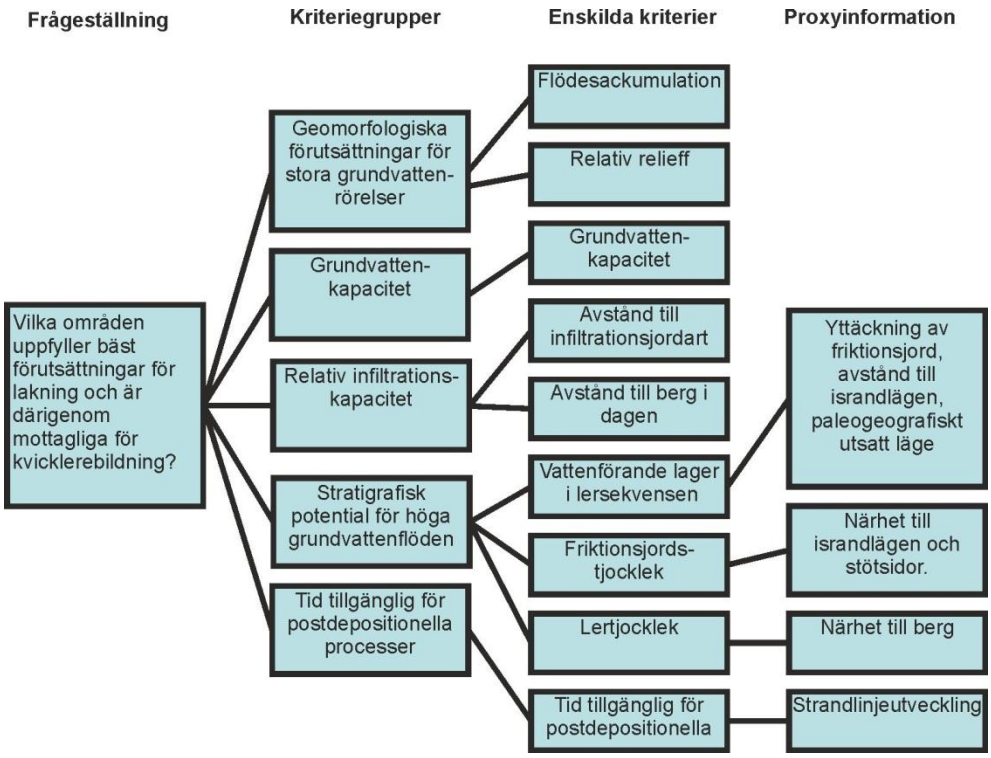
Den föreslagna modelluppbyggnaden (sammanfattad i figur 3) utnyttjar både observationsbaserade data (ex. kartor och mätprotokoll) samt ”mjuk” information (såsom geologisk erfarenhet, teori och konceptuella tolkningar). Gemensamt för de båda datatyperna är att de har representerats i ett GIS. Detta ger en kartbild över vilka platsspecifika förutsättningar som finns för kvicklerebildning i Västsverige. I hög grad har existerande data från Sveriges geologiska undersökning, Lantmäteriet och Trafikverket använts vid modellutvecklingen. De ingående dataseten kvantifierar kriterier (figur 4) som tidigare pekats ut som bidragande till kvicklerebildning. Utveckling av höga sensitiviteter i sötvattensavsatta leror är mycket ovanligt inom området och har inte behandlats i den aktuella modellen.



Figur 3. Sammanfattning av modellstrukturen och dess komponenter.

Kriteriernas betydelse (”vikt”) för kvicklerebildning har tagits fram med hjälp av en expertgrupp (här bestående av geologer, geotekniker och andra med erfarenhet av kvicklereproblematik). Denna grupp har på ett systematiskt sätt viktat de olika kriterierna mot varandra. Kriterierna antas ha samma vikt oberoende av plats i modellens första utformning.

