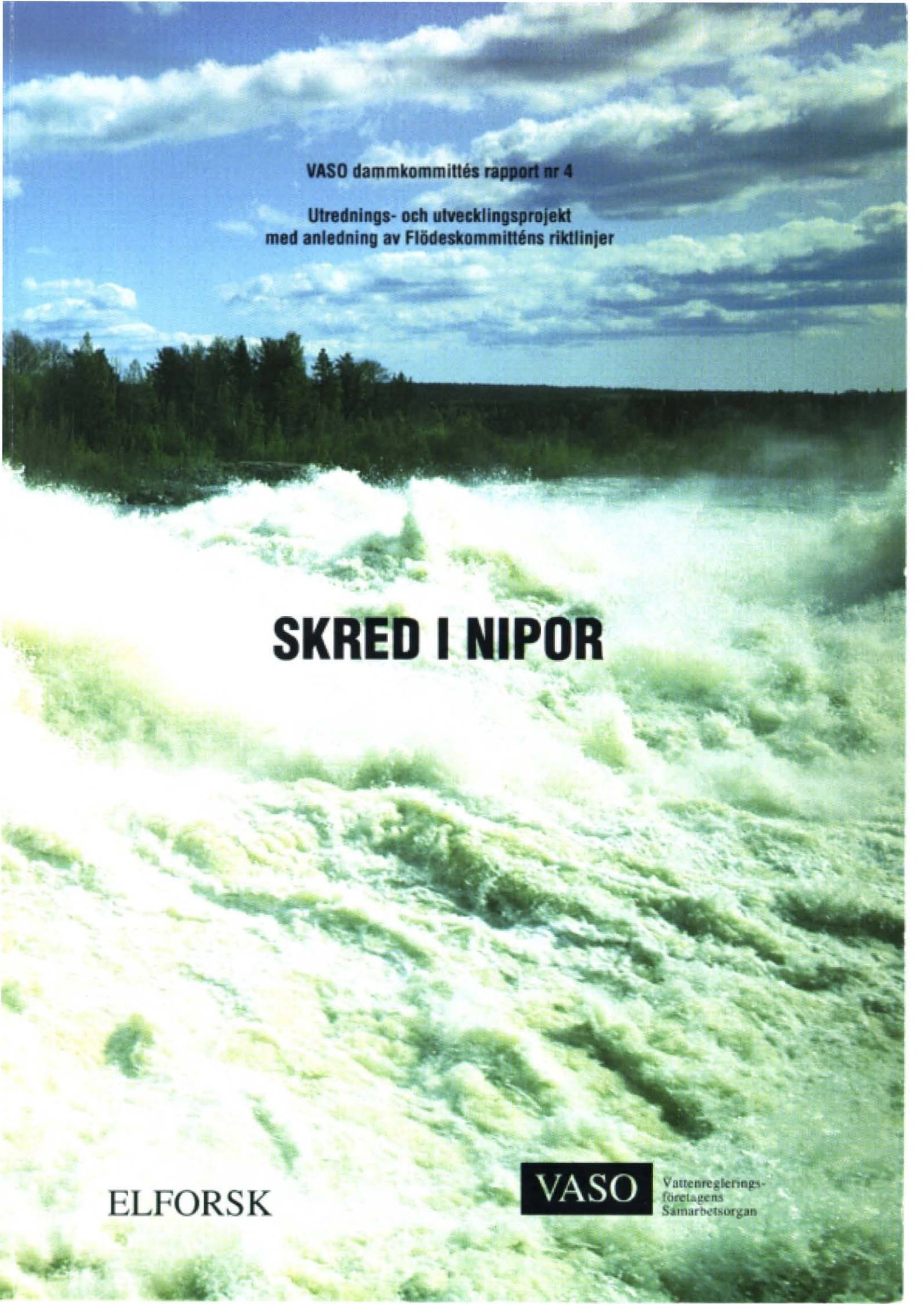




VASO dammkommittés rapport nr 4

**Utrednings- och utvecklingsprojekt
med anledning av Flödeskommitténs riktlinjer**

SKRED I NIPOR

ELFORSK

VASO

Vattenreglerings-
företagens
Samarbetsorgan

VASO dammkommittés rapport nr 4

**Utrednings- och utvecklingsprojekt
med anledning av Flödeskommitténs riktlinjer**

SKRED I NIPOR

**Rolf Christiansson, Vattenfall Hydropower AB
Erik Arnér, Vattenfall Hydropower AB**

Rapporten färdigställd 1993-04-16
Omslagsfoto: Bengt Johansson, Vattenfall
Grafisk form: Fras&Form
Tryck: Spånga Tryckeri AB 1995
ISSN 1400-7827

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	i
SAMMANFATTNING	ii
SUMMARY	iii
1. INLEDNING	1
2. ÄLVDALARNAS GEOLOGI	3
2.1. Jordartsindelning	3
2.2. Sveriges jordartsgeologiska historia	3
2.2.1. Moräner	3
2.2.2. Glaciala sediment	3
2.3. Kustlinjens utveckling	5
2.4. Älvsedimentens geotekniska egenskaper	8
2.5. Naturlig erosion	8
3. NIPORNAS DOMINERANDE JORDART – SILT	11
3.1. Mekaniska egenskaper	11
3.2. Cementeering	12
3.3. Konsistens	13
3.4. Kapillaritet	13
3.5. Erosion av silt	14
4. SKRED	15
4.1. Former, orsaker och initiering	15
4.2. Nipors stabilitet	17
5. KONSEKVENSER OCH RISKER I SAMBAND MED SKRED	19
5.1. Förträngningar i vattendrag	19
5.2. Vågor genererade av skredmassor	19
5.3. Risk för uppdämning genom medföljande träd	19
5.4. Risk för byggnader och människor	20
6. FÖRSLAG TILL FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR	23
7. LITTERATURFÖRTECKNING	25

FÖRORD

Vattenkraftutbyggnaden och därmed byggande av stora dammar startade i stor skala i Sverige efter andra världskriget och var mest omfattande under 50- och 60-talen.

Principerna för utformning och konstruktion av dammanläggningarna under denna intensiva utbyggnadsperiod äger i huvudsak sin giltighet fortfarande.

Vad avser krav på utskovens avbördningsförmåga har dessa föreslagits av dammägarna och (efter eventuella justeringar) fastställts av vattendomstol med SMHI som sakkunnig. Kriterierna i detta avseende kan därför sägas ha etablerats gemensamt av dammägarna och SMHI.

Under 1980-talet ifrågasattes i Sverige, såsom tidigare skett i många andra länder, de etablerade principerna för utskovsdimensionering. Flödeskommittén, som tillsattes av kraftindustrin och SMHI för att utreda flödesriskerna, föreslog i sin slutrapport ett nytt sätt att beräkna dimensionerande tillrinning. Kriterierna innebär att dammar med allvarliga brottkonsekvenser skall kunna klara ett påtagligt högre tillflöde än vad man tidigare räknat med.

För att på ett säkert och kostnadseffektivt sätt kunna anpassa dammbeståndet till de nya kraven har ett stort antal utredningar och utvecklingsprojekt genomförts. Dessa projekt har genomförts på uppdrag av VASO dammkommitté, som är kraftindustrins gemensamma organ i dammsäkerhetsfrågor och bland annat har till uppgift att samordna dammarnas anpassning till de nya riktlinjerna. Den styrgrupp som lett arbetet har bestått av Harald Eriksson – Sydkraft, som varit ordförande, Sten Lasu – Svenska Kraftverksföreningen, Lennart Markland – Vattenregleringsföretagen samt Malte Cederström och Urban Norstedt – Vattenfall.

För varje projekt finns en rapport och därtill finns en sammanfattande rapport över hela arbetet, huvudrapporten (nr 1), vilken även innehåller en sammanställning över de rapporter som ingår i serien.

Föreliggande projekt har genomförts av Rolf Christiansson och Erik Arnér vid Vattenfall Hydropower AB med Urban Norstedt, Vattenfall Vattenkraft, som ombud för beställaren. Projektet har i en förstudie behandlat frågan om stabiliteten i branta nipor samt risken för och konsekvenserna av skred.

Den viktigaste frågan ur dammsäkerhetssynpunkt är huruvida skred i nipor kommer att inträffa i samband med riktigt höga flöden och om de i så fall kommer att bereda några extra svårigheter med avseende på dammarnas säkerhet. Studien anger att det i första hand är det extra flytgods som nipskred kan medföra, som bör beaktas i detta sammanhang.

Studien är på intet sätt fullständig, utan enbart en förstudie. I rapporten betonas behovet av fördjupade studier inom detta område för att få ett bättre grepp både om siltjordarnas egenskaper och om lämpliga åtgärdsprogram för att stabilisera och skydda nipor. Skred i nipor berör inte bara vattenkraftområdet utan i hög grad även vägar, kanaler, broar och bebyggelse i allmänhet, varför det finns anledning till samverkan.

VASO dammkommitté

SAMMANFATTNING

På uppdrag av VASO har Vattenfall Hydropower gjort en förstudie om skred i nipor. Nipor är branta erosionsslänter i silt, ofta med ett sandigt inslag, och förekommer under Högsta kustlinjen längs de norrländska älvdalarna. De har bildats genom att älvarna skurit sig ner i det sediment som de avsatt tidigare under postglacial tid, då de mynnade längre in i landet. Därigenom har det i de erosionskänsliga jordarterna kunnat bildas höga branter på sidan av älvarna, på sina håll upp till 50 meters höjd med 45° medellutning. Med traditionella beräkningsmetoder är dessa nipor alltför branta för att de skulle kunna vara stabila. De huvudsakliga förklaringarna till att de ändå står kvar är att det finns negativa porvattentryck och cementeringseffekter i jorden.

Bland annat på grund av älvens undergrävande erosion kan det ibland ske skred i niporna. Dessa skred har en i jämförelse med lerskred liten omfattning och går endast ytligt. Skredytorna är plana och skredförloppen ganska långsamma.

De konsekvenser som ett skred kan medföra är förhållandevis outredda. Inget fall är känt där ett skred har lett till en uppdämning av en älv, och det är inte troligt att skredmassorna ens från ett stort skred skulle kunna minska tvärsektionen i en älv med mer än 10–15%. De vågor som kan uppstå genom ett sådant skred är förhållandevis små. Däremot skulle medföljande träd kunna rivas med av strömmen och, fastna i trånga sektioner eller under broar och orsaka uppdämning och extra laster på bropelare. De risker som kan finnas för boende och för skador på byggnader måste utredas för varje nipa, lämpligen genom inventeringar av samma slag som har genomförts på uppdrag av Räddningsverket för ett antal kommuner längs Dalälven.

Det rekommenderas att fortsatta studier sker inom området. Siltens mekaniska egenskaper liksom brottmekanismerna i siltslänter bör studeras närmare. Den cementering som finns i niporna och dess känslighet för yttre påverkan bör utredas. Möjligheterna att utveckla släntvårdsprogram för slänter med olika vegetationstyper bör utredas. En sammanställning av äldre skred genom att en skredstatistik ställs samman, skulle kunna öka kunskapen om skred och möjligheterna att beräkna sannolikheten för och det ekonomiska utfallet av olika förlopp. En genomgång av alla broar och trånga sektioner nedströms skredbenägna nipor för att identifiera riskobjekt för uppdämning genom medföljande träd är angelägen. Älvvisa inventeringar av skredbenägna slänter i bebyggda områden bör utföras.

SUMMARY

This project which deals with risks and consequences of slides in river bluffs has been performed by Vattenfall Hydropower AB as a pilot study funded by the Swedish Association of Water Regulation Enterprises, VASO. River bluffs are steep slopes formed by erosion in silty and sandy river deposits. They occur along river valleys in the middle of Sweden in areas below the highest shoreline formed during the post-glacial period. Due to the ongoing land elevation the rivers have eroded terraces formed by their earlier depositions. The formation of high river bluffs has thus been enabled at the riversides, at some places up to 50 m high and with an average inclination of 45° . According to a traditional slope stability analysis they are too steep to be stable. The fact that they remain standing can mainly be explained by the occurrence of negative pore pressures and cementation effects.

Slides occur occasionally due to river erosion as well as other causes. The slides are shallow and insignificant compared to clay slides. The slide surfaces are plane and the action quite slow.

The consequences of slides in river bluffs are relatively uninvestigated. No case is known where masses from a slide have dammed up a river and it is not likely that even a large slide could reduce the cross-section in a large river by more than 10–15%. The waves generated during such a slide are said to be relatively small. Trees that fall down with the slide masses and caught by the stream are a greater risk, because they might jam in narrow sections or under bridges, causing a rise of water and horizontal forces on structures. Risks to residents and buildings have to be investigated for each river bluff, suitably by inventories of the same kind as those already made for a number of municipalities along the Dalälven river at the request of the Swedish Rescue Agency.

Further studies within this field are desirable. The mechanical behavior and cementation of silt as well as failure mechanisms of river bluffs and their sensitivity to external disturbance should be investigated. Development of slope preservation programs for various vegetation types should be considered. A list of slide occurrences might increase the knowledge of slides and make it possible to estimate the probability and economic consequences of different course of events. All bridges and narrow sections downstream river bluffs ought to be examined in order to identify places where trees might jam and cause damage to structures or a rise of water upstream. Inventories of risk zones in inhabited areas are recommended.

1. INLEDNING

Nipor brukar definieras som höga erosionsbranter i silt. De förekommer under högsta kustlinjen i de flesta större älvdalarna från Dalälven och norrut, och har utvecklats som en följd av de varierande geologiska förhållandena som rått under glacial och postglacial tid. Älvmynningarna har p g a landhöjningen flyttats allt längre ut mot öster, vilket inneburit att älvarna med tiden skurit sig ner i sina äldre avlagringar. Detta förlopp underlättas av att de forna sedimenten till stora delar består av lättroderade sand- och siltjordar. Där förhållandena varit gynnsamma har älven skurit sig djupt ner, efterlämnande höga branter på sidan. Älven eroderar även dessