

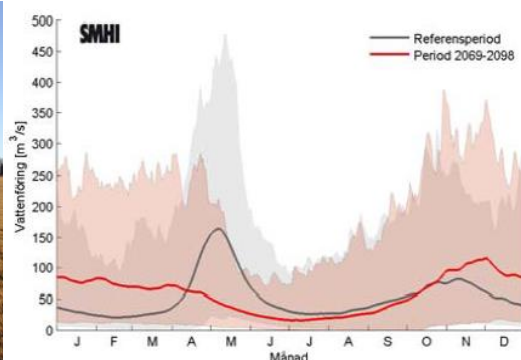
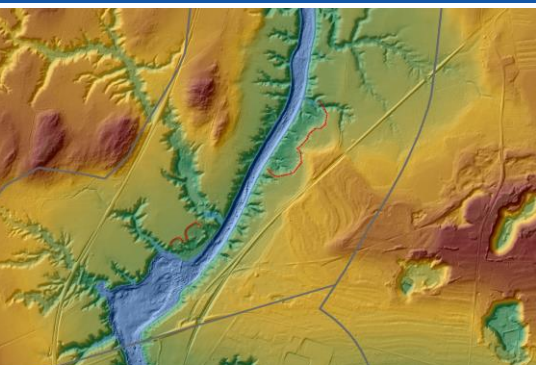


Statens geotekniska institut

Skredrisker i ett förändrat klimat – Norsälven

Del 2: Metod för kartläggning

Karin Bergdahl, Karin Odén, Hjördis Löfroth, Gunnel Göransson,
Åsa Jönsson, Ramona Kiilsgaard



SGI Publikation 18-2

Linköping 2015

Publikation 18-2

Hänvisa till detta dokument på följande sätt:

Bergdahl, K, Odén, K, Löfroth, H, Göransson, G, Jönsson, Å, Kiilsgaard, R (2015). Skredrisker i ett förändrat klimat – Norsälven. Del 2: Metod för kartläggning. Statens geotekniska institut, SGI. Publikation 18-2, Linköping.

Diarienummer: 1303-0243

Uppdragsnummer: 15053 mfl

Beställning:

Statens geotekniska institut
Informationstjänsten
581 93 Linköping
Tel: 013-20 18 04
E-post: info@swedgeo.se

Ladda ner publikationen som PDF
www.swedgeo.se



Statens geotekniska institut

Skredrisker i ett förändrat klimat – Norsälven

Del 2: Metod för Kartläggning

Karin Bergdahl
Karin Odén
Hjördis Löfroth
Gunnel Göransson
Åsa Jönsson
Ramona Kiilsgaard

SGI Publikation 18-2

Linköping 2015

Förord

Samhället behöver anpassas till den pågående klimatförändringen. Det finns en stor mängd befintlig bebyggelse och infrastruktur som behöver anpassas för att klara förändringen i bland annat nederbörd och vattenflöden samt stigande havsnivåer. Dessutom behöver samhället ta hänsyn till klimatförändringen och dess konsekvenser vid planering av ny bebyggelse och infrastruktur. Anpassningsarbetet är komplext eftersom det inbegriper flera olika ämnesområden, osäkerheter över långa tidsperspektiv och för att det bygger på kunskap som ständigt uppdateras, i och med att klimatforskningen utvecklas i snabb takt. För effektiv klimatanpassning krävs inte bara planeringsunderlag och beslutsstöd som är flexibla, ämnesövergripande och tar hänsyn till lokala variationer, utan som också gör det möjligt att samordna olika åtgärder på regional nivå.

SGI har sedan 2009 tilldelats medel från anslag 1:10 Klimatanpassning för klimatanpassningsinsatser genom bland annat skredriskkarteringar, metodutveckling och nyttiggörande av material från karteringarna.

Under åren 2012-2013 nyttiggjorde SGI materialet från Göta älvutredningen (GÄU) (SGI 2012) som pågick mellan år 2009 och 2011, samt identifierade ytterligare vattendrag som är prioriterade för kartläggning av skredrisker (Bergdahl et al 2013). Norsälven är det första vattendraget att kartlägga efter GÄU, och har fungerat som ett pilotområde för utveckling av en förenklad metodik avseende skredriskkartering. Utredningen längs Norsälven bygger vidare på den metodik som togs fram inom GÄU och syftar till att ge ett tillräckligt bra underlag för vidare analys i kommuners och länsstyrelsernas arbete med klimatanpassning.

Utredningens resultat och slutsatser presenteras i föreliggande rapport ”Skredrisker i ett förändrat klimat – Norsälven”, bestående av tre delar:

- **Del 1 – Kartredovisning och sammanfattning av resultat**, innehåller en sammanfattning av uppdraget samt hur materialet kan användas i klimatanpassningsarbetet i kommuner och län. Här finns också en redovisning av skredriskerna i kartform. Kartorna innehåller både skredrisker för dagens förhållanden och en bedömd känslighet för klimatpåverkan längs älven.
- **Del 2 – Metod för kartläggning**, innehåller en beskrivning av utredningens metodik, inventeringar, undersökningar, beräkningar och analyser.
- **Del 3 – Fördjupningsbilagor**, innehåller fördjupade beskrivningar av den använda metodiken för erosionsanalys och konsekvensanalys.

Arbetet har i huvudsak utförts av medarbetare på SGI och organiserats som ett huvuduppdrag för projektledning samt ett antal deluppdrag för metodutveckling, analys och utredning. Arbetet har letts av en uppdragsledningsgrupp bestående av Karin Bergdahl (huvuduppdragsledare), Karin Odén (biträdande huvuduppdragsledare), Gunnel Göransson och Hjärdís Löfroth. Charlotte Cederbom har varit internbeställare. Förutom ovanstående har Rebecca Bertilsson, Daniel Elm, Åsa Jönsson, Ramona Kiilsgaard, Godefroid Ndayikengurukiye och Stefan Turesson varit deluppdragsledare. GIS-analyser och GIS-applikationer har gjorts av Mats Öberg, Jim Hedfors och Godefroid Ndayikengurukiye. Bo Lind har varit interngranskare. Sammanlagt har ett 30-tal SGI-medarbetare bidragit i arbetet, se vidare Kapitel 2.2 i Del 2 Metod för kartläggning.

Samverkan har också skett med andra myndigheter och forskningsinstitut bland annat Sveriges geologiska undersökning (SGU), Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) och Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI), Kil och Karlstad kommuner, Länsstyrelsen Värmlands län samt Trafikverket. Ett antal konsulter har även nyttjats för framtagande av underlag och beräkningar.

Beslut om publicering har tagits av avdelningschef Charlotte Cederbom.

Innehållsförteckning

Förord.....	5
1. Bakgrund	9
1.1 Tidigare skredriskkarteringar och stabilitetsutredningar.....	9
2. Utredningens genomförande	11
2.1 Omfattning och avgränsning.....	11
2.2 Organisation	12
2.3 Underlag, digital datahantering och styrande dokument	13
3. Klimat	15
3.1 Underlag	15
3.2 Generell klimatförändring i Värmland	17
4. Geologi.....	21
4.1 Inventering av befintligt underlag.....	21
4.2 Kompletterande geologiskt underlag	21
4.3 Allmän geologisk beskrivning	22
5. Geoteknik.....	27
5.1 Inledning	27
5.2 Inventering av befintligt underlag.....	27
5.3 Fältundersökningar	27
5.4 Laboratorieundersökningar	30
5.5 Kartering av kvicklera	31
5.6 Geotekniska förhållanden	32
6. Yt- och grundvattenförhållanden	34
6.1 Inledning	34
6.2 Inventering av befintligt underlag.....	34
6.3 Undersökningar	35
6.4 Beräkningsförutsättningar och analys	36
7. Erosion.....	38
7.1 Inledning	38
7.2 Inventering av befintligt underlag.....	38
7.3 Genomförda undersökningar.....	39
7.4 Beräkningsförutsättningar och analys av erosion.....	41
7.5 Sammanfattning av erosionsanalysen	47
8. Stabilitetsberäkningar	49
8.1 Beräkningsförutsättningar.....	49
8.2 Analys	53
8.3 Stabilitetsförhållanden i dagens situation	53
8.4 Stabilitetsförhållanden i ett framtida klimat	55
9. Sannolikhetsanalys.....	57
9.1 Metodik - sannolikhetsberäkning	57
9.2 Metodik - skredutbredning	61
9.3 Indelning och beräkningsförutsättningar	63
9.4 Analys	64
10. Konsekvensanalys.....	68
10.1 Inventering av befintligt underlag.....	68
10.2 Beräkningsförutsättningar	69
10.3 Analys och resultat	69

11. Analys av skredrisker	76
11.1 Inledning	76
11.2 Metodik för riskkartering	76
11.3 Analys av risker för dagens klimat och ett förändrat klimat	80
11.4 Tolkning och osäkerheter	84
12. Åtgärdsbehov och klimatanpassning	85
12.1 Samhällsplanering och byggande	85
12.2 Detaljerade utredningar	86
12.3 Klimatanpassningsåtgärder	86
Referenser.....	90

Bilaga

1. Inventerade geotekniska utredningar

1. Bakgrund

I Sverige finns många skredkänsliga områden. Områden längs vattendrag som rinner genom lösa jordlager är ofta mer utsatta än andra. I sådana områden kan också klimatförändringens effekter bli påtaglig med exempelvis ökade vattenflöden som medför ökad erosion och försämrad stabilitet i marklagren. SGI har genom Göta älvutredningen (nedan benämnt GÄU) vidareutvecklat metodiken att kartera risker för skred längs Göta älv som även kan tillämpas för andra områden. GÄU pågick mellan åren 2009 och 2011.

Det skredriskkarteringsarbete för fler vattendrag, som SGI nu påbörjat med Norsälven som pilotområde, presenterades i budgetunderlaget för år 2013-2015. Där beskrivs det som *”En utredning av ett mer heltäckande slag som kan utmyнна i det nödvändiga planerings- och beslutsunderlag som länsstyrelser och kommuner behöver för klimatanpassning på regional och lokal nivå”*.

Med en samlad bild av samtliga skredriskområden längs prioriterade vattendrag (Bergdahl et al. 2013) kan en bättre underbyggd bedömning göras av vilka områden som kräver detaljerade geotekniska utredningar samt var geotekniska anpassningsåtgärder gör mest samhällsnytta och blir mest kostnadseffektiva. De kommuner som berörs får dessutom ett mer komplett underlag avseende sannolikheten för och samhällskonsekvenser av skred både inom bebyggda områden och områden där ny bebyggelse planeras.

Syftet med skredriskkarteringarna är således att producera en heltäckande skredriskkarta längs aktuellt vattendrag. Kartan presenterar utbredningen av skredriskklasser med sannolikhet respektive konsekvens (som talpar), samt effekten av klimatförändring i ett 100-årsperspektiv. Skredriskkartan ska kunna användas som ett planeringsunderlag bland annat för beslut om klimatanpassningsåtgärder på kommunal överviktsplanenivå.

Metoderna som användes i GÄU har i möjligaste mån tillämpats. Metodutveckling har dock varit nödvändig för att få ned utredningskostnaderna och förenkla tolkningen av kartorna utan att leda till någon avgörande försämring av användbarheten. Hänsyn har tagits till synpunkter som kommit fram efter GÄU, bland annat har det eftersträfvats att göra resultaten mer lättförståeliga.

Skredriskkarteringarna bidrar till en stor samhällsnytta genom att ge underlag för att:

- undvika/mildra konsekvenser av skred,
- minska sannolikheten för skred,
- stödja miljö kvalitetsmålen god bebyggd miljö (och god giftfri miljö), samt
- ge underlag till planering för klimatanpassning.

1.1 Tidigare skredriskkarteringar och stabilitetsutredningar

Längs Göta älv har tidigare tagits fram en metodik för skredriskanalys (Alén et al. 2000) som använts längs utvalda sträckor längs Göta älv och som då även modifierats i flera steg. I GÄU, som genomfördes som ett särskilt regeringsuppdrag mellan år 2009-2011, genomfördes en heltäckande skredriskanalys längs hela älven. Skredriskkarteringen längs Norsälven är den första att genomföras för andra älvar än Göta älv och är en pilotstudie.

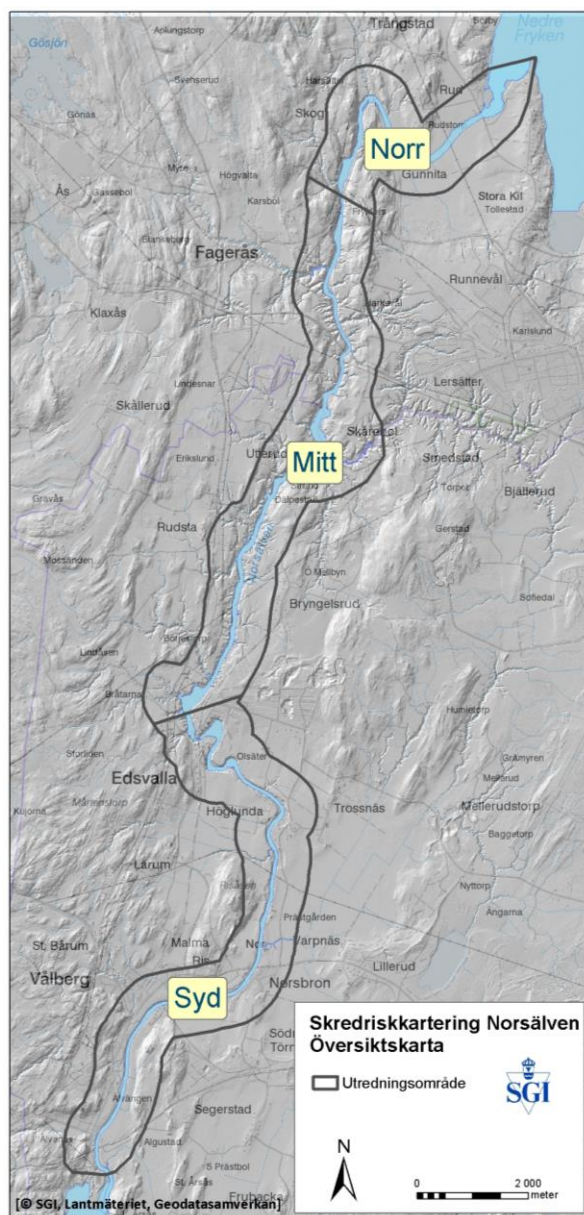
För södra delen av Norsälven, söder om Edsvalla kraftverk, finns ett flertal geotekniska stabilitetsutredningar genomförda med olika detaljeringsnivå och syfte. Utredningarna dateras från 1950-talet och framåt.

MSB genomför en översiktlig stabilitetskartering för Värmlands län som även innefattar några bebyggda områden invid Norsälven. Samverkan mellan utredningarna har skett på så sätt att underlag från stabilitetskarteringen har ingått i skredriskkarteringen och tvärtom.

2. Utredningens genomförande

2.1 Omfattning och avgränsning

Utredningsområdet sträcker sig från Nedre Frykens utlopp i Kils kommun till Norsälvens mynning i Vänern i Karlstads kommun, se Figur 2.1. Totalt innebär detta en sträcka på cirka 30 km, motsvarande 60 km strandlinje. Utredningsområdets bredd avgränsas till cirka 600 meter från strandlinjen, i vissa fall ett kortare avstånd då en avgränsning mot fastmark kunnat göras. Området har indelats i delområdena Syd, Mitt och Norr. Indelningen är gjord främst på grund av skiftande geologiska förhållanden men även av praktiska skäl vid de två vattenkraftsanläggningarna vid Frykfors och Edsvalla. Skredrisker i biflöden eller djupa sidoraviner som ligger inom utredningsområdet har inte undersökts i fält utan bedömts utifrån resultaten av beräkningar mot älven.



Figur 2.1 Utredningsområde Norsälven med delområdena Norr, Mitt och Syd markerade.

2.2 Organisation

Arbetet med skredriskanalysen längs Norsälven har genomförts av en arbetsgrupp med ett 30-tal medarbetare på SGI. Arbetsgruppen har letts av en uppdragsledningsgrupp (ULG) bestående av en huvuduppdragsledare (HUL), en biträdande huvuduppdragsledare (Bitr. HUL) samt två personer som dessutom varit samordningsledare (SUL) för ett antal deluppdrag, se Tabell 2.1. Avdelningschef Charlotte Cederbom har varit internbeställare.

Tabell 2.1 Uppdragsledning inom arbetet med Norsälven

	HUL	Bitr. HUL	SUL	UL
Huvudprojektledning	Karin Bergdahl	Karin Odén		
Samordning A			Hjördis Löfroth	
Samordning B			Gunnel Göransson	
Samordning C			Karin Odén	
Lathund – initial metodik				Hjördis Löfroth
Underlag				Godefroid Ndayikengurukiye
Klimat				Ramona Kiilsgaard
Upphandling				Stefan Turesson
Konsultarbeten				Karin Odén
Erosionsanalys				Gunnel Göransson
Konsekvensanalys				Ramona Kiilsgaard
Sannolikhetsanalys				Åsa Jönsson
Skredriskanalys				Karin Bergdahl
Geotekniska frågor				Daniel Elm
Silt				Rebecca Bertilsson

Förutom ovanstående har även Azin Vahidi Adl, Per-Evert Bengtsson, Linda Blied, Per Danielsson, Anja Enell, Helena Helgesson, Linda Huljebrandt, Ann-Christine Hågeryd, Karin Lundström, Kine Meyer, Elvin Ottosson, Wilhelm Rankka, Bengt Rydell, David Schälin, Marius Tremblay, Anna Weiding, Bo Westerberg samt Helene Åhnberg medverkat i olika delar av uppdraget.

Ola Antehag, Fredrik Burman och Martin Holmén från SGI-laboratorium.

Mats Öberg, Jim Hedfors och Godefroid Ndayikengurukiye har arbetat med GIS-hantering och analyser.

Elin Sjöstedt och Anders Salomonson har layoutat och språkgranskat. Setareh Yusufi har arbetat med kommunikation.

Bo Lind har granskat publikationen.

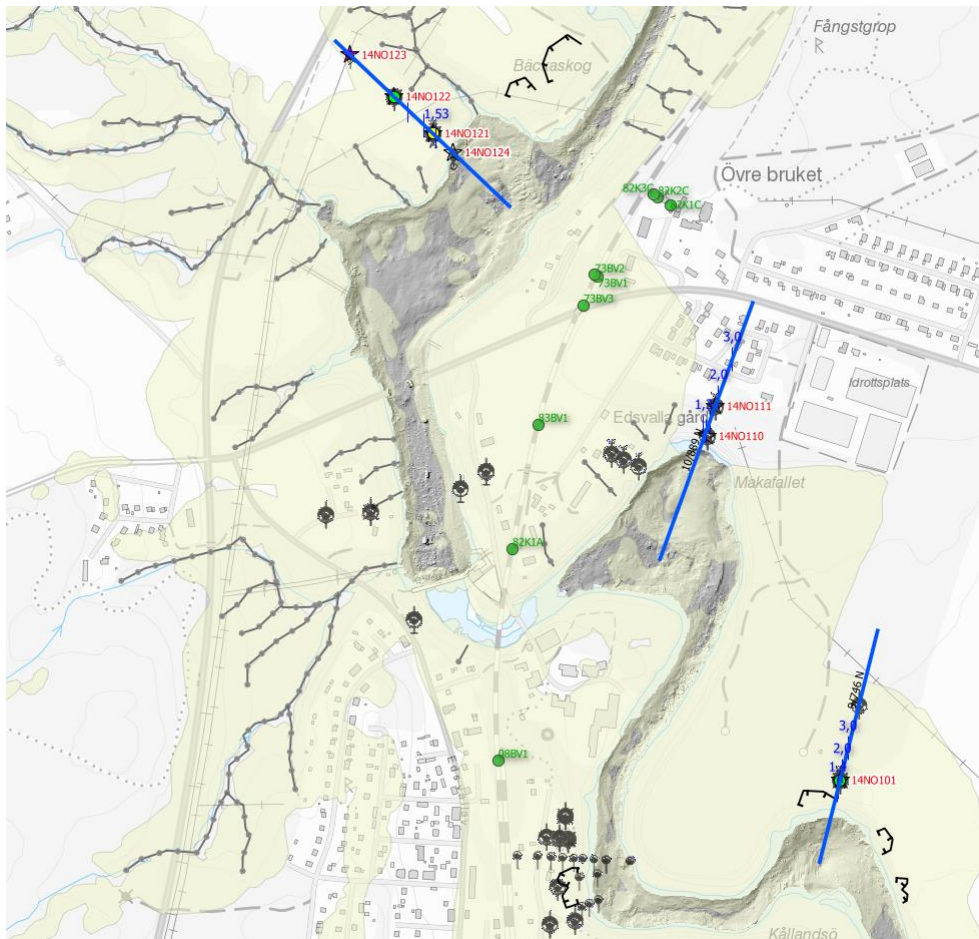
Samverkan har skett med flera andra myndigheter vid framtagning av underlag; Sveriges geologiska undersökning (SGU), Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) och Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). Dessutom har konsultutredningar handlats upp rörande batymetriska undersökningar samt geotekniska fältundersökningar och stabilitetsutredningar.

2.3 Underlag, digital datahantering och styrande dokument

I utredningen har ett stort antal externa underlagsdata samlats in och använts. Flera datamängder är inhämtade via SGI:s medverkan i Geodatasamverkan. Exempelvis Lantmäteriets olika kartunderlag och nationell höjddatabas. Under utredningens gång har dessutom en mängd nya data och resultat producerats. Datamängderna har framför allt hanterats i GIS-miljö där referenssystemen SWEREF99TM i plan och RH2000 i höjd har använts. I arbetet har använts ESRI ArcGIS, QGIS samt webbaserade GIS-applikationer.

2.3.1 Underlag

Vid insamling av underlag har det digitala materialet lagts in i databaser. Det har eftersträövats att samla in data i GIS-format. Inventerade tidigare utförda geotekniska utredningar listas i Bilaga 1. I Figur 2.2 visas exempel på användning av underlag i ett GIS-kartfönster.



Figur 2.2 Kartutsnitt från GIS-program med exempel på insamlat och producerat underlag. I figuren syns bland annat undersökningspunkter (svarta punkter), beräkningssektioner (blå linjer) och akksamhetsområden (ljus grönfärgat).

2.3.2 Webbapplikation

Slutresultaten i form av skredriskklasser, sannolikhets- och konskevensklasser tillgängliggörs i en webbaserad GIS-applikation som är öppen för externa användare. I det kartfönstret visas även utvalda underlagsdata som kan vara till nytta vid användningen av utredningens resultat. Underlagsdata som framställts av andra än SGI visas i så kallad WMS¹-version.

2.3.3 Styrande dokument

För genomförandet har ett antal styrande dokument tagits fram för att möjliggöra ett systematiskt och repeterbart arbetssätt för denna och kommande skredriskkarteringar. De upprättade styrdokumenterna är:

99ST001 Dokumenthantering och projektvägledning – konsultuppdrag (SGI 2013a),

99ST004 Riktlinjer för val av skjuvhållfasthet (SGI 20013b),

01ST002 Riktlinjer för tekniskt arbete (SGI 2014a) samt

01ST003 Känslighetsanalys för ett förändrat klimat (SGI 2014b).

¹ **Web Map Service (WMS)** är ett protokoll för att publicera georefererad kartinformation i rasterformat över internet. Objekt kan inte identifieras i en WMS-karta.

3. Klimat

I uppdraget har klimatförändringen i ett 100-årsperspektiv studerats och sammanfattas övergripande för Norsälven. I huvudsak beror det framtida klimatets påverkan på stabiliteten längs Norsälven av temperatur och nederbörd. Dessa påverkar erosion samt grundvattennivåer och porttryck, som i sin tur ger inverkan på stabilitetsförhållanden längs vattendraget.

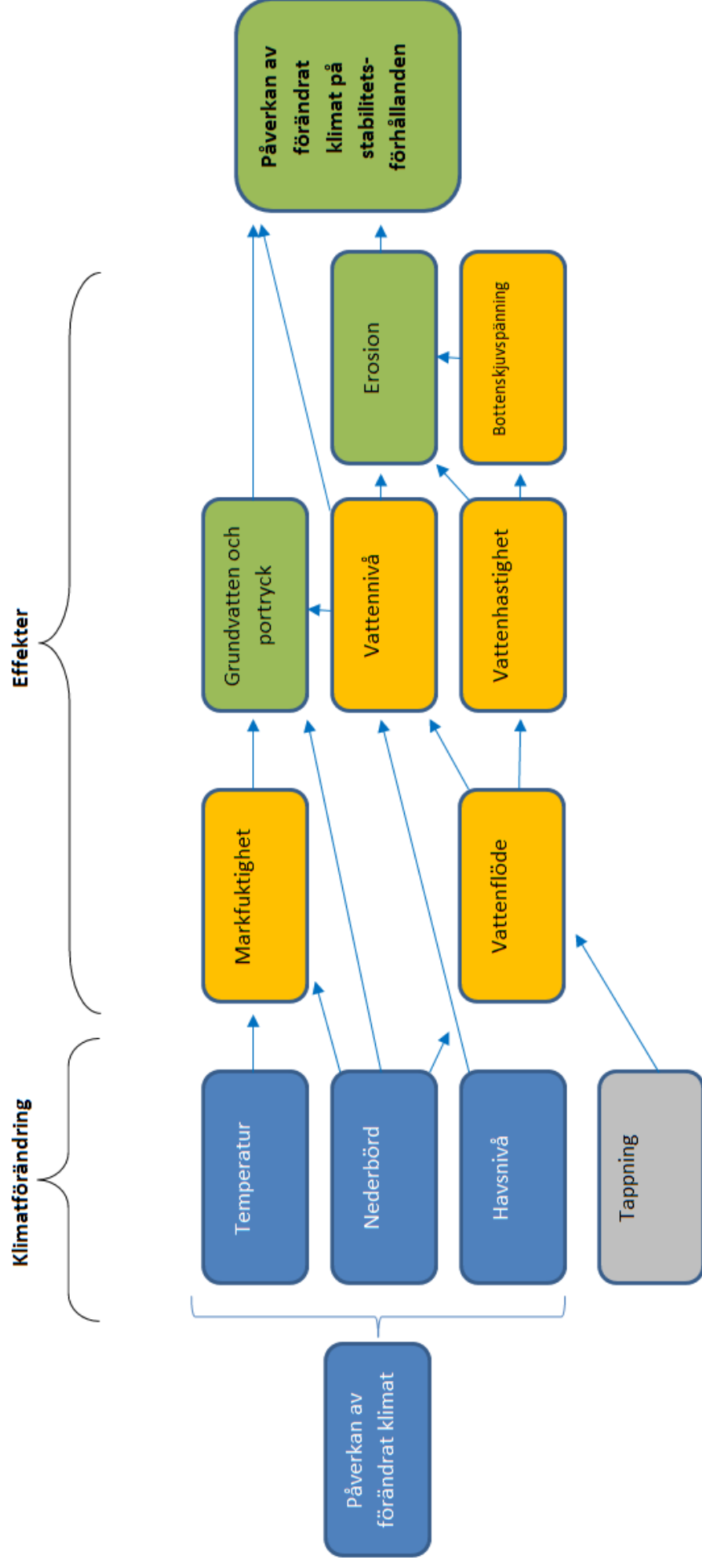
3.1 Underlag

SMHI har på uppdrag av Länsstyrelsen Värmland tagit fram en rapport *Klimatanalys för Värmlands län* (2014). Från rapporten har sex parametrar av intresse för stabilitetsförhållanden sammanfattats här: temperatur, nederbörd, vattenföring, snö, tjäle och vegetation. I klimatanalysen från SMHI ingår dock inte någon information om markfuktighet eller grundvattenbildning.

På grund av bristen på framtida grundvattendata för Norsälven har samma scenarios för förändring av grundvattennivåer använts för Norsälven som de som togs fram inom Göta älvutredningen. Observera därför att egna diskussioner och slutsatser har gjorts för grundvattenbildningen, dock med SMHI:s klimatanalys för Värmlands län som underlag (Persson et al. 2014). Även SGU:s rapport *Grundvattennivåer och vattenförsörjning vid ett förändrat klimat* (Sundén et al. 2010) har använts i resonemanget. Ett eget antagande baserat på SGU:s rapport är att medelgrundvattennivån över ett år inte ändras stort mot slutet av seklet, även om det troligtvis kan bli mer märkbara skillnader på sommaren (med generellt lägre nivåer och vissa temporära toppar på grund av skyfall) och på vintern (med troligtvis ökade nivåer jämfört med idag).

För erosionen finns ett flertal faktorer som påverkar. Det är främst vattenflödet som ger följd effekter för erosionen. Vattenflödet påverkas i sin tur främst av nederbörden, men även av temperaturen och andra faktorer så som vegetation och flödesreglering vid kraftstationer (hur regleringar kommer att se ut i framtiden har vi dock ingen kännedom om). Det är inte förändringen i medelflödet som ger betydande inverkan på erosionsförhållandet i framtiden, utan tillfällena med höga flöden (som syns i 75:e percentilen). Vid flöden strax under 300 m³/s kommer troligtvis erosion börja uppstå, se vidare Kapitel 7 Erosion.

Som sammanfattning är det de allt mer frekventa skyfallen på sommaren samt den kraftiga nederbörden under ett flertal sammanhängande dagar som är möjlig orsak till snabb förändring av vattenflöde, grundvattennivåer samt orsak till erosion och kan ses som en av de främsta klimatpåverkans effekterna på stabilitetsförhållandena i älven i framtiden. Kraftstationer med reglering av flödet påverkar även förhållandena. I sin helhet är det dock ett komplext nätverk av påverkansfaktorer och effekter som kan illustreras på det sätt som framgår i Figur 3.1.



Figur 3.1 Figuren redovisar viss del av det komplexa nätverk av klimatförändringens påverkan samt dess effekter som i slutänden påverkar stabilitetsförhållanden.

I SMHI:s klimatanalys redovisas absoluta värden eller procenttal. Redovisningen görs för två olika framtidsperioder: 2021-2050 samt 2069-2098. För enkelhetens skull har vi i följande avsnitt valt att enbart fokusera på de förändringar som förväntas ske år 2069-2098. Denna period jämförs med referensperioden 1961-1990. För att få med osäkerheten i ett framtida klimat har ett flertal klimatscenarier använts, en så kallad ensemble (16 stycken). Klimatanalysen bör läsas som långsiktiga trender hellre än absoluta värden då det är osäkerheter i scenarierna.

3.2 Generell klimatförändring i Värmland

3.2.1 Temperatur

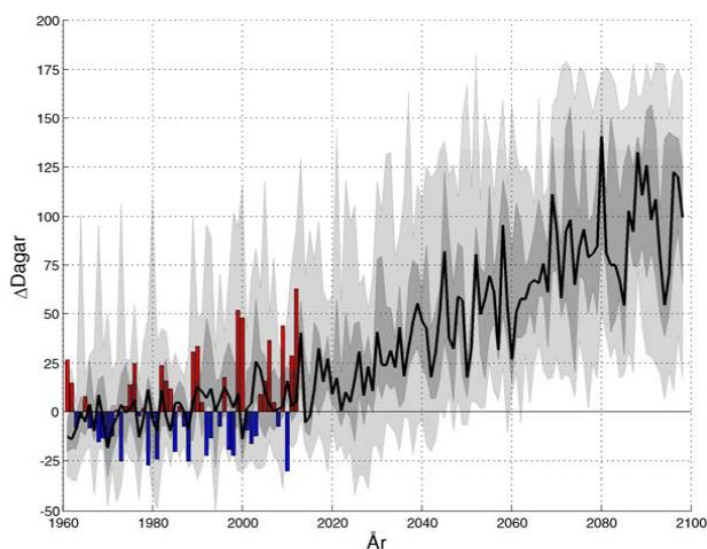
Sammanfattning: Det blir varmare

Årsmedeltemperaturen ökar från 4,4°C till 9°C, med störst temperaturuppgång på vintern med cirka 6°C. Sammanhängande antal dagar med en dygnsmedeltemperatur över 20°C ökar från 2 dagar till 9-14 dagar. Den ökade temperaturen ger ökad avdunstning, som i sin tur borde ge en lägre grundvattenbildning under sommaren.

3.2.2 Vegetation

Sammanfattning: Det blir vegetationsperiod under längre tid av året.

Vegetationsperioden var 181 dagar för referensperioden och ökar med 100 dagar till seklets slut, se Figur 3.2. Det märks mest för startpunkten av vegetationsperioden som inföll i slutet av april men flyttas fram till början av mars. Det kan dock vara stora variationer mellan enskilda år. Mer vegetation innebär att mer vatten sugas upp och mindre mängd vatten blir kvar för att bilda grundvatten. Vegetationens rötter kan även öka stabiliteten.

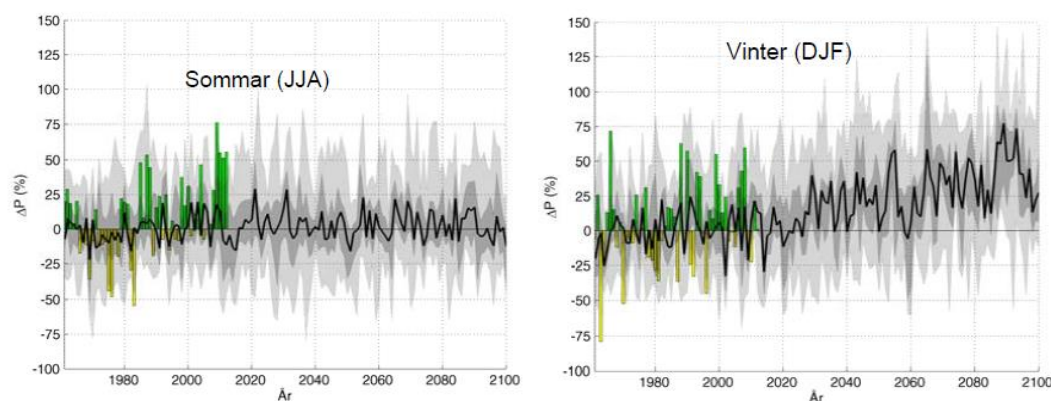


Figur 3.2 Vegetationsperiodens längd för Värmlands län. Grafen visar avvikelsen till medianvärdet under referensperioden (181 dagar) (Källa: Persson et al. 2014).

3.2.3 Nederbörd

Sammanfattning: Det blir störst ökning av regn på vintern, fler skyfall på sommaren och något kortare torrperioder.

Sett över ett helt år regnar det mest på sommaren och minst på sen vinter/vår. Mot slutet av seklet kommer årsmedelnederbörden att ha ökat med 20 % dock med stor variation mellan åren. Störst blir ökningen under vintern och för sommaren ses ingen generell nederbördsökning, se Figur 3.3. Årsmedelvärdet av största regnmängden per dygn ökar från 26 till 30mm. Årsmedelvärdet av största regnmängden för en 7-dygnsperiod ökar från 65 till 75mm. Den maximala 7-dygnsnederbörden innebär att vattensystemen fylls på kraftigt under lång tid och därmed ökar risken för översvämning av vattendrag. Antalet dygn med kraftig nederbörd ökar med 7 dygn per år. Det blir något färre sammanhängande dygn som är torra (< 1mm nederbörd/dygn). Dessa extremvärden kan dock variera mycket mellan enskilda år. Det extrema regnet som sker allt oftare på sommaren kommer troligtvis temporärt ge ökade grundvattennivåer.



Figur 3.3 Beräknad nederbördsutveckling i Värmlands län för sommar och vinter. Svart linje är medianvärde, observerade värden presenteras som gröna staplar då de överstiger referensperiodens medelvärde och som gula staplar då de understiger medelvärdet. De skuggade partierna avser maximivärdet, 75:e percentilen, och minimivärdet, 25:e percentilen, av årsmedelnederbörden från samtliga klimatberäkningar (Källa: Persson et al. 2014).

3.2.4 Snö

Sammanfattning: Det blir kortare period med snö på marken.

Perioden med snötäcke kommer minska med 80-100 dagar till år 2100 och det maximala vatteninnehållet i snötäcket minskar med nedåt 80 % i södra Värmland. Eftersom det kommer falla mindre snö och mer regn i framtiden finns det möjlighet för grundvattennivåerna att stiga på vintern jämfört med idag. Dock ger mindre snö på marken en mindre mängd smält snö på våren och grundvattentoppen på våren bör alltså bli lägre (SGU 2010). Detta syns också i medelvattenföringen på så sätt att vårflo den mattas av och försvinner (Figur 3.5).

3.2.5 Tjäle

Det finns inte många studier kring tjäle i svenska förhållanden i ett framtidsperspektiv. En studie av Lindström och Hellström (2007) visar dock att säsongen för tjäle kommer bli kortare och att det största tjäldjupet kommer att minska i södra Sverige. Mindre tjäle bör öka grundvattenbildningen.

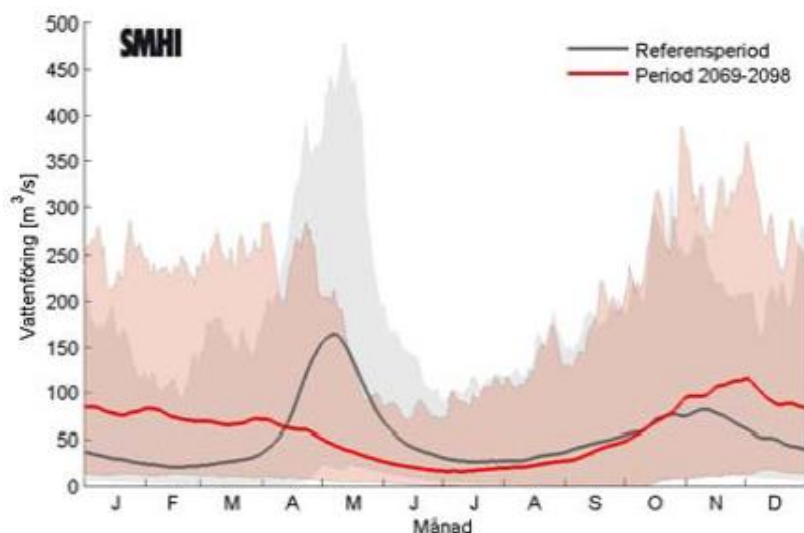
3.2.6 Vattenföring

Sammanfattning: Det blir i medeltal högre flöden på vintern och längre sommarperiod med låga flöden. Den maximala flödestoppen på våren blir lägre än idag.

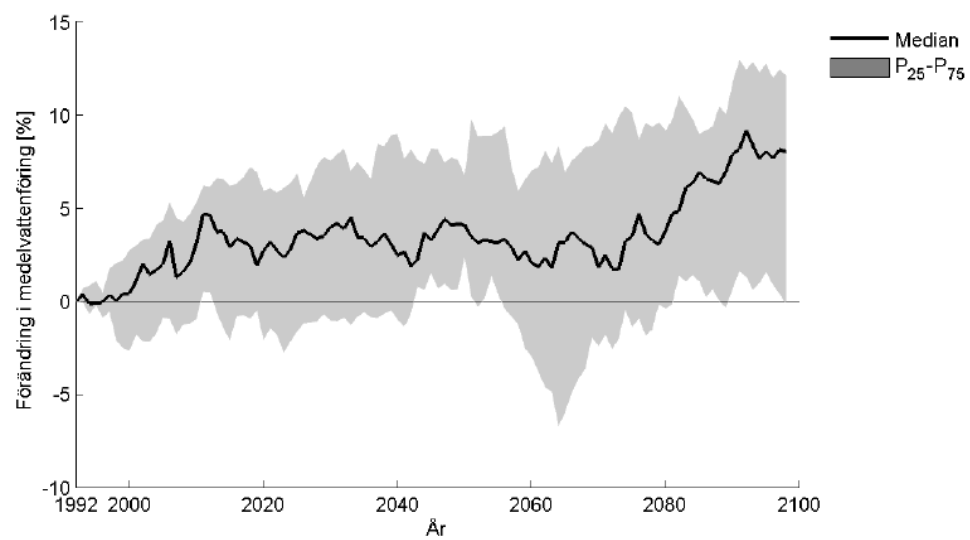
Medelvattenföringen (MQ) i Norsälven är idag cirka 51 m³/s, medelhögvattenföringen (MHQ) är cirka 190 m³/s och vattenföring med 100-års återkomsttid (HQ₁₀₀) är cirka 430 m³/s (SMHI 2014).

Scenarioberäkningarna gäller oreglerade förhållanden. Årsmedelvattenföringen kommer att öka marginellt fram till år 2098. Vattenföringen blir dock högre på vintern samtidigt som den idag vanliga flödestoppen på våren kommer att försvagas allt mer. Detta för att det kommer regna mer på vintern än vad det gör idag och att mindre vatten kommer lagras som snö på grund av högre temperaturer. Mot slutet av seklet blir det en längre period med låga flöden, i medel från april till september. Vattenföringen kommer under sommaren i medeltal även bli lägre. Detta för att avdunstningen ökar på grund av högre temperaturer och för att den längre vegetationsperioden gör att mer vatten sugas upp av vegetationen. Flöden med 100-års återkomsttid minskar med 10-20 % för Norsälven, vilket också gäller för flöden med 200-års återkomsttid.

Av betydelse för stabilitetsförhållandena i framtiden är klimatets påverkan på erosionen. Det framgår i erosionsberäkningarna för Norsälven att det inte är medelflödet som är kritiskt utan att det är de högre och mer ovanliga flödestopparna som ger signifikant påverkan. För det framtida scenariot ser man dessa flödestoppar i den rosa skuggningen i Figur 3.5, vilket motsvarar skillnaden mellan 75:e och 25:e percentilen. Det är framför allt vid flöden strax under 300 m³/s som erosion troligen kommer att börja märkas av. Utifrån diagrammet kan man tyda att samtidigt som de extremt höga flödena försvinner ökar sannolikheten för att det kommer att förekomma fler dagar med höga flöden under ett år, jämfört med referensperioden.



Figur 3.4 Säsongsdynamik för total tillrinning vid Norsälvens mynning i Vänern. Svart linje avser referensperioden (1963-1992) och röd linje avser framtidsperioden (2069-2098). Det grå fältet visar variationen mellan 75:e percentilen av alla scenariers maxvärde och 25:e percentilen av alla scenariers minvärde under referensperioden. Det ljusröda fältet visar motsvarande för den framtida tidsperioden. Notera att även referensperioden har beskrivits med drivdata från klimatsimuleringarna. (Figur och figurtext: Persson et al. 2014)



Figur 3.5 Beräknad utveckling för total årsmedeltillrinning för Norsälvens mynning i Vänern (Källa: Persson et al. 2014).

4. Geologi

Detta kapitel syftar till att ge en förståelse för de geologiska förhållanden och landformer i älvdalen som har betydelse för skred och erosion. De geologiska förhållanden som främst är intressanta är jordart, jordlagerföljd, jorddjup, grundvattenförhållanden, förhållanden vid jordlagrens bildning och högsta kustlinjens läge i området. Kunskap om områdets landformer ger god förståelse för pågående processer och topografiska förutsättningar för skred och erosion.

4.1 Inventering av befintligt underlag

Såväl befintligt underlag som pågående arbete på SGU har inventerats. Digitala GIS-datalager har använts via geodatasamverkan, INSPIRE samt särskild beställning. Myndighetssamverkan har skett med Sveriges geologiska undersökning (SGU) för komplettering av befintligt geologiskt underlag. Underlag har också inhämtats genom konsultföretag. Följande underlag har samlats in:

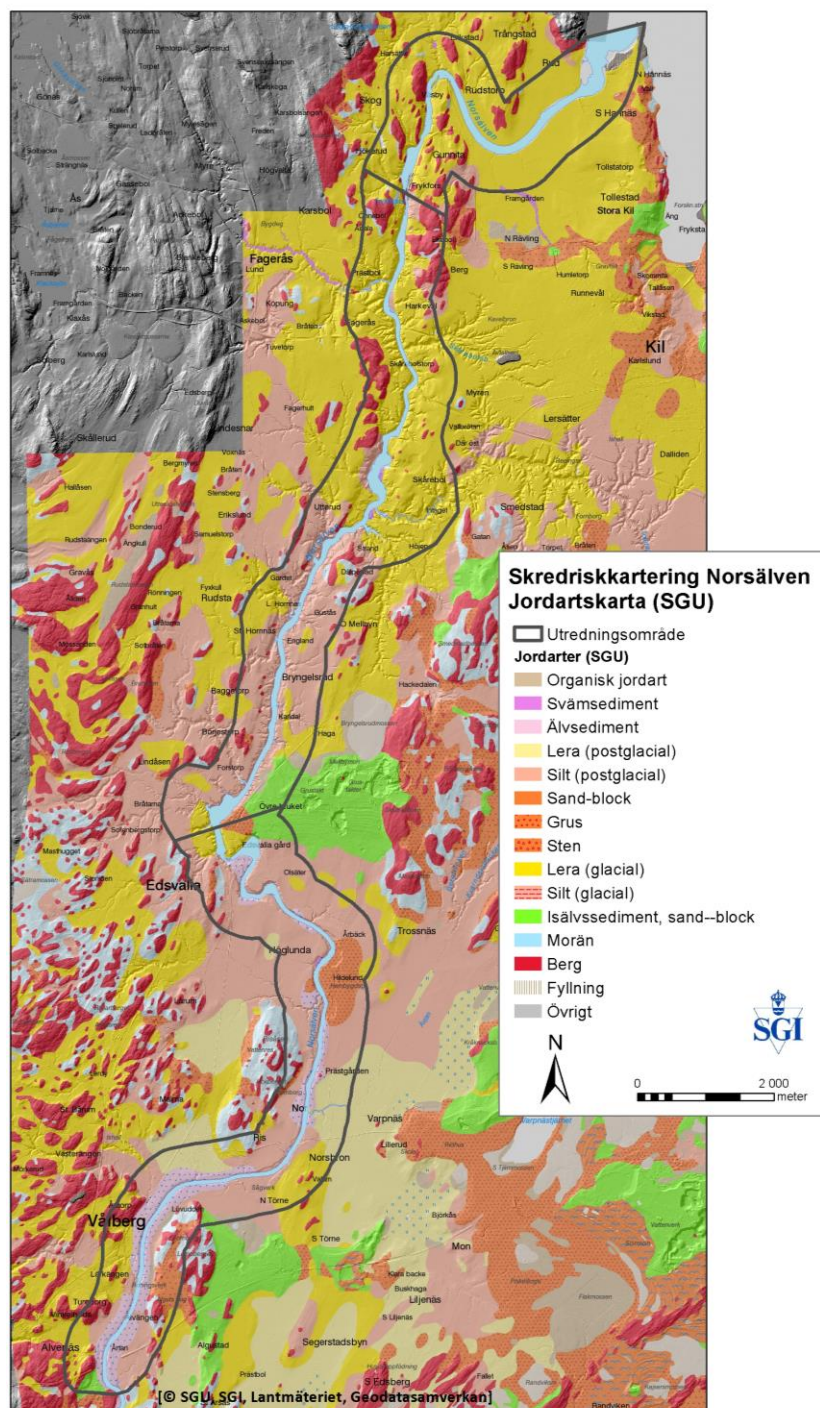
- Jordartsgeologiska kartor, södra delen i skala 1:50 000, norra i regional skala
- Skredärr och raviner. Data från SGU:s kartering av skredärr och raviner uppbyggd med hjälp av den nationella höjdmodellen (NH)
- SGI:s skreddatabas
- Lutningsanalys längs del av utredningsområdet (framtagen av SGU)
- SGU:s lagerföljder
- Flygbildstolkning (både äldre och nya bilder)

4.2 Kompletterande geologiskt underlag

- SGU:s geologiska jordartskartering inom aktuellt undersökningsområde (Fredén 2000) har kompletterats till lokal skala (cirka 1:50 000).
- En geologisk beskrivning av utredningsområdet och hur det bildats har tagits fram av SGU som underlag för bland annat placering av undersökningar, för bedömning av erosionsförloppet och för arbetet med bedömning av sannolikhet för skred (Påsse 2014). Delar av rapporten återges nedan (Kapitel 4.3).
- Kompletterande kartering av skredärr, raviner (ravinkrön) och pågående erosion, med mera har gjorts utifrån flygbildstolkning och SGU:s kartering av skredärr och raviner (mittfåra) från NH data. Kompletterande geologisk fältkontroll (erosion, raviner, berg i dagen etcetera) utfördes baserat på tolkning av flygbilder.
- Befintlig lutningsanalys har reviderats efter den kompletterade jordartskartan och nationella höjdmodellen.
- Kompletterad jorddjupsmodell (framtagen av SGU).
- Ytlig provtagning av älvbotten i samband med bottenundersökningar (Marin Miljöanalys AB 2014).
- Geotekniska fältundersökningar, (SGI 2014e).

4.3 Allmän geologisk beskrivning

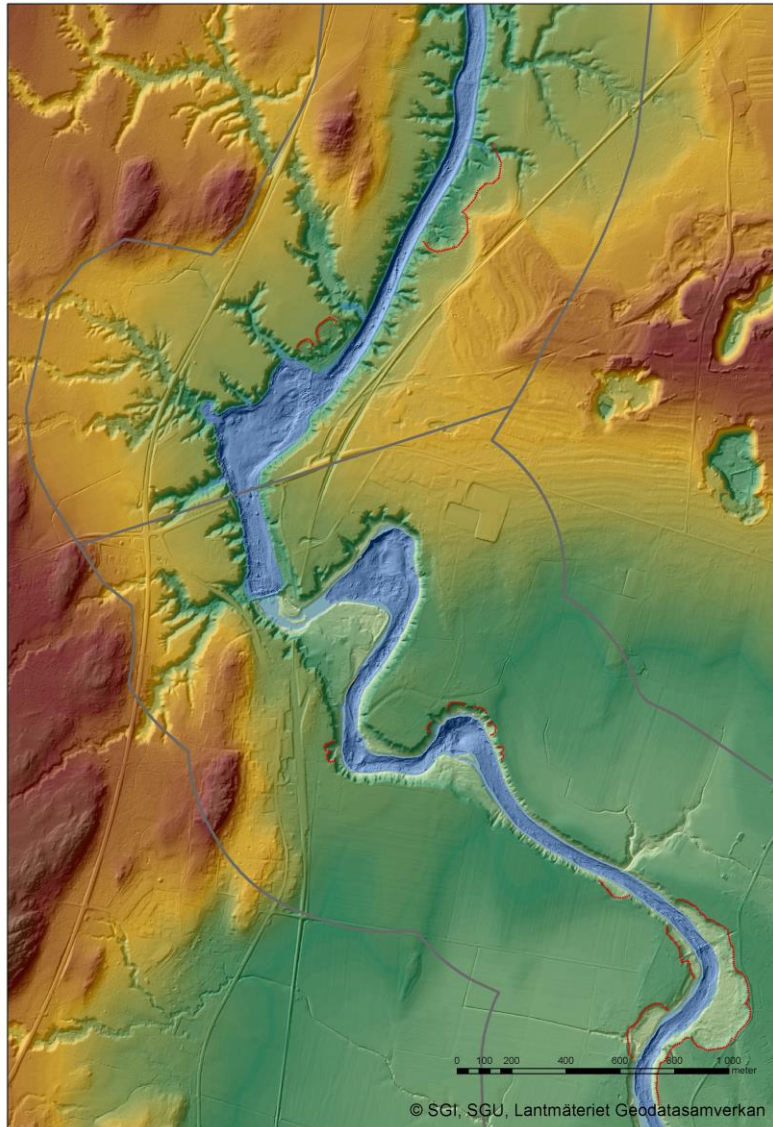
Texten i kapitlet är till stora delar hämtad från Påsse 2014, Geologisk beskrivning av Norsälven, framtagen inom utredningen.



Figur 4.1 Jordartskarta över området längs Norsälven, efter Påsse 2014.

Det så kallade subkambriska peneplanet² har skapat Vänersänkans och Mälardalens platta landskap. Norsälven ligger i kanten av det subkambriska peneplanet medan de norra delarna och fortsättningen i Frykendalen ligger inom en region som brukar betecknas som Bergkullterräng. Berggrunden inom området domineras av röda och grå gnejser och gnejsgraniter med en ålder av cirka 1670 miljoner år.

Norsälven rinner fram i en av inlandsisen sedimentfylld dalgång präglad av kraftig ravinbildning och skredärr av olika storlek, se Figur 4.1 och Figur 4.2.



Figur 4.2 Höjdförhållanden längs del Norsälven med marknivåvariationer mellan cirka 46 - 110 m över havet (inom utsnittet). Kraftig ravinbildning finns utbildad. Skredärr är markerade med röd linje.

För 11 500 år sedan förändrades klimatet i Skandinavien mycket drastiskt, från ett extremt kallt klimat till ett klimat inte långt ifrån dagens. I detta relativt varma klimat skedde inlandsisens avsmältning i ett snabbt tempo. Vid isavsmältningen nådde havet upp till dagens 180 meters nivå (HK-högsta kustlinjen) i

² Peneplan är en flack och nästan helt horisontell erosionsyta som har eroderats av till exempel vind och vatten.

Värmland. Norsälvens mynningsområde smälte fram ur inlandsisen för cirka 11 150 år sedan. Hela området runt södra delen av Norsälven låg således under HK vid isavsmältningen. Efter isavsmältningen var landhöjningen snabb och strandnivån sänktes ner till dagens 100-metersnivå på tusen år. Strandförskjutningen var då cirka 8 cm/år. I Figur 4.3 visas en strandnivåkarta för 9 500 år före nutid. Morän och isälvsavlagringar, bildade vid isavsmältningen, är relativt sällsynta inom området, vilket också är ett generellt drag som gäller inom hela regionen, det vill säga inom Väner- och Bohuslänsregionen.

Den geologiska utvecklingen i södra Värmland är starkt avhängig Vänerns förändringar. Väneren avsnördes från havet för cirka 9 500 år sedan. För att särskilja de äldsta faserna av Vänerns utveckling brukar man använda namnet Fornvänern för att beteckna den dåvarande sjön. Fornvänern hade en avsevärt större utbredning än dagens Väner. Efterhand har sjöns utbredning minskat genom landhöjningen eftersom norra delen av Vänern höjer sig mer än utloppet vid Vargön.

Jordartskartan visar ett flertal isälvsavlagringar (se Figur 4.1 jordartskarta) inom området bl.a. Mellbymon, väster om Bjällerud, vid Stora Kil, Fryksta, Mon, Lillerud, Hynboholmsmon och vid den riksbekanta Sörmon. Sanddeltan brukar som regel bildas mycket nära den då rådande vattennivån och eftersom dessa deltaytor ligger långt under HK kan de antas ha bildats successivt på olika nivåer allt eftersom landet höjts och Vänerns nivå sänkts. Kildeltat bildades för cirka 10 000 år sedan medan deltat vid Vålberg bildades för 7 000 år sedan.



Figur 4.3 Strandnivåkarta för 9 500 år före nutid. Efter Påsse 2014.

4.3.1 Finkorniga sediment

Både lera och silt påträffas på relativt höga nivåer vilket visar att de bildats innan cirka 10 500 år före nutid. Inom kartområdet kan man förvänta sig att de områden som kartlagts som silt eller sand kan underlagras av mäktiga lager av lera.

Vad gäller de finkorniga sedimentens bildning kan den geologiska utvecklingen i området sammanfattas i tre faser. Den första fasen utgör isavsmältningsskedet då vanlig marin glaciallera bildades i området under högsta kustlinjen. I den andra fasen är Vänerbäckenet ett innanhav med smala förbindelser ut mot havet. Under inledningen av denna fas var vattnet i Norsälvsområdet sannolikt mycket utsötat i de trånga fjordarna på grund av tillförsel av smältvatten från norr. Smältvattnet transporterades i de dalgångar som sedermera, genom den snabba landhöjningen, kom att bli Norsälvens och Klarälvens dalgångar. Inledningsvis hängde dessa dalgångar ihop. Under den långa transporten skedde en stark sortering så att lerpartiklarna kom att nå ända ut till havet, medan sand och silt stannade kvar. Den tredje fasen innebar en fortsatt transport av sand och silt i en allt trängre dalgång och en avlastning av partiklarna när de nådde ner till mynningen i Fornvänern. Denna fas inleddes när Vänern avsnördes från havet för cirka 9 500 år sedan eller något tidigare och pågår ännu genom att sediment eroderas uppströms och transporteras nedströms. Avsättningen av sediment gäller i synnerhet Klarälven, där de finkorniga sedimenten transporteras ner mot Karlstad. I Norsälven har denna process i stort sett upphört efter att Frykensäjöarna tillkommit eftersom detta sjösystem fungerat som ett klarningsbäcken som därmed effektivt stoppat sedimenttransporten. I den sydligaste delen av Norsälven kan man dock se svaga levéer, som visar att finkornig sand avsatts utefter älvstranden vid översvämningar.

De sediment som avsatts i Fornvänern har bildats i sötvatten och kan förmodas ha andra egenskaper än de som bildats i havet under tidigare skede. De sediment som ligger ovan 9 500 års strandlinje har sannolikt bildats i marin miljö.

I och med de mycket höga silthalterna i de finkorniga jordarna är markerna mycket kraftigt utsatta för erosion. Norsälven har inom underökningsområdet skurit sig ner i befintliga sediment. Älven saknar meanderbågar, vilket visar att älvfåran endast bildas genom erosion. Ackumulation av recenta eller subrecenta älvsediment förekommer endast i den allra sydligaste mycket lågt liggande delen. Nedskärningen bildar en 250-700 m bred zon inom vilken de erosiva processerna verkar. Det är också denna zon som utgör utredningsområdet. Från översiktliga mätningar av slänthöjden utefter älven kan det tolkas som att nedskärningen av Norsälven är avhängigt hur länge som älven haft möjlighet att skära ned i sedimenten det vill säga en funktion av landhöjning, men också att slänthöjden är helt beroende av de bergtrösklar som bestämmer älvnivån inom de olika delarna.

Ravinbildning brukar förknippas med silt eller siltiga jordar. Inom området förekommer raviner minst lika mycket eller mer i områden som kartlagts som glacial lera. Slutsatsen av detta är att områdets lera beter sig som om den vore silt. (Enligt utförda laboratorieundersökningar är i stort sett all lera inom utredningsområdet mer eller mindre siltig. Siltslänterna kan stå relativt brant bland annat på grund av att relativt stora negativa portryck kan utbildas i siltjordar, vilket håller ihop slänten).

En sammanställning och analys av skredutbredningen utmed Norsälven har utförts inom ramen för ett kandidatarbete (Järvin 2014), med följande resultat: Flera av de inträffade skreden är starkt bakåtgripande i de sediment som omger Norsälven, med de största inträffade skreden inom ett avsnitt 17 000-21 000 m från älvens mynning i Vänern (område Mitt). I södra delen av område Mitt och i område Syd, det vill säga söder om km 16 000 m från älvmynningen räknat, är det främst sensitiviteten, i kombination med en hög slänthöjd, som bidrar till stora bakåtgripande skred. I det intervall längs älven där de största skreden är uppmätta (17 000-21 000 m från älvmynning) indikerar resultaten istället att det är en hög andel silt, i kombination med en hög slänthöjd, som påverkar skredens utbredning.

Järvin (2014), beskriver också att en av de största skredhändelserna som inträffat längs Norsälven under modern tid är Trossnässkredet den 12 april 1969. Skredet, med en vidd på 150 m och en längd på 350 m,

var ett bakåtgripande rotationsskred med en totalvolym på 100 000 m³ sediment som tros ha triggats av en kombination av faktorer: kvicklera, tjällossning, muddring, trafikrelaterad erosion samt en tillfällig avsänkning av vattennivån i Norsälven. Skredet inträffade i ett högsensitivt, varvigt lerlager med en mäktighet mellan 15 och 30 m och under händelsen sänktes vattendjupet med 4-5 m. Detta ledde således till en uppdämning av ett 750 m stort område längs med älven. Översvämning kunde dock undvikas tack vare den reglering av mängden vatten som släpps mot Väneren vid vattenkraftverken (Åkesson 2010). Inga personskador skedde under själva skredet och skadorna på infrastruktur var små i förhållande till dess magnitud. De skador som observerades omfattade bland annat en mindre väg som förstördes och fick läggas om längre österut.

4.3.2 Typmiljöer

De geologiska förhållandena längs Norsälven gör att området kan delas in i olika typmiljöer grundade på älvdalens bredd, jordmäktigheter, jordarter, erosionsbenägenhet och älvssträckans vattennivå (grundvattennivå).

I den övre delen av Norsälven, söder om Nedre Fryken och ner till Frykfors, ligger vattennivån på cirka 62,5 m över havet. Leran har där måttliga till stora jorddjup. Mellan Nedre Fryken och Väsby saknas egentliga nedskärningar av älven. Sydväst om Nedre Fryken finns ett område med mycket stora jorddjup. Dessa stora jorddjup kan härledas till en deltabildning som täcks av lera. Området mellan Väsby och Frykfors utgör en trång del av älvdalen som kan liknas vid ett pass där bergblottningarna ligger tätt. Jorddjupen är där små.

Söder om Frykfors och ned till dämnet vid Edsvalla är älvnivån cirka 54 m över havet. Utefter denna sträcka är älvdalen relativt smal. Den smala dalgången framträder på strandnivåkartan i Figur 4.3. Söder om Frykfors är jorddjupen större för att nå ett maximum vid Utterud och sedan avta mot söder. Norr om Utterud dominerar glacialleran, medan silt eller lerig silt dominerar söder om Utterud.

Vid Edsvalla passerar älven deltat Mellbymon. Söder om Edsvalla förekommer en hel del sandjordar i ytlagen, vilket har påverkat den morfologiska utvecklingen. Från Edsvalla och söderut är dalgången bredare och vattennivån ligger vid Vänerens nivå. Detta innebär att området är starkt avhängigt vattenståndsförändringar i Väneren. Jorddjupen är här måttliga till stora.

5. Geoteknik

För att kunna fastställa stabilitetsförhållandena för slänter längs älven erfordras ingående kunskaper om jordlagrens uppbyggnad och dess geotekniska och hydrogeologiska egenskaper. En inventering av resultat från tidigare utredningar har därför kompletterats med nya undersökningar i fält och analyser av jordprover på laboratorium.

5.1 Inledning

För att kvalitetssäkra undersökningarna har SGI tagit fram styrande dokument, benämnda 99ST001, 99ST002 samt 01ST002, med riktlinjer för hur det tekniska arbetet ska utföras (SGI 2013a, 2013c och 2014a). Dokumenten anger hur fält- och laboratorieundersökningar samt beräkningsarbete och redovisning ska utföras. Resultaten från utförda undersökningar finns redovisade i en markteknisk undersökningsrapport (MUR), (SGI 2014e). Dessutom finns en teknisk PM med detaljerad beskrivning av de geotekniska förhållandena i de undersökta sektionerna (SGI 2014c). I detta kapitel presenteras en sammanfattning av strategin och undersökningsmetodiken som använts i fält och i laboratorium samt den metodik som använts för kartering av kvicklera. Dessutom sammanfattas beskrivningarna av de geotekniska förhållandena från den marktekniska undersökningsrapporten.

5.2 Inventering av befintligt underlag

Inför komplettering av geotekniska undersökningar gjordes en inventering av tillgängliga geotekniska utredningar som var relevanta för uppdraget. Denna inventering kompletterades med hjälp av konsult. Uppgifter som är viktiga för utredningens/stabilitetsutredningens relevans är; utförare och beställare, årtal för genomförande, koordinatsystem, höjdsystem, sektioner och läge, utförda sonderingar/provtagningar inkl. typ, laboratorieundersökningar inklusive typ, utförda portrycks- och grundvattenmätningar med resultat, bedömda jordlagerförhållanden, resultat av stabilitetsberäkningar samt detaljeringsnivå på stabilitetsutredningen. Inventerade utredningar finns sammanställda i ett Excel-ark, se Bilaga 1.

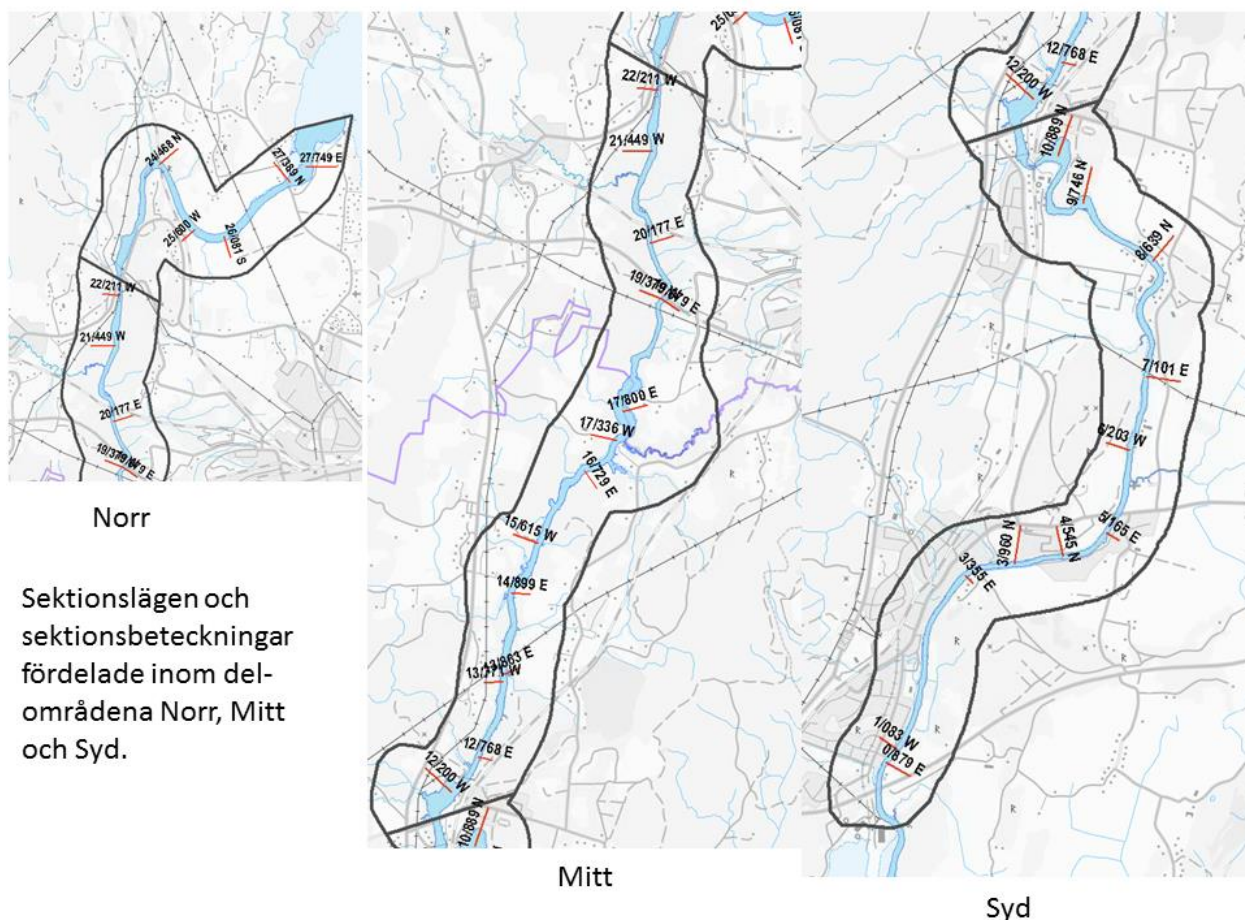
5.3 Fältundersökningar

Geotekniska undersökningar har utförts i syfte att klarlägga jord-, berg- och grundvattenförhållanden. Samtliga undersökningar har utförts av Norconsult AB. Omfattningen av undersökningarna har motsvarat en översiktlig utredning enligt Skredkommissionens anvisningar med avseende på antalet sektioner fördelade utefter älven (Skredkommissionen 1995 samt IEG 2010). Varje sektion har dock undersökts med en något högre detaljeringsnivå. I Figur 5.1 visas foton från de geotekniska fältundersökningarna längs Norsälven.



Figur 5.1 Foton från geotekniska fältundersökningar längs Norsälven. Foton Norconsult.

Generellt har undersökningar utförts längs 100-400 m långa sektioner orienterade vinkelrätt mot älven och med 1-2 km avstånd mellan sektionerna. Avståndet mellan sektionerna har valts med stöd av topografi och geologi, med målsättningen att ha minst en sektion per avsnitt med likartade geologiska förhållanden. Avståndet mellan sektionerna beror också på om undersökningar tidigare utförts i området. I strategiska lägen och där området vid släntfot inte varit åtkomligt har undersökningar även utförts i älven från flotte. Läget av de undersökta sektionerna framgår av Figur 5.2.



Figur 5.2 Figur över sektionslägen och sektionsbeteckningar fördelade inom delområdena, Norr, Mitt och Syd.

I varje sektion har normalt undersökningar utförts i två till tre punkter. Där resultat från tidigare utförda undersökningar finns tillgängliga är antalet nya undersökningspunkter färre. Undersökningarna har omfattat sonderingar (CPT-sondering, totaltrycksondering och eventuellt jord-bergsondering), störd och ostörd provtagning, vingförsök samt installation av portrycks- och grundvattenmätare. CPT-sondering har utförts i klass 2, enligt den svenska nomenklaturen, enligt SGF Rapport 1:93, där så varit möjligt, annars lägre klass. Portrycksmätare av typen Geotech med automatisk registrering har använts. Totala omfattningen av respektive undersökningsmetod framgår av Tabell 5.1.

CPT-sonderingar har utförts med samtidig registrering av den totala neddrivningskraften i syfte att göra underlag för kartering av förekomst av kvicklera (se vidare Kapitel 5.5). CPT-sonderingar har i flera fall utförts med sonderingsstart från markyta samt därtill även med sondering från förborrat djup (i samma punkt). I det första fallet för att få information om överliggande friktionsjords egenskaper och i det andra fallet för att undvika störning av leran.

Av det framtagna styrande dokumentet (SGI 2014a) framgår att för geotekniska undersökningar gäller allmänt att vad som anges i Geoteknisk fälthandbok (SGF 1996) ska gälla för fältarbeten i Norsälven, om inte annat anges. När den nya fälthandboken (SGF 2013) har publicerats ersätter den den tidigare (SGF 1996). I dokumentet anges dessutom vilka referensdokument som ska gälla avseende planering, utförande och dokumentation av undersökningarna.

Undersökningssektionernas placering, samt typ och omfattning av de geotekniska fältundersökningarna, har valts av SGI. Föreslagna lägen har därefter justerats av den kontrakterade konsulten i samråd med SGI. Resultaten från det geotekniska fältarbetet finns redovisat i markteknisk undersökningsrapport (SGI 2014e).

Tabell 5.1 Omfattning av olika typer av fältundersökningar.

Typ av undersökning	Totalt antal
CPT	89
Totaltrycksondering, Tr	13
Jord- bergsondering, Jb	17
Vingförsök	24
Kolvprovtagning (StII)	30
Störd provtagning (skruvprovtagning, förborring)	189
Sedimentprovtagning på älvbotten	11

5.4 Laboratorieundersökningar

Upptagna jordprover har undersökts i laboratorium. Undersökningarna har omfattat jordartsbestämning och analys av jordens geotekniska egenskaper. Undersökningarna har utförts vid SGI:s laboratorium.

I det styrande dokumentet (SGI 2014a) fastställs att laboratoriearbeten ska planeras och utföras enligt gällande standarder, metodbeskrivningar eller praxis om inte annat anges. Ett flertal svenska standarder för laboratorieprovning har upphävts och ersatts med tekniska specifikationer med beteckningen SIS-CEN ISO/TS 17892-nr. Under tiden för utredningen pågick ett arbete med att harmonisera dessa med svensk praxis och tidigare standarder. I det styrande dokumentet framgår därför vilka referensdokument som ska gälla för utredningen längs Norsälven.

Utvalda prover har karakteriserats i laboratoriet genom rutinundersökning, CRS-försök, direkta skjuvförsök och triaxialförsök (ett fåtal) för att få en klar bild av jordlagerföljd och variation i förkonsolideringstryck och skjuvhållfasthet med djupet. Antalet utförda undersökningar med olika metoder framgår av Tabell 5.2.

Resultaten från geotekniska laboratorieundersökningar finns redovisade i markteknisk undersökningsrapport (SGI 2014e).

Tabell 5.2 Omfattning av olika typer av laboratorieundersökningar.

Metod	Totalt antal
Jordartsbestämning (okulär)	379
Siktning och sedimentationsförsök	4
Skrymdensitet	184
Vattenkvot	365
Konflytgräns	335
Konförsök, ostörd och omrörd skjuvhållfasthet	179
CRS-försök	52
Direkta skjuvförsök, odränerade, $\Phi 50\text{mm}$	19
Triaxialförsök, aktiva, $\Phi 50\text{mm}$	3

5.5 Kartering av kvicklera

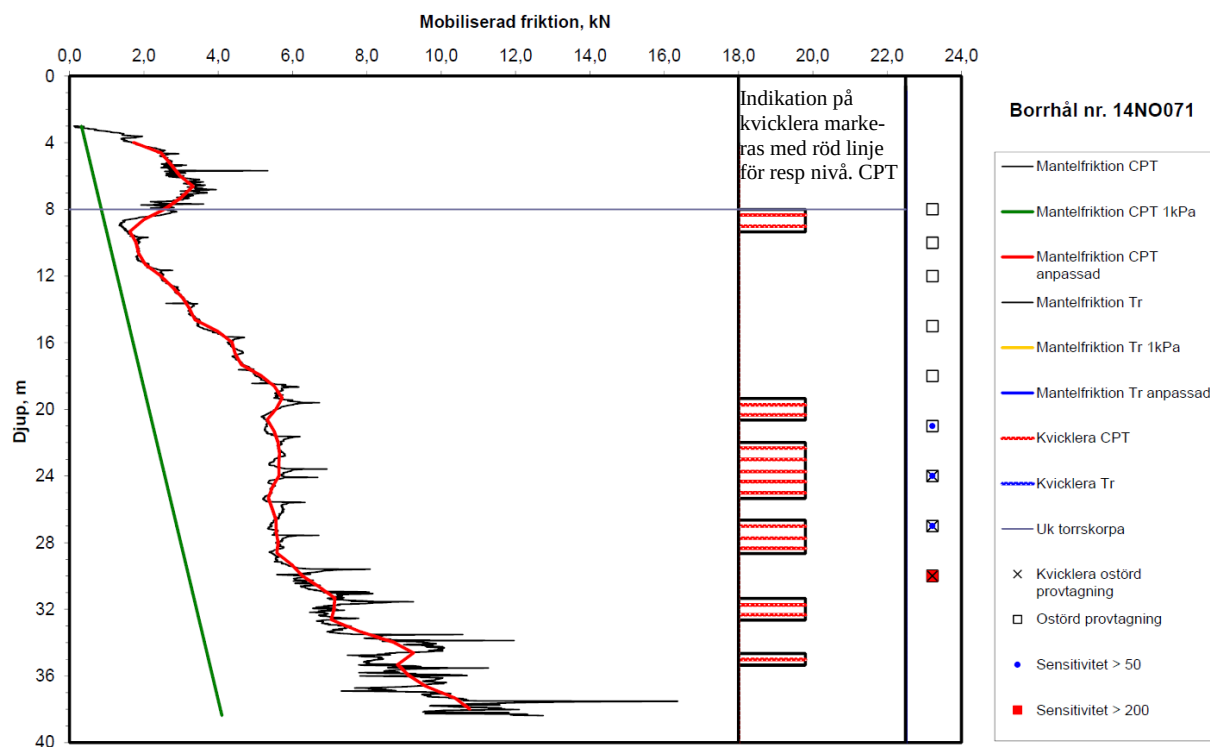
Kvicklorer är leror vilkas lerskelett faller samman vid omrörning. Dessa leror bildas genom långsamma geologiska processer. De flesta har bildats i avlagringar avsatta i saltvatten vid den senaste istidens avsmältning. Då isen drog sig tillbaka höjdes landet ur havet och lerorna kom ovanför havsytan. Avlagringarna ovanför havsytan utsätts för genomströmning av sötvatten varvid salthalten kan sjunka, vilket möjliggör bildning av kvicklorer.

Det är ofta inte kvickleran i sig som initierar ett skred, men omfattningen av skredet beror till stor del av jordens känslighet för störning. Kvicklera definieras i Sverige som lera med en sensitivitet $St > 50$ och en omrörd, odränerad skjuvhållfasthet $\tau_R < 0,4 \text{ kPa}$.

Kartering av förekomst av kvicklera har tidigare huvudsakligen utförts genom upptagning av ostörda prover i fält och bestämning av lerans ostörda och omrörda, odränerade skjuvhållfasthet med fallkonförsök i laboratoriet. I Göta älvtutredningen användes ett stegvis tillvägagångssätt för kartering av kvicklera baserat på kartmaterial, sonderingar och provtagning. Inom utredningen utfördes en inventering av tidigare skred. Möjligheten att bedöma förekomst av kvicklera genom att mäta det totala neddrivningsmotståndet vid CPT-sondering och totaltrycksondering, undersöktes också. Resultat från en jämförelse med kvicklera bestämd med fallkonförsök i laboratoriet visade att vid en utvärdering med CPT- och totaltrycksondering av förekomsten av kvicklera, överskattas denna något jämfört med vad som faktiskt observeras genom provtagning och fallkonförsök.

I utredningen längs Norsälven har samma tillvägagångssätt använts som i Göta älvtutredningen (Kapitel 5.3, SGI 2012). Som underlag för bedömning av kvicklereförekomst har av SGU inventerade tidigare skred baserat på NH-data, kompletterats med av SGI flygbildstolkade skred. Förekomst av kvicklera har också utvärderats ur CPT- och trycksonderingsresultat genom mätning av det totala neddrivningsmotståndet. Det uppmätta neddrivningsmotståndet kompletterat med tyngden av stängerna och, för CPT-sonderingen, reducerat med spetskraften, motsvarar mantelfriktionen längs stängerna (i kN). I de fall lutningen på kurvan för mantelfriktion längs stängerna mot djupet är mindre än lutningen på en kurva motsvarande 1 kPa mantelfriktion, klassas leran som kvicklera (se SGI 2012, Kapitel 5.3). Bedömning av förekomsten av kvicklera har gjorts utifrån CPT-sondering och totaltrycksondering med hjälp av det för Göta älvtutredningen framtagna programmet i Excel.

Jordlagren i området längs Norsälven är skiktade och består på ett flertal ställen av omväxlande lera och friktionsjord. Lager med friktionsjord som överlagrar lera försvårar utvärderingen av kvicklera eftersom lutningen på kurvan för mantelfriktion längs stängerna ofta blir mindre än 1 kPa i lagret närmast under friktionslagret, oavsett om lera är kvick eller inte (Figur 5.3). Programmet utvärderar i dessa fall lera som kvick. I den ingenjörsmässiga bedömningen av förekomst och djup för kvicklera, har särskild hänsyn tagits till detta. Bedömningen har gjorts genom att när resultatet från en utvärderad sondering har varit svårbedömt har denna jämförts med såväl närliggande sonderingar, som provtagningar.



Figur 5.3 Exempel på utvärdering av kvicklera från CPT-sondering där fastare lager/friktionsjord överlagrar lösare lerlager. Röda streck i rutor indikerar kvicklera på dessa nivåer. Översta markerade nivån är troligtvis inte kvicklera utan bara en övergång från fastare till lösare material. I punkten har ingen trycksondering utförts, vilket gör att legenden innehåller fler symboler än vad som redovisas inne i diagrammet. Exemplet avser undersökningspunkt 14NO071.

5.6 Geotekniska förhållanden

Området som utgörs av båda sidor av Norsälvens dalgång från sjön Nedre Fryken i norr till Vänern i söder kan delas in i tre delområden. Delområdet i norr har små nivåskillnader, generellt cirka 6-7 m. Det mellersta delområdet har stora nivåskillnader på upp till 35-40 m mellan släntröner och älvbotten och området karakteriseras av att älven samt de anslutande vattendragen genom erosion bildat raviner. Det södra delområdet har mindre nivåskillnader, 10-15 m. Avståndet från älven till omgivande bergspartier varierar längs med sträckan.

Ett flertal äldre skredärr syns utmed Norsälven. Dessa är speciellt påtagliga i det mittersta delområdet där de kan ha en utbredning längs älven på flera hundra meter.

Inom det norra delområdet består marken närmast älven främst av åkermark som med svag lutning sluttar ned mot älven. Inom det mittersta delområdet övergår marken generellt mer till skogsbeklädda branter för att inom det södra delområdet generellt återgå till åkermark eller bostadsområden.

I området som helhet utgörs de naturliga jordlagren i huvudsak överst av torrskorpelera eller silt/sand som underlagras av siltig lera, ofta varvat med tunna silt- och sandskikt. Leran har generellt en hög andel silt och utgörs ställvis av lerig silt. Leran vilar på ett lager friktionsjord ovan berg. Uppmätta jorddjup varierar längs med Norsälven från berg i dagen till mer än 38 m.

I den norra delen (cirka 6 km) består jordlagren av siltig torrskorpelera till 1 à 2 m djup. Därunder vidtar skiktad siltig lera till mellan 10 och 40 m djup, som vilar på friktionsjord på berg. Lerans naturliga vattenkvot och konflytgränsen varierar i stort mellan 20 och 60 % och densiteten varierar mellan 1,6 och 1,9 t/m³. Såväl mellan- som högsensitiv lera och kvicklera förekommer i området. Leran är generellt överkonsoliderad i de övre lagren för att mot djupet bli mer normalkonsoliderad. Leran under torrskorpan har en odränerad skjuvhållfasthet mellan 10 och 20 kPa med en ökning mot djupet från 0 till 3,5 kPa/m.

I den mellersta delen (cirka 11 km) består jordlagren i söder huvudsakligen av siltig lera till mellan 10 och 30 m djup och därunder vidtar friktionsjord med varierande mäktighet på berg. I norr är jordlagren mer skiktade och består av siltig lera till mellan 10 och 20 m djup med mellanliggande lager av friktionsjord med en tjocklek av 0,5-4 m. Lerans naturliga vattenkvot och konflytgränsen varierar i stort mellan 20-50 % och densiteten varierar mellan 1,8 och 2,1 t/m³. Leran är generellt mellan- till högsensitiv och kvicklera förekommer längs vissa avsnitt på större djup. Leran är generellt överkonsoliderad i de övre lagren för att mot djupet bli mer normalkonsoliderad. De översta metrarna av den siltiga leran har generellt en odränerad skjuvhållfasthet på 40-60 kPa, minskande mot djupet. Leran därunder har en odränerad skjuvhållfasthet på 20-30 kPa med en ökning mot djupet på 1-4 kPa/m. I förekommande friktionslager har friktionsvinkeln bedömts till 33-36°.

I den södra delen (cirka 11 km) består jordlagren generellt av silt och sand ner till mellan 2 och 8 m djup. Därunder vidtar siltig lera med siltskikt till mellan 5 och 40 m djup. Lerans naturliga vattenkvot och konflytgränsen varierar i stort mellan 30-70 % och densiteten varierar mellan 1,6 och 1,9 t/m³. Såväl mellan- som högsensitiv lera och kvicklera förekommer i området. Leran är generellt överkonsoliderad i de övre lagren för att mot djupet bli mer normalkonsoliderad. Friktionsvinkeln i de ytliga silt-/sandlagren har bedömts till 31°. Den siltiga leran som underlagras silten och/eller sanden, har generellt en odränerad skjuvhållfasthet av 20-30 kPa, med en ökning mot djupet i storleksordningen 1 kPa/m.

6. Yt- och grundvattenförhållanden

Beskrivningen av yt- och grundvattenförhållandena baseras på den sammanställning av hydrologiska och meteorologiska förhållanden som utförts i Göta älvutredningen (Bergström et al. 2011) samt underlag inhämtat för Norsälven (SMHI samt tidigare utförda undersökningar). Sammanställningen beskriver förhållandena för dagens klimatvariationer, liksom effekterna av ett framtida förändrat klimat, baserat på de senaste tillgängliga klimatscenarierna, se vidare Kapitel 3, Klimat.

6.1 Inledning

Vattennivåer i Norsälven styrs framförallt av regleringen vid kraftstationerna i Frykfors och Edsvalla och de begränsningar som finns i gällande vattendomar. Nedströms Edsvalla styrs nivån av vattennivån i Vänern, som också är reglerad med begränsningar enligt gällande vattendom.

Dagens flöden och framtida flöden i Norsälven beskrivs i Kapitel 7, Erosion.

Grundvattenförhållandena i dagens klimat baseras på en sammanställning av tidigare erfarenheter i framförallt de södra delarna av Norsälven samt kompletterande fältmätningar gjorda inom aktuell utredning. Bedömningar av framtida förhållanden har bland annat baserats på bedömningen av grundvattenförändringar i ett förändrat klimat för Göta älvdalen (Blid & Persson 2011), vilken har ansetts vara relevant även för förhållandena vid Norsälven.

Grundvattenförhållanden längs Norsälven styrs, förutom av klimatet, till stor del av områdets topografi och geologi. Längst i norr, i område Norr, är stränderna flacka med mäktiga lersediment, portrycket i leran och grundvattennivån i underliggande friktionsjord följer varandra och är i stort sett hydrostatiskt eller något högre från markytan och ner mot botten. I området Mitt, är jordlagren mer skiktade och grundvattenförhållandena mer komplexa. Ställvis har även negativa portryck erhållits i siltiga jordar ovan grundvattenytan. I söder, i området Syd, återfinns åter stora mäktiga lerlager ovan friktionsjord där grundvattennivå och portrycksprofil är hydrostatisk från ett par meter under markytan.

6.2 Inventering av befintligt underlag

6.2.1 Dagens klimat

För ytvattenförhållandena har underlag samlats in från Fortum och de vattendomar som styr Norsälvens regleringsnivåer i Frykfors och Edsvalla. Norsälven är på så sätt indelad i tre delar med olika nivåer. Södra delen, från Edsvalla och söderut, styrs framförallt av Vänerns vattenstånd, vilket också är reglerat. I Kapitel 6.3 redovisas de nivåer som använts i beräkningarna.

För att få fram data för grundvattenförhållanden har material från tidigare utförda undersökningar, som utförts i samband med utredningar inom Karlstads kommun och de södra delarna av älven, sammanställts. Det finns både korta och långa mätserier avseende både portryck och grundvattennivåer och mätningar pågår fortfarande för vissa stationer.

6.2.2 Framtida klimat

Ur SMHI:s klimatanalys har hämtats underlag avseende framtida vattenflöden, däremot har inte hänsyn kunnat tas till eventuella förändringar av aktuella regleringar av ytvattnet.

En utredning har utförts för att kunna bedöma grundvattennivåer med hänsyn till ett förändrat klimat år 2100. Som utgångspunkt har varit tillvägagångssättet i Göta älvutredningen och en utvärdering av denna för att se om den även är tillämplig för Norsälven. Rodhe et al gav 2009 ut en rapport med namnet ”Grundvattennivåer i ett förändrat klimat” (Rodhe et al. 2009) och den efterföljdes året därpå av rapporten ”Grundvattennivåer och vattenförsörjning vid ett förändrat klimat”, utgiven av Sundén et al (2010). Båda rapporterna låg till grund för rapporten ”GÄU - Delrapport 9: Bedömd förändring a maximala grundvattennivåer i Göta älv dalen till följd av ett förändrat klimat”. Den är till stora delar också tillämplig för Norsälven då de båda älvorna ligger geografiskt nära varandra och resultaten är relativt översiktliga.

Ur styrdokumentet för Göta älv kan förutsättningarna för Norsälven tolkas som:

- Grundvattenbildningen för Norsälven ökar med 5-10 % i såväl morän som grov jord fram till perioden 2071-2100. Detta gäller för helår och säger inget om förändrade max- och minnivåer (ursprungligen från Rodhe et al, 2009).
- Den årliga variationsbredden ökar med 25-50% till följd av högre grundvattennivåer vintertid och lägre nivåer sommartid (ursprungligen från Sundén et al. 2010).
- En ökning av den högsta årliga grundvattennivån bedöms bli 0,3 m.

6.3 Undersökningar

6.3.1 Utförda undersökningar av ytvatten

För undersökningar av ytvatten hänvisas till Kapitel 7 Erosion.

6.3.2 Utförda undersökningar av portryck- och grundvattenförhållanden

Instruktioner för hur grundvatten- och portrycksmätningar skall utföras har konsulten fått dels i ett styrdokument anpassat för Norsälven (SGI 2014a) och dels i samråd om lämpligaste tillvägagångssätt för olika geologiska förutsättningar.

I 22 representativa sektioner av 30, har portrycksmätare och/eller grundvattenrör installerats. Mätarna har installerats i en till två punkter per sektion där en portrycksmätare och ett grundvattenrör alternativt bara ett grundvattenrör har installerats vid mindre jorddjup respektive två till tre portrycksmätare och ett grundvattenrör per punkt vid större jorddjup. Sektionerna fördelar sig så att nio sektioner ligger på den norra/västra sidan och 13 sektioner på den södra/östra sidan. För Norsälven har Geotechs porvattentrycksmätare installerats som loggar portrycken två gånger per dag.

Tabell 6.1 Sammanställning av antalet utförda undersökningar.

Typ av undersökning	Totalt antal
Portrycksmätare (automatiska, pvt-mätare)	43 (fördelat på 19 stationer)
Grundvattenrör	20 (fördelat på lika många stationer)

6.4 Beräkningsförutsättningar och analys

6.4.1 Dagens klimat

Vattennivåerna i Norsälven regleras genom de två kraftstationerna utmed sträckan samt för etapp syd av vattenståndet i Vänern vilken även den är reglerad.

Nivåer för lägsta lågvatten, LLW, enligt Tabell 6.2 har tillämpats vid stabilitetsberäkningarna längs älven avseende befintliga förhållanden. Medelvattennivåer redovisas i Tabell 6.3.

Tabell 6.2 Nuvarande dimensionerande lägsta lågvattennivåer i Norsälven (Uppgifter från Fortum).

Vattenförhållanden	Nivå (RH2000)
Mellan Vänern och Edsvalla kraftanläggning	+43,66 (sänkingsgräns för Vänern)
Mellan Edsvalla- och Frykfors kraftanläggning	+53,72 (sänkingsgräns enligt vattendom för Edsvalla)
Mellan Frykfors Kraftanläggning och Nedre Fryken	+60,69 (sänkingsgräns enligt vattendom för Frykfors)

Tabell 6.3 Nuvarande medelvattennivåer i Norsälven. (Uppgifter från Fortum).

Vattenförhållanden	Nivå (RH2000)
Mellan Vänern och Edsvalla kraftanläggning	+44,8 (MW enligt SMHI)
Mellan Edsvalla- och Frykfors kraftanläggning	+54,5 (Konstant nivå vid Edsvalla)
Mellan Edsvalla- och Frykfors kraftanläggning	+54,5 (Nedströms Frykfors)
Mellan Frykfors kraftanläggning och Nedre Fryken	+61,5 (Uppströms Frykfors)
Mellan Frykfors kraftanläggning och Nedre Fryken	+62,0 (Väsby)

Grundvatten- och portryckssituation enligt utvärdering av utförda undersökningar

Grundvattensituationen varierar utmed älven. Vid områden med liten nivåskillnad mot älven återfinns ofta grundvattnet nära markytan med ett portryck som mot djupet ställer in sig mot vattennivån i älven. Vid högre och brantare slänter utgörs det marknära grundvattnet, där det påträffats, av ett eget grundvattenmagasin (akvifer). Underliggande lera bedöms utgöras av en sjunkvattenzon då den ofta har markant lägre portryck. Ställvis har negativ portryck uppmätts. Underliggande friktionsjord samt mellanlagrande friktionsjordskikt uppvisar varierande grundvattentryck vilket troligtvis är ett resultat av hur väl de står i kontakt med älven samt om de kan utdräneras i ravinslätten.

I de branta sektionerna styrs det övre grundvattenmagasinet till större delen av mängden nederbörd. Då berg går i dagen i den älvnära zonen förväntas grundvattentrycket i vattenförande jordlager kunna variera relativt kraftigt.

De fyra mätare där negativa portryck uppmätts ligger alla utmed mittendelen, där höga och branta siltiga lerslänter dominerar. Det största uppmätta negativa trycket ligger på cirka -60 kPa i en av punkterna medan övriga tre punkter ligger mellan -8 och -16 kPa.

6.4.2 Framtida klimat

Vattennivå i Norsälven

Vid stabilitetsberäkningar för ett framtida klimat har samma värden använts i beräkningar som för dagens klimat, se Tabell 6.2. I SMHI:s klimatanalys för Värmlands län finns ingen information om förändringar av vattennivåer för Norsälven. Gällande vattendomar styr vattennivåerna i älven och dessa antas gälla även för år 2100 i denna utredning.

Genomsläppliga jordlager, övre grundvattenmagasin

För slänter ned mot älven ansluter grundvattennivån i det övre grundvattenmagasinet (nolltrycksnivån) till aktuell nivå i älven (LLW).

För svagt sluttande områden (lutning <10 grader) har grundvattennivån höjts 0,5 m (jämfört med uppmätt maxnivå) förutsatt att nivån inte överskrider markytans nivå. Om det övre grundvattenmagasinets nivå ursprungligen var mindre än 0,5 m under markytan har den nya grundvattennivån ansatts lika med markytan. För brant sluttande områden (lutning >10 grader) har grundvattennivån höjts 0,25 m (jämfört med uppmätt maxnivå) förutsatt att nivån inte överskrider markytans nivå. Om det övre grundvattenmagasinets nivå ursprungligen var mindre än 0,25 m under markytan har den nya grundvattennivån ansatts lika med markytan.

Genomsläppliga jordlager, undre grundvattenmagasin (och skikt) i kontakt med infiltrationsområden

Där undre grundvattenmagasinet inte står i kontakt med älven och där undre grundvattenmagasinet står i förbindelse med stora infiltrationsområden gäller att grundvattennivån har höjts med 1,5 m (jämfört med uppmätt maxnivå) invid infiltrationsområden samt 1 m invid älven.

Där undre grundvattenmagasinet står i förbindelse med små/avlägsna infiltrationsområden har grundvattennivån höjts med 1 m (jämfört med uppmätt maxnivå) invid infiltrationsområden samt 1 m invid älven.

Portrycksprofil i leran

Portrycksprofilen i leran har anpassats till trycknivåerna i de genomsläppliga jordlagren.

7. Erosion

Erosion i ett vattendrag påverkar slänternas geometri och därmed också förutsättningen för skred. Detta kapitel beskriver hur erosionen längs Norsälven kan komma att bli fram till år 2100 med hänsyn till klimatförändring. Erosion uppstår när det försvinner mer partiklar än det tillförs. När det strömmande vattnets kraft är tillräckligt stark kommer partiklar att lossgöras och föras med det strömmande vattnet i suspension eller längs med botten. Längs med det strömmande vattnet kommer det att ske en utväxling av partiklar på botten där några sedimenterar medan andra dras loss. När det tillkommer lika mycket partiklar som det försvinner kallar man det för en transportbotten, men om det försvinner mer partiklar än vad som avsätts uppstår erosion (erosionsbotten). Områden där avsättning dominerar kallas för ackumulationsbotten.

7.1 Inledning

Sedimenttransport omfattar både fina material och grövre material (dvs. lera, silt, sand, grus och sten). Ett förenklat antagande är att sedimenttransporten till övervägande del påverkas av älvens bottenlutning, flödesdjupet (vattendjup) och flödes hastigheten, samt sedimentpartiklarnas storlek och sedimentens fallhastighet (Chanson 2007). De krafter som verkar på en sedimentpartikel är framförallt lyftkraft, gravitation och dragkraft. Medan gravitation (inklusive kohesion, biofilmsbildning och konsolidering) är den stabiliserande kraften är övriga krafter (drag-, lyft- och flytkraft) destabiliserande och när inverkan av de destabiliserande överstiger de stabiliserande börjar partiklar att mobiliseras. Tröskeln för mobilisering kan inte beräknas exakt men många experimentella observationer har visat på någorlunda korrekta och konsekventa resultaten mellan beräknade och observerade värden (Chanson 2007).

Syftet har varit att klargöra var erosion förekommer, beräkna storleken på erosionen i utvalda sektioner och leverera underlag för beräkning av sannolikhet för skred med hänsyn till klimatförändringspåverkad erosion.

Målet har varit att ta fram instruktioner till styrdokument för hur sektioners undervattengeometri ska ändras med hänsyn till framtida klimatpåverkad erosion och att leverera ett GIS-lager som visar bedömd erosion längs Norsälven fram till år 2100.

Genomförandet och resultaten är beskrivna i sin helhet i Del 3, Framtida erosion i Norsälven med hänsyn till klimatförändring (SGI 2015c).

7.2 Inventering av befintligt underlag

Höjddata har inhämtats från Lantmäteriet. Ytgeologisk information och en geologisk beskrivning av Norsälvens utveckling har tagits fram av SGU. Heltäckande batymetrisk data från tidigare perioder än föreliggande utredning finns inte att tillgå, men ett antal lodade sektioner har funnits för sträckan Edsvalla-Vänern. Flödesdata och information om kraftverken har inhämtats från Fortum. En del flödesstatistik framgår av Tabell 7.1. Länsstyrelsen Värmland hade låtit uppföra en klimatanalys för länet. Klimatanalysen var genomförd av SMHI år 2014 (se Kapitel 3 Klimat) och SGI har fått ta del av denna.

Tabell 7.1 Flödesstatistik för Norsälven 1971-2013. Data från Fortum.

Flödesdata	m ³ /s
Uppmätt maxflöde	393
Uppmätt minflöde	1
Medel	51
Median	48
Standardavvikelse	40
Maximalt turbinflöde i kraftverken	70
Medelhögvattenföring, MHQ	190
Beräknad 100-årsvattenföring (årsmedel), HQ ₁₀₀	426

I Göta älvutredningen fanns ytterligare underlag tillgängligt avseende bl a sedimenttransport, sedimentbudget, information om vilka flöden som orsakar den största erosionen, liksom batymetrisk data för en längre sträcka från två eller fler olika tidsperioder, vilket användes vid beräkningarna för botten- och slänterosion. För Norsälven och högst sannolikt även för samtliga andra älvar som ska analyseras finns inte samma mängd underlag att tillgå och ett annat angreppssätt är därför nödvändigt. Det angreppssätt som använts för Norsälven beskrivs i detta kapitel och i Göransson et al. (2015).

7.3 Genomförda undersökningar

7.3.1 Erosionsskydd

Sträckor med erosionsskydd har karterats vid fältinventering och digitaliserats i GIS.

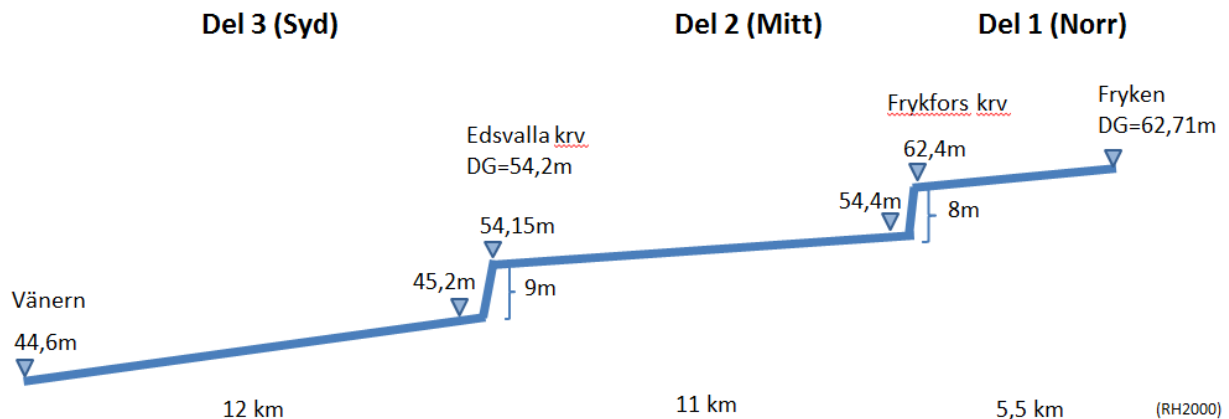
7.3.2 Bottenundersökning

En bottenundersökning har genomförts med omfattande batymetrisk mätning (m.h.a. multibeam-ekolodning), mätning av bottenhårdhet (m.h.a. backscatter) och en grov bedömning av sedimentlager och djup till berg (m.h.a. djuppenetrerande ekolod). Därtill har provtagning genomförts av ytsediment i 30 punkter för jordartsklassificering (sedimentationsanalys), samt vattenprovtagning 0,5 m över botten för analys av suspenderad halt så nära botten som möjligt. Bottenundersökningen har genomförts av Marin Miljöanalys AB. Jordartsklassificeringen har gjorts på SGIs jordlaboratorium. Baserat på sedimentproverna har backscatterdata grovt kunnat översättas till sedimenttyper för älvbotten, vilket har behövts för att kunna bedöma bottensedimentets egenskaper och därmed kunna beräkna kritisk bottensklivspänning. Halten suspenderat material har använts för att försöka göra en grov bedömning av sedimenttransport och möjlig bottentransport för att på så sätt försöka efterlikna metodiken i Göta älvutredningen.

7.3.3 Hydrodynamisk modell

En tvådimensionell hydrodynamisk modell har upprättats av SMHI för simulering av bottensklivspänningar, vattendjup, vattenhastigheter och vattennivåer vid olika flöden. Modellen sattes upp i Delft 3D. SMHI har även medverkat i diskussionerna för hur erosionsberäkningarna skulle genomföras. Modellen har upprättats för hela älven, uppdelat på de tre delsträckorna med hänsyn till kraftstationerna (se Figur 7.1 och Figur 7.2):

1. Från Frykensjöns utlopp i Norsälven och till Frykfors kraftstation
2. Nedströms Frykfors kraftstation till Edsvalla kraftstation
3. Nedströms Edsvalla kraftstation till utlopp i Väneren

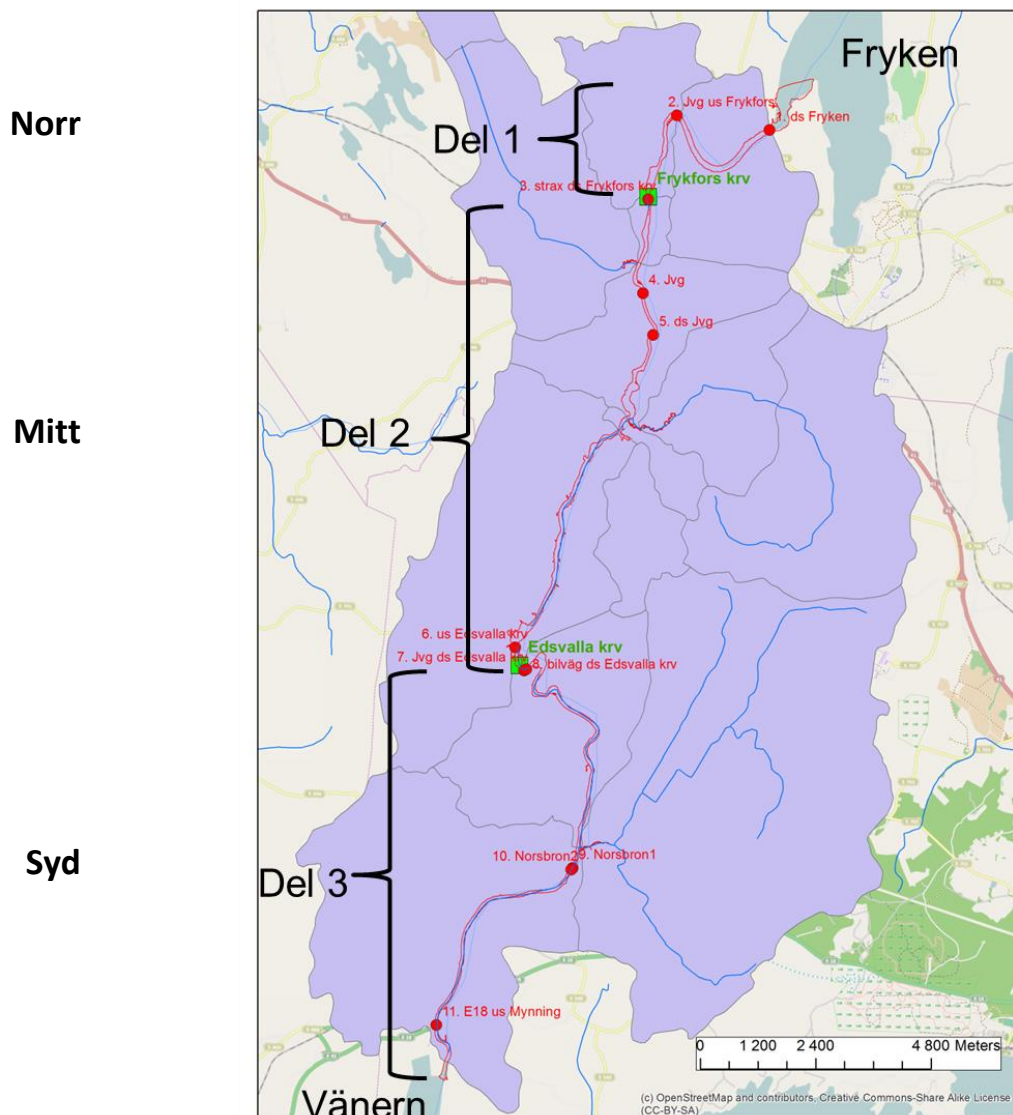


Figur 7.1 Schematisk fallprofil av Norsälven med angivna dämningssgränser vid kraftverken, ungefärliga nivåer vid SMHI:s fältmätningstillfälle 2014 samt fallhöjder. DG = Dämningssgräns, MW = medelvattenstånd. Hydromodellens delsträckor anges. (Figur och text: Dan Eklund, SMHI). Del 1 = Norr, Del 2 = Mitt, Del 3 = Syd.

Den hydrodynamiska modellen har gjort det möjligt att simulera vattendjup, vattenhastigheter, vattennivåer och bottenskjuvspänningar för olika flöden. Modellen har körts för flöden 20, 50, 70 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500 m³/s. Baserat på modellen var det även möjligt att analysera hur stor andel av botten som påverkas av en viss bottenskjuvspänning vid ett visst flöde.

7.3.4 Jämförande batymetri

Tidigare lodade sektioner längs Norsälven har endast funnits att tillgå för den nedre delen (Edsvalla-Vänern), totalt 21 sektioner. Sektionerna var lodade 1971 med undantag för en som var lodad 1952. Dessa sektioner har digitaliserats och jämförts med resultaten från den batymetriska mätningen som utförts inom ramen för detta uppdrag. I flera av sektionerna hade muddring förekommit och erosionsskydd lagts ut. Detta påverkar tolkningen av den uppmätta geometriska förändringen i dessa sektioner och endast de sektioner där muddring ej har förekommit och där erosionsskydd inte finns har använts.



Figur 7.2 Norsälven uppdelat i tre delar, separerade av kraftstationerna vid Frykfors och Edsvalla. Avrinningsområdet är markerat med lila färg. De röda punkterna avser broar, där Jvg står för järnvägsbroar. (Figur framtagen av Dan Eklund, SMHI. Bakgrundskarta © OPEN STREET MAP).

7.4 Beräkningsförutsättningar och analys av erosion

7.4.1 Beräkningsförutsättningar

Analysen har genomförts i fem steg, A-B nedan:

- Bestämning av vilka ekvationer som ska användas för att beräkna erosion.
- Bestämning av vilket underlag som behöver tas fram för att genomföra beräkningarna.
- Bestämning av vilka modeller som ska användas för beräkning av erosion med hänsyn till ett framtida klimatscenario.
- Bestämning av hur rimligheten i resultaten ska bedömas.
- Beräkning av erosion baserat på steg A-C och bestämning av rimlighet i resultat baserat på D.

Baserat på tidigare utredningar längs älven och jordartskartan över området har initialt utförts en bedömning att sedimenten i Norsälven till övervägande del utgörs av finjord och kohesivt material. Detta innebär att ekvationer för erosion av kohesiva material har kunnat användas, vilket i detta fall blir samma ekvation som användes i Göta älvutredningen.

Tröskel för mobilisering av sedimentpartiklar kallas sedimentets kritiska skjuvspänning (τ_c) och den destabiliserande kraft som det strömmande vattnet utövar mot sedimentpartiklarnas yta kallas skjuvspänning, eller bottenskuvspänning (τ_0). Erosion uppkommer när $\tau_0 > \tau_c$, dvs. när bottenskuvspänningen överskrider den kritiska skjuvspänningen. Erosionen under en given tid (E_t , meter) fås genom följande ekvation (Karmaker & Dutta 2011):

$$E_t = k_d \times (\tau_0 - \tau_c) \times \Delta t \quad \text{ekvation 1}$$

Där,

E_t = erosionen under en given tid (m)

k_d = eroderbarhetskoefficient ($\text{m}^3/\text{N s}$)

τ_0 = genomsnittlig skjuvspänning (Pa)

τ_c = kritisk skjuvspänning (Pa)

Δt = den totala tiden för fluvial erosion (s)

Detta bygger på antagandet om konstanta förhållanden, dvs. ingen förändring i flöde eller skjuvspänning etc. I studien av Karmaker & Dutta (2011) antas att det flöde som formar älvfåran utgörs av det bankfulla flödet, dvs. det flöde som orsakar en vattennivå i höjd med släntrönen. Man kan påpeka att om fint material eroderar från botten är det inte sannolikt att det lägger sig i älven utan transporteras ned till Väneren. Om man dessutom försummar ackumulationen så blir uppskattningen av erosionen i älven på den säkra sidan.

Observera att beräkningarna endast avser erosion och att ackumulation eller transport därmed inte ingår. Det är endast eroderade områden som kan redovisas, inte områden där eventuellt material skulle kunna sedimentera och ackumulera.

Den så kallade eroderbarhetskoefficienten (k_d) är svårbestämd och behöver helst mätas i fält. Det kräver dock en stor fältinsats med stora resurser vilket inte var möjligt för Norsälven. Därtill saknas fältinstrument i Sverige för denna typ av mätning. Istället får eroderbarhetskoefficienten baseras på empiriska studier redovisade i litteraturen.

Bottenskuvspänningen (τ_0) är ett index på den kraft som det strömmande vattnet utövar mot botten per ytenhet och har relaterats till sedimentrörelse och transport i många teoretiska och empiriska studier av sedimenttransport. Bottenskuvspänningen har därför en nära koppling till flödeshastigheten. Normalt antas att skjuvspänningen är proportionell mot vattenhastigheten i kvadrat för turbulent strömning. Bottenskuvspänningens variation över vattendraget vid olika flöden kunde utläsas ur den hydrodynamiska modellen.

Kritisk bottenskuvspänning (τ_c) bör på samma sätt som för eroderbarhetskoefficienten (k_d) bestämmas genom fältförsök men likaså här och med samma anledning som för k_d har τ_c fått bestämmas utifrån olika empiriska och experimentella försök redovisade i litteraturen. Andel finjordshalt i sedimentproverna utgjorde grunden i den beräkningen.

Erosionsflödet har sedan kunnat bedömas genom att analysera vilken kombination av eroderbarhetskoeficient, kritisk bottenskjuvspänning och flöde (inklusive bottenskjuvspänning) som bäst har kunnat beskriva den uppmätta erosionen i de jämförande sektionerna.

Den sista delen för att beräkna erosion har varit att försöka bedöma varaktigheten för erosionsflöden, dvs. antal dagar fram till 2100 som det teoretiskt kan uppstå erosionsflöden över en viss nivå. De klimatdata som fanns att tillgå för Norsälven var information i en nyligen utförd klimatanalys som SMHI genomfört för Värmlands län 2014, se kapitel 3. I den utredningen framgår bl.a. förändring i medelflöde i Norsälven samt förändring i 75-percentilen. Medelflödet har och kommer dock aldrig nå så högt som de bedömda erosionsflödena och det går därför inte att utgå från en förändring i medelflöde, däremot skulle det kanske gå att utgå från en förändring i 75-percentilen och superponera den förändringen på frekvensen av erosionsflöden mellan åren 1971-2013.

7.4.2 Analys

Det finns i dag inga tillförlitliga modeller som sammankopplar geotekniska parametrar tvärs ett vattendrag med hydrodynamiska processer som verkar längs ett vattendrag, dvs. som sammanlänkar jordmekaniska egenskaper med hydrodynamiska processer. Det finns därtill inga modeller för att kunna ta hänsyn till förändringar på längre sikt som klimatförändring innebär utan de flesta flödesrelaterade erosionsberäkningarna är gjorda för enstaka flödestoppar. En kombination av modeller/verktyg har därför behövt användas.

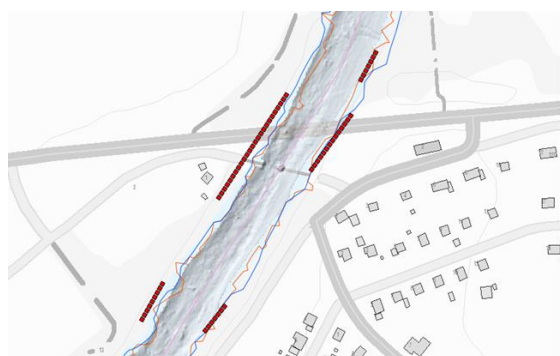
Med en tvådimensionell hydrodynamisk modell och en kartering av bottengeologin har beräkning av bottenerosion kunnat göras i GIS. Beräkningar har utförts mellan GIS-lager med data för bottenskjuvspänning och kritisk bottenskjuvspänning enligt ekvation 1 ovan. Bottenskjuvspänningar för olika flöden fås ur den hydrodynamiska modellen och kritiska skjuvspänningar har beräknats med hjälp av karterad bottengeologi.

I en GIS-baserad beräkning fångas dock inte riktigt de processer upp som sker mot strandbanken och som orsakar erosion av undervattensslänt och släntfot. Ett sätt att komma runt detta är att använda en modell som United States Departement of Agricultural (USDA) har utvecklat i MS Excel: Bank Stability Toe Erosion Modell (BSTEM). Denna modell beräknar i sin tur inte bottenerosion men genom att kombinera beräkningar i GIS med avseende på bottenerosion med beräkningar i BSTEM för erosion av släntfot (under vatten) i utvalda sektioner har möjliga förändringar i olika tvärsektioner kunnat fångas upp.

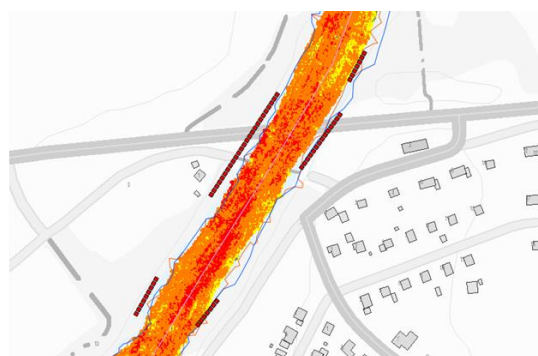
Erosionsberäkningarna i GIS är yttäckande för hela Norsälven, med undantag av strax nedströms kraftstationerna där vattenströmningen har varit för stor för att kunna genomföra bottenmätningar och med undantag för en smal remsa längs med strandlinjen där det har varit för grunt för mätbåten att gå in. Beräkning har utförts enligt ekvation 1 ovan och med ett troligt erosionsflöde strax under $300 \text{ m}^3/\text{s}$ och uppåt och en varaktighet 2014-2100 på cirka 150 dygn (se vidare Göransson et al. 2015 för beräkningar).

Detaljeringsnivån på redovisning av erosion är $\pm 0,5 \text{ m}$ och det har inte bedömts vara relevant med högre noggrannhet pga. att det föreligger osäkerheter i beräkningarna av ansatta parametrar. Landhöjningen påverkar bottenerosionen, men höjningen är så liten att den ryms inom osäkerhetsmarginalen. Exempel på de lager i GIS som har använts och exempel på resultat illustreras i Figur 7.3.

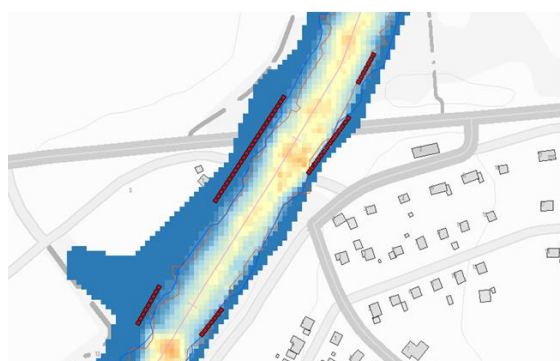
Geotekniska fältundersökningar och stabilitetsberäkningar har genomförts i 30 sektioner längs Norsälven av konsult. I sju av dessa har också stabilitetsberäkningar med hänsyn till klimatförändringar utförts. I syfte att välja ut sju representativa sektioner har samtliga sektioner klassats in i geologiska typmiljöer utifrån de geologiska förutsättningarna. Beräkning av erosion i släntfot har utförts i dessa sju sektioner i BSTEM. Resultatet från beräkningarna i BSTEM kombinerades med resultaten i GIS för respektive sektion. Se exempel i Figur 7.4.



Batymetri



Tolkad ytgeologi



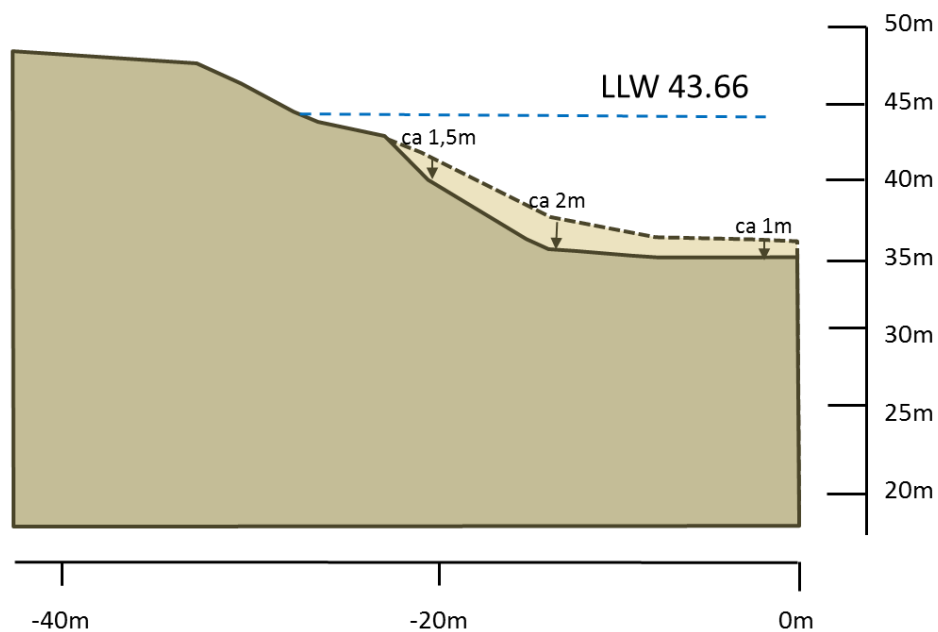
Bottenskjuvspänning vid $Q=300\text{m}^3/\text{s}$



Beräknad erosion

Figur 7.3 Norsälven vid Norsbron. Exempel på GIS-lager som visar batymetri (hillshade), tolkad ytgeologi (grå=siLe, gul=saSi, orange=siSa, röd=sten, grus), bottenskjuvspänningar (ju gulare och ju mer orange desto högre bottenskjuvspänning) och beräknad erosion (ju gulare och mer orange desto större erosion). I figuren för bottenskjuvspänning har det mörkblå området ej buffrats efter strandlinjen utan följer terrängen och ska bortses ifrån, "bulan" ner till vänster finns således inte i verkligheten. De kraftiga röda strecken på sidorna av älven är markeringar för erosionskydd. (© SGI, Lantmäteriet, Geodatasamverkan).

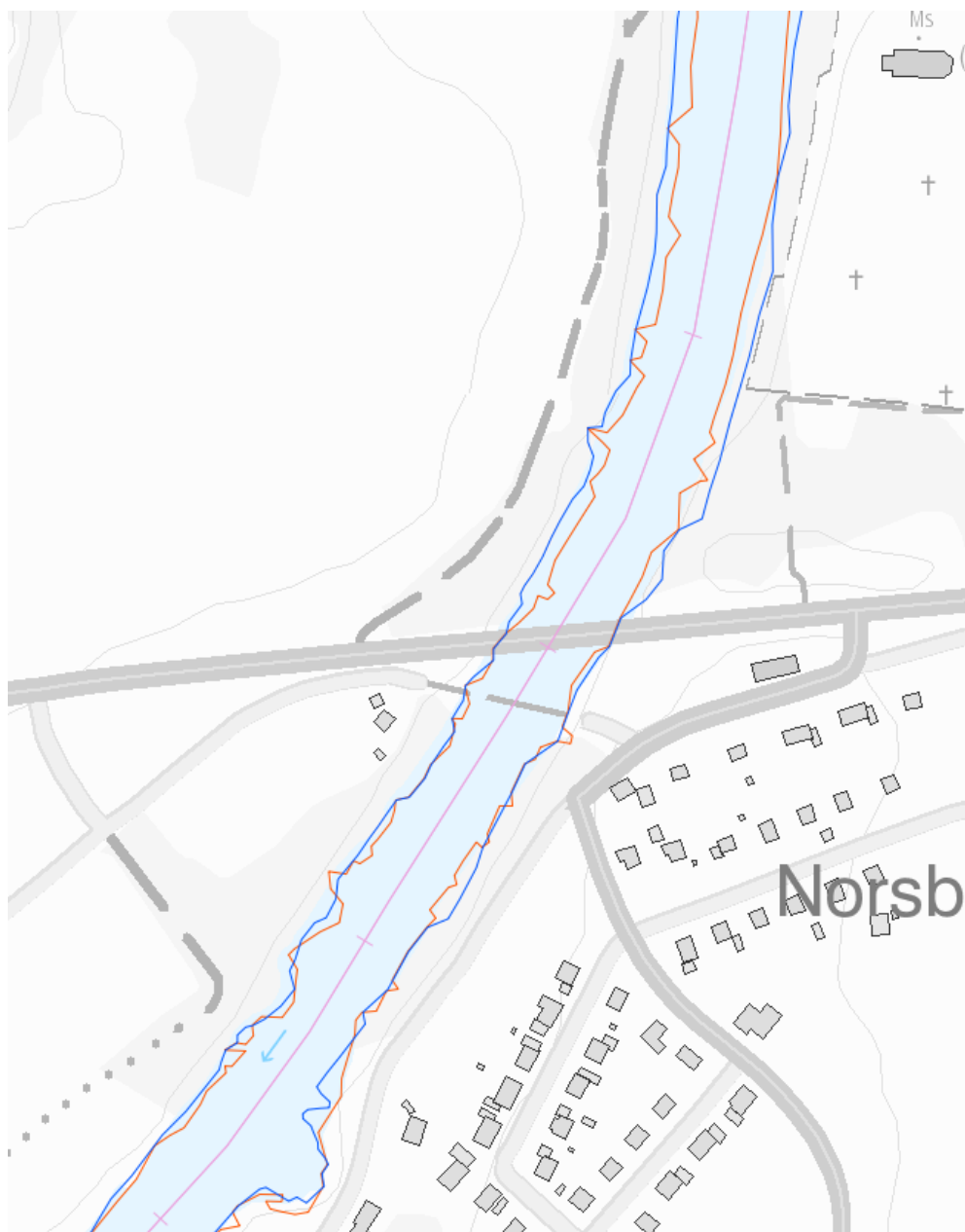
Sektion 3+960N



Figur 7.4 Exempel på resultat av erosionsberäkning i en sektion (botten och slänt). Beräkningarna är utförda för ett flöde på $300 \text{ m}^3/\text{s}$ och en varaktighet på 150 dygn. Erosion 1-2 m, erosion med cirka 1 m i den djupaste delen av älvfåran.

7.4.3 Bedömning av rimlighet i resultaten

Rimligheten i resultaten av erosionsberäkningarna kan översiktligt bedömas genom att jämföra resultaten med uppgifter om strandförskjutning genom att jämföra geometriska förändringar i sektioner lodade vid olika tillfällen. Förändring i strandlinjen över tid studerades genom att digitalisera och jämföra flygfoton från 1965/66 med digitala flygfoton från 2013, se exempel i Figur 7.5. Beräknad erosion i släntens överkant och i sektioner har jämförts med strandförskjutningen. Baserat på detta har resultaten bedömts som rimliga. Resultaten i den södra delen (Edsvalla-Vänern) har jämförts även med resultaten av den jämförande batymetrin. Även här har överensstämmelsen varit överlag god.



Figur 7.5 Exempel på resultat av analys av strandförsjutning baserat på flytfoton från åren 1965/66 och 2013. Den blå linjen visar strandlinjen 1965/66 och den röda visar strandlinjen 2013.

7.4.4 Att notera

Det ska noteras att oavsett vilka värden på eroderbarhetskoefficienten, genomsnittlig bottenskujuvspänning, kritisk skjuvspänning och valt erosionsflöde som har använts kommer det inte att vara möjligt att kunna beskriva alla förändringar av bottengeometrin, men vår bedömning är att vi kan beskriva var en majoritet av förändringarna kommer att ske och i ungefärlig storlek.

7.5 Sammanfattning av erosionsanalysen

7.5.1 Nedre Fryken - Frykfors kraftstation

Erosionen är tämligen ringa längs sträckan från Frykens utlopp i Norsälven till första skarpa kröken mot Frykfors. Omgivningen är flack och det är inte mycket som händer längs sträckan. I kröken mot Väsby ökar skjuvspänningarna markant men materialet där utgörs också av grovt material. Muddring har tidigare skett i mittfåran strax söder om järnvägsbron, vilket syns tydligt på den batymetriska kartan. Det förekommer också berg-i-botten mellan denna skarpa krök och Frykforsens kraftstation som är belägen mellan två bergsklackar. Generellt varierar bottenerosionen från noll till under en meter mellan S Hannäs och Väsby. Vid kröken mellan Väsby och finns det områden med betydligt djupare erosion på sina ställen. Sannolikt är det berget som orsakat älvens nuvarande lopp med en skarp krök vid Väsby.

7.5.2 Frykfors kraftstation – Edsvalla kraftstation

Älven är mycket smal vid Frykforsens utlopp på grund av berg på båda sidor. Bottensskjuvspänningen blir därför hög där eftersom vattnet tvingas igenom en smal passage och strömhastigheten därmed blir stor. Sannolikt ligger även berget nära botten och den kritiska bottensskjuvspänningen är troligen ansatt för lågt, erosionsberäkningarna visar nämligen på orimligt stora erosionsdjup (över tio meter i vissa beräkningsrutor (grid)).

Sträckan Frykfors-Edsvalla skär ner i ett utvecklat ravinlandskap och kraftstationen vid Edsvalla är lokaliserade mellan två bergsklackar. Berg-i-botten förekommer sannolikt på enstaka ställen längs med älven. Förloppet är något meandrande men analys av strandförskjutning visar inte på att det skulle pågå någon aktiv förändring av meanderlopp. Bottensskjuvspänningarna vid $Q = 300 \text{ m}^3/\text{s}$ är främst förhöjda precis nedströms Frykfors kraftstation vilket inte är förvånande (se stycket ovan). Erosionsskydd är här utlagda på båda sidor om älven. Därtill är bottensskjuvspänningarna tydligt förhöjda strax söder om vägbro 61, vid Skårebol. Bottensskjuvspänningen är här över 2 Pa ($Q = 300 \text{ m}^3/\text{s}$) och erosionen är därför som tydligast vid dessa två områden även om den sannolikt är överskattad vid Frykforsen.

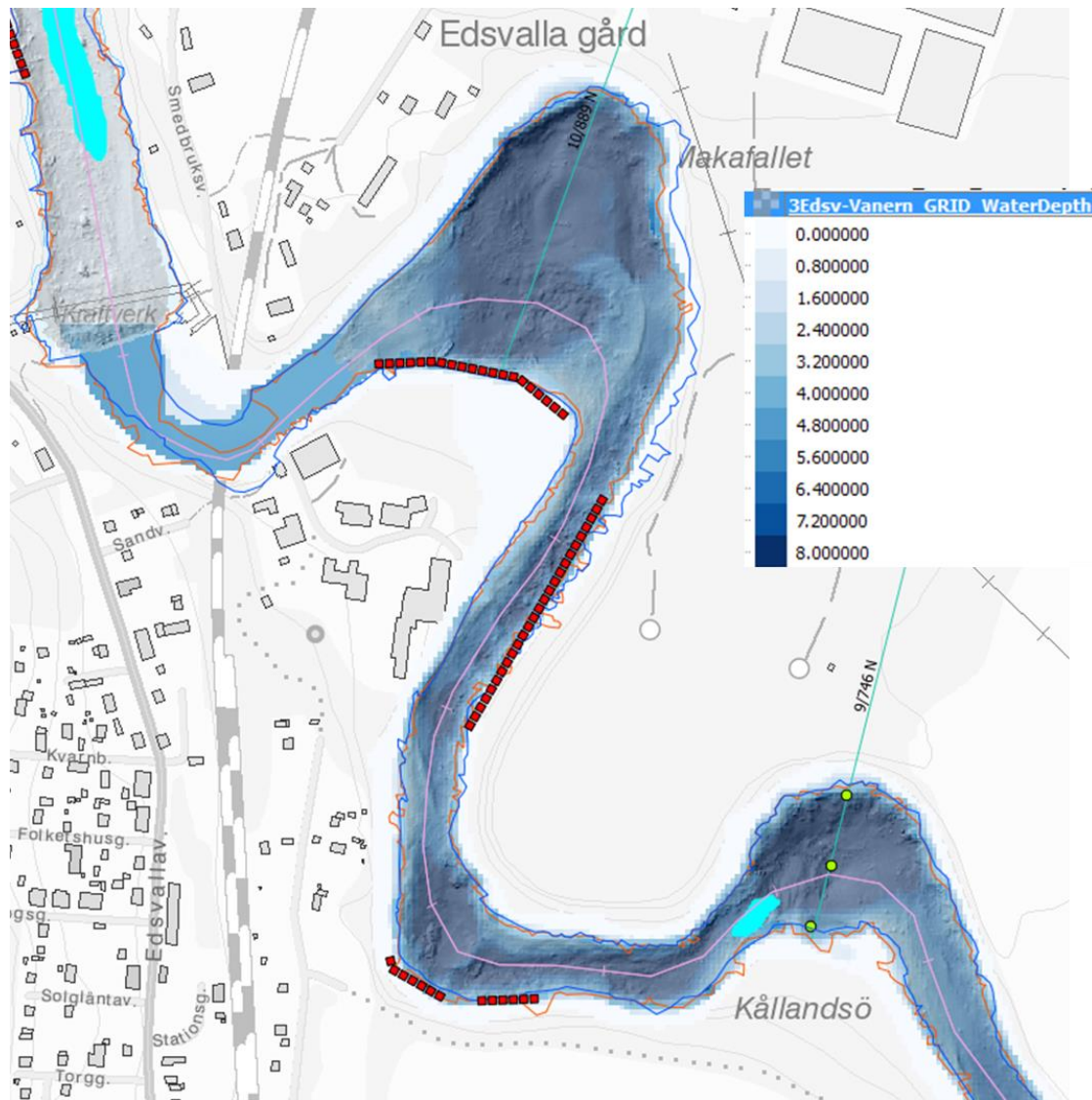
Strax söder om Utterud är bottensskjuvspänningen något förhöjd vid $Q = 300 \text{ m}^3/\text{s}$, mellan 0,4-0,8 Pa (upp till drygt 2 m bottenerosion), så även vid Bryngelsrud och Karlal (0,3-0,6 Pa, upp till drygt 1 m bottenerosion). I övrigt är beräknad bottenerosion fram till år 2100 ganska låg (under 1 m).

7.5.3 Edsvalla kraftstation - Vätern

Bottensskjuvspänningarna är tydligt förhöjda vid ett flertal platser längs älven vid $Q = 300 \text{ m}^3/\text{s}$: kröken precis söder om Edsvalla kraftstation, Hildelund, Prästgården, Nor, Norsbron, Vålberg vid Lövudden, Älvängen, Årtan – i princip en större del av hela älvsträckan. Bottensskjuvspänningarna ligger runt 1 Pa med undantag för första kröken precis söder om Edsvalla med över 2 Pa, samt sträckan från Hildelund och mot Prästgården med upp mot cirka 1,5 Pa.

Den beräknade bottenerosionen precis efter Edsvalla kraftstation och mot älvens södra/västra strand är sannolikt något överskattat på grund av att den kritiska skjuvspänningen sannolikt borde ansatts ett högre värde eftersom det troligen finns berg nära botten. Utlagt erosionsskydd längs med den sydvästra stranden visar dock på att bankerosion pågår. På motstående sida, vid Edsvalla gård och Makafallet, förekommer en djuphåla (över 15 m vattendjup) och ingen bottenerosion beräknas uppstå här. Det är oklart vad som format djuphålan. Ytterligare en djuphåla finns i kröken vid Kållandsö (ner mot 20 m vattendjup), se Figur 7.6. Vid udden mitt emot Edsvalla gård ser det ut som om det formats en spit (sediment som lagt sig i formen av en krok) och vattendjupet är här bara 3-5 m medan vattendjupet i djuphålan (mörkblått, sektion 10/889N i Figur 7.6) når över 15 m. Det tyder på att det förekommer viss virvelbildning. I kröken mellan Makafallet och Kållandsö, sydvästra strandlinjen där det ligger erosionsskydd, är vattendjupet också relativt stort med ner till cirka 11 m.

Genomsnittlig beräknad bottenerosion fram till år 2100 och för sträckan Kållandsö-Rosenlund beräknas uppgå till 1,5 - 2,5 m, för att öka söder om Rosenlund där bottenerosionen kan nå över 3 m på sina ställen. En bit söder om Norsbron minskar sedan bottenerosionen något till under 2 m och det finns indikation på att berget ligger grunt. Berg förekommer troligen också grunt vid Lövudden. Beräknad bottenerosion fram till år 2100 för sträckan Norsbron-Vålberg varierar från någon halvmeter upp till 3 m, för sedan att öka längs med Älvängen där bottenerosionen kan nå över 3 m.



Figur 7.6 Bilden visar vattendjup med två djuphålor vid sektion 10/889N och 9/746N. Vid 10/889N ser det ut som om det har formats en spit (sediment som lagt sig i formen av en krok) vid udden, dvs. att det lägger sig material där. De ljusblå fälten är berg-i-dagen översiktligt tolkat från djuppenetrerande ekolod. De tjocka röda strecken är erosions-skydd. De tunna blåa och röda linjerna längs med strandlinjen är tolkad strandlinje från flygfoto år 1965/66 (blå) och 2013 (röd).

8. Stabilitetsberäkningar

Säkerhet mot skred, även kallad stabilitet, uttrycks vanligen som förhållandet mellan de mothållande och pådrivande krafterna i en slänt. Detta förhållande kallas säkerhetsfaktor. Den mothållande kraften består främst av jordens hållfasthet men också stabiliserande krafter från till exempel vattenmassan i ett vattendrag eller påförda mothållande krafter i form av jord- och stenfyllning i nedre delen av slänten. De pådrivande krafterna uppkommer av jordens egen tyngd samt de belastningar som finns på marken i form av byggnader, materialupplag eller andra laster.

Stabilitetsförhållandena har beräknats i totalt 30 sektioner längs Norsälven. Sektionernas lägen framgår dels av Figur 5-2 dels av kartorna i Del 1 (SGI 2015a). Stabilitetsberäkningar för Norsälven har genomförts enligt riktlinjer i styrande dokument för tekniskt arbete (SGI 2014a). I det här kapitlet beskrivs i stora drag beräkningsförutsättningar för dagens – respektive framtida klimat, analysmetoder samt resultat avseende stabilitetsförhållandena längs Norsälven.

8.1 Beräkningsförutsättningar

8.1.1 Val av materialegenskaper

Materialegenskaper har utvärderats utifrån i områdena utförda geotekniska fält- och laboratorieundersökningar. Jordens hållfasthetsegenskaper, bestämda med vingförsök, konförsök och CPT-sondering, har sammanställts såväl djup- som nivårelaterat, där sedan valt värde har utvärderats utifrån den mest lämpliga sammanställningen. Sammanställningarna har jämförts med empiriskt framtagna värden baserade på CRS-försök och i vissa sektioner även med värden bestämda med direkta skjuvförsök.

För kohesionsjord har odränerad skjuvhållfasthet (c_u) och densitet (ρ) utvärderats från sammanställningen av bestämda jordegenskaper. Den dränerade skjuvhållfastheten för kohesionsjord har valts enligt styrdokument med hjälp av en empiriskt bestämd friktionsvinkel på $\phi' = 30^\circ$, samt med ett kohesionsintercept som är 10 % av den utvärderade odränerade skjuvhållfastheten ($c' = 0.1 c_u$). För friktionsjord har materialegenskaperna (hållfasthet och densitet) valts främst utifrån resultaten från CPT-sonderingar, men även utifrån jordartsbedömning från övriga geotekniska undersökningar. De utvärderade resultaten från CPT-sondering/Conrad har bitvis resulterat i (för tolkat jordmaterial) höga friktionsvinklar. Dessa högt utvärderade friktionsvinklar har använts i flera beräkningssektioner (exempelvis 36° för, enligt CPT-utvärdering, tolkat jordlager silt).

Skjuvhållfastheten i torrskorpelera har enligt gängse praxis begränsats till halva skjuvhållfastheten uppmätt med CPT-sondering, dock max 50 kPa. Där mätdata saknats för torrskorpa har skjuvhållfastheten valts till underliggande leras hållfasthet +10 kPa. I beräkningar har hela torrskorpan betraktats som uppsprucken och med vattenfyllda sprickor till halva torrskorpans mäktighet. Uppmätta negativa portryck har använts vid utvärdering av skjuvhållfasthet från CPT-sondering i programmet Conrad.

I beräkningarna har inga effekter av anisotropi beaktats.

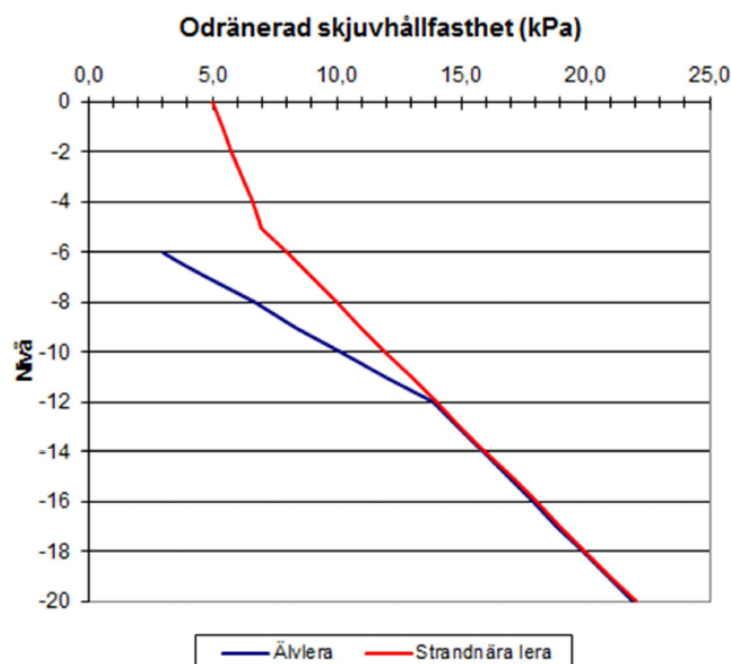
I beräkningarna har förekommande friktionsjords (fyllning) materialegenskaper valts enligt Tabell 8.1 nedan.

Tabell 8.1 Materialegenskaper för friktionsjord

Material	ρ/ρ_m	φ'	Tjocklek
Bankfyllning	1.8/2.0 t/m ³	35°	Varierande

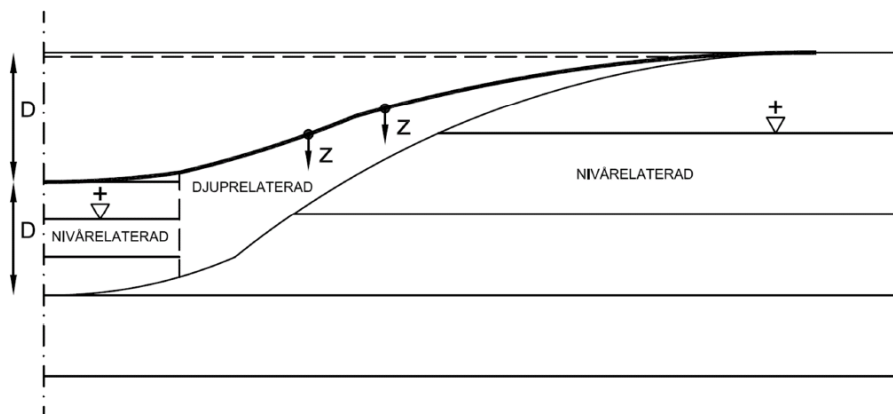
8.1.2 Odränerad skjuvhållfasthet under älven

Vid bedömningen av stabiliteten för slänterna har den odränerade skjuvhållfastheten hos leran dels i det strandnära området och dels mitt under älven stor betydelse. Den i styrdokumentet beskrivna metodiken innebär att jordlagren omedelbart under älvbotten modelleras med en odränerad skjuvhållfasthet av 3 kPa. Hållfastheten ökar successivt med djupet och närmar sig den odränerade skjuvhållfastheten som gäller för det strandnära området. Mot djupet (det vill säga vid det djup där älvlerans mäktighet under älvbotten motsvarar medelvattendjupet) kan den odränerade skjuvhållfastheten i princip anses vara densamma som för det strandnära området, se Figur 8.1. Den odränerade skjuvhållfastheten rakt under älvbottens mitt är nivårelaterad. Densiteten för älvleran är generellt antagen till 16 kN/m³.



Figur 8.1 Exempel på hållfasthet för älvlera under älvmitt.

Övergångszonen mellan älvbotten och vattenbrynet/strandkanten är generellt kilformad, se Figur 8.2. Den odränerade skjuvhållfastheten hos leran är i denna zon djuprelaterad med utgångspunkt från älvbottens överyta.



Figur 8.2 Exempel på skjuvhållfasthet för älvlera i strandzonen.

Olika modeller för lerans skjuvhållfasthet under Norsälvens botten har använts. Dels modellen enligt styrdokumentet, dels egen vald skjuvhållfasthetsmodell där så ansetts befogat. Sonderingar från flotte har endast utförts i strandlinjen och inte mitt ute i älven, varför en detaljerad utvärdering av hållfastheten till stora delar inte varit möjlig. I 22 sektioner bestämdes älvlerans hållfasthet enligt styrdokumentet. I tre sektioner har älvlerans hållfasthet bedömts som fastare än vad som anges i styrdokumentet och i fyra sektioner bedömdes älvbotten bestå av friktionsjord och har således inte modellerats enligt styrdokumentet.

Laster

Laster i beräkningssektioner har tillämpats enligt styrdokument för projektet och är uppdelade som variabla laster (trafiklaster) och permanenta laster (bostadshus och övriga byggnader). I Tabell 8.2 ges den generella storleken av dessa laster. Lasterna har för enstaka hus och byggnader valts så att de representerar sektionsområdet i stort.

Tabell 8.2 Laster använda i stabilitetsberäkning

Last	Last	Bredd	Längd
Järnväg Odränerad analys	44 kPa	2,5 m	∞
Järnväg Kombinerad analys	0 kPa	2,5 m	∞
Vägar (för bilar och övriga fordon) Odränerad analys	10 kPa 5 kPa (gc-väg)	Vägbredd	∞
Vägar (för bilar och övriga fordon) Kombinerad analys	0 kPa 0 kPa (gc-väg)	Vägbredd	∞
Bostadsområden (villor), parkeringsplatser, industriområden m.m. Odränerad analys	10 kPa	Över hela bredden	∞
Bostadsområden (villor), parkeringsplatser, industriområden m.m. kombinerad analys	10 kPa	Över hela bredden	∞

8.1.3 Dagens Klimat

Ytvatten

Dämnings- och sänkingsgränser för vattennivåer i älven finns fastlagda i gällande vattendomar. Baserat på dessa samt medellågvattennivå (MLW) i Väneren har utredningen baserats på lägsta vattennivåer avsedda för stabilitetsberäkningar enligt Tabell 6.2 och Tabell 6.3 i Kapitel 6 Yt- och grundvatten. Rätlinjig interpolering har använts mellan Nedre Fryken och Frykfors, mellan Frykfors och Edsvalla samt mellan Edsvalla och Väneren.

Grundvatten- och portrycksnivåer

Val av i beräkningar använda portryck och grundvattennivåer har baserats på utförda mätningar, med hänsyn tagen till topografi och jordlagerförhållanden. En känslighetsanalys för portryckets inverkan har också genomförts där det har bedömts vara angeläget.

8.1.4 Framtida Klimat

Ytvatten

Dämnings- och sänkingsgränserna i Norsälven och Väneren är reglerade i vattendomar, varför någon förändring av dessa nivåer inte har beaktats i stabilitetsberäkningarna

Grundvatten- och portrycksnivåer

Ett förändrat klimat med ökad nederbörd och mer intensiva regn påverkar slänters stabilitet. För slänterna i Norsälven är det, ur klimatsynpunkt, ökade flöden (som ger förändrade förutsättningar för erosion), förändringar av vattennivåer samt ökad infiltration till grundvattenbildningen som påverkar stabiliteten. Inom utredningen har därför förväntad erosion och förändringar i ytvatten- och grundvattennivåer analyserats och resultaten har presenterats bland annat i Kapitel 6 Yt- och grundvatten respektive Kapitel 7 Erosion. De högsta trycknivåerna i det undre grundvattenmagasinet förväntas öka med omkring 1-1,5 m fram till år 2100. De ytliga grundvattenmagasinen förväntas få en höjning med 0,25-0,5 m dock maximalt till markytans nivå. Portrycksprofilen i leran har anpassats till trycknivåerna i de genomsläppliga jordlagren.

Erosion

Beräkningar och analyser av pågående erosion och förändringar av erosionen på grund av flödesförändringar (se Kapitel 7 Erosion), visar att erosion kommer att ske längs älvens bottenar och slänter på många sträckor, såväl för dagens som för ökade flöden. Vid framtida högre flöden bedöms erosionen komma att öka för samtliga delsträckor. Vid år 2100 uppskattas den totala erosionen för de norra delarna av älven uppgå till 0,3-0,5 m framförallt i släntfot, 0,5-1 m i bottenerosion i mittendelen och i de södra delarna till 2,0-3,0 m i botten respektive 1-2 m i sidled.

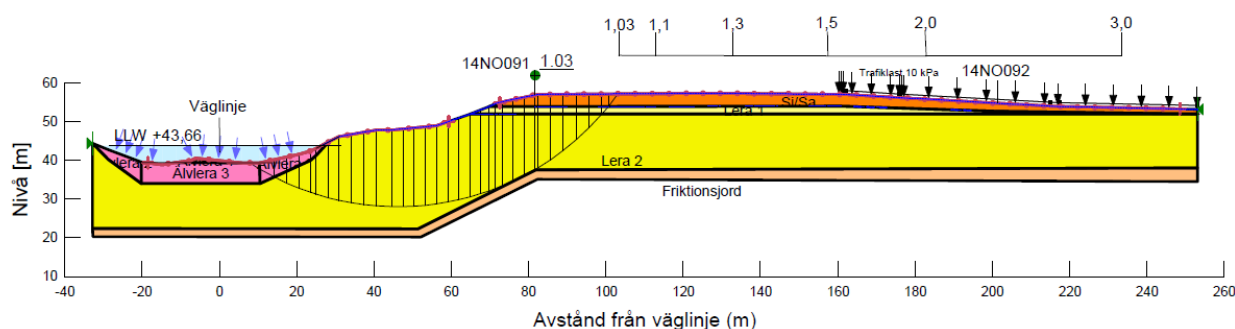
Erosionens effekt på stabilitetsförhållanden längs älven fram till 2100 har studerats för sju utvalda beräkningssektioner. Sektionerna är valda så att de är representativa för olika områden längs älven med likartade geologiska och topografiska förhållanden samt jordlager med likartade geotekniska egenskaper och framtida erosion. De beräknade stabilitetsförändringarna har därefter antagits gälla för andra sektioner med samma förutsättningar.

I beräkningarna har hänsyn inte tagits till förändringar i jordens egenskaper som avlastningen eventuellt skulle kunna medföra. Denna effekt bedöms vara försumbar. I beräkningarna har ingen hänsyn tagits till befintliga erosionsskydd. Detta med anledning av att utbredning och omfattning av erosionsskydden under vattenytan är osäker. Beräkningarna är därmed utförda på säkra sidan med avseende på eventuella erosionsskydd.

Stabilitetsberäkningar har i Norsälven genomförts enligt riktlinjer i styrande dokument för tekniskt arbete, (SGI 2014a).

Släntstabilitetsberäkningar har i samtliga fall utförts i odränerad- och kombinerad analys, undantaget en sektion där enbart dränerad analys utförts (sektion 10/889N). Stabilitetsberäkningarna har utförts med hjälp av datorprogrammet Slope/W version 7.23 i Geo-Studio 2007. I Slope/W beräknas säkerhetsfaktorer mot skred och ras i jordslänter med jämviktsteorier i vertikalplanet. I de aktuella analyserna har cirkulär-cylindriska och sammansatta glidytor beräknats med Morgenstern-Price's lamellmetod. Denna beräkningsmetod tar hänsyn till både moment och kraftjämvikt vid beräkning av säkerhetsfaktorer mot brott.

Den farligaste glidyten för älvsälanten och undervattensslänten har redovisats grafiskt för odränerad och kombinerad analys. Dessutom har säkerhetsfaktorernas variation längs slänten och bortom denna redovisats. Variationerna har delats in i intervallerna 1,1-1,3; 1,3-1,5; 1,5-2,0 respektive 2,0-3,0. Exempel på redovisning av säkerhetsfaktorns variation ges i Figur 8.3.



Figur 8.3 Exempel på redovisning av beräkningsresultat i sektion (Väglinje motsvarar tänkt linje för älvmitt längs Norsälven – med längdmätningens början i söder).

Stabilitetsförhållandena längs Norsälven är generellt sett dåliga med många skredärr framförallt i del Syd och Mitt. Ett flertal stora skred har skett även i modern tid, det vill säga under 1900–2000-talet. Stabilitetsförhållandena har nu beräknats i totalt 30 sektioner längs Norsälven. Sektionernas lägen framgår dels av Figur 5.2, Kapitel 5 Geoteknik, dels av kartorna i Del 1 (SGI 2015a). Beräkningarna visar att sträckan mellan Vålberg och Edsvalla är den del längs utredningsområdet som har flest slänter med låg stabilitet. Här förekommer många slänter med säkerhetsfaktorer lägre än 1,3. Generellt är det den odränerade analysen som är dimensionerande.

Stabiliteten i de studerade sektionerna beskrivs översiktligt i detta avsnitt. Beskrivningen indelas i de olika geografiska delområdena längs älven, vilka framgår av Figur 2.1, Kapitel 2 Utredningens genomförande. Detaljerade beskrivningar av antagna förhållanden och resultaten från stabilitetsberäkningarna för dagens klimat finns redovisade i Tekniskt PM (SGI 2014c). I Tabell 8.4 nedan redovisas beräkningsresultaten per sektion.

Stabilitetsförhållandena bedöms utifrån utredningens detaljeringsnivå och framräknad säkerhetsfaktor för respektive sektion (som är vald som representativ för ett geologiskt område). Nivån för denna utredning är översiktlig när man ser över hela utredningsområdet längs Norsälven, även om den bedöms som detaljerad för respektive sektion. Vid den översiktliga områdesbedömningen avseende stabilitetsförhållanden innebär låg stabilitet att säkerhetsfaktorn ligger under 1,3 i odränerad analys, vid bedömningen otillfredsställande stabilitet ligger säkerhetsfaktorn under 2 och vid bedömningen tillfredsställande stabilitet ligger säkerhetsfaktorn över 2 i odränerad analys, se Tabell 8.3 och översiktlig utredning.

Tabell 8.3 Val av erforderlig säkerhetsfaktor, från IEG Rapport 4:2010.

		Markanvändning			
		Nyexploatering		Befintlig bebyggelse och anläggning	Annan mark
		Nybyggnation	Planläggning		
Tillståndsbedömning	Översiktlig utredning	Ej tillämplbart för denna rapport	Minst detaljerad utredning ska utföras	$F_c > 2 + F_{c\phi} > 1,5$	$F_c > 2 + F_{c\phi} > 1,5$
	Detaljerad utredning		$F_c \geq 1,7-1,5 + F_{komb} \geq 1,5-1,4$ $F_\phi \geq 1,3$ (sand)	$F_c \geq 1,7-1,5 + F_{komb} \geq 1,5-1,3$ $F_\phi \geq 1,3$ (sand)	$F_c \geq 1,6-1,4 + F_{komb} \geq 1,4-1,3$ $F_\phi \geq 1,3$ (sand)
	Fördjupad utredning		$F_c \geq 1,5-1,4 + F_{komb} \geq 1,4-1,3$ $F_\phi \geq 1,3$ (sand)	$F_c \geq 1,4-1,3 + F_{komb} \geq 1,3-1,2$ $F_\phi \geq 1,3$ (sand) Under förutsättning att restriktioner införs	$F_c \geq 1,3-1,2 + F_{komb} \geq 1,2$ $F_\phi \geq 1,2$ (sand)
Projektering		Dimensionering utförs enligt TD "Slänter och bankar" alternativt TK Geo	Beroende på utredningsnivå, F_c och F_{komb} enligt tabellvärde ovan	Stabilitetsförbättrande åtgärd enligt kap 4.5.2.4 alternativt TD "Slänter och bankar" / TK Geo	

Delområde Syd

I delområde Syd är säkerheten mot skred låg för i stort sett hela sträckan. Beräknade säkerhetsfaktorer för odränerad analys ligger i allmänhet mellan 0,85-1,3 för att öka till cirka 1,4 längst i norr. Säkerhetsfaktorer under 1,0 beror förmodligen på osäkerheter i bestämning av hållfasthet och geometri, men mycket över 1 ligger den förmodligen inte. I sektion 10/889 N består jordlagren av friktionsjord och endast dränerad analys har utförts. Det är endast i enstaka sektioner som den kombinerade analysen är dimensionerande, t ex i sektion 9/746, med en säkerhetsfaktor på 1,4 i odränerad analys och 1,2 i kombinerad analys. För kortare partier har åtgärder utförts som i många fall innebär att området har en högre säkerhet mot stabilitetsbrott. Inga sektioner har dock beräknats för dessa områden utan tidigare utförda utredningar används som underlag.

Delområde Mitt

I delområde Mitt är stabiliteten låg till otillfredsställande med undantag för ett par områden med tillfredsställande stabilitet. Säkerheten är helt avhängig de geometriska förhållandena i respektive sektion/område,

det vill säga hur branta och höga slänterna mot älven är. Det är egentligen bara en sektion som sticker ut, 17/800, där säkerhetsfaktorn är en bit över 2,0 både för odränerad och kombinerad analys, i övriga sektioner ligger säkerhetsfaktorn mellan 0,9 och 1,95. Mellan cirka 12/600 – cirka 17/000 är stabiliteten låg till otillfredsställande, med säkerhetsfaktorer mellan 0,9 och 1,5. Norr om cirka 17/000 finns ett parti med omväxlande otillfredsställande till tillfredsställande stabilitet och säkerhetsfaktorer mellan 1,35 och 2,9 och därefter, vid cirka 20/000, sjunker säkerheten till låg stabilitet, mellan 0,9 och 1,2.

Delområde Norr

I delområde Norr är stabiliteten låg till otillfredsställande i den västra delen av delområdet runt sektionerna 24/468 N och 25/600 W, men tillfredsställande i de östra delarna från 25/700 och till utredningsområdets slut. Det område som har de låga säkerheter bedöms utgöra ytterkurvan av Norsälven i anslutning till sektionen 24/468, norra sidan, mellan km 24/200 och 24/600, respektive området vid sektion 25/600 W, sydväst om Norsälven. För övriga delar i norr har säkerhetsfaktorer beräknats till mellan 2,4–4,7 med odränerad analys.

8.4 Stabilitetsförhållanden i ett framtida klimat

Stabilitetsberäkningar har utförts för förhållanden som kan antas gälla år 2100 med de effekter som klimatiförändringen bedöms kunna resultera i. Det bör observeras att de beräknade förändringarna av säkerhetsfaktorn är mycket osäkra och lokalt kan såväl större som mindre förändringar bli aktuella. Förändringen i säkerhetsfaktor beror, förutom på erosionens storlek och läge, framförallt på släntens höjd, lutning och form. Stor betydelse har också den framtida markanvändningen med eventuella laster och markarbeten. Portrycks- och grundvattenförhållandena har mindre betydelse för stabilitetsförhållandena.

Det bör påpekas att i områden där säkerheten mot stabilitetsbrott är låg för dagens förhållanden, kan även små förändringar orsakade av exempelvis erosion, utlösa skred.

Detaljerade beskrivningar av antagna förhållanden och resultaten från stabilitetsberäkningarna för dagens klimat finns redovisade i Tekniskt PM (SGI 2014c). I Tabell 8.4 nedan redovisas även beräkningsresultaten per sektion.

Område Syd:

Inom område Syd, där erosionen förväntas bli mellan 2–3 m, visar beräkningarna att förändringarna i säkerhetsfaktor i regel är relativt stora avseende framförallt kombinerad analys med kombinationen erosion och höjda grundvatten och portrycksnivåer. Säkerhetsfaktorn för kombinerad analys minskar här med mellan 11–35 % (5 % i en sektion) jämfört med dagens förhållanden. För odränerad analys där endast erosionens påverkan är analyserad sjunker säkerhetsfaktorn mellan 3–12 %.

Område Mitt

Inom område Mitt, där erosionen förväntas bli mellan 0,5–1 m, visar beräkningar att förändringarna i säkerhetsfaktor i regel är små avseende både odränerad analys och kombinerad analys med kombinationen erosion och höjda grundvatten- och portrycksnivåer. Säkerhetsfaktorn för kombinerad analys minskar här med cirka 2 % jämfört med dagens förhållanden. För odränerad analys där endast erosionens påverkan är analyserad blir säkerhetsfaktorn oförändrad.

Område Norr

Inom område Norr, där erosionen förväntas bli mellan 0,3–0,5 m, visar beräkningar att förändringarna i säkerhetsfaktor i regel är små avseende både odränerad analys och kombinerad analys med kombinationen erosion och höjda grundvatten- och portrycksnivåer. Säkerhetsfaktorn för både kombinerad och odränerad analys minskar här med cirka 1 % jämfört med dagens förhållanden. För området mellan 24/200-

24/600 är dock påverkan stor med bedömd erosion mellan 3-4 m vilket skulle innebära att säkerhetsfaktorn hamnar under ett (teoretisk brottgräns för slänten = skred).

Tabell 8.4 Sammanställning av resultat från stabilitetsberäkningar – Dagens klimat (30 sektioner)och framtida klimat (7 sektioner).

Del av Norsälven	Sektion nr	Dagens klimat		Framtida klimat		Procentuell förändring
		Fc	Fk	Fc ³	Fk ⁴	Fc ; Fk
Syd	1 – Km 0/879 E	1,30	1,24	- / 1,15 / -	1,07 / 0,75 / 0,75	-0,12 ; -0,35
	2 – Km 1/083 W	1,64	1,63			
	3 – Km 3/355 E	0,96	0,96			
	4 – Km 3/960 N	1,30	1,29	- / 1,25 / -	1,26 / 1,23 / 1,16	-0,04 ; -0,11
	5 – Km 4/545 N	0,85	0,85			
	6 – Km 5/165 E	1,04	1,04			
	7 – Km 6/203 W	0,92	0,90			
	8 – Km 7/101 E	0,90	0,89	- / 0,85 / -	0,88 / 0,68 / 0,68	-0,05 ; -0,24
	9 – Km 8/639 N	1,03	1,02	- / 1,0 / -	1,01 / 0,97 / 0,97	-0,03 ; -0,05
	10 – Km 9/746 N	1,41	1,21			
	11 – Km 10/889 N	-	1,46 ⁵			
Mitt	12 – Km 12/200 W	1,76	1,49			
	13 – Km 12/768 E	1,49	1,33	- / 1,49 / -	- / 1,31 / -	-0 ; -0,02
	14 – Km 13/771 W	1,03	0,94			
	15 – Km 13/863 E	1,73	1,46			
	16 – Km 14/899 E	0,95	0,91			
	17 – Km 15/615 W	1,14	1,04			
	18 – Km 16/729 E	-	- ⁶			
	19 – Km 17/336 W	1,73	1,55	- / 1,73 / -	1,52 / 1,54 / 1,52	-0 ; -0,02
	20 – Km 17/800 E	2,98	2,48			
	21 – Km 19/379 E	1,35	1,09			
	22 – Km 19/379 W	1,95	1,72			
	23 – Km 20/177 E	0,95	0,91			
	24 – Km 21/449 W	1,29	1,28			
	25 – Km 22/211 W	1,15	1,11			
Norr	26 – Km 24/468 N	1,11	1,04			
	27 – Km 25/600 W	1,58	1,37			
	28 – Km 26/081 S	2,45	2,39	- / 2,43 / -	2,4 / 2,37 / 2,38	-0,01 ; -0,01
	29 – Km 27/389 N	3,64	3,55			
	30 – Km 27/749 E	4,75	5,45			

³ Säkerhetsfaktor anges med avseende på höjd grundvatten- och porttrycks-nivå/säkerhetsfaktor avseende erosion/kombination av höjd grundvatten- porttrycksnivå och erosion. I fallet odränerad analys har dock inte porttrycket ändrats. Samma system för redovisning av resultaten har ändå använts som för kombinerad analys.

⁴ Säkerhetsfaktor avseende höjd grundvatten- och porttrycksnivå/säkerhetsfaktor avseende erosion/kombination av höjd grundvatten- och porttrycksnivå och erosion

⁵ Dränerad analys i friktionsjord

⁶ Fastmark – små jorddjup, ingen beräkning utförd

9. Sannolikhetsanalys

För att erhålla en så god beskrivning av verkligheten som möjligt har den traditionella beräkningen av säkerhetsfaktorer kompletterats med en bedömning av sannolikheten för skred, där hänsyn tas till den osäkerhet som finns i de ingående parametrarna i stabilitetsberäkningarna. Stabiliteten analyseras med hjälp av dessa parametrar vilka ges en variation som beskriver deras osäkerhet. Variationen bestäms i varje enskilt fall med hjälp av erfarenhet från liknande områden samt med statistik från undersökningar och mätningar. Några parametrar ändras med tiden och till följd av klimatets förändring, vilket innebär att beräkningar måste göras både för en nutida och för en framtida situation. Efter utförda sannolikhetsberäkningar i respektive sektion kan man utläsa vilken sannolikhetsklass som sektionen tillhör och därmed även området den representerar.

9.1 Metodik - sannolikhetsberäkning

Vald metodik vid beräkning av sannolikhet för stabilitetsbrott i Norsälven har utgått från det arbete som genomfördes i Göta älvutredningen. Utgångspunkten har varit att genomföra arbetet på ett liknande sätt, men att förenkla arbetsgången där det varit möjligt och att anpassa till rådande specifika förhållanden i Norsälven när detta har varit nödvändigt.

I Göta älvutredningen nyttjades en statistisk metod kallad FORM (First Order Reliability Method) i kombination med Janbus direktmetod och en idealiserad modell för slänten (för beskrivning av metodik för Göta älv se Berggren et al. 2011). Denna metod fungerar väl vid odränerade analyser, men om ett dränerat brott kan förväntas utgöra en betydande del av glidyten blir beräkningarna både omfattande och komplicerade. De geologiska förhållandena vid Norsälven, med ett större inslag av silt och friktionsjordar, förväntades innebära att den kombinerande analysen i större utsträckning skulle bli dimensionerande än vad som var fallet vid Göta älvutredningen. Därför undersöktes möjligheterna att använda punktskattningsmetoden, PEM, med indata från resultat av traditionella stabilitetsanalyser utförda i Slope. För beskrivning av punktskattningsmetoden se exempelvis Sällfors (1990).

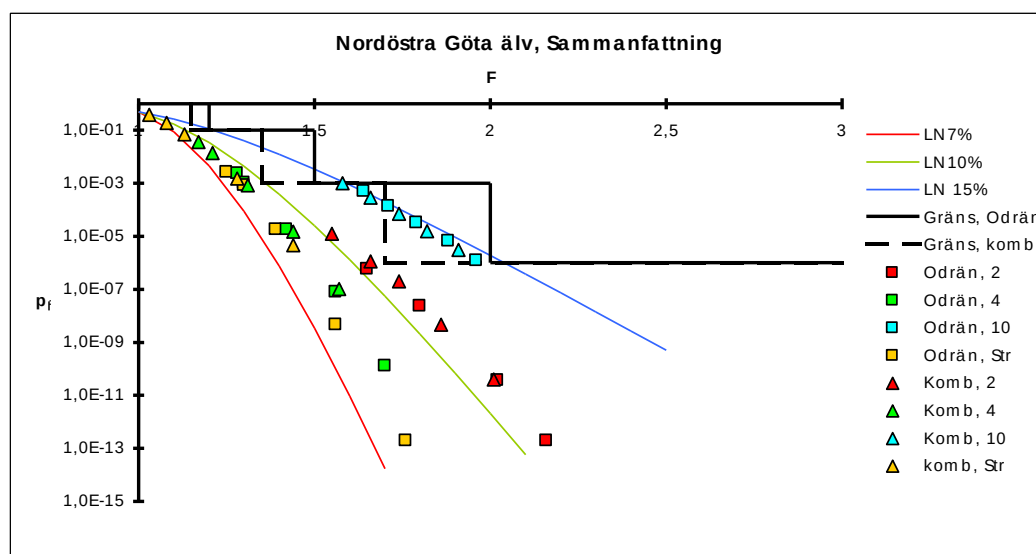
Den föreslagna metodiken baserad på punktskattningsmetoden, PEM, bygger på indata från stabilitetsberäkningar utförda i Slope. Inledningsvis har en del ingående variablerna studerats. Teoretiskt sett skulle osäkerheter kunna anges för variabler som rör geometri, hållfasthet, inre och yttre last samt vattentryck. Med punktskattningsmetoden utförs beräkningar där indata för de stokastiska variablerna varierar en i taget. För att antalet beräkningar ska bli överkomligt gäller det att avgöra vilka parametrar som är av betydelse för brottsannolikheten, så att man studerar rätt osäkerheter.

I Göta älvutredningen gjordes en sådan studie av parametrarnas betydelse för brottsannolikheten, Falemo (2012). För Norsälven användes denna studie som underlag för att komma fram till vilka parametrar som skulle betraktas som probabilistiska och vilka som skulle betraktas som deterministiska för Norsälven. De variabler som har bedömts ha en betydelsefull påverkan på brottsannolikheten i beräkningarna är odränerad skjuvhållfasthet, dränerad skjuvhållfasthet samt tunghet. Dessa parametrar anges med en osäkerhet som uttrycks i form av medelvärde och standardavvikelse (genom en variationskoefficient) med antagandet att parametrarna är normalfördelade.

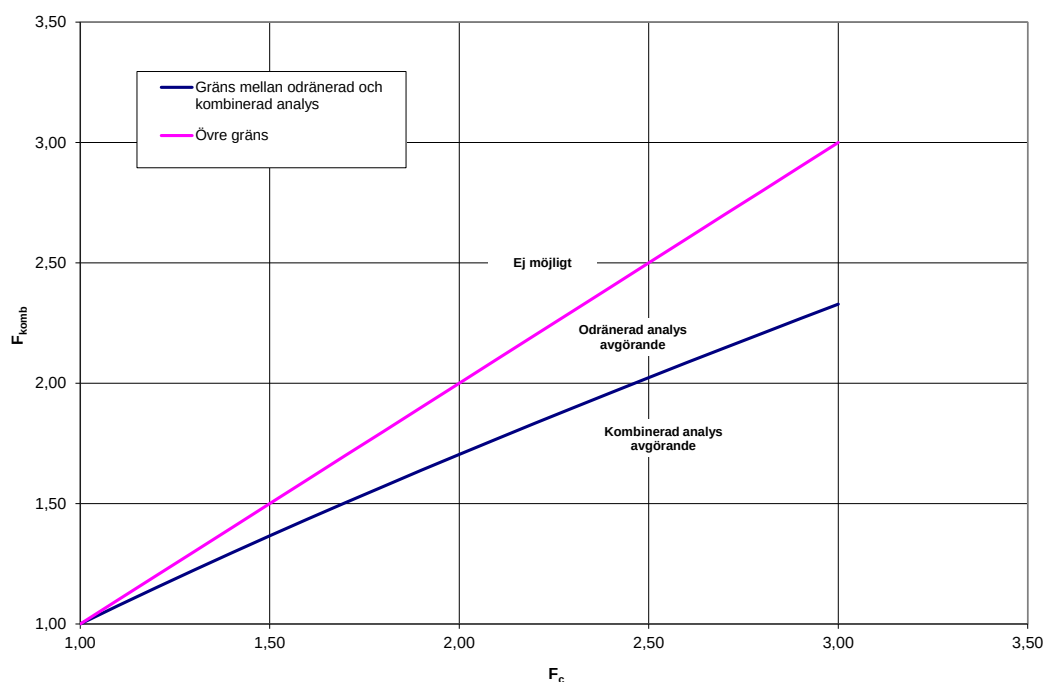
För att få fram representativa värden sammanställs och utvärderas indata från vingförsök, fallkonförsök och CPT-sonderingar, där klart avvikande värden sällas bort. För den odränerade skjuvhållfastheten tillämpas en variansreduktion på 0,6-1 beroende på släntens storlek på samma sätt som i Göta älvutredningen (0,6 för stora glidytor $H > 10$ m och 1,0 för små glidytor $H < 4$ m (Berggren et al. 2011). Detta görs för att ta hänsyn till medelvärdets variation inom en stor volym, utan att ha tillgång till resultatet från fler

undersökningar. Med en stor glidyta är det troligt att variationer hos den studerade egenskapen utjämnas, varvid osäkerheten för det sammanvägda medelvärdet minskar. För den kombinerade analysen har variationskoefficienten för kohasionsinterceptet antagits vara av samma storleksordning som för friktionsvinkeln. Övriga ingående parametrar betraktas således som deterministiska.

Inledningsvis vid stabilitetsberäkning i datorprogrammet Slope används medelvärdet för de ingående parametrarna, för att beräkna en säkerhetsfaktor som motsvarar säkerhetsfaktorns medelvärde. En jämförelse görs mellan den odränerade och den kombinerade analysen för att avgöra vilken av beräkningarna som är dimensionerande. Jämförelsen görs i enlighet med det arbete som redovisas i Alén et al. (2000). Kombinerad analys ger en lägre säkerhetsfaktor än odränerad analys och om skillnaden blir ”stor” mellan dessa analyser anses kombinerad analys vara avgörande, sambandet visas i följande figurer, se Figur 9.1 och Figur 9.2.



Figur 9.1 Sammanställning av resultat från utförlig analys i nordöstra Göta älvdalen. p_i betecknar skredsannolikhet och F säkerhetsfaktor mot brott, bestämd med traditionell analys. LN anger att säkerhetsfaktorn antagits lognormalfördelad. Gräns, Odrän respektive komb anger gränser för sannolikhetsklasser avseende odränerad analys respektive kombinerad analys (Figur 5.8 i SGI Rapport 58, Alén et al. 2000).



Figur 9.2 Alternativt sätt att redovisa Figur 9-1 (Figur 5 i underlag till GÄU Delrapport 28, Hantering av kombinerad analys, Bengtsson 2011).

För den dimensionerande analysen görs sedan beräkningar enligt punktskattningsmetoden för att bestämma medelvärde, variationskoefficienten och brottsannolikheten för säkerhetsfaktorn. Detta innebär att odränerad skjuvhållfasthet, dränerad skjuvhållfasthet (friktionsvinkeln och vid kombinerad analys även kohesionsinterceptet) samt tungheten varierar mellan max och min. Stabilitetsberäkningar med de varierade indata görs i Slope och resultatet blir åtta stycken säkerhetsfaktorer, som sedan används för att ta fram medelvärde, variationskoefficienten och brottsannolikheten för säkerhetsfaktorn. Detta utförs med beräkningar i MS Excel, som tagits fram för att förenkla beräkningarna.

För att avgöra om punktskattningsmetoden är en lämplig metod att använda, genomfördes inledningsvis, en jämförelse mellan metodiken använd i Göta älvutredningen och punktskattningsmetoden på underlag från Göta älvutredningen. Två stycken sektioner från Göta älv beräknades med slope och sannolikheten beräknades med punktskattningsmetoden i MS Excel. Resultaten jämfördes därefter med de resultat som erhöles när sektionerna hanterats strikt enligt Göta älvmetodiken. Eftersom geologin skiljer sig något mellan Norsälven och Göta älv, valdes sektionerna ut så att de i så stor utsträckning som möjligt skulle kunna representera förhållanden i Norsälven. Resultaten från beräkningarna med punktskattningsmetoden befanns likvärdiga de erhållna resultaten utförda med Göta älvmetodiken (FORM), varför bedömningen gjordes att punktskattningsmetoden var en lämplig såväl som praktisk metod att använda för Norsälven.

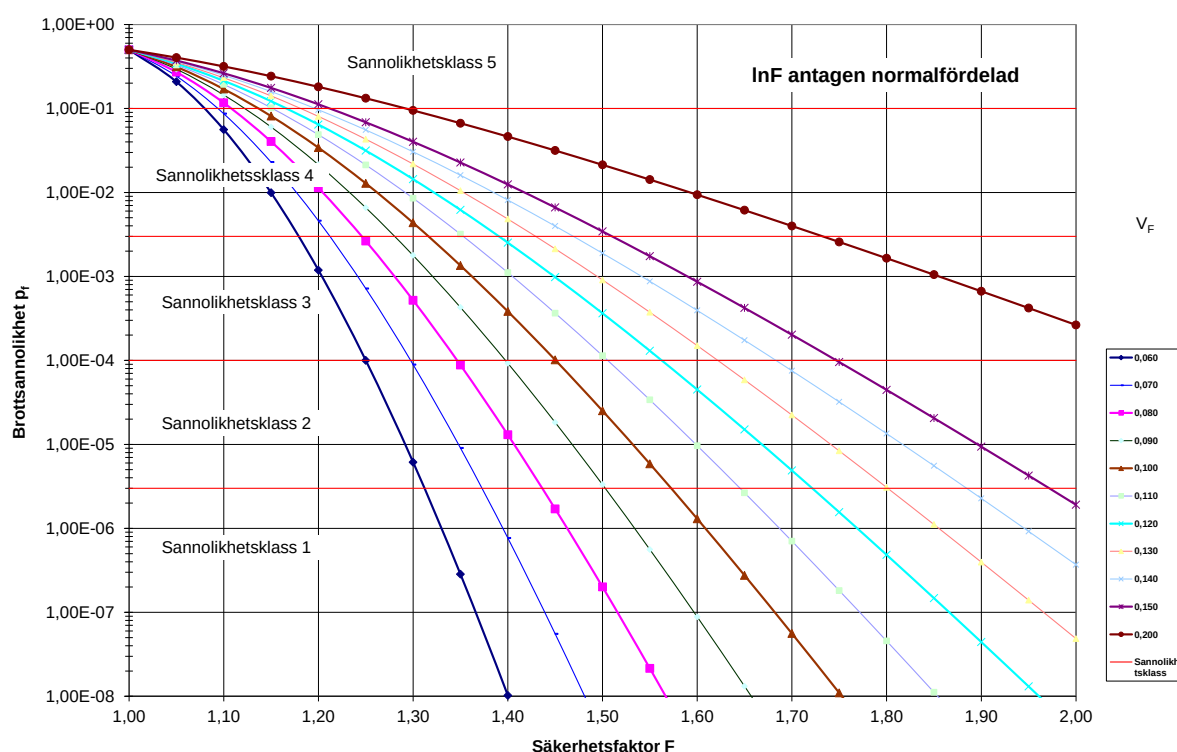
Göta älv dalen är förmodligen Sveriges mest utredda område vad gäller skred och säkerhet. För Norsälven föreligger också en hel del utredningar, men alls inte i samma utsträckning. Här har förutsatts att de gränser mellan sannolikhetsklasser som nyttjats i Göta älv dalen även kan vara tillämpliga i fallet Norsälven. I Norsälven har således liksom i Göta älvutredningen sannolikheten för skred indelats i fem sannolikhetsklasser. Sannolikheten för skred har delats upp i fem klasser, S1-S5, se Tabell 2.1. Gränserna mellan de olika sannolikhetsklasserna har satts utifrån europeiska och svenska byggnormer som allmänt nyttjas för konstruktion av byggnader. Klasserna har valts så att sannolikhetsklass S5 innebär sämre förhållanden än den sämsta klass som kan accepteras för temporära konstruktioner, medan sannolikhetsklass S1 innebär bättre stabilitet än kraven för vanliga byggnader (Berggren et al 2011).

De valda sannolikhetsklasserna och gränserna mellan dessa redovisas i Tabell 9.1 samt i Figur 9.3. Figur 9.3 visar även sambandet mellan brottsannolikheten p_f och säkerhetsfaktorn F med varierande variationskoefficient V_F . Detta samband gäller under förutsättning att naturliga logaritmen för säkerhetsfaktorn är normalfördelad, vilket är ett antagande som har gjorts vid beräkningarna. Gränserna mellan de olika klasserna har valts med hänsyn till:

- sannolikhet för brott avseende olika säkerhetsklasser enligt europanormer
- gränser i tidigare svenska normer
- tidigare använda gränser i utredningar i Göta älvdalen.

Tabell 9.1 Beskrivning av indelningen av de olika sannolikhetsklasserna.

Sannolikhetsklass	Sannolikhet för skred	Relativ brottsannolikhet
Sannolikhetsklass 1, S1	Försumbar	$P_f < 3 \cdot 10^{-6}$
Sannolikhetsklass 2, S2	Låg	$3 \cdot 10^{-6} < P_f < 10^{-4}$
Sannolikhetsklass 3, S3	Viss	$10^{-4} < P_f < 3 \cdot 10^{-3}$
Sannolikhetsklass 4, S4	Tydlig	$3 \cdot 10^{-3} < P_f < 10^{-1}$
Sannolikhetsklass 5, S5	Påtaglig	$P_f > 10^{-1}$



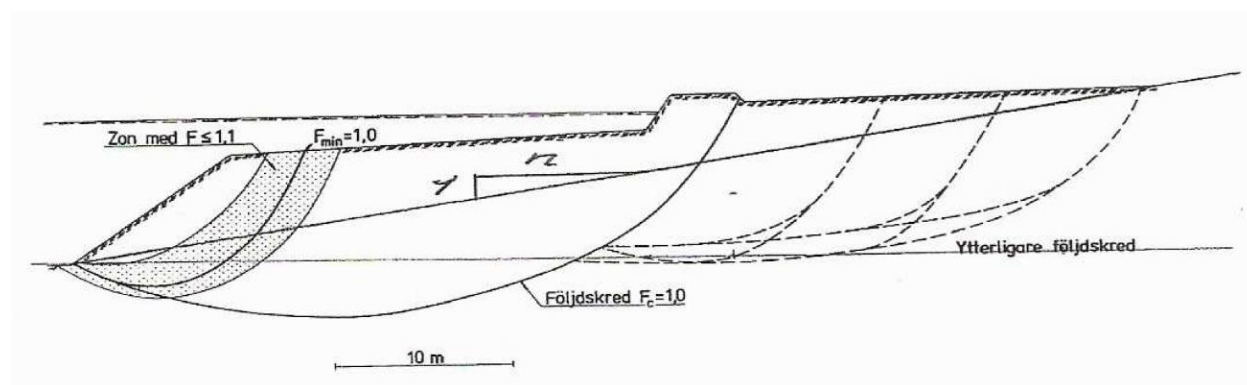
Figur 9.3 Figuren visar kopplingen mellan säkerhetsfaktorn och brottsannolikheten med hänsyn till variationskoefficienten på säkerhetsfaktorn (Efter Figur 3.1 i Delrapport 28, Berggren et al. 2011).

Vissa variabler förändras eller varierar med tiden på ett sätt som kan förmodas ha inverkan på skredsannolikheten. Detta gäller framför allt variabler, som beskriver geometri, laster och grundvatten- och portrycksförhållanden. Generellt har detta tidsberoende åsidosatts i utförda beräkningar. Emellertid har för ett urval av beräkningssektionerna även utförts en analys av hur sannolikheten för skred förändras vid inverkan av erosion och förändrat portryck med ett tidsperspektiv och en omfattning enligt Kapitel 6 Yt- och grundvatten, Kapitel 7 Erosion samt styrdokument (SGI 2014b).

9.2 Metodik - skredutbredning

Inom Göta älvtredningen beräknades skredutbredning för bakåtgripande skred med en metod speciellt utvecklad med avseende på Göta älvdalen av Larsson et al. (2008). Metoden modifierades något för Göta älvtredningen med två fall; lutning 1:10 respektive 1:15 (SGI 2012). Eftersom jordlagerförhållandena för Norsälven skiljer sig ifrån de i Göta älvdalen behövde metodiken verifieras avseende dessa förhållanden. För verifieringen genomfördes en studie av vilka faktorer som påverkar skredutbredningen längs Norsälven (Järvin 2014). De faktorer som studerades var slänthöjd, jordart och sensitivitet. En jämförelse gjordes mellan dessa faktorer och utbredningen av inträffade skred. Störst skredutbredning konstaterades inom ett område med hög slänthöjd och stor andel siltigt material. Baserat på utbredningen av inträffade skred och resultatet av studien delades älven in i olika avsnitt med trolig skredutbredning. Denna utbredning jämfördes sedan med gränsen för skredutbredning enligt metodiken i Göta älvtredningen. Eftersom de enligt ovan markerade skredutbredningarna stämde väl överens bedömdes metodiken från Göta älvtredningen kunna tillämpas även för Norsälven. Denna metodik beskrivs här kortfattat.

Metoden bygger på analyser av inträffade bakåtgripande skred varvid utbredningen av skredet från släntfot till skredets bakkant har kunnat kopplas till sensitiviteten i jorden. Beräkningar utgår från stabilitetsbestämningen närmast släntrönn. Den fortsatta utbredningen bakåt bestäms med hjälp av en linje från släntfot med lutningen 1:n, se Figur 9.4. Faktorn n är en funktion av sensitiviteten hos leran inom den jordvolum som berörs av initialskredet. För initiala glidytor vid eller under strandlinjen beräknas en vidare utsträckning bakåt med hjälp av faktorn n gånger slänthöjden. Den sannolikhetsklass som gäller för initialskredet antas gälla också för det område som bedöms kunna omfattas av efterföljande sekundärskred.



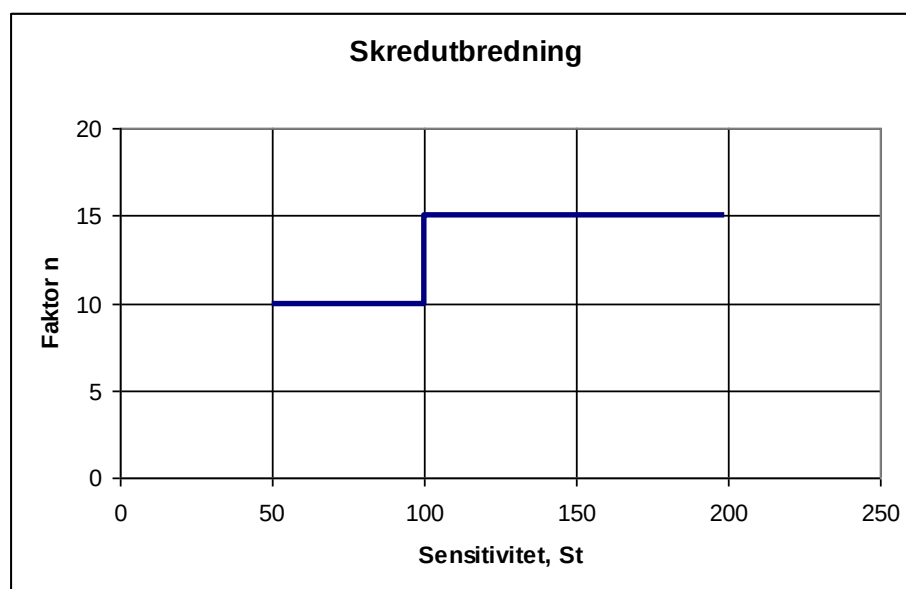
Figur 9.4 Bedömning av utbredning av sekundära skred i sensitiv lera (Figur från Kapitel 9, SGI 2012).

Vid den ursprungliga metodiken för skredutbredning, enligt Larsson (2008) ökade n -värdet succesivt med ökad sensitivitet. Vid den praktiska tillämpningen av metodiken i Göta älvtredningen var en förenkling nödvändig. Förenklingen och den praktiska användningen innebar att för leror med uppmätt sensitivitet mellan 50 och 99 antas $n = 10$ och för leror med sensitivitet mellan 100 och 199 en lutning $n = 15$, se Figur 9.4. För kvicklera med extremt höga sensitiviteter, större än 200, antogs att ett initialskred som når denna lera kommer att sprida sig inom hela området med extrem kvicklera, vilket kan innebära ända fram till omgivande fastmark. I Norsälven användes samma gräns för sensitiviteter mellan 50 och 99, lutning

1:10, men för samtliga sensitiviteter större än 100, en lutning på 1:15, baserat på av utbredningen av in-
venterade tidigare skred, vilka inte nått längre än 1:15 (Järvin 2014).

9.2.1 Specialregler använda inom utredningen

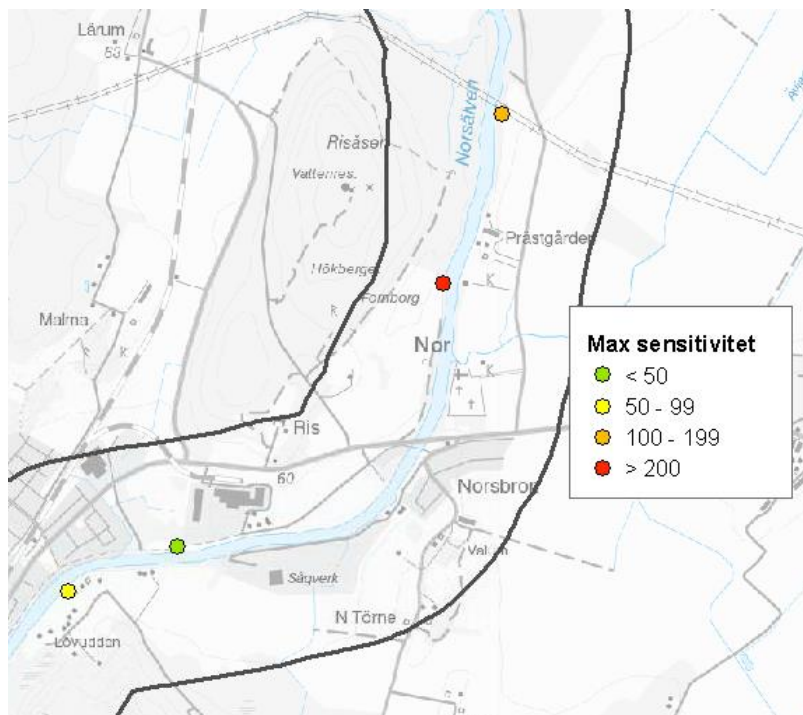
1. Skredutbredningen bestäms för den initiala glidyta med lägst säkerhetsfaktor som berör en jordvolym med en sensitivitet lika eller högre än 50.
2. I sektioner, där säkerhetsfaktorn enligt odränerad analys är mindre än eller lika med 1,3, alternativt enligt kombinerad analys 1,2, bestäms utbredningen för den initiala glidyta som har en säkerhetsfaktor enligt odränerad analys av 1,3 (respektive 1,2) om denna berör en jordvolym med en sensitivitet lika eller högre än 50.
3. I det fall där någon glidyta skär igenom ett jordlager med en sensitivitet över 50 eller möjlig förekomst av kvicklera, flyttas dess sannolikhetsklass bakåt i sektionen (i riktning från slänkrön) motsvarande en lutning 1:10 respektive 1:15 från älvbotten. Detta gäller för alla glidytor oavsett sannolikhetsklass.



Figur 9.5 Diagram över i utredningen använt samband mellan sensitivitet och faktorn n.

Som underlag för bedömning av skredutbredning markerades borrhälspunkter, som enligt kolvprovtagning har en sensitivitet över 50 på någon nivå, i GIS-karta. Borrhälspunkterna markeras med olika färger beroende på sensitivitetens värde i överensstämmelse med intervaller enligt Figur 9.5 respektive Figur 9.6. Sondringpunkter där CPT-sondering eller totaltrycksondering påvisar möjlig förekomst av kvicklera markerades manuellt. Möjlig förekomst av kvicklera från sonderingarna utvärderas med hjälp av ett av SGI framtaget program för detta ändamål (Löfroth 2011).

Om det i området förekommer sonderingar som visar lera med en sensitivitet lägre än 50 på ett avstånd mindre än utbredningen för 1:10 alternativt 1:15, flyttas sannolikhetsklassen endast till läget för denna sondering.



Figur 9.6 Exempel på redovisning av undersökningspunkter lera med olika värden på maximalt uppmätt sensitivitet. (© SGI, Lantmäteriet, Geodatasamverkan)

9.3 Indelning och beräkningsförutsättningar

För Norsälven undersöktes 30 nya sektioner på en sträcka av cirka 30 km. Om det stora underlaget i Göta älv i sig utgjorde en utmaning att hantera, så innebar det avsevärt mindre underlaget i Norsälven en helt annan utmaning. Den mindre mängden material gav visserligen en enklare hantering, men det gjorde även att bedömningarna ibland blev svåra att göra och osäkerheten större när en beräkning ska representera en längre sträcka. Det bestämdes att samtliga undersökta sektioner skulle analyseras med avseende på sannolikhet för skred, eftersom antalet sektioner relativt sett var få. Sektionerna hade valts ut för att representera sträckor från 0,5 till nära 3 km, som bedömdes ha likartad geologisk/geoteknisk typmiljö. En övergripande grov indelning i områdena Norr, Mitt och Syd hade också gjorts. Stabilitetsberäkningarna utförda av anlitad konsult (se Kapitel 8 Stabilitetsberäkningar) har beräknats på nytt med hänsyn till den utvärdering som utförts av de stokastiska variablerna, med en större områdesindelning.

Eftersom det fanns så få undersökningar att tillgå var det avgörande att kunna sammanställa resultat både från laboratorieundersökningar, vingsonderingar och från CPT-sondering. Detta gjorde att man inte kunde nyttja utvärderingsmodulen i AutoGRAF, eftersom den inte hanterar utvärderad CPT-sondering. Det innebar även en begränsning av hur många borrhål som kunde utvärderas samtidigt, vilken sattes av Excels förmåga att hantera ett stort antal indata innan programmet blir för instabilt. Vid utvärderingen av osäkerheter hos de ingående variablerna odränerad skjuvhållfasthet, friktionsvinkel och tunghet prövades att lägga samman resultat från närliggande sektioner. För tungheten exempelvis utkristalliserade sig tre områden, som i stort sammanföll med det inledningsvis identifierade Norr, Mitt och Syd, där Mitt skiljde ut sig från Norr och Syd med sitt något tyngre friktionsmaterial. Variationskoefficienten för tungheten utvärderades till $V_f = 3\%$. Antalet undersökningar för friktionsvinkeln för siltjord och friktionsmaterial var få och huvudsakligen gjorda på större djup. Vid beräkning där dessa jordar förekommer mer ytligt har därför ett värde på $\phi' = 31^\circ$ och $V_f = 6\%$ ansatts över hela sträckan. Utvärderad friktionsvinkel för jordar på större djup har också bedömts kunna representera hela sträckan, eftersom de erhållna värdena var väl sammanhållna och gav en variationskoefficient $V_f = 6\%$. Den odränerade skjuvhållfastheten var den pa-

parameter som varierade mest och därför uppvisade störst variationskoefficient. Vid ett värde på $V_f > 20\text{--}25\%$ gjordes emellertid bedömningen att variationen var för stor och att en omvärdering behövde göras av om de olika borrhålen kunde anses tillhöra samma typmiljö eller inte. Det slutliga resultatet av utvärderingen gav åtta stycken områden, som representerade olika skjuvhållfastheter och med variationskoefficienter mellan $V_f > 6\text{--}25\%$.

9.4 Analys

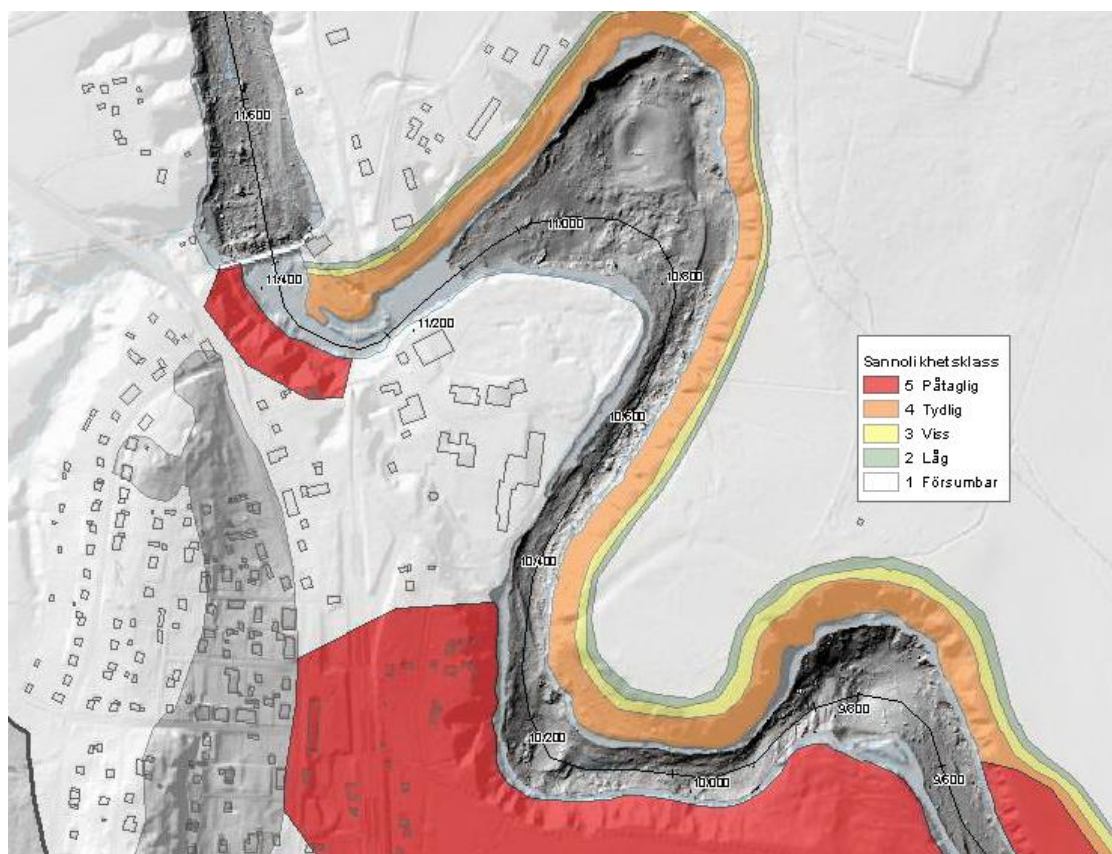
9.4.1 Dagens klimat

Var och en av de 30 sektionerna beräknades med punktskattningsmetoden och indata från utvärderingen. Det krävdes åtta stycken stabilitetsberäkningar i Slope per sektion där de stokastiska variablerna, tunghet, odränerad skjuvhållfasthet och dränerad skjuvhållfasthet varierades från max till min med en parameter åt gången. För de beräknade säkerhetsfaktorerna togs sedan ett medelvärde fram med tillhörande variationskoefficient och brottsannolikhet. Oavsett beräkningsresultat sattes ett lägsta värde på 6 % som gräns för variationskoefficienten för säkerhetsfaktorn, eftersom ett lägre värde än detta inte bedömdes vara rimligt.

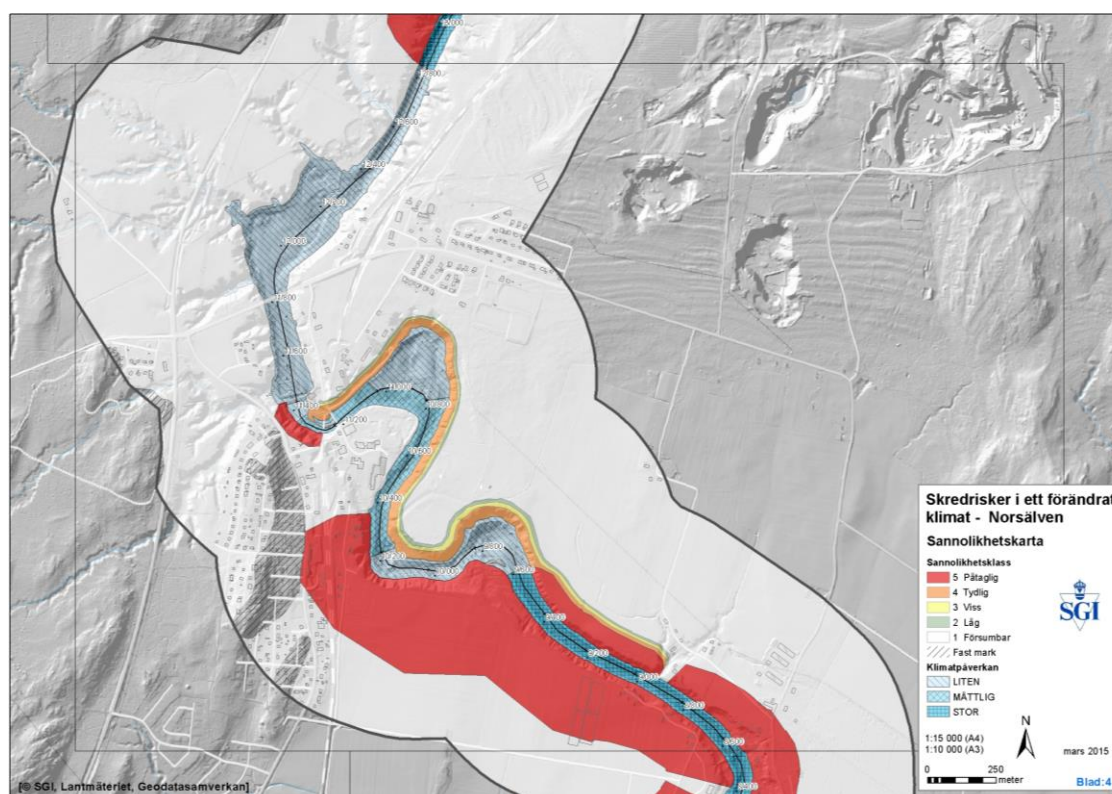
Vid överföring av beräknad skredsannolikhet till plankarta antogs respektive sektion representera ett visst område beroende på geologisk/geoteknisk karaktär. Gränserna mellan de olika sannolikhetsklasserna och beräknad variationskoefficient för säkerhetsfaktorn (V_F) användes för att identifiera de säkerhetsfaktorer som utgör gränsen mellan de olika klasserna. Säkerhetsfaktorer upp till $F = 3$ har tagits fram i Slope för beräknade sektioner och lagts in i sannolikhetskartan. Med utgångspunkt i detta har sedan gränserna för sannolikhetsklasserna kunnat ritas ut i plankartan från strandlinjen och in mot land. Beräknade sektioner har antagits representera ett större område. Stabilitetsberäkningen i respektive sektionen har jämförts med eventuella tidigare utförda beräkningar/utredningar i detta område för att avgöra om beräkningen har kunnat anses representativ för området eller om en omvärdering måste utföras. I vissa områden har kompletterande beräkningar utförts där de geometriska förutsättningarna skiljt sig alltför mycket från aktuell sektion, jordmodellen har dock antagits vara densamma som i typsektionen.

Vid uppritning har även hänsyn tagits till utförda förstärkningsåtgärder och befintliga konstruktioner i den mån dessa varit kända och kunnat verifieras. Om utförande av förstärkningsåtgärd kunnat verifieras har området där åtgärden är utförd erhållit den sannolikhetsklass som kunnat bedömas från beräkningar utförda i samband med föreslagen åtgärd. Om beräkning av föreslagen åtgärd inte funnits tillgänglig, men åtgärd har utförts har verifieringsberäkning utförts i läget för åtgärden. Området har då fått en sannolikhetsklass baserat på denna beräkning. Detta innebär att områden med utförda åtgärder erhållit sannolikhetsklass efter vilken nivå på säkerhetsfaktorn som uppnåtts. Detta har kunnat göras eftersom utförda förstärkningsåtgärder i samtliga fall omfattat en förändring av släntens geometri. Vid annan typ av förstärkning till exempel med kalk-cementpelare är det näst intill omöjligt att avgöra vilken effekt den utförda förstärkningsåtgärden har haft på skredsäkerheten.

Sannolikhetsklasserna illustreras på plankarta med olika färger, se exempel i Figurerna 9.7–9.8.



Figur 9.7 Kartutsnitt med exempel på bedömning av skredsannolikheten. (© SGI, Lantmäteriet, Geodatasamverkan)



Figur 9.8 Sannolikhetskarta avseende skred över del av Norsälven, blad 4 (© SGI, Lantmäteriet, Geodatasamverkan).

Sannolikhetsklass

	5 Påtaglig
	4 Tydlig
	3 Viss
	2 Låg
	1 Försumbar

Figur 9.9 Legend för hur sannolikhetsklasserna illustreras i färg.

Risk för bakåtgripande skred inverkar också på hur skredutbredningen bedöms och illustreras i plankartan. Som tidigare nämnts följer förfarandet huvudsakligen det som nyttjades i Göta älv (se Kapitel 9.2). Beslutet att göra på liknande sätt baserades på de resultat som framkom i ett kandidatarbete Järvin (2014), som studerade vilka faktorer som påverkade skredutbredningen i Norsälven.

9.4.2 Framtida klimat

Erosionsprocessen i Norsälven och dess inverkan på älvens geometri presenteras i Kapitel 7 Erosion. Områden längs älven som utsätts för erosion i dagens situation beskrivs samt vilka ytterligare sträckor som kommer att påverkas av ett ökat flöde på grund av klimatförändringen. Vid högre flöden till följd av förändrat klimat bedöms den totala erosionen öka till mellan 0,5 och 3,0 m för olika delsträckor.

I Kapitel 8 Stabilitetsberäkningar beskrivs hur säkerhetsfaktorer med hänsyn till påverkan av erosionen samt en ökning av grundvatten- respektive porvattentryck, har beräknats inom representativa delsträckor längs älven och hur dessa beräkningar har använts för att bedöma effekten längs andra delar av älven. För att illustrera inverkan av erosion och en ökning av grundvatten- och porvattentryck har beräkningar utförts i sju representativa sektioner längs älven. Dessa sju sektioner har sedan använts för bedömningen av klimatpåverkan i de övriga 23 sektionerna. Bedömningen har gjorts utifrån likartad geometri, beräknad erosion samt geotekniska förutsättningar.

Förändring av sannolikheten, och därmed i vissa fall förändring av sannolikhetsklass, har beräknats för de sju sektionerna med odränerad analys i sex sektioner och kombinerad analys i en sektion.

Vid beräkning av erosionens inverkan på stabilitetsförhållandena erhålls lägre beräknade säkerhetsfaktorer mot stabilitetsbrott, vilket innebär en direkt påverkan på sannolikheten och sannolikhetsklassen. Resultaten från utförda beräkningar visar att sannolikheten för skred ökar till följd av ett förändrat klimat med bland annat ökade flöden. Förändringarna har dock olika omfattning längs med sträckan, dels på grund av att erosionen sker i olika omfattning i olika områden, dels på grund av att sannolikheten för förändringar i förhållande till dagens flöden varierar mellan de olika områdena.

I Tabell 9.2 redovisas resultaten av hur sannolikhetsklassen i de beräknade fallen ändras från dagens klass till samma eller en högre klass med hänsyn till klimatpåverkan. Det ska dock noteras att för de slänter som redan har påtaglig eller tydlig sannolikhet för skred kan redan en liten förändring av geometrin, orsakad av erosion, innebära att ett skred utlöses.

Resultaten för redovisade sektioner har sedan använts för bedömningen av de olika delsträckornas känslighet för klimatpåverkan.

Tabell 9.2 Resultat av sannolikhetsberäkningar.

Del av Norsälven	Sektion nr	Dagens klimat	Framtida klimat	Förändring av sannolikhetsklass
		Sklass	Sklass	
Syd	1 – Km 0/879 E	3	4	1,5
	4 – Km 3/960 N	2	3	0,5
	8 – Km 7/101 E	5	5	<0,5
	9 – Km 8/639 N	4	5	0,5
Mitt	13 – Km 12/768 E	1	1	<0,5
	19 – Km 17/336 W	1	1	<0,5
Norr	28 – Km 26/081 S	4	4	<0,5

Redovisning av tolkning av klimatpåverkan

Klimatpåverkans effekt på sannolikheten för skred innebär en förväntad förändring inom stora delar av det studerade området. Påverkan har delats upp i tre klasser:

- *liten påverkan*: klimatförändringen innebär ingen generell förändring av sannolikhetsklass.
- *måttlig påverkan*: klimatförändringen innebär att sannolikhetsklassen ökar med ett steg i områden med låg sannolikhet (klass S1-S2) i dagens klimat medan det för övriga områden inte sker någon generell förändring av sannolikhetsklass.
- *stor påverkan*: klimatförändringen innebär att sannolikhetsklassen ökar ett till två steg i områden med låg sannolikhet (klass S1-S2) i dagens klimat medan det för övriga områden innebär en ökning upp till en klass.

För områden med högsta sannolikhetsklass, S5, kan inte sannolikhetsklassen öka men redan liten erosion på grund av klimatförändring kan innebära att skred inträffar.

Med utgångspunkt från ovanstående bedöms område Syd ha en stor känslighet för klimatpåverkan, liksom ett längre parti av område Mitt, medan område Norr i stort sett har en liten känslighet för klimatpåverkan förutom vid den kraftiga älvkröken, vid cirka km 24/000. Klimatpåverkan redovisas på sannolikhetskartorna och på skredriskkartorna i Del 1, Kartredovisning och sammafattning av resultat (SGI 2015a).

10. Konsekvensanalys

Konsekvensen vid ett skred i kombination med sannolikheten för skredet bildar underlag för bedömningen av skredrisken. Syftet med konsekvensbedömningen är att identifiera de konsekvenser som kan uppstå och värdera dessa. Konsekvenserna av skred kan bli omfattande beroende på var skredet sker och dess utbredning. Tidpunkten kan också påverka konsekvensens utfall, då många människor kan vistas på ett ställe under en kortare tid. Det finns många olika objekt i samhället som kan drabbas och storleken på konsekvens beror även av vilket objekt som skadas.

Området längs Norsälven har delats in i fem konsekvensklasser där, utifrån de två datalager som har använts, den lägsta klassen innebär att endast lindriga konsekvenser förväntas vid skred medan den högsta konsekvensen kan bli katastrofal. För att värdera de konsekvenser som ett skred kan ge upphov till har modellen som användes vid Göta älvutredningen vidareutvecklats och förenklats kraftigt. En stor förändring är att en så kallad kvalitativ konsekvensvärdering har använts för Norsälven, istället för en monetär värdering som vid Göta älvutredningen. Den för Norsälven använda metodiken och analysen beskrivs utförligare i Del 3, Konsekvensanalys Norsälven (SGI 2015d).

Inom utredningsområdet finns några mindre samhällen, medan utspridd gles bebyggelse förekommer längs med hela älven. Totalt är cirka 3 300 personer bosatta inom området (Totalbefolkning, SCB 2012). Edsvalla har cirka 800 invånare och Vålberg har cirka 1 900 invånare, båda tillhörande Karlstads kommun. Det finns 49 industrier av olika storlek och två vattenkraftverk, ett i Edsvalla (Karlstads kommun) och ett i Frykfors (Kils kommun). Tre vägar av riksintresse samt tre järnvägar av riksintresse finns vid älven som också korsas på ett antal platser. Ett avloppsreningsverk (Karlstads kommun) ligger inom utredningsområdet. Fyra stycken förorenade områden med MIFO riskklass 1-2 finns utmarkerade. Det finns även åtta skogliga biotopskyddsområden, fem naturvårdsavtal och två områden av riksintresse för kustturism och friluftsliv. Två riksintressen för kultur finns vid älven, ett i norr och ett i söder. Sammanfattningsvis innebär samhällena en samhällsstruktur med flera transportleder, viktiga samhällsfunktioner, brett näringsliv och behov av friluftsliv.

10.1 Inventering av befintligt underlag

Ett stort antal konsekvensområden har inventerats under utredningens gång. Efter hand som metodiken utvecklats har slutligen de datalager som beskriver byggnader (inklusive till exempel vattenkraftverk, skolor och industrier), vägar och järnvägar bedömts omfatta de viktigaste konsekvenserna. Stöd för detta kan även hämtas i SGI Varia 638 (Löfroth et al. 2012), Modifiering av metodiker använda i Göta älvutredningen.

För framtagning av konsekvenskarta och som underlag i värderingen har ett flertal befintliga geografiska datalager och dokument från Lantmäteriet använts (inom ramen för Geodatasamverkan). De datalager som värderats är fastighetskartans byggnadslager samt vägar och järnvägar (transportinfrastruktur). Nedanstående dokument beskriver datalagren:

- Lantmäteriet (2014) *Handbok Ajourhållning Byggnad*. Lantmäteriet, version 10.0, 2014-04-25. Rapporten ger en förklaring av byggnadsändamålen och systemet med att ajourhålla underlaget.
- Lantmäteriet (2011a) *Produktbeskrivning: GSD-Fastighetskartan, vektor*. Lantmäteriet, Geografiska Sverigedata. Dokumentversion 6.4, 2011-09-19. I dokumentet beskrivs hur GSD-Fastighetskarta är strukturerad och bygger på Lantmäteriets grundläggande geografiska databaser.

- Lantmäteriet (2011b) *Detaljtypskatalog-Kommunikation*. Specifikationsberedare ILSS. FSM05:13C02. 2011-04-11. Dokumentet är en specifikation av fastighetskartan och inriktas mot kommunikation. I dokument kan man bland annat hitta olika vägtyper och vägbredd.

Datalagret med byggnader innehåller uppgifter om ändamålssklassning (kallas byggnadsändamål i rapporten). Kommunen ansvarar för uppgifterna i byggnadsregistret. De ajourhåller byggnaderna genom LINASystemet (som förvaltas av Lantmäteriet). Förändringar i byggnadsbeståndet, till exempel vid nybyggnation eller avregistrering av byggnad på grund av rivning etcetera ajourhålls av kommunen så att registret blir uppdaterat (det är osäkert hur ofta uppdateringen sker) (Lantmäteriet 2014).

Inventering av underlag har också genomförts för andra konsekvensområden som dock inte varit möjliga att värdera. Närmare beskrivning ges i Del 3, Konsekvensanalys Norsälven (SGI 2015d).

10.2 Beräkningsförutsättningar

För att kunna ange konsekvensens storlek behövs ett värderingssystem. Värdet kan vara kvantitativt och satt utifrån en monetär kostnad eller så kan det vara en kvalitativ klassning satt utifrån subjektiva värderingar eller med fakta som grund. Det finns svårigheter i att ta fram en total konsekvensbild som bygger på en monetär värdering. Dessa svårigheter är resurskrävande och gör att ett framtagande av ett monetärt värde har ansetts olämpligt när kartan främst ska användas för att kunna göra en översiktlig jämförelse i hela det utredda området och identifiera riskområden. Ett monetärt värde av dålig kvalitet skulle kunna ge en orealistisk bild av risken.

Den metod som har använts för Norsälven grundar sig på subjektiva värderingar som är satta utifrån uppsatta kriterier (som tagits fram inom uppdraget). Den kvalitativa metoden gör det möjligt att beakta och värdera ett flertal konsekvenser som det i annat fall kan vara svårt att sätta ett monetärt värde på. Metoden gör det även möjligt att jämföra olika platser och objekt, på grund av att objekten har värderats utifrån samma kriterier.

Vi har i utredningen valt att utgå från befintliga datalager av nationell karaktär för att underlätta liknande konsekvensklassning på andra ställen i landet. Det gör också att arbetet med framtagning av data blir effektivt då den bygger på andra myndigheters arbete med digitalisering och informationsinsamling.

10.3 Analys och resultat

Värderingen har inkluderat ett flertal konsekvensområden: Liv, Transport: Väg och Järnväg, Byggnader, Miljöfarlig verksamhet, Energi, VA och Näringsliv. Konsekvensområdena blir beaktade i värderingen genom de fyra kriterierna: liv, miljö, ekonomi och samhällsviktigt. Kriterierna representerar samtliga konsekvensområden och ligger till grund för värderingen av de olika datalagren. Det ena datasetet sammanställer byggnader med olika ändamål (till exempel vattenkraftverk, skola, kemisk industri). Det andra datasetet sammanställer vägar och järnvägar av olika storlek. Båda dataseten är producerade av Lantmäteriet. Objekten i dataseten redovisas med geografisk placering på en karta. Samtliga i Tabell 10.1 listande konsekvensområden finns delvis med i något av de två dataseten. Listan med byggnadsändamål är inte heltäckande för alla typer av objekt och verksamheter i samhället. Till exempel har man inte specificerat ändamål för butiker och bensinstationer. Ledningsnät finns inte heller med i dessa två dataset. Vi har ändå valt att begränsa konsekvensvärderingen till att gälla de objekt som finns i Lantmäteriets två utvalda dataset.

Konsekvenserna har delats in i fem konsekvensklasser. Denna indelning knyter an till klassningen från tidigare skredriskutredningar och motsvarar en stegvis ökning av konsekvenserna. I Tabell 10.2 redovisas SGI:s definition av värde 1-5 för byggnadsändamål (byggnader) samt transportsystemen väg och järnväg.

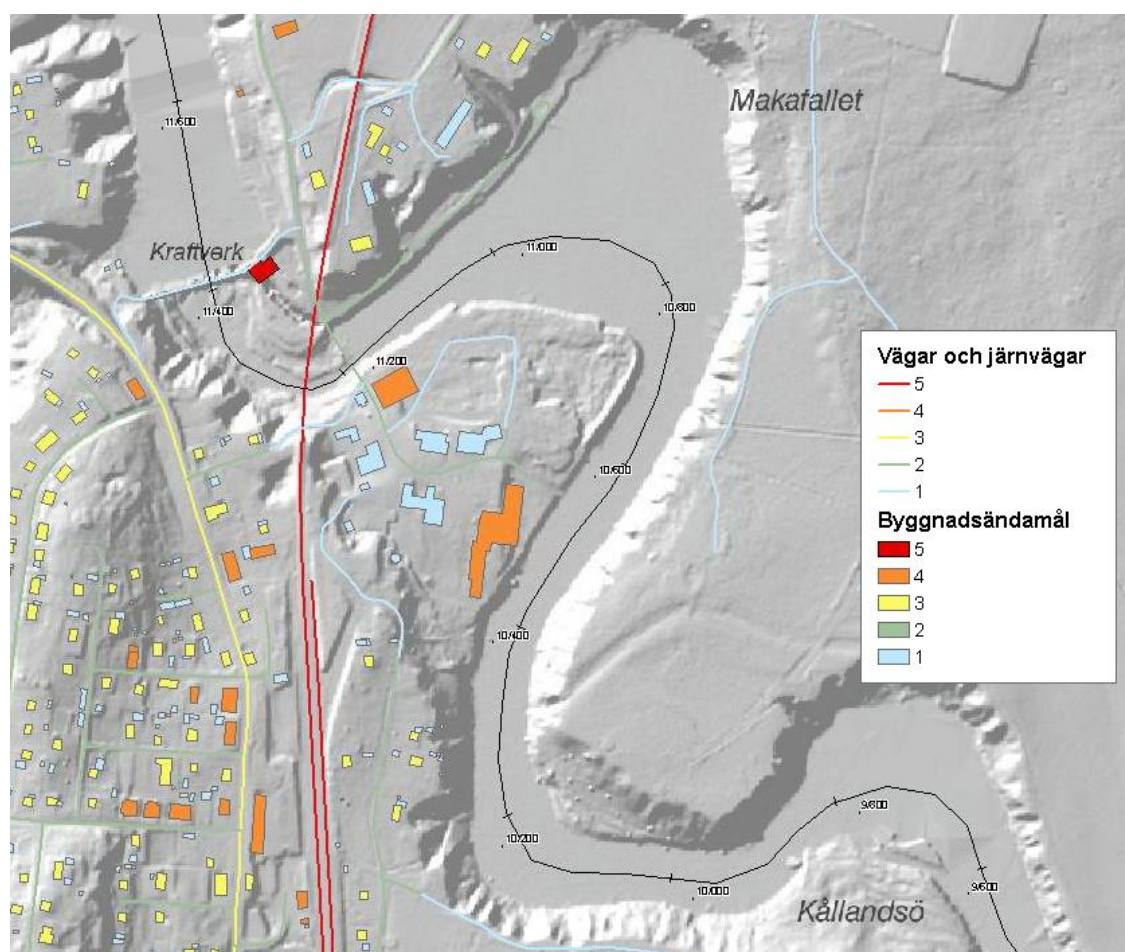
I Figur 10.1 visas ett kartutsnitt med exempel på resultat av värderingen av konsekvensobjekten byggnader, vägar och järnvägar.

Tabell 10.1 Beskrivning av olika konsekvensområden för byggnadslagret respektive lagret för transportinfrastruktur.

GIS-lager	Konsekvensområden	Kriterier			
		Liv	Miljö	Ekonomi	Samhällsviktigt
Byggnadslagret	Liv	x	x	x	x
	Byggnader	x	x	x	x
	Miljöfarlig verksamhet	x	x	x	x
	Energi	x	x	x	x
	VA	x	x	x	x
	Näringsliv	x	x	x	x
Transportinfrastruktur	Järnväg	x	x	x	x
	Vägar	x	x	x	x

Tabell 10.2 SGI:s definition av värde 1-5 för byggnadsändamål (byggnader) samt transportsystemen väg och järnväg.

Värde	Byggnadsändamål	Transportinfrastruktur
5 Katastrofala konsekvenser	Antal skadade eller omkomna människor som motsvarar antal människor i en multiarena (tusental människor, hög densitet), Miljöfarlig verksamhet som innebär katastrofala konsekvenser för miljön, Katastrofalt stora ekonomiska förluster som särskiljer sig från de flesta ekonomiska förluster, Förlust av mycket viktig samhällsfunktion.	Alla järnvägar; Motorväg;
4 Extremt stora konsekvenser	Antal skadade eller omkomna människor som motsvarar antal människor på en större skola, flerbostadshus eller större järnvägsstation, Miljöfarlig verksamhet som innebär extremt stora konsekvenser för miljön, Extremt stora ekonomiska förluster, Förlust av viktig samhällsfunktion.	Allmän väg skilda körbanor; Allmän väg klass I (bredd >7m)
3 Mycket stora konsekvenser	Antal skadade eller omkomna människor som motsvarar antal människor i ett småhus med flera bostäder, Miljöfarlig verksamhet drabbas som innebär stora konsekvenser för miljön, Stora ekonomiska förluster, Förlust av medelviktig samhällsfunktion.	Allmän väg klass II (bredd 5-7m); Genomfartsgata/-led Väg under byggnation
2 Stora konsekvenser	Ett fåtal människor skadas eller omkommer, Ingen miljöfarlig verksamhet drabbas och medelstor miljörisk finns, Medelstora ekonomiska förluster, Förlust av samhällsfunktion med liten samhällsbetydelse.	Allmän väg klass III (bredd <5m); Bilväg/kvartersväg
1 Lindriga konsekvenser	Inga människor skadas eller omkommer, Ingen miljöfarlig verksamhet drabbas och liten miljörisk finns, Små ekonomiska förluster, Förlust av samhällsfunktion med mycket liten samhällsbetydelse.	Övriga vägar (sämre bilväg, traktor väg, gångstig, elljusspår, vandringsled, linbana, färjeled)



Figur 10.1 Kartutsnitt med exempel på värdering av konsekvensobjekten byggnader, vägar och järnvägar. (© SGI, Lantmäteriet, Geodatasamverkan)

10.3.1 Byggnadsändamål

I vart och ett av de byggnadsändamål som finns i byggnadslagret kan flera olika av de i Tabell 10.1 listade konsekvensområdena ingå. Som exempel kan byggnadsändamålet kemisk industri innehålla konsekvenser för liv, byggnad, miljöfarlig verksamhet och näringsliv. Samtliga dessa konsekvensområden vägs in i värderingen av kemisk industri. För att förenkla värderingsmetoden har de åtta ingående konsekvensområdena sammanförts och delats in i fyra huvudsakliga konsekvensvärden som blir kärnan i värderingen.

Dessa konsekvensvärden blir de kriterier som ett numeriskt värde sätts utifrån, per byggnadsändamål. Kriterierna har definierats inom uppdraget för att göra det möjligt för olika personer att så snarligt som möjligt ange ett värde per byggnadsändamål. Utifrån en sammanvägning av kriterier har samtliga byggnadsändamål gets ett värde mellan 1-5. Den högsta konsekvensen är värde 5. Till exempel sjukhus och kemisk industri har fått värde 5.

Värderingen av byggnadsändamål har utförts i en arbetsgrupp med beskrivning av samtliga kriterier som bakgrund. Fem stycken medarbetare värderade enskilt samtliga byggnadsändamål utifrån kriterierna. I de fall värderingen blev olika fattades ett gemensamt beslut genom diskussion i grupp. Beskrivning av värdenivåerna och resultat av värderingen redovisas i Del 3, Konsekvensanalys Norsälven (SGI 2015d). Benämningen på värdenivåerna är satt utifrån GÄU-metodens benämning. Benämningen representerar det högsta värdet inom varje värdenivå, det vill säga i värdenivå 2 kan ett fåtal människor omkomma vilket benämns som en stor konsekvens.

Kriterierna

- **Liv**

I kriteriet liv ingår det antal liv som kan drabbas. Byggnader kan ha många människor samlade i lokalerna under olika stor del av dygnet och ger en direkt effekt på liv om de drabbas. Det görs ingen bedömning gällande antal som omkommer eller skadas, utan bara en värdering utifrån det antal människor som bedöms vara närvarande. Sjukhus har många människor större delen av tiden, vissa industrier under del av dygnet och ishall under några timmar under aktivitetsutövande. Det görs dock ingen skillnad utifrån tiden människor vistas i byggnaden, det vill säga ett stort antal människor när som helst under dygnet ges högt värde. Exceptionellt stort antal människor med över 1000 närvarande ges värde 5, exempel multiarena eller konsertområde. Högt värde med stort antal människor är värde 4, exempel skola, flerfamiljshus, universitet och vårdcentral. Ett mindre antal människor bedöms vistas i småhus, badhus, samfund, ridhus och liknande och ges värde 3. Värde 2 har ett fåtal människor närvarande. För värde 1 bedöms det som stor sannolikhet att inga människor är närvarande. Även sekundära effekter på liv kan uppstå vid olyckor, till exempel vid miljöolycka eller om flodvåg uppstår. Det har vägts in för de byggnadsändamål där en sådan olycka kan ske.

- **Miljö**

I miljö ingår direkt föroreningsspridning (exempelvis vid industriolycka), långsiktig påverkan av förorening och eventuellt stor spridning geografiskt. Miljöfarlig verksamhet med kemikalier kan orsaka stor skada i den direkta omgivningen samt på längre avstånd i både tid och rum. Miljöfarlig verksamhet med uppenbar miljörisk ges högsta värde inom detta kriterium. Miljöfarlig verksamhet med extremt höga miljörisker, dock inte lika uppenbara som värde 5, hamnar i värde 4. Objekt som kan ge stora konsekvenser på miljön hamnar på värde 3, till exempel vårdcentral, tågstation och liknande. Objekt med medelstor miljörisk ges värde 2, till exempel bostadshus och polisstation. Objekt med så gott som ingen risk för miljöskada ges värde 1. Försiktighetsprincipen har tillämpats (det vill säga hellre värdera högre än lägre), eftersom det inte har funnits resurser att inhämta kunskap om faktisk risk för miljöskada vid de aktuella objekten.

- **Ekonomi**

I ekonomi ingår värdet av byggnaden, marken, värdet av verksamheten (inkomster, kapital, varor, lager, maskiner med mera) samt påverkan på längre sikt. Värderingen blir inte utifrån samhällsekonomi då enskilda verksamheter kan drabbas ekonomiskt medan andra gynnas av situationen. Enbart mycket höga ekonomiska värden hamnar i värde 5. Som exempel innehar de flesta industrier ett stort ekonomiskt värde, men bör endast hamna på nivå 4 inom kriteriet ekonomi. En skola och ett badhus kan som exempel hamna på värde 3. För de lägre värdena hamnar som exempel ekonomibyggnad på värde 2 och komplementbyggnad på värde 1.

- **Samhällsviktigt**

Samhällsviktiga verksamheter har stor betydelse för att samhället i stort ska fungera. Exempel sjukhus, reningsverk och vattenverk bör ges högsta värde inom detta kriterium. Värde 4 ges till viktiga samhällsfunktioner som dock temporärt går att ersätta med liknande funktion på annan plats eller inte direkt påverkar samhället i stort, till exempel vårdcentral, skola, kommunhus, järnvägsstation. Värde 3 ges till samhällsfunktioner som mestadels förorsakar missnöje, påverkan på fritid, mindre arbetsbortfall och mindre inkomstförluster, men inte är samhällsviktiga, exempel bostad och djursjukhus. Ännu lägre värde (värde 2) ges till badhus, ridhus, ishall, vindkraftverk och liknande och för de objekt med så gott som inget samhällsvärde ges lägsta nivå 1.

10.3.2 Transportinfrastruktur

Underlag för värdering av transportinfrastruktur har varit Lantmäteriets data i rapport *Produktbeskrivning: GSD-Fastighetskartan, vektor* (Lantmäteriet 2011a) tillsammans med specifikationen *Detaljtypskatalog-Kommunikation* som anger vägtypernas bredd (Lantmäteriet 2011b). I värderingen har objekt från VL-lagret (allmänna och enskilda vägar samt järnvägar) och VO-lagret (övriga vägar) inkluderats. I VO-lagret (övriga vägar) ingår ett flertal olika mindre vägtyper (Lantmäteriet 2011a).

Värderingen görs endast utifrån ett kriterium som är vägens bredd. Vägens bredd får motsvara betydelsen av vägen och mängden trafik på vägen. Det ger konsekvenser för de fyra utvalda kriterierna: antal liv som kan drabbas, miljöpåverkan, ekonomiska konsekvenser och för samhällets viktiga funktioner. Dessa kriterier ingår dock inte som definition av de fem olika värdenivåerna.

Vägtyp ”Väg under konstruktion” valdes att värderas till 3. Det är dock svårt att veta vilken typ av väg som byggs och hur långt man kommit i byggskedet.

All järnväg har värderats som 5 med anledning av att de är svåra att ersätta och anlägga samt kan ge stora konsekvenser för de fyra kriterierna. I realiteten kan dock betydelsen av olika järnvägsbanor variera mycket, men det har varit svårt att inom denna översiktliga analys värdera järnvägsbanorna på olika nivåer. Motorvägar klassas som 5 på grund av samhällets beroende av att varor och tjänster transporteras. Hela samhället är uppbyggt på att transporter fungerar.

10.3.3 Övriga konsekvensområden

Det finns ytterligare konsekvensområden som inte har inkluderats i konsekvensklassen. Dessa konsekvenser kommer enbart redovisas med en symbol på antingen den utskrivna PDF-kartan eller enbart i webbapplikationen. Dessa konsekvenser gäller främst:

- Förorenade områden, som redovisas som symbol i PDF-kartan samt i webbapplikationen.
- Natur, som redovisas i webbapplikationen genom WMS-tjänst från Naturvårdsverket.
- Kultur, som redovisas i webbapplikationen genom WMS-tjänst från Riksantikvarieämbetet.

Natur och kultur ingår inte i värderingen eftersom det inte har varit möjligt att göra en värdering av dessa med bra kvalitet. Natur kan som exempel även få positiva effekter av ett skred. Den biologiska mångfalden kan gynnas av färsk skredärr. Konsekvensbedömningen är därmed svår att göra utan bra underlag. Betydelsen och värdet av olika kulturobjekt är även svår att bedöma inom uppdragets ramar. Det finns därför stor nytta av att i framtiden kunna utforska dessa konsekvensområden djupare och kunna sätta ett värde på dem jämförbart med övriga konsekvensvärden.

Förorenade områden är svåra att sätta ett värde på på grund av okunskap om föroreningens geografiska utbredning. Förorenade områden redovisas som en punktmarkering. Området kan vara både stort och litet och spritt i okänd riktning på kartan. Därför skulle ett värde i en punkt ge en skev bild av verkligheten. Symbolen representerar i detta fall ett större, okänt område med förorenad mark.

10.3.4 Konsekvensklass

Värdena för byggnadsändamål och transportinfrastruktur vägs samman till en konsekvensklass. Det finns olika sätt att göra detta. Det alternativ som verkade gynna syftet mest var att låta det värde som är högst definiera klassen i rutan (10x10 meter). Till exempel, om i en ruta finns en byggnad med värde 5 och en väg med värde 3 så blir rutans konsekvensklass 5. På detta sätt synliggörs de höga värdena.

Inom konsekvensklass 1 inryms även övriga konsekvenser, det vill säga de konsekvenser som inte är identifierade och värderade inom byggnadslagret eller transportinfrastrukturlagret. Det kan som exempel vara fotbollsplaner, kraftledningar, VA-ledningar etcetera. Även förorenade områden, naturvärden och kulturvärden kan finnas inom klass 1, dessa tre lager kan man dock se i webb-kartan genom att markera dem. Förorenade områden markeras även ut med symbol i PDF-kartan. Det kan alltså finnas högre värden inom klass 1, men de syns inte eftersom de inte är identifierade och värderade. Konsekvensklassen sammanför värden för byggnadsändamål och transportinfrastruktur. Det ges en konsekvensklass per 10x10 m-ruta.

I nedanstående tabell, Tabell 10.3 redovisas de olika konsekvensklasserna och i Figur 10.2 och Figur 10.3 redovisas hur de olika konsekvensklasserna illustreras i färg i konsekvenskartan.

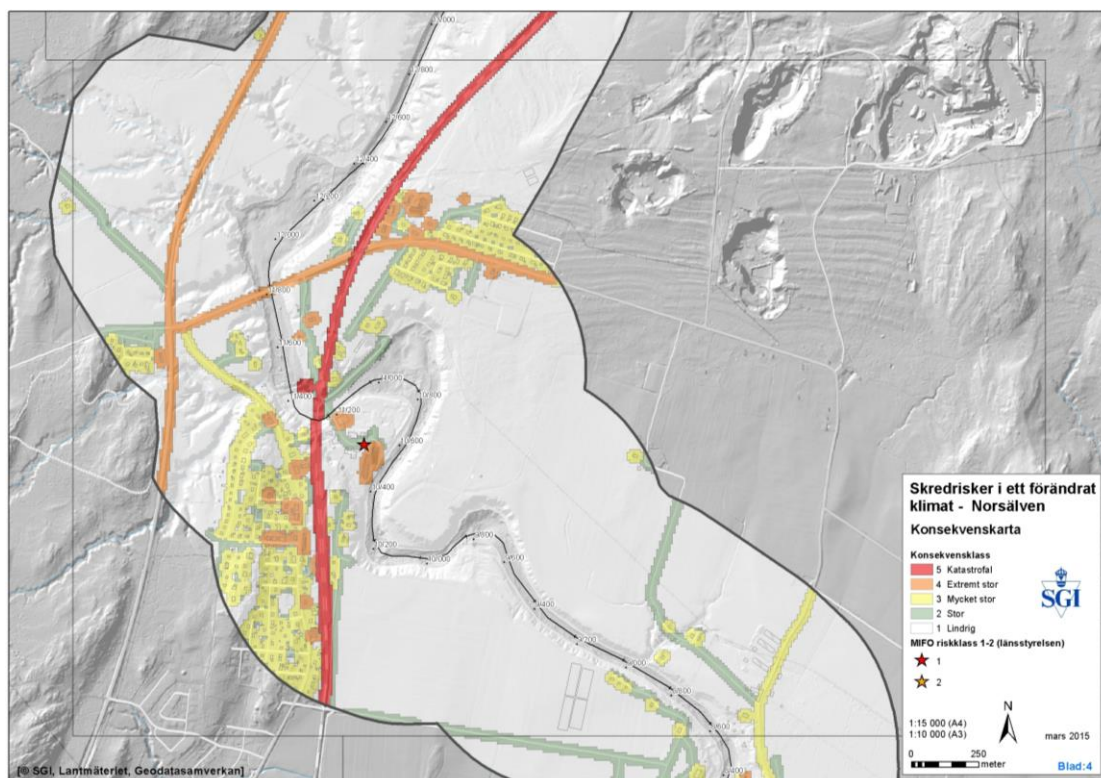
Tabell 10.3 Sammanställning över konsekvensklasser med samlande beskrivning.

Konsekvensklass	Konsekvenser av skred
Konsekvensklass 1, K1	Lindriga
Konsekvensklass 2, K2	Stora
Konsekvensklass 3, K3	Mycket stora
Konsekvensklass 4, K4	Extremt stora
Konsekvensklass 5, K5	Katastrofala

I GÄU gjordes en addering av konsekvensvärdena utefter möjlig skredutbredning från älvstranden. Detta gav en uppfattning om den sammanlagda konsekvenskostnaden vid ett skred. För Norsälven har vi frångått den summeringen, varje rutenhet visar istället det högsta konsekvensvärde som inryms i varje ruta. Det gör att man enklare kan se var konsekvenserna finns utspridda geografiskt. Eftersom det monetära värdet av konsekvenserna inte har beräknats så går det inte att få fram en sammanlagd konsekvenskostnad. Vår bedömning är att en sådan kostnad med fördel tas fram i ett senare mer detaljerat utredningsstadium, där möjliga riskreducerande åtgärder vägs mot konsekvenskostnader och skredsannolikhet.

10.3.5 Redovisning i karta - GIS

Konsekvensklassningen har genomförts som en GIS-bearbetning med en kombination av raster- och vektoranalyser. De värderade datalagren buffrades med 20 meter för att få med den närmaste omgivningen. Ytorna fördes sedan över till rasterformat med en upplösning av 10 meter per pixel. De båda lagren processerades därefter samman enligt metoden att högsta värde gav pixelvärdet. Det resulterande lagret gjordes om till vektordata för att tillsammans med sannolikhetsklassningen kunna processas till en riskkarta. Ett exempel på konsekvenskarta för Norsälven visas i Figur 10.2. Samtliga kartor redovisas i Del 1, Kartredovisning och sammanfattning av resultat (SGI 2015a).



Figur 10.2 Konsekvenskarta över del av Norsälven, blad 4. (© SGI, Lantmäteriet, Geodatasamverkan)

Konsekvensklass

- 5 Katastrofal
- 4 Extremt stor
- 3 Mycket stor
- 2 Stor
- 1 Lindrig

Figur 10.3 Legend för hur konsekvensklasserna illustreras i färg.

Konsekvensklassen redovisas som den är bedömd i 10 metersrutor. Det innebär att en ruta längre från älven kan ha ett lågt konsekvensvärde och en ruta närmare älven ha ett högt konsekvensvärde. Med denna metod behöver användaren själv göra en bedömning av den ”totala” konsekvensen vilken är beroende av utbredningen av ett eventuellt skred. Riskkartan med kombination av konsekvens av ett skred och sannolikhet för skred illustrerar delvis konsekvensens troliga omfattning.

Symboler i konsekvenskartan

Förorenade områden med MIFO riskklass 1 och 2 (länsstyrelsen) visas i kartan med symboler. Områdena är markerade med en punktsymbol (stjärna) som visar att ett förorenat område av okänd storlek och utbredning finns i anslutning till punkten. Tanken med symbolerna är att uppmärksamma på ytterligare möjliga konsekvensobjekt inom området. Värdering av de konsekvenserna lämnas till användaren som själv får göra en bedömning och ytterligare efterforskning avseende konsekvensen.

I webbapplikationen visas även områden med natur- och kulturskydd, även dessa utan värdering och ingår inte i konsekvensklassningen.

11. Analys av skredrisker

I detta kapitel beskrivs skredrisker som en kombination av sannolikhet för skred och konsekvenserna av ett skred. Skredriskerna beskrivs för olika delsträckor längs älven i dagens klimat och hur riskerna antas förändras i ett framtida klimat. Skredhistoriken längs Norsälven är omfattande, framför allt i den södra och mellersta delen där spår av skred syns tydligt i landskapet. I modern tid har bebyggelse och anläggningar drabbats eller hotats av skred längs älven. Ett antal utredningar har lett till fysiska åtgärder som avschaktningar, stödbankar och erosionsskydd. Ett flertal fastigheter har även lösts in och byggnader rivits.

11.1 Inledning

En kombination av sannolikhet för skred tillsammans med förväntade konsekvenser används som ett mått för skredrisknivån. Metodiken liknar tidigare riskkarteringar i Göta älv och beskrivs närmare i avsnitt 11.3. Den metodik som togs fram i Göta älvutredningen (GÄU) har förenklats för Norsälven i syfte att kunna genomföra skredriskkartering med lägre ekonomisk insats än GÄU men med tillräcklig utredningsnivå för att utgöra ett bra översiktligt planeringsunderlag för i första hand kommuner och länsstyrelsen.

Skredrisknivån i ett område styrs både av de lokala geotekniska stabilitetsförhållandena och av hur området används och exploaterats:

- Geotekniska och geologiska förhållanden tillsammans med topografi på land och i vatten samt lokala belastningsförhållanden ger ett mått på släntstabiliteten och i förlängningen **sannolikhet** för skred.
- Möjlig påverkan på befintlig bebyggelse och anläggningar samt mark/vattenanvändning ger **konsekvenser** av skred.

I utredningen har risker för skred i områden längs älven karterats. Skred kan ske även på längre avstånd från älven, till exempel i branta slänter i gränsen mellan lös jord och fastmark, eller i sidoraviner. Någon fullständig studie av dessa slänter ingår inte i utredningen utom i de områden där slänter förväntas påverka stabiliteten mot Norsälven.

11.2 Metodik för riskkartering

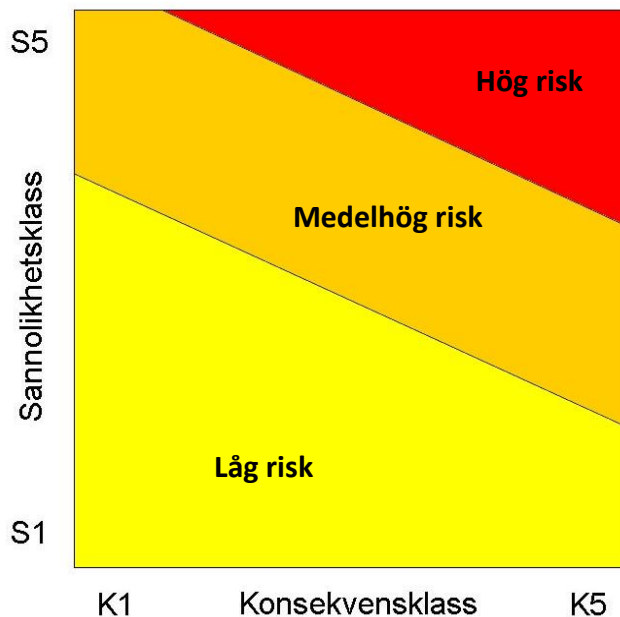
Risken för skred definieras som en kombination av sannolikheten att ett skred inträffar och den förväntade negativa konsekvensen om det inträffar. Enligt de metoder som beskrivs i Kapitel 8 Stabilitetsberäkningar respektive 9 Sannolikhetsanalys tilldelas varje enskilt område inom utredningsgränserna en sannolikhetsklass (S-klass) från 1 till 5 samt en konsekvensklass (K-klass) från 1 till 5. Varje enskilt område kan därför beskrivas med ett talpar "S/K" som representerar kombinationen Sannolikhet/Konsekvens, se Figur 11.1. Framtagna sannolikhets- och konsekvensklasser sammanställs med GIS-teknik på två separata kartor vilket ger överlappningsbara skikt där klasserna bildar olika kombinationer (talpar). Talparen kan i sin tur översättas i risknivåer enligt nedan beskrivet tillvägagångssätt och resultatet från överlappningen blir en färgkarta med de tre risknivåerna. Överlappningsproceduren, det vill säga sammanföring av sannolikhet och konsekvenser, utförs automatiskt i GIS-miljö.

S5 Påtaglig					S5/K5 Påtaglig sannolikhet för skred med katastrofal konsekvens
S4 Tydlig					
S3 Viss					
S2 Låg		S2/K2 Låg sannolik- het för skred med stor konsekvens			
S1 Försumbar					
	K1 Lindrig	K2 Stor	K3 Mycket stor	K4 Extremt stor	K5 Katastrofal

Figur 11.1 Matris för skredriskklassning – kombination av sannolikhet för skred och dess konsekvenser. Exemplet visar talparen S2/K2 och S5/K5.

11.2.1 Skredrisknivåer

Matrisen i Figur 11-1 visar att sannolikheter och konsekvenser kan förekomma i totalt 25 kombinationer av skredriskklasser (5x5). För att kunna klassa de olika delområdena på ett överskådligt sätt och framförallt beskriva dem i ett överskådligt kartmaterial, måste antalet grupper (risknivåer) begränsas. Liksom i tidigare liknande skredriskutredningar har riskmatrisen därför delas upp i tre olika ytor motsvarande låg skredrisk, medelhög skredrisk och hög skredrisk, se Figur 11.2. Skalan för sannolikhetsklasserna är inte linjär vilket orsakar riskmatrisens osymmetriska utseende (Hultén et al. 2005).



Figur 11.2 Översiktlig princip för framtagande av risknivåer (SGI 2012).

Eftersom klassningen av såväl sannolikhet som konsekvens är utförd i fem olika klasser måste gränserna för risknivåer anpassas till avgränsningarna presenterade i Figur 11.2. Anpassningen resulterar i en ny riskmatris där gränserna för risknivåerna sammanfaller med gränserna från sannolikhets- och konsekvensklasserna, enligt Figur 11-3. Detta innebär att varje del av den i Figur 11-1 redovisade matrisen, som karakteriseras av ett talpar (S/K) av sannolikhetsklass och konsekvensklass, nu även får en färg som motsvarar en risknivå baserat på riskmatrisen i Figur 11.3.

Sannolikhetsklasser

S5	S5/K1	S5/K2	S5/K3	S5/K4	S5/K5
S4	S4/K1	S4/K2	S4/K3	S4/K4	S4/K5
S3	S3/K1	S3/K2	S3/K3	S3/K4	S3/K5
S2	S2/K1	S2/K2	S2/K3	S2/K4	S2/K5
S1	S1/K1	S1/K2	S1/K3	S1/K4	S1/K5
	K1	K2	K3	K4	K5

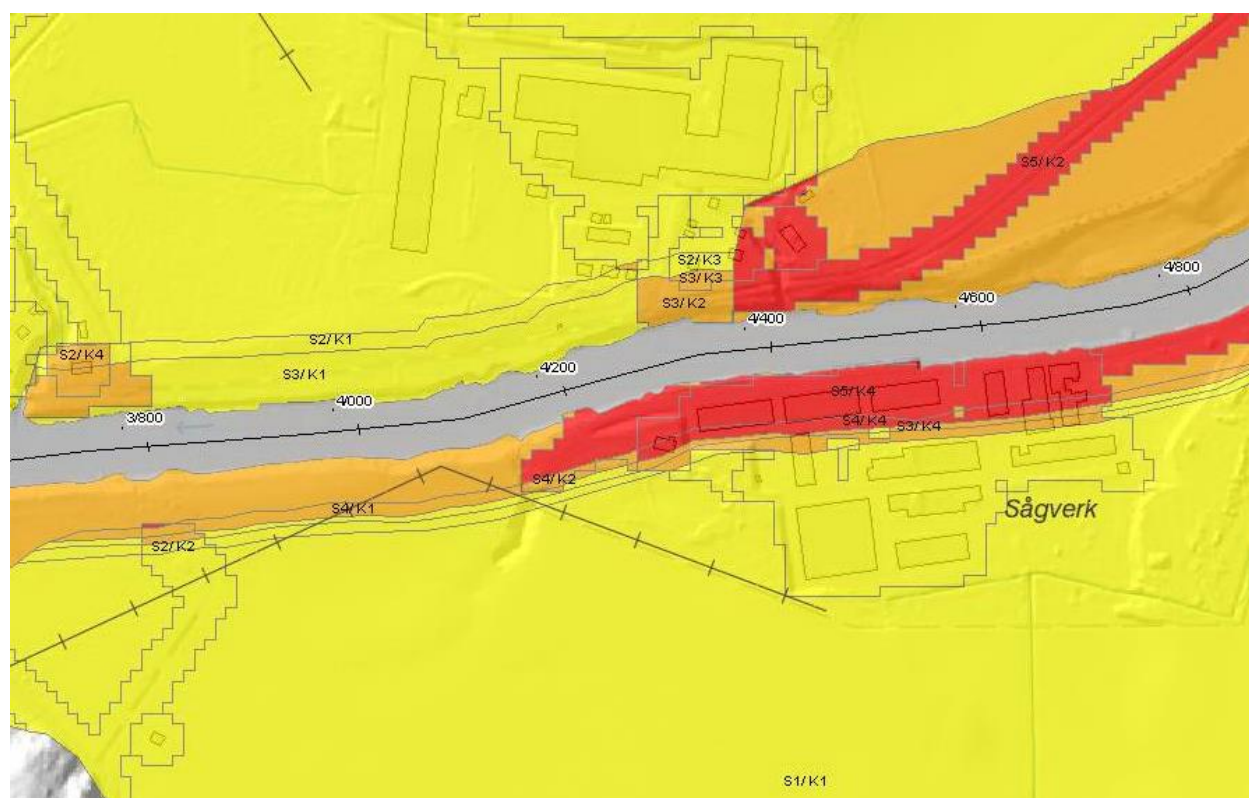
Konsekvensklasser

Figur 11.3 Matris med skredrisknivåer baserad på sannolikhet för skred och dess konsekvenser.

Baserat på matrisen i Figur 11-3 har skredriskkartor tagits fram för hela utredningsområdet. Kartorna redovisas i Del 1 Kartredovisning och sammanfattning av resultat (SGI 2015). På kartorna anges skredrisknivåer för olika områden enligt följande:

	områden med låg skredrisknivå
	områden med medelhög skredrisknivå
	områden med hög skredrisknivå

Kartorna visar kombinationer av sannolikheten för ett skred och de primära konsekvenserna av ett sådant skred, det vill säga förluster av människoliv och skador på befintliga fastigheter och anläggningar på land. I Figur 11.4 visas ett exempel på hur skredrisknivåerna illustreras i skredriskkarta för Norsälven.



Figur 11.4 Exempel på skredrisknivåer i skredriskkarta för Norsälven. Sannolikhetsklass och konsekvensklass är markerade i respektive område som talpar (S/K). (© SGI, Lantmäteriet, Geodatasamverkan).

11.2.2 Risk för bakåtgripande skred och sekundära effekter

Inom områden med högsensitiv lera/kvicklera kan bakåtgripande skred inträffa, där stora ytor kan drabbas av fortskridande skred. En sådan händelse innebär att sekundära konsekvenser utöver förluster och skador på land kan uppstå. Exempel på sekundära effekter som kan inträffa är dämning av älven (eller dess biflöden) och flodvågor av olika magnitud beroende på skredmassornas volym. Dessa sekundära konsekvenser kan, om det berörda området är tillräckligt stort, överskrida de primära konsekvenserna i området. De sekundära konsekvenserna går inte att förutse med säkerhet, och har därför inte behandlats inom utredningen. Se vidare Kapitel 9 Sannolikhetsanalys om hur bedömning av skredutbredning i kombination med sannolikhetsklass har gjorts.

11.2.3 Framtagande av skredrisker i ett förändrat klimat

Vid värdering av klimatpåverkan på skredriskerna har hänsyn tagits enbart till förändringar av slänters stabilitet och ökad sannolikhet för skred (se Kapitel 9 Sannolikhetsanalys), medan konsekvenserna av framtida skred inte kunnat bedömas.

Förväntade klimatförändringar innebär ökade framtida flöden i älven, vilket innebär ökad erosion på älvens slänter och bottenar, samt högre grundvatten- och porvattentryck.

Det har inte varit möjligt att i denna utredning förutsäga hur konsekvenserna kommer att förändras fram till 2100. Detta beror på att den tidsperiod som utredningen omfattar, cirka 100 år framåt i tiden, är längre än den planeringshorisont som normalt används i samhällsplaneringen. Dessutom ger resultatet från denna utredning möjlighet att påverka lokalisering och utförande av ny bebyggelse och verksamhet så att skredrisker kan förebyggas.

11.3 Analys av risker för dagens klimat och ett förändrat klimat

I detta avsnitt ges en sammanfattande beskrivning av de skredrisker som kartlagts inom utredningen. Beskrivningen är uppdelad i delområdena Norr, Mitt och Syd. För varje område beskrivs sannolikhet för skred, konsekvenser av detta samt risknivåer.

Resultatet från kartläggningen redovisas på skredriskkartor i Del 1 Kartredovisning och sammanfattning av resultat (SGI 2015). Kartorna visar vilken skredrisknivå (låg, medelhög, hög enligt Figur 11.3) som gäller för olika delar av utredningsområdet för dagens klimat. Kartorna visar även påverkan av ett förändrat klimat inom utredningsområdet. I Tabell 11.1 redovisas omfattningen av de olika skredriskområdena i förhållande till hela utredningsområdet uttryckt i procent.

Tabell 11.1 Utbredning av områden med låg, medel respektive hög skredrisknivå, uttryckt som andel av det riskklassade området (1) och hela utredningsområdet (2).

	Andel ¹	Andel ²
Låg risknivå	85 %	70 %
Medelhög risknivå	13 %	10 %
Hög risknivå	2 %	2 %
Fastmark		10 %
Vatten		8 %

¹ andel av utredningsområdets area exkl. vatten- och områden med fastmark (morän och berg).

² andel av hela utredningsområdet inkl. vatten och fastmark.

11.3.1 Sträckan Nedre Fryken till Frykfors kraftverk – Norr

Området har generellt en tydlig sannolikhet för skred (klass S4) utefter ett smalt parti närmast strandlinjen. Sannolikheten minskar snabbt med ökat avstånd från älven. Kvikklara har påträffats i ett par sektioner med flack lutning på älvens södra sida (km 25/600 och 26/100). Den norra stranden mellan Frykens inlopp och km 24/800 har dock en låg sannolikhet för skred (klass S2).

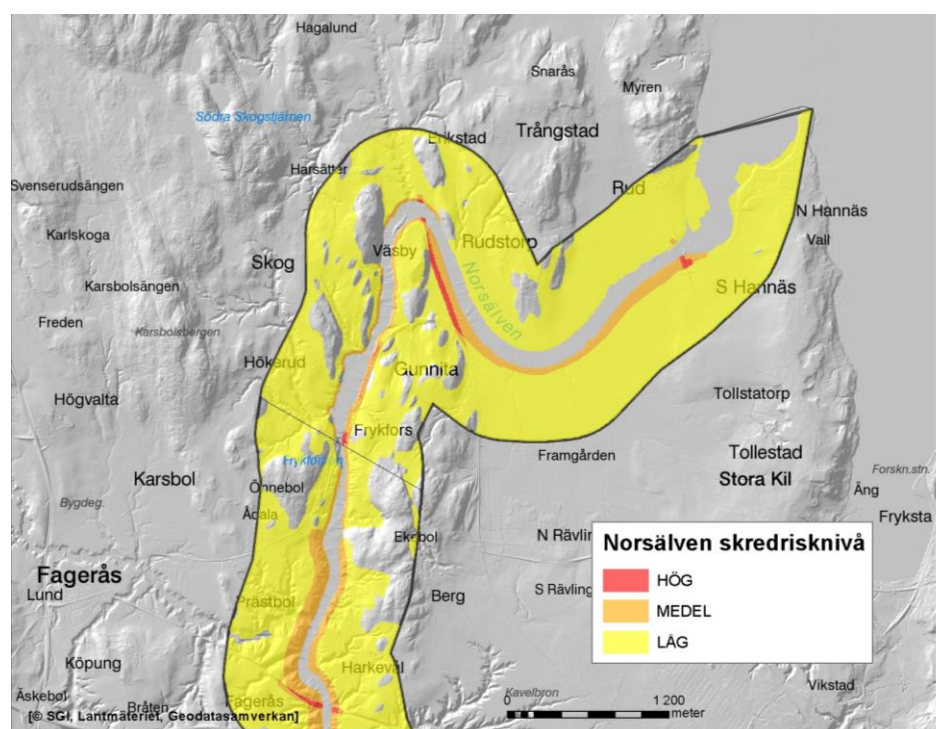
Konsekvenserna längs sträckan är generellt sett lindriga. Gles spridd bebyggelse förekommer liksom enstaka vägar. Järnvägen som i nord-sydlig riktning korsar älven vid Väsby har högsta konsekvensklass, liksom Frykfors vattenkraftverk. Ute på udden Norra Hannäs finns ett MIFO-objekt med riskklass 2 registrerat.

Ett område längs med järnvägen på östra sidan av Väsby udde har hög risknivå. Längs med södra stranden mellan Fryken och Gunnita är det medelhög risknivå. För övrigt är risken huvudsakligen låg inom delområdet.

Klimatpåverkan

Klimatpåverkan har bedömts som låg för stora delar av området förutom mellan 23/200-25/700 där den bedömts som måttlig till stor.

Figur 11.5 visar en översiktlig kartbild av skredrisknivåerna inom område Norr.



Figur 11.5 Översiktlig skredriskkarta delområde Norr. (© SGI, Lantmäteriet, Geodatasamverkan).

11.3.2 Sträckan Frykfors kraftverk till Edsvalla kraftverk – Mitt

Inom den norra delen av området, mellan km 20/200 och Frykfors kraftverk på älvens västra sida och mellan km 18/400 och Frykfors kraftverk på den östra sidan är sannolikheten för skred tydlig (klass S4) längs ett parti närmast strandlinjen. Sannolikheten minskar relativt snabbt med ökat avstånd från älven. I området mellan km 16/600 och 20/200 på den västra sidan och mellan km 15/900 och 18/400 på den östra, är sannolikheten för skred försumbar (klass S1). Ytterligare längre söderut, mellan cirka km 13/000 och 16/600 på den västra sidan och mellan 13/000 och 15/900 på den östra, är sannolikheten för skred tydlig till påtaglig (klass S4 och S5). Höga och branta slänter i kombination med förekomst av högsensitiva lera och kvicklera innebär att stora bakåtgripande skred kan inträffa inom området. I området söder därom, mellan Edsvalla kraftverk och km cirka 13/000 är sannolikheten för skred försumbar. Flera större och mindre skredärr finns längs hela sträckan mellan Frykfors kraftverk och Edsvalla kraftverk.

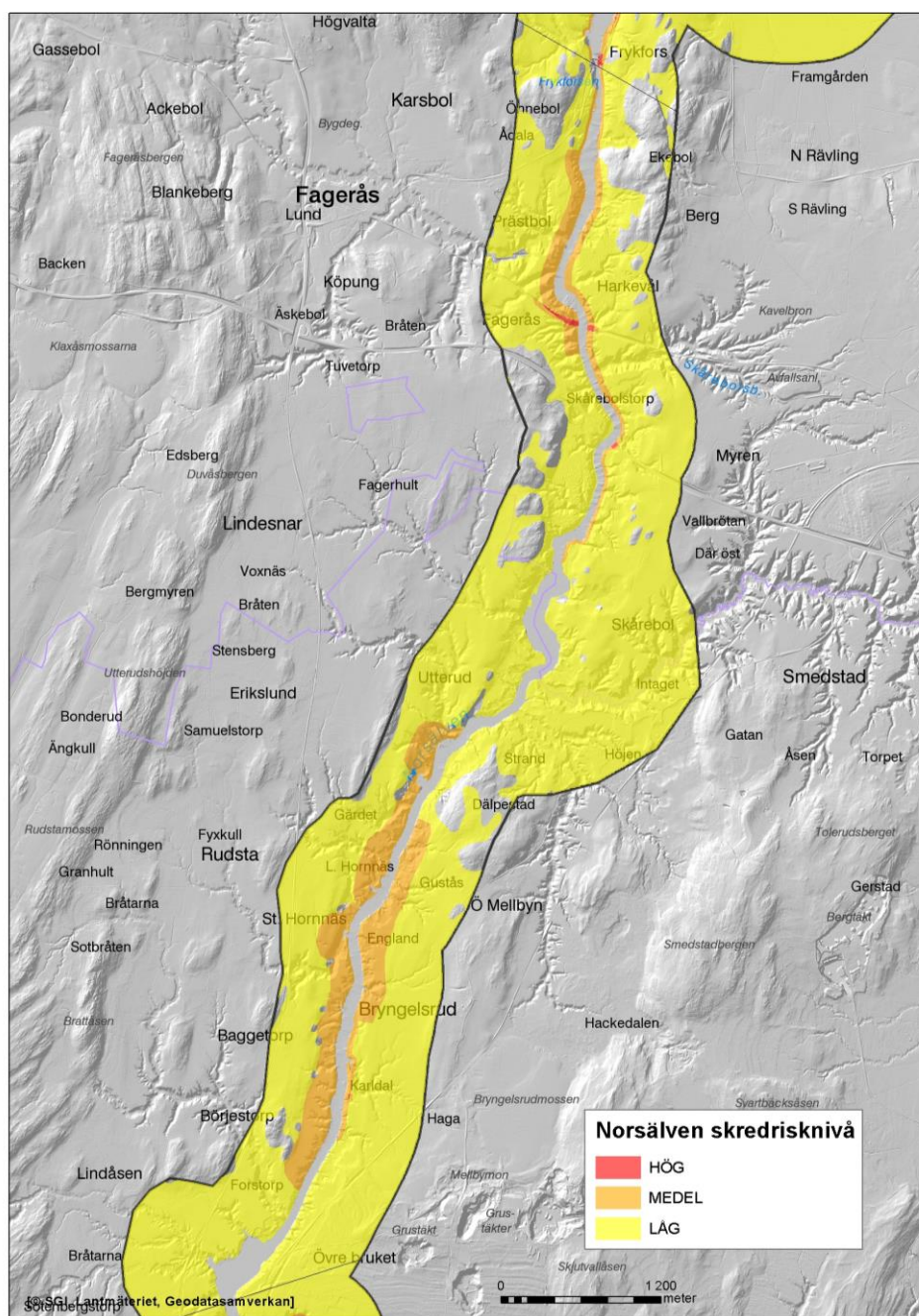
Konsekvenserna längs sträckan är generellt sett lindriga. Mycket gles spridd bebyggelse förekommer. Kring Edsvalla är bebyggelsen tätare, där finns även Edsvalla vattenkraftverk med högsta konsekvensklass. Vid Edsvalla finns också en järnvägsbro över älven, liksom i norra delen av sträckan. Väg 61 passerar älven strax söder om järnvägen medan väg E45 går längs älvens västra sida.

Hög risknivå finns endast där järnvägen korsar älven norr om Skårebol. Längs några sträckor längs älven är risken medelhög trots lindriga konsekvenser, vilket beror på den höga sannolikhetsklassen.

Klimatpåverkan

Klimatpåverkan med hänsyn till ökad sannolikhet för skred bedöms som låg längst i söder, stor mellan 12/800-16/600, därefter låg en kortare sträcka för att bli måttlig längst i norr.

Figur 11.6 visar en översiktlig kartbild av skredrisknivåerna inom område Mitt.



Figur 11.6 Översiktsskredriskkarta delområde Mitt. (© SGI, Lantmäteriet, Geodatasamverkan).

11.3.3 Sträckan Edsvalla kraftverk till Väneren – Syd

Inom stora delar av delområdet är sannolikheten för skred påtaglig (klass S5) närmast älven. I den norra delen, från km 4/400 och norrut, omfattas också ett större område från strandlinjen. Detta beror på att högsensitiv lera och kvicklera finns utefter sträckan, vilket innebär att större bakåtgripande skred kan inträffa. Ett flertal skredärr finns också inom detta område. Längs korta partier där förstärkningsåtgärder utförts är sannolikheten för skred försumbar.

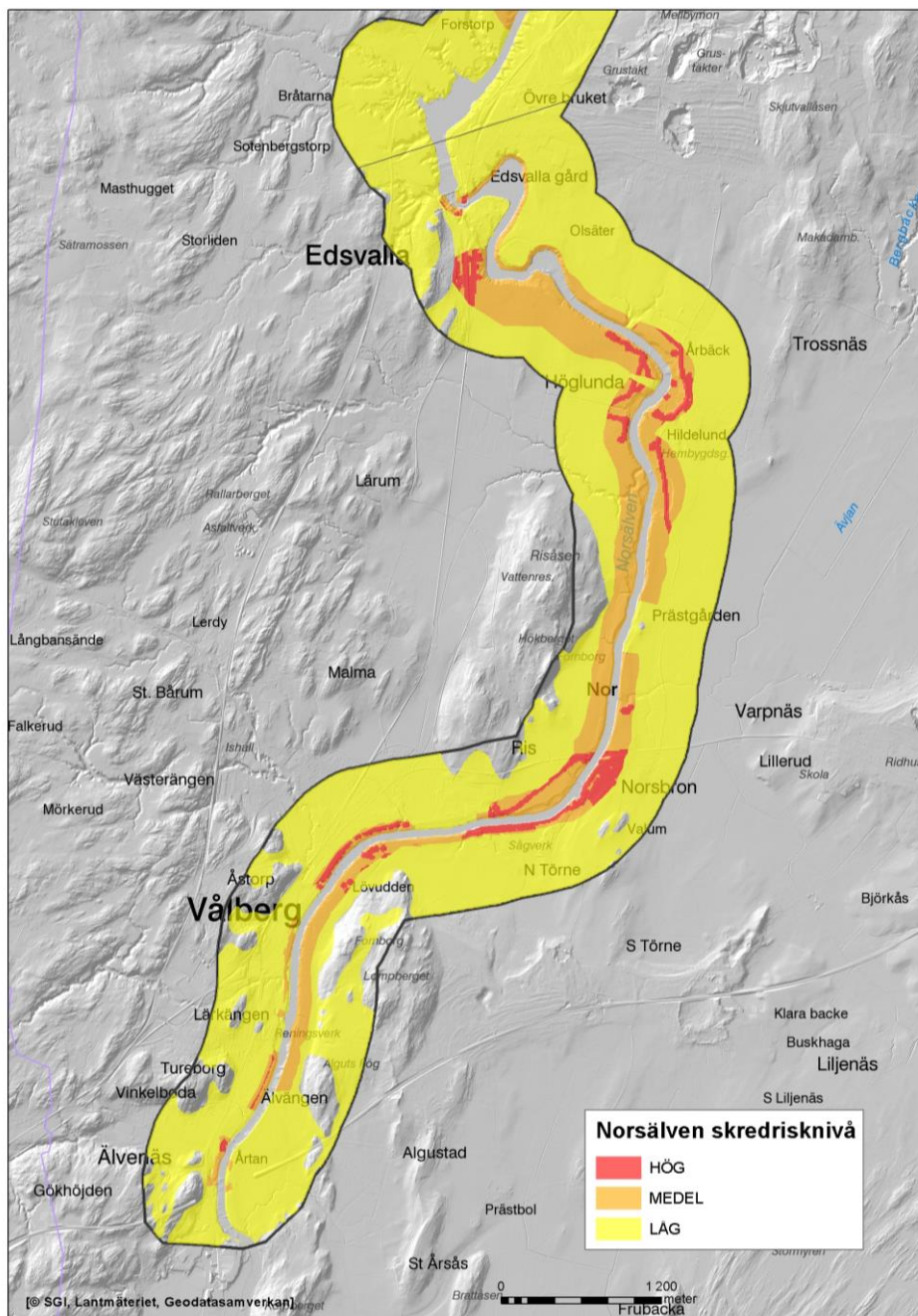
Södra delen av Norsälven innehåller flest konsekvenser av de tre delområdena. Konsekvenserna är generellt större på västra sidan av älven. Tätortsbebyggelse finns i södra Edsvalla, Norsbron och Vålberg. I Vålberg passerar järnvägen genom området längs med älven. E18 passerar över älven längst i söder. I södra delen finns tre stycken MIFO-objekt registrerade med riskklass 1, varav två i Vålberg och ett i Edsvalla.

Riskenivån varierar inom delområdet mellan låg, medel och hög nivå. Sett utifrån hela utredningsområdet längs Norsälven återfinns de flesta områden med hög riskenivå inom delområde Syd. Det är framför allt närmast älven den högre riskenivån finns, på längre avstånd minskar den till låg. Områden med hög riskenivå är bland annat norra delen av Vålberg, kring Norsbron, vid Höglunda, Trossnäs och Edsvalla.

Klimatpåverkan

Klimatpåverkan med hänsyn till ökad sannolikhet för skred bedöms som stor i större delen av delområdet. Längs en sträcka söder om Edsvalla kraftverk bedöms klimatpåverkan som måttlig till liten.

Figur 11.7 visar en översiktlig kartbild av skredriskenivåerna inom område Syd.



Figur 11.7 Översiktscarta skredriskdelområde Syd. (© SGI, Lantmäteriet, Geodatasamverkan).

11.4 Tolkning och osäkerheter

I denna pilotstudie har erfarenheterna av Göta älvtutredningen tagits med i framtagandet av en förenklad metodik. Den förenklade metodiken innebär att fler vattendrag/skredkänsliga områden ska kunna analyseras med avseende på sannolikheter för skred och konsekvenser av eventuella skred. Inom skredriskanalysen har dock en hel del förenklningar gjorts vilket innebär osäkerheter. Här bedömda sannolikheter, konsekvenser samt skredriskgränser kan inte tolkas med detaljnivå.

12. Åtgärdsbehov och klimatanpassning

För att minska risken för skred längs älven kan åtgärder för att minska sannolikhet och/eller konsekvens vidtas. Sannolikhetsreducerande åtgärder är oftast fysiska i form av avschaktningar, tryckbankar och erosionsskydd. Konsekvensreducerande åtgärder kan vara exempelvis att flytta byggnader och anläggningar. Längs Norsälven finns flera exempel på inlösen av fastigheter som åtgärd.

Inom uppdraget har det inte tagits fram förslag på åtgärder för enskilda områden. Framtagning av olika lokalt anpassade åtgärder rekommenderas till mer detaljerade utredningsskeden. Nedan belyses ett antal mer allmängiltiga förslag på hur man kan gå vidare.

Översiktliga rekommendationer för utredningsområdet längs Norsälven:

- Identifierade områden med hög skredrisknivå bör utredas vidare för beslut om eventuella åtgärder.
- Den zon med restriktioner som är planlagd inom Karlstads kommun är ett bra sätt att kontrollera aktiviteter som kan påverka stabiliteten. En översyn av zonens utbredning kan vara relevant att göra.
- Vid utredning av åtgärder är det viktigt att ta i beaktande förekomst av kvicklera vilket påverkar utbredningen av ett eventuellt skred.
- En översyn av befintliga erosionsskydd bör göras inom område Syd, med hänsyn till underhåll och eventuell komplettering.

Vid all ny exploatering eller annan förändring av belastningssituationen i anslutning till älven krävs en förnyad bedömning av behov av stabilitetsförbättrande åtgärder. För utförandet av förbättrande åtgärder krävs utredningar i form av detaljerade stabilitetsutredningar, projektering av åtgärder samt upprättande av bygghandlingar, miljökonsekvensbeskrivningar, tillståndsansökningar med mera. Det finns behov av fortlöpande kontroll/övervakning och underhåll av funktionen hos förbättrande åtgärder. Behov av kontroll/övervakning omfattar också pågående erosionsprocesser. Man bör vid planering av åtgärder även identifiera behov av andra klimatanpassningsåtgärder som exempelvis översvämningsskydd. Åtgärderna utreds och genomförs lämpligen i ett sammanhang då de ibland har motverkande effekter. Exempelvis kan en vall för att skydda mot översvämning ge en negativ effekt på släntstabiliteten och därmed öka skredrisken i området.

12.1 Samhällsplanering och byggande

Skredriskkartan har en upplösning som är lämplig för översiktsplanenivå. Det är också möjligt och att rekommendera att sammanväga med andra riskområden för naturolyckor, exempelvis översvämningssrisker.

Vid detaljplanering och bygglov så måste mer detaljerade geotekniska utredningar göras, där hänsyn tas till den byggnation och de anläggningar som planen/bygglovet kommer att tillåta. Detta för att inte öka sannolikheten för skred inom aktuellt område.

Det är även viktigt att tänka på att risknivån kan höjas om konsekvenserna ökar, det vill säga om marken exploateras med byggnader eller anläggningar. Annan förändring av markanvändning kan också ha betydelse för skredrisknivån. Exempelvis kan eftersatt underhåll av markdränering och markavattning till följd av förändrad markanvändning leda till att bygga upp vattentryck i marken som kan öka sannolikheten för skred.

12.2 Detaljerade utredningar

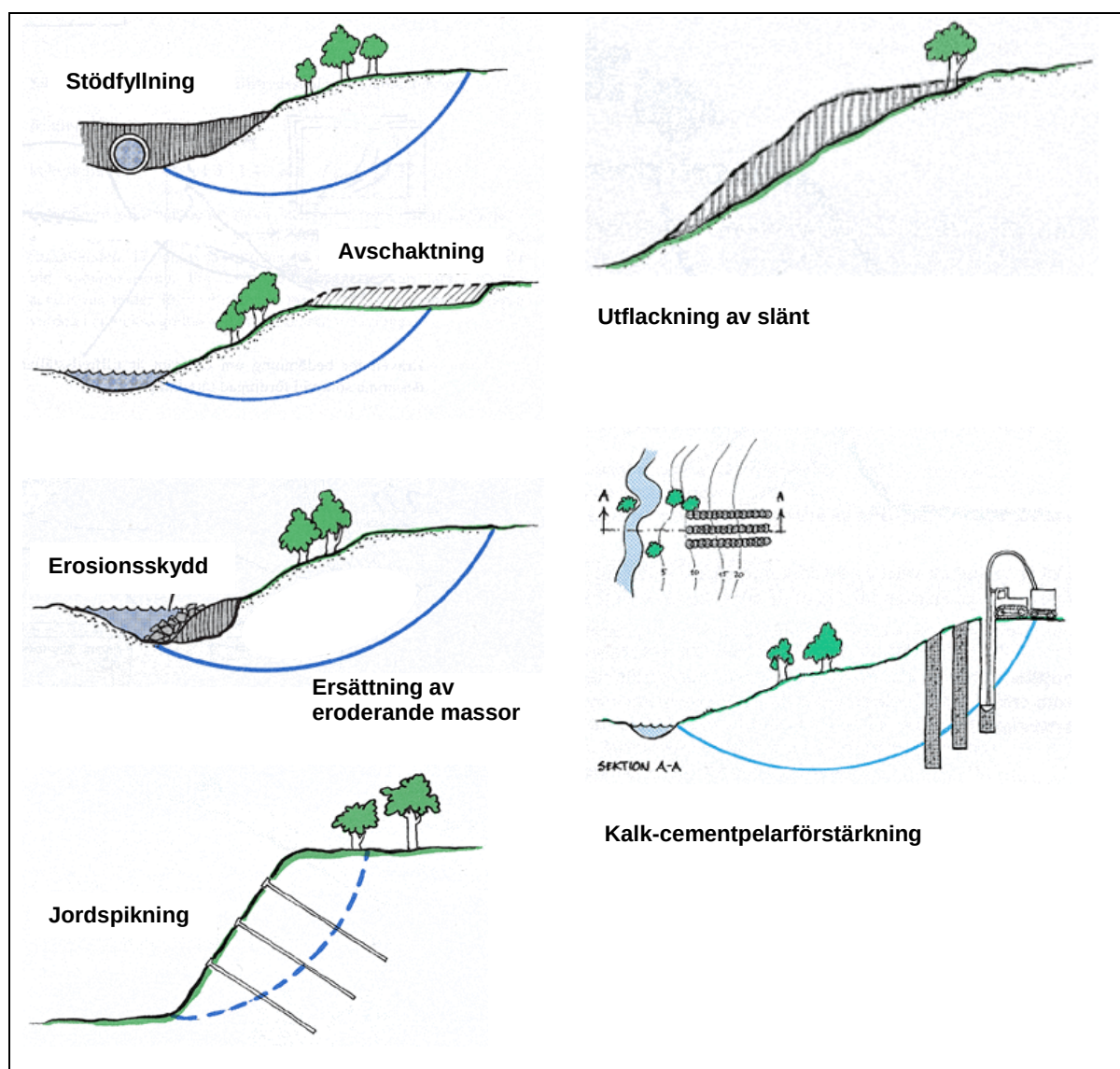
Geotekniska stabilitetsutredningar brukar göras med etappvis ökande detaljeringsnivå. Se vidare IEG 2010 och Skredkommissionen rapport 3:95 för planering respektive IEG 2008 för projektering och byggande.

12.3 Klimatanpassningsåtgärder

Inför beslut om så kallade riskreducerande åtgärder bör en kvantitativ kostnads-nyttoanalys göras genom att kostnaden för en åtgärd vägs mot nyttan. Då kan sannolikheten för skred och konsekvenserna utredas mer detaljerat för ett avgränsat område för beslut om åtgärden ska inriktas på att minska sannolikheten och/eller konsekvenserna. Fysiska sannolikhetsreducerande åtgärder i form av avschaktning, tryckbank, erosionsskydd, jordförstärkning med mera är ofta kostsamma. Alternativ som minskar konsekvenserna kan ibland göra mer nytta. Sådana alternativ kan exempelvis vara inlösen/rivning av byggnad på en fastighet eller restriktioner i användning av mark.

Förebyggande åtgärder mot naturolyckor kan ibland motverka varandras syften. Exempelvis kan en över-
svämningsförebyggande skyddsvall orsaka en belastning på marklagren som försämrar stabiliteten i området. Det är därför en fördel att samordna planerade klimatanpassningsåtgärder.

I Figurerna 12.1 till 12.4 ges exempel på möjliga stabilitetsförbättrande åtgärder samt ett par exempel på utförda åtgärder längs Norsälven.



Figur 12.1 Exempel på olika åtgärder för att förbättra släntstabiliteten. Illustrationer från Skredkommissionens rapport 5:95 (Skredkommissionen 1996).



Figur 12.2 Exempel på utförda åtgärder (exempel från Orust). Avschaktning och erosionsskydd. Foto SGI.



Figur 12.3 Foto som visar avschaktning vid Vålberg. Foto SGI.



Figur 12.4 Exempel på utförda åtgärder längs Norsälven, avschaktning och erosionsskydd. Foto SGI.

Referenser

- Alén, C, Bengtsson, P-E, Berggren, B, Johansson, L & Johansson, Å 2000, *Skredriskanalys i Göta älvdalen – Metodbeskrivning*, Statens geotekniska institut, SGI, Rapport 58, Linköping.
- Bergdahl, K, Cederbom, C, & Göransson, G 2013, *Prioritering av områden för skredriskanalys, Klimatanpassningsanslag 2013*, Statens geotekniska institut, SGI, Publikation 6, Linköping.
- Berggren, B, Alén, C, Bengtsson P-E & Falemo, S 2011, *Metodbeskrivning sannolikhet för skred: Kvantitativ beräkningsmodell*, Statens geotekniska institut, SGI, Göta älvtutredningen, GÄU, Delrapport 28, Linköping.
- Bergström, S, Andréasson, J, Losjö, K, Stensen, B & Werm, L 2011, *Hydrologiska och meteorologiska förhållanden i Göta älvdalen – slutrapport*, Statens geotekniska institut, SGI, Göta älvtutredningen, GÄU, Delrapport 27, Linköping. Även publicerad som SMHI Rapport nr 2010-81.
- Blied, L & Persson, H 2011, *Bedömd förändring av maximala grundvattennivåer i Göta älvdalen till följd av förändrat klimat*, Statens geotekniska institut, Göta älvtutredningen, GÄU, Delrapport 9, Linköping.
- Chanson, H 2007, *The Hydraulics of Open Channel flow: an introduction*. Second edi., Elsevier.
- Falemo, S 2012, *Parametrars betydelse för brottsannolikheten i Göta älvdalen*, Statens geotekniska institut, SGI, Varia 639, Linköping.
- Fredén, K 2000, *Beskrivning till jordartskartorna 10D Karlstad NV och SV*, Sveriges geologiska undersökning, Serie Ae 140 och 141.
- Hultén, C, 2005, *Sydvästra Göta älv Delen Tingstadstunneln Angeredsbron, Göteborgs kommun, Skredriskanalys*, Statens geotekniska institut, SGI Diarienummer 2-0402-0128, Linköping.
- IEG 2010, *Tillståndbedömning/klassificering av naturliga slänter och slänter med befintlig bebyggelse och anläggningar, Vägledning för tillämpning av Skredkommissionens rapporter 3:95 och 2:96 (delar av)*, Implementeringskommissionen för Europastandarder inom Geoteknik, rapport 4:2010, Stockholm.
- Järvin 2014, *Studie av faktorer som påverkar skredutbredningen vid Norsälven, Värmland*, Lunds Universitet, Geologiska institutionen, Kandidatarbete nr 392.
- Karmaker, T & Dutta, S 2011, 'Erodibility of fine soil from the composite river bank of Brahmaputra in India', *Hydrological Processes*, 25, pp.104–111.
- Lantmäteriet 2011a, *Produktbeskrivning: GSD-Fastighetskartan, vektor*, Lantmäteriet, Geografiska Sverigedata, Dokumentversion 6.4, 2011-09-19.
- Lantmäteriet 2011b, *Detaljtypskatalog-Kommunikation, Specifikationsberedare ILSS*, FSM05:13C02, 2011-04-11.
- Lantmäteriet 2014, *Handbok Ajourhållning Byggnad*, Lantmäteriet, version 10.0, 2014-04-25.

- Larsson, R, Bengtsson, P-E & Edstam, T 2008, *Vägbyggande med hänsyn till omgivningens stabilitet*, Vägverket Region väst, Dnr AL90 B 2007:27435, Statens geotekniska institut, SGI, Slutrapport 08-05-29, Linköping.
- Lindström, G & Hellström, SS 2007, *Simulering av tjäldjup i ett framtida klimat*, 2007-05-21, i Persson et al. 2014.
- Löfroth, H 2011, *Kartering av kvickklereförekomst för skredriskanalyser inom Göta älvuppsdraget - Utvärdering av föreslagen metod samt preliminära riktlinjer*, Statens geotekniska institut, SGI, Göta älvutredningen, GÄU, Delrapport 29. Linköping.
- Löfroth, H, Lundström, K, Schälin, D, Åhnberg, H, Blied, L & Falemo S, 2012, *Modifiering av metodiker använda inom Göta älvutredningen*, Statens geotekniska institut, SGI, Varia 638, Linköping.
- Persson, G, Ohlsson, A, Eklund, D, Sjökvist, E & Hallberg, K 2014, *Klimatanalys - Värmlands län*, Länsstyrelsen Värmland, Publikationsnummer 2014:02, Karlstad.
- Påsse, T 2014, *Geologisk beskrivning av Norsälven*, Sveriges geologiska undersökning, SGU Rapport 2014:32.
- Rodhe, A, Lindström, G & Dahné, J 2009, *Grundvattennivåer i ett förändrat klimat*, Uppsala universitet/Sveriges hydrologiska och meteorologiska institut, Slutrapport från SGU-projektet Grundvattenbildning i ett förändrat klimat, proj nr 60-1642/2007.
- SCB 2012, *Datalager med totalbefolkning*.
- SGF 1996, *Geoteknisk fälthandbok, Allmänna råd och metodbeskrivningar*, SGF Rapport 1:96, Svenska geotekniska föreningen, Linköping.
- SGF 2013, *Geoteknisk fälthandbok*, SGF Rapport1:2013, Svenska geotekniska föreningen, Göteborg.
- SGI 2012, *Skredrisker i Göta älvdalen i ett förändrat klimat*, Statens geotekniska institut, SGI, Göta älvutredningen, GÄU, Slutrapport, Del 2 - Kartläggning, Linköping.
- SGI 2013a, *Klimatanpassning Skredriskartering, Dokumenthantering och projektvägledning, Konsultuppdrag*, Statens geotekniska institut, Styrdokument 99ST001, Linköping. Rev 140224.
- SGI 2013b, *Klimatanpassning Skredriskartering, Riktlinjer för val av skjuvhållfasthet*, Statens geotekniska institut, Styrdokument 99ST004, Linköping.
- SGI 2013c, *Klimatanpassning Skredriskartering, Riktlinjer för tekniskt arbete*, Statens geotekniska institut, Styrdokument 99ST002, Linköping.
- SGI 2014a, *Klimatanpassning Skredriskartering, Riktlinjer för tekniskt arbete*, Statens geotekniska institut, Styrdokument 01ST002, Linköping. Rev 140324.
- SGI 2014b, *Klimatanpassning Skredriskartering, Känslighetsanalys för ett förändrat klimat*, Statens geotekniska institut, Styrdokument 01ST003, Linköping. Rev 140823.

- SGI 2014c, *Klimatanpassning Skredriskkartering, PM Geoteknik*, Statens geotekniska institut, Rapportnummer 01PM001, Linköping.
- SGI 2014d, *Klimatanpassning Skredriskkartering, PM Känslighetsanalys, förändrat klimat*, Statens geotekniska institut, Rapportnummer 01PM002, Linköping.
- SGI 2014e, *Klimatanpassning Skredriskkartering, Markteknisk undersökningsrapport, MUR*, Statens geotekniska institut, Rapportnummer 01RA001, Linköping.
- SGI 2015a, Bergdahl, K & Odén, K, *Skredrisker i ett förändrat klimat – Norsälven, Del 1: Kartredovisning och sammanfattning av resultat*, Statens geotekniska institut, SGI, Publikation 18-1, Linköping.
- SGI 2015b, Bergdahl, K, Odén, K, Löfroth, H, Göransson, G, Jönsson, Å & Kiilsgaard, R, *Skredrisker i ett förändrat klimat – Norsälven, Del 2: Metod för kartläggning*, Statens geotekniska institut, SGI, Publikation 18-2, Linköping.
- SGI 2015c, Göransson, G, Hedfors, J, Ndayikengurukiye, G, Blied, L & Odén, K, *Skredrisker i ett förändrat klimat – Framtida erosion i Norsälven med hänsyn till klimatförändring, Del 3: Fördjupningsbilaga*, Statens geotekniska institut, SGI, Publikation 18-3, Linköping.
- SGI 2015d, Kiilsgaard, R, Bergdahl, K, Öberg, M, Helgesson, H, & Enell, A, *Skredrisker i ett förändrat klimat – Konsekvensanalys Norsälven, Del 3: Fördjupningsbilaga*, Statens geotekniska institut, SGI, Publikation 18-4, Linköping.
- Skredkommissionen 1995, *Anvisningar för släntstabilitetsutredningar*, Skredkommissionen, Rapport 3:95, Linköping.
- Skredkommissionen 1996, *Anvisningar för släntstabilitetsutredningar, Information*, Skredkommissionen, Rapport 5:95, Linköping.
- Sundén, G, Maxe, L & Dahné, J 2010, *Grundvattennivåer och vattenförsörjning vid ett förändrat klimat*, Sveriges geologiska undersökning, SGU Rapport 2010:12.
- Sällfors, G, 1990, *Punktskattningsmetoden, En statistisk metod användbar på geotekniska problem*, Chalmers Tekniska Högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen, Meddelande nr 89, Göteborg.
- Åkesson, M, 2010, *Mass movements as contaminant carriers in surface water systems – Swedish experiences and risks*, Lunds universitet, Examensarbete i geologi, No 253.

Bilaga 1

Inventerade geotekniska utredningar

Bilaga 1

Inventerade geotekniska utredningar

En inventering har utförts avseende tidigare utförda geotekniska undersökningar. Utredningarna, dvs. text, bilagor och ritningar, skannades in. Varje utredning har tilldelats ett ID-nummer och de uppgifter som anges i Excel-fil är utredningens ursprungliga benämning, datum för utredningen, konsult och dennes uppdragsnummer, från vilket fysiskt arkiv utredningen är hämtad, elektronisk sökväg till digital lagringsplats på SGI, vilket fil-/dokument-format, om utredningen också finns i borrhpunktsflik och/eller lodflik i Excel-fil, om materialet finns i GIS-format respektive om det är ett Geosuite-projekt (dvs. digitalt redovisade borrhpunkter) samt övriga kommentarer. I Excel-fil finns också en flik där samtliga borrhpunkter finns specificerade. I fliken över borrhpunkter finns uppgifter om tilldelat borrhpunkts-ID och originalbenämning, om den finns i Geosuite, årtal, typ av undersökning, konsult, fysiskt arkiv samt ”symbol”, dvs. den kod som illustrationen i GIS baseras på. Vidare finns information om position i så väl ursprungligt koordinat- och höjdsystem samt i SWEREF 99 TM och RH2000. De borrhpunkter som finns i Geosuite har lagts in i GIS och i de fall en utredning enbart finns i .pdf format har en länk till utredningen skapats i ett GIS-lager.

Inventeringen av befintliga utredningar omfattade även utförda förstärkningsåtgärder. Dessa uppgifter har lagrats i en Excel-fil som förutom tidigare angivna uppgifter också innehåller information om utredningsnivå enligt rapport.

NyId	Original benämning	Datum	Konsult	Uppdragsnr	Fysiskt arkiv	Utredningsnivå enligt rapport	Åtgärder utförda (ange antal) utifrån MSBunderlag
26_MSB	Stabilitetskartering i 8 kommuner i värmland	2014-07-11	SWECO			Översiktlig	Avschaktning, fyllning
14MSB	Stabilitetskartering 8 kommuner i Värmland. Arbetsmaterial	2014-07-11	SWECO	15163		Översiktlig	Inga
233	INLEDANDE GEOTEKNISK UNDERSÖKNING AV SEENDE STABILITET VID NORS KYRKA	2013-05-02	SWECO	233.5595	SWECO, Karlstad	Detaljerad	För bedömning av kyrkans grundläggning erfordras provgröpsgrävning och besiktning av eventuella rustbäddar för bedömning av deras status. Vidare bör en analys av takkonstruktionens överföring av krafter till bärande väggar utföras.
13Sa	Pågående utredning åt MSB	2013-01-01	SWECO		SWECO, Karlstad	fattas	
13Sb	Nors kyrka	2013-01-01	SWECO	?	SWECO, Karlstad	fattas	
10S	Edsvala gård. Detaljerad stabilitetsutredning	2010-08-20	SWECO	2335245	SWECO, Karlstad	Detaljerad	Inga
08Bv	Kil-Åmål. Edsvala KM 256+217 - 256+229	2008-12-15	Banverket	502091G150		endast ritn. (otolk)	Inga
08Sb	Karlstad. Trossnäs. Fördjupad stabilitetsutredning		SWECO	233.4922-100	SWECO, Karlstad	Fördjupad	Tryckbank, erosionsskydd, avschaktning 3 hus måste rivas 13:1, 13:2 och 7:3 plus en sommarstuga och ett antal mindre garage
08Sa	Vålberg. Töne 1:14 m.fl	2008-03-11	SWECO	233.4921	SWECO, Karlstad	Fördjupad	Tryckbank, eller pålning, eller K/C-Pelare, eller Avschaktning i kombineras med stöd-mur
07S	Karlstad. Snarberg. 1:7-1:12. Geoteknisk undersökning	2007-08-01	SWECO	233.4653	SWECO, Karlstad	Kompletterande	se fördjupad stb (...). Geo-Geoteknik\SWECO (Bakgrundsmaterial)_fordj stb utredningar\Norsbron) Sänkning av terrass (Schakt), avschaktning av slänkrön, erosionsskydd, åtgärder vid bäckfåra
06S	Höglunda 1:311. Höglunda Gård- huvudbyggnad. Kompletterande stabilitetsutredning. Reviderade stabilitetsberäkningar.	2006-05-12	SWECO	233.2305-205	SWECO, Karlstad	Kompletterande	Åtgärder från fördjupad stb. Höglunda 1:311 ny förslagna förstärkningsåtgärder och resultat av beräkningarna redovisas i bilaga 4 rev C och bilaga 5 rev C (Fattas)
03Sb	03Sb	2003-10-24	SWECO	233.2305-202	SWECO, Karlstad	Kompletterande	I fördjupad utredning har förstärkningsåtgärder genom schakt och motfyllning samt installation av kc-pelare behandlats.

Nr Id	Original benämning	Datum	Konsult	Uppdragsnr	Fysiskt arkiv	Utredningsnivå enligt rapport	Åtgärder utförda (enligt antal) utifrån MSBunderlag
035a	Älvqatan, Norsälven. Fördjupad stabilitetsutredning.	2003-07-04	SWECO	233 2305-209	SWECO, Karlstad	Fördjupad	Erosionsskydd (Höglunda 1:21 samt hela Höglunda 1:33 och 1:32)
02S	Fastigheterna Olsäter 1:4, Edsvalle och Höglunda säteri. Höglunda 1:311. Planritning och kostnadsbedömning	2002-01-20	SWECO		SWECO, Karlstad	Kompleterande	Olsäter 1:4 Stora delar av föreslagna åtgärder Återstående arbeten omfattar utläggning av erosionsskydd avschaktning och uppfyllning Höglunda säteri avschaktning, motfyllning, erosionsskydd
015a	Stabilitetsutredningar för 10 områden mellan Norsbron och Edsvalle	2001-02-19	SWECO	1542305000	SWECO, Karlstad	Detaljerad	
015b	Våberg/Norsbron, Snarberg 1:12. Detaljerad stabilitetsutredning	2001-02-16	SWECO	1542305000	SWECO, Karlstad	Detaljerad	Sektion A (Snarberg 1:7 och 1:8) Justeras av släntlutningen ligger i max 1:3. Avschaktning 30 m2/m. Sektion B (Snarberg 1:9 och 1:10) Avschaktning 65 m2/m slänt . Sektion C (Snarberg 1:12) Avschaktningen är omfattande att byggnaden inte kan vara kvar
015c	Våberg/Norsbron, Prästgården. Nor 1:1. 1:10 och 1:12. Detaljerad stabilitetsutredning	2001-01-25	SWECO	1542305000	SWECO, Karlstad	Detaljerad	Avschaktning i kombination med stödmurar intill hus samt utläggning av minst 0,5 meter erosionsskydd längs hela slänten.
015j	Edsvalle/Norr om damm. Höglunda 1:258 mfl. Inledand Stabilitetsutredning	2001-01-24	SWECO	1542305000	SWECO, Karlstad	Översiktlig	Inga
015f	Edsvalle/Höglunda gård- Sädesmagasin och säteri. Höglunda 1:311. Detaljerad stabilitetsutredning.	2001-01-23	SWECO	1542305000	SWECO, Karlstad	Detaljerad	Motfyllning, avschaktning . djupstabilisering med kalkcementpelare
015g	Edsvalle/Höglunda gård - Arbetarbostad. Höglunda 1:311. Inledande stabilitetsutredning	2001-01-23	SWECO	1542305000	SWECO, Karlstad	Översiktlig	Erosionsskydd
015d	Edsvalle/Hildelund, Nor 1:3 mfl. Detaljerad stabilitetsutredning	2001-01-19	SWECO	1542305000	SWECO, Karlstad	Detaljerad	Utfackning av slänt, avlastning, motfyllning djupstabilisering med kalkcementpelare
015e	Edsvalle/Rosenlund. Höglunda 1:312. Detaljerad stabilitetsutredning	2001-01-17	SWECO	1542305000	SWECO, Karlstad	Detaljerad	Motfyllning, avschaktning , dränerande åtgärder. djupstabilisering med kalkcementpelare
015k	Segerstad 1:24, Översiktlig stabilitetsutredning	2001-01-09	SWECO	154 2303	SWECO, Karlstad	Översiktlig	Kulvetering av bäcken, fyllning, geotextil
015i	Edsvalle/Älvqatan/Haryvåren. Höglunda 1:117, 1:21, 1:33 och 1:32	2000-12-29	SWECO	1542305000	SWECO, Karlstad	Fördjupad	Avschaktning, dränerande åtgärder. Djupstabilisering med kalkcementpelare motfyllning

Nr Id	Original benämning	Datum	Konsult	Uppdragsnr	Fysiskt arkiv	Utredningsnivå enligt rapport	Åtgärder utförda (enligt antal) utifrån MSBunderlag
015h	Oslåter 1-4, Edsvala. Geotekniskt PM avseende stabilitetsförhållanden för sländeleier mot Årbäcken och Norsälven	2000-11-16	SWECO	154.2294-000	SWECO, Karlstad	Kompletterande	Motfyllning, avschaktning eller fläckning, dränerande åtgärder, erosionsskydd
97Gi	Norsälven. Järnvägsbro km 353+174 (JVbro Kil-Charlottenberg)	1997-11-28	SGI/Banverket	29704210		endast ritn. (otolk)	Inga
94VV	Väg 61 Karlstad-Ärvika. Delen Kil-Fagerås. Bro över Norsälven B12	1994-01-01	Vägverket produktion	61-721682		Före 95	Inga
91S	Valunshaget 2:1 Nor. PM Andående. Släntstabilitet mot Norsälven	1991-01-23	SWECO	21651.34 8761-01	SWECO, Karlstad	Före 95	Avschaktning av släntkrön Utförandet av diken parallella med älven Urtiäggandet av erosionsskydd på slänter igenfyllande av fördjupningar i älvråran allt för branta slänter avschaktas, erosionsskydd
87Gi	Årsrapport anordande geoteknisk övervakning av stabilitetsförhållandena längs Norsälven. Edsvala-Yälberg i Karlstads kommun. 1986/87	1987-11-20	SGI	2-127/81	SGI, Fll e:247	Före 95	Vissa uppgifter om observationer samt förslag på åtgärder
87V	Utlåtande över grundförhållanden för projekterad bro över Norsälven (Norsbron) vid Lilnor på väg E18. Värmlands län	1987-02-02	VIAK AB	5313.34 8117	SGI, samlare 1	Före 95	Inga
86Gi	Årsrapport anordande geoteknisk övervakning av stabilitetsförhållandena längs Norsälven. Edsvala-Yälberg i Karlstads kommun. 1985/86	1986-12-19	SGI	2-127/81	SGI, Fll e:247	Före 95	Förslag till fortsatt övervakningsprogram
85Gi	Årsrapport anordande geoteknisk övervakning av stabilitetsförhållandena längs Norsälven. Edsvala-Yälberg i Karlstads kommun. 1984/85	1985-11-04	SGI	2-127/81	SGI, Fll e:247	Före 95	Mätresultaten för anledare inga åtgärder
84Gi	Årsrapport anordande geoteknisk övervakning av stabilitetsförhållandena längs Norsälven. Edsvala-Yälberg i Karlstads kommun. 1983/84	1984-09-14	SGI	2-127/81	SGI, Fll e:247	Före 95	vissa uppgifter om observationer samt förslag på åtgärder
83BV	Kil-Ärnå. Linjeomläggning KM 255+580 - 255+717	1983-08-01	Banverket	G150A200		Före 95	Inga
82Gic	Årsrapport anordande geoteknisk övervakning av stabilitetsförhållandena längs Norsälven. Edsvala-Yälberg i Karlstads kommun. 1981/82	1982-12-13	SGI	2-127/81	SGI, Fll e:247	Före 95	Mätresultaten för anledare inga åtgärder
82KC	Edsvala Linjeomläggning Kurvdelen	1982-10-26	K-Konsult	20055-098-01		Före 95	Inga
82a	Rapport över stabilitetsförhållandena längs Norsälven mellan Edsvala och Ävenås	1982-01-14	SGI	Dnr 2-204/81	SGI	Före 95	Erosionsskydd i vattenlinjen, motfyllning på älvbottnen, avschaktning av släntkrönet, skogsvård i slänterna, omflyttning av VA-ledningar

Nr/Id	Original benämning	Datum	Konsult	Uppdragsnr	Fysiskt arkiv	Utredningsnivå enligt rapport	Åtgärder utförda (ange antal) utifrån MSBunderlag
82Gla	<u>Rapport över stabilitetsförhållandena längs Norsälven mellan Edsvalle och Ävenås</u>	1982-01-14	Sgi	2-204/81	Sgi, samlare 1	Före 95	Sektion III (Edsalla, Höglunda 1:3) OBS Samtliga: Åtgärd ej markerad i plan Justering av släntlutningen till max 1:2. Avschaktning krön 20 m3/m. Erosionsskydd 6 m3/m sprängsten plus fiberväv. Skötsel vegetation. Flytta ledning. Sektion IV (Sofiedal/Ärbäck) Avschaktning krön 20 m3/m. Komplettera skadade erosionsskydd. Skötsel vegetation. Sektion V (Nor 1:1 - Hildelund) Avschaktning krön 35 m3/m. Fylla ut ojämnheter till lutning 1:2. Komplettera skadade erosionsskydd. Fylla igen djuphål i älv. Skötsel vegetation. Sektion VA (Höglunda 1:51) Avschaktning krön 25 m3/m. Fylla ut ojämnheter till lutning 1:2. Komplettera skadade erosionsskydd. Fylla igen djuphål i älv. Skötsel vegetation. Sektion VI (Vålberg, Doktorsgatan-Brobacksgatan) Avschaktning krön 25 m3/m. Sänkning Vålbergsvägen till +48. Justering lutning till 1:4.5 med fyllning. Erosionsskydd? (oklart) Sektion VII (Vålberg, Heleneborgsgatan) Utfyllning och erosionsskydd. Justering av släntlutningen till 1:2 eller 1:4 (Okänt) Sektion VIII (Vålberg, Sjösalagatan Åstorp 1:37 mfl) Avschaktning krön 24 m3/m. Sänkning Vålbergsvägen till +48. Uppfyllning slänt samt under vatten ger justering av lutning till 1:3. Funderar som erosionsskydd. Flygbild visar att 5-6 hus rivits. Sektion IX (Vålberg) Avschaktning krön 20 m3/m. Erosionsskydd 0.5 m tjockt av krossmaterial 0-300. Fiberväv. Sektion X (Älvågen, Skjutbacksgatan) Justering av släntlutningen till 1:3.7 genom avschaktning ca 6 m3/m samt utfyllning (funderar som erosionsskydd).
82b	<u>NORSÄLVEN, DELEN EDSVALLA - VÅLBERG. GEOTEKNISK UTREDNING AV SLÄNTSTABILITETEN</u>	1981-12-11	Sgi	Dnr 2-204/81	Sgi		Avschaktning, stödfyllning erosionsskydd försås
81Gi	<u>Norsälven, delen Edsvalle-Vålberg, Värmlands län. Geoteknisk utredning av släntstabiliteten</u>	1981-12-11	Sgi	2-204/81	Sgi, samlare 1	Före 95	Se 82Gla/ Vålberg (sekt IX) stödfyllning i älven och/eller avschaktning bakom släntkrönet. Vidare erfordras att erosionsskydd utläggs.
C81	<u>Statens geotekniska institut rapport över undersökning av stabilitet längs norsälven på sträckan edsvalle-Norskyrka. Karlstad</u>	1981-10-23	Sgi	Dnr 2-204/81	Sgi	Före 95	Erosionsskydd, avschaktning (glort)
81SC	<u>Edsvalle, Älvågen, Höglunda 1:21, 1:33, 1:32 OCH 1:317</u>	1981-10-23	Scandiakonsult	67.3004-01	Sgi, F Ild:208	Före 95	Se 82Gla
81T	<u>Tidigare utförda undersökningar</u>	1981-01-01	Tyréns/Sgi	2-204/81	Sgi, F Ild:208	Före 95	Med hänsyn till älvsläntens dåliga stabilitet rekommenderas viss avschaktning av släntkrönet och utläggning av erosionsskydd på älvens strand och botten.
80K	<u>Norsbrons samhälle. Stabilitet</u>	1980-08-08	K-Konsult	77001-111-23	SWECO, Karlstad	Före 95	Avschaktningen, vertikaldränering, erosionsskydd kalkpelarstabilisera den lösa leran
79VV	<u>Väg 710 N Hamnås-Nilsby. Delen . Bro över Norsälven vid Rud</u>	1979-06-20	Vägrvet			Före 95	Brostöden och brokoner samt vägbank skall skyddas mot erosion. Bankpålning, Erosionsskydd

Nr id	Original benämning	Datum	Konsult	Uppdragsnr	Fysiskt arkiv	Utredningsnivå enligt rapport	Åtgärder utförda (ange årtal) utifrån MSBunderlag
7xT	Programutredning angående Norsälvens stabilitet	1979-01-01	Tyréns	?	SGI, F.IIId:208	före 95	Avschaktning av slänkrön, Utläggandet av erosionsskydd stabiliserande åtgärder måste prioritera olika delar av älven med hänsyn till den risk för skred som föreligger. (Byggnadsförbud bör utföras) Borttagning av alla större träd på slänten och på en rensa med viss bredd på slänkrönet
78V	Kontroll av föreslagna åtgärder med odänerad analys	1978-06-29	VIAK AB	63.7186	SGI, samlare 1	före 95	Inga
78T	Redogörelse för utförda okulära besiktnings- och bormningar vid Norsälven	1978-03-10	Tyréns	40-10160	SGI, F.IIId:208	före 95	För att undvika bottenerosjon ut lägger man på de grundare delarna av älven ett botten lager av sandigt grus.
75VV	Utlåtande över grundförhållanden för projekterad bro över Norsälven (Norsbrom) vid Lillnor på vägn E18, Värmlands län	1975-09-01	Statens Vägverk	50098	SGI, F.III c:1943	Före 95	Inga
71nn	Förslag till erosionsskydd i Norsälven vid Nors Hembvårdsgård, Hildelund, Höglunda, Årbäck och Edsvalå i Nors socken, Värmlands län	1971-01-01	NN71 John Wikström?	2-204/81	Lösa	Före 95	Erosionsskydd: Edsvalå-Höglunda 1:3 (Älvgatan) sektion 23-24, Höglunda 3 sektion 21-22, Årbäck sektion 21, Höglunda 2 sektion 18-19, Hildelund sektion 16, Höglunda 1 sektion 15, Nors hembvårdsgård sektion 10-14, <u>Muddring</u> : Nors hembvårdsgård sektion 10-14.



Statens geotekniska institut

Postadress: 581 93 Linköping

Tel: 013-20 18 00

E-post: sgi@swedgeo.se

www.swedgeo.se