För att enhetligt beskriva kriteriernas platsspecifika effekt, oberoende av storhetsskillnader, har ekvationer konstruerats och använts för att översätta uppmätta eller fram-modellerade värden till en gemensam 0-1 skala. Här innebär 0 att kriteriet inte alls fyller någon funktion vid kvicklerebildning och 1 indikerar maximal funktion. Funktionerna kan med hjälp av ett GIS enkelt appliceras på rådata.

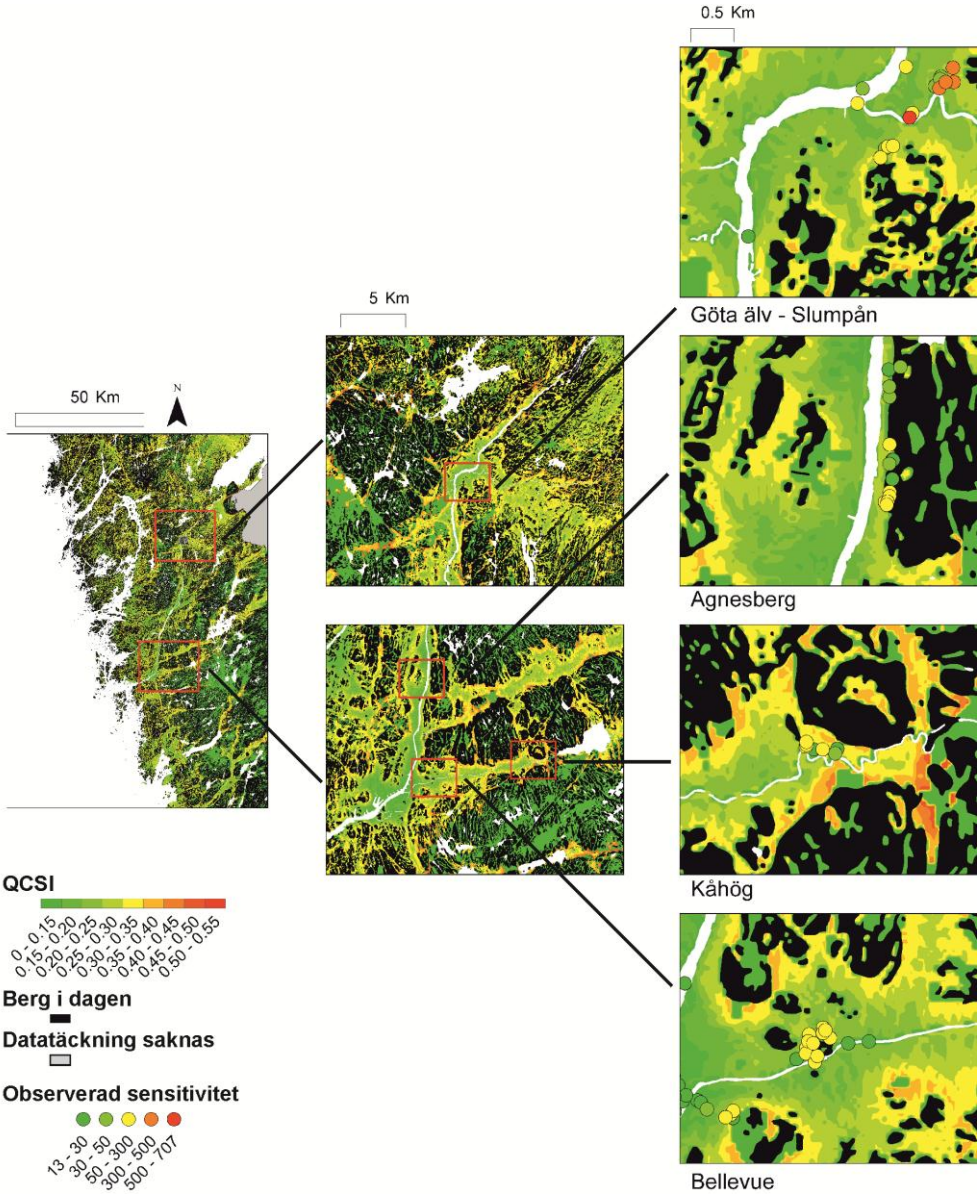


Figur 4. Använda modellkriterier och deras inbördes förhållanden.

2.2 Resultat

Nära 81 % av det analyserade landområdet (Figur 5) består av berg i dagen eller grova glaciala jordarter som troligen inte har lera under sig. Här saknas alltså förutsättningar för kvicklerebildning. Till dessa mycket lågsannolika områden räknas också områden över högsta kustlinjen in. Mycket hög sannolikhet för kvicklerebildning (QCSI > 0.35), i någon del av stratigrafin, förekommer i cirka 3 % (drygt 2000 km^2) av området. Inga områden har den maximala sannolikheten (QCSI=1).

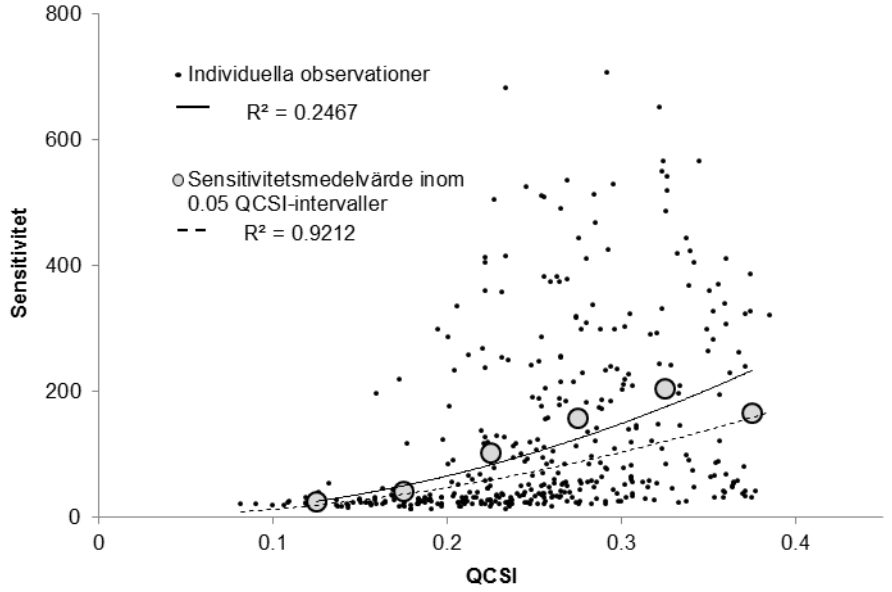
Generellt är förutsättningarna för kvicklereutveckling bäst uppfyllda i centrala Bohuslän (inklusive Taske å och Orusts nordöstra kust), delar av Ljungskile – Stenungsundsområdet, Göta älvdalen dess biflödens dalgångar, (Slumpån, Grönån, Säveån nedströms Aspen och i någon mån Lärjeån) där stora områden med höga QCSI-värden förekommer. Sannolikheten för kvicklerebildning har begränsats åt söder, öster och norr av bristen på marina förutsättningar under lersedimentationen. Dessutom minskar de relativa höjdskillnaderna (som är en förutsättning för effektivt grundvattenflöde) öster- och norrut (ex. Västgöta- och Dalboslätterna). Leravsättningar här lämnas i hög grad skyddade mot processer som efter lerans ursprungliga avsättning annars kunde ha lett till kvicklerebildning. Bara fläckvisa förekomster av högsannolika områden finns söder om Göteborg.



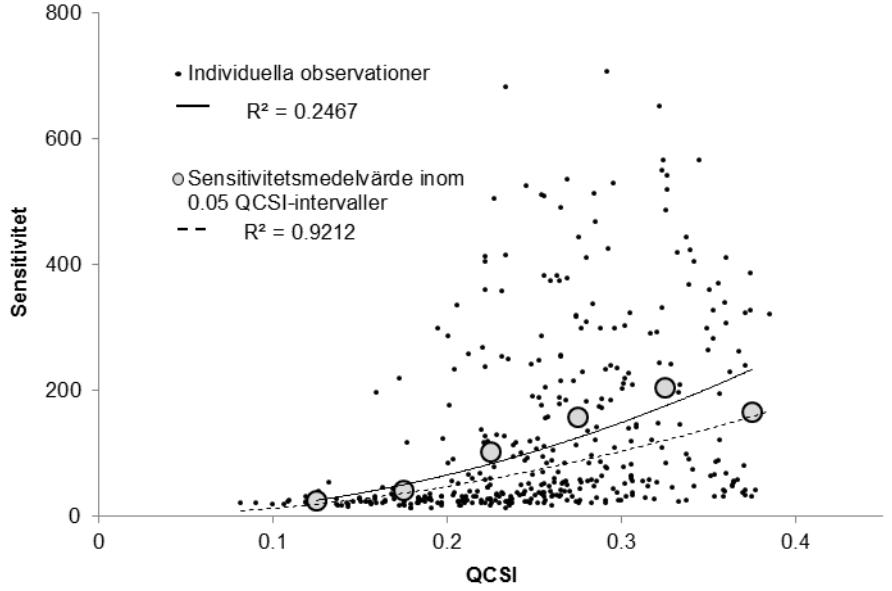
Figur 5. Resultatet presenteras här med större detaljnogrannhet för de fyra utvalda områdena Slumpån, Agnesberg, Kåhög och Bellevue. Leran har i varierande grad påverkats av grundvattenrörelser i samtliga områden. Bilderna visar sannolikhet för att kvicklera har bildats och således inte hur stabilt ett visst område är.

2.3 Utvärdering av resultaten

Resultaten har utvärderats genom att jämföra med befintligt geotekniskt material, främst från ut- och ombyggnader av vägarna E45 och E6 samt närbelägna järnvägsprojekt
(

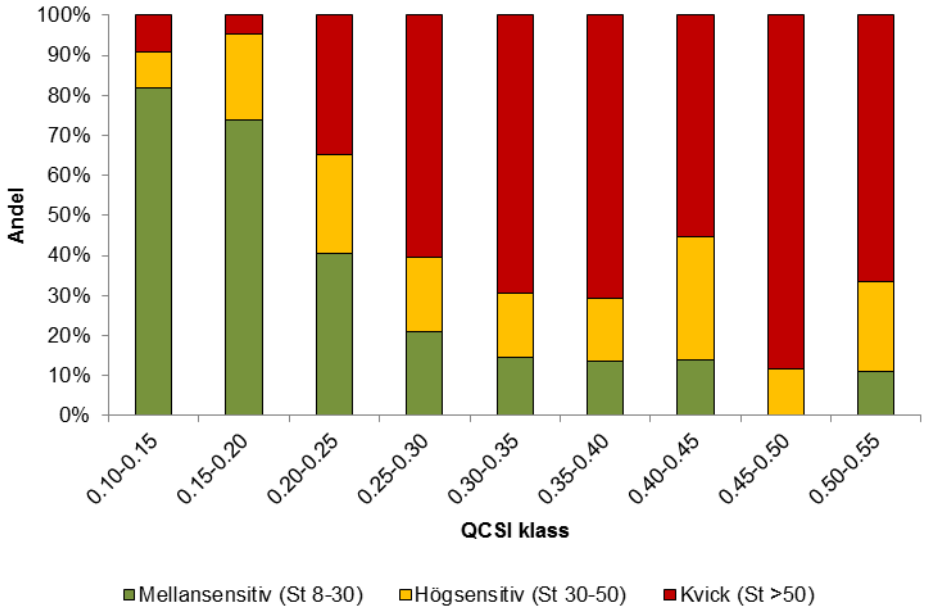


Figur 6 ochFigur 7). Kontrolldata har tagits fram genom etablerade metoder huvudsakligen fallkonsförsök.



Figur 6. Jämförelser mellan 392 bestämningar av sensitivitet och modellens resultat (QCSI). Linjerna visar trender för alla punkter samt för genomsnittsvärden av sensitivitet.

I Figur 7 syns att mellansensitiva leror generellt återfinns inom områden med låg QCSI. Den motsatta trenden gäller för prover tagna i kvicklera. Inga trender vad gäller distributionen av högsensitiva leror har klarlagts.



Figur 7. Fördelning av mellansensitiv, högsensitiv och kvick lera inom olika QCSI-klasser.

2.4 Modellens styrkor och möjliga förbättringar

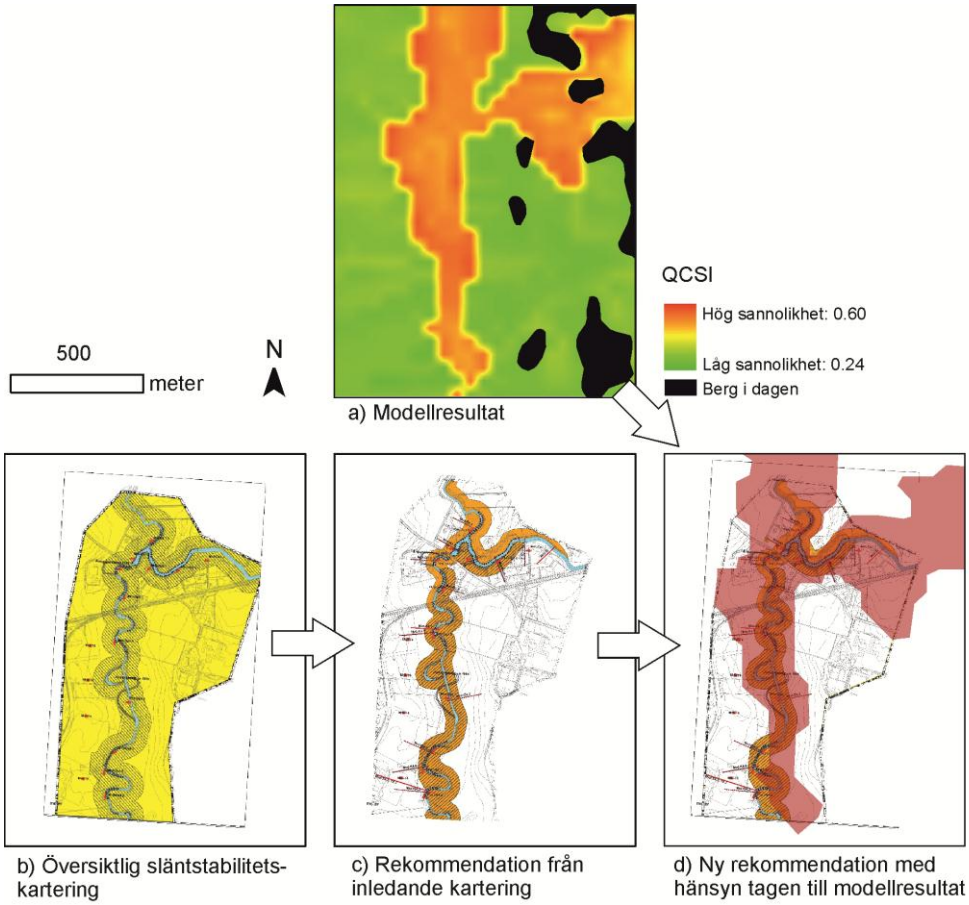
Modellen kan, till skillnad från traditionellt använda metoder, snabbt analysera stora ytor till låg kostnad. Detta kan göras även där etablerade metoder inte är tillämpbara på grund av stabilitets- eller kostnadsaspekter.

Modellens förmåga att förutsäga generella, regionala kvickleremönster är god men enskilda provtagningspunkters sensitivitet avviker ibland betydande mot vad som förväntas givet QCSI (figur 6). Detta kan förklaras med att modellens upplösning (50m) inte är fin nog för snabba ändringar i sensitivitet. För att bättre ta hänsyn till naturlig geologisk variation föreslås att typmiljöer för kvicklerebildning används. Separata viktuppsättningar kan här användas för att beskriva områden med liknande geologisk karaktär. Möjligheterna för kvicklerebildning är generellt sett goda i typmiljöerna *Områden nära israndlägen*, *Områden med stötsidesavsättningar, Vågexponerade områden* samt i *Smala dalgångar och dalgångsavsnitt* där möjligheterna för vatten att påverka leravsättningarna är stora. Det omvända gäller för *Platser centralt placerade i breda dalsektioner* och i *områden utan tydlig dalkaraktär* (ex slättlandskap) där kvicklerebildning normalt är mindre effektiv. Definition av de olika typlokalerna har skett med stöd av geofysiska undersökningsresultat som beskriver den lokala stratigrafin och dess effekt på lakningstrender och kvicklereutveckling.

Modellens transparenta och uppdateringsbara struktur möjliggör användande av framtida dataset, användning av kommande GIS-procedurer samt omviktning av kriterier med hänsyn till utveckling av kvicklereteori.

3. Möjliga tillämpningar

Det mest uppenbara tillämpningsområdet för modelleringsresultaten (Figur 8a) är stabilitetskartering. I dagsläget tas, i ett inledande skede, huvudsakligen hänsyn till markens lutning, närhet till vattendrag och jordart i ytan (Figur 8b) för att definiera olika stabilitetsklasser (Figur 8c). Kunskap om kvicklerans förekomst skulle komplettera skredriskbedömningar genom förbättrad storleksuppskattning av ett eventuellt skred samt det som är kanske viktigast, den möjliga utbredningen av ett litet skred till en större kvicklerskred (Figur 8d). I instabila områden är risktagning oundviklig, särskilt i samband med skred, men modelleringen kan hjälpa till att utforma platsundersökningar och fältinsatser som en del i beredskapen inför dessa risker.



Figur 8 a) Modelleringsresultat, b) Stabilitetsklasser från kartering norr om Mellerud (modifierad från Räddningsverket 2004). c) Rekommendation för vidare åtgärder. d) Överläggningskarta som kombinerar områden med hög sannolikhet för kvicklera (rött) med områden av låg stabilitet (orange). Överlappande områden ger möjlighet till stora skred.

De stratigrafiska resultaten ur modellen kan även användas för andra ändamål där markförhållanden är av intresse till exempel markföroreningsstudier, grundvattenmodellering och geologisk processmodellering. För varje nytt tillämpningsområde rekommenderas lämplig testning och anpassning av modellen.

4. Slutsatser

QCSI modelleringen tar hänsyn både till kvalitativ information (expertomdöme, etablerad teori gällandes kvicklereutveckling och jordarternas fördelning under markytan) och observationsbaserade data (geologiska kartor och geotekniska mätresultat). Införandet av stratigrafisk kunskap är den mest nyskapande delen i modelleringen. Modellens öppna struktur medger att nya data och informationskällor används för att förbättra urval och viktning av kriterier.

Modellen har framgångsrikt prognostiserat generella sensitivitets- och kvickleretrender i det undersökta området. Även om resultaten är uppmuntrande avviker enskilda observationer från modellresultaten. Den höga variabiliteten, som är typisk för sensitivitet, kräver ytterligare modellförbättringar och nya databaser. Modellering och etablerade geotekniska och geofysiska metoder används med fördel tillsammans. En kombination av metoder ger oftast ett mer övertygande resultat genom de förbättrade tolkningsmöjligheterna.

Ytterligare förbättringar i QCSI modellen kan göras genom att dela in området i mindre enheter exempelvis styrda av typmiljöklassificering för att öka graden av platsspecificitet. Göta älv dalen är ett område där ny data (från Sveriges geotekniska institut) och en uttalad sårbarhet mot skred motiverar ett lokalt agerande.

Praktiska tillämpningar, särskilt efter ytterligare testning och anpassning, finns framförallt inom förbättring av olika aspekter inom den nuvarande metoden för stabilitetskartering. Dessutom finns ytterligare användningsområden för den stratigrafiska modellen inom branscher inriktade mot markförhållanden.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
651 81 Karlstad Tel 0771-240 240 www.msb.se
Publ.nr MSB388 ISBN 978-91-7383-222-9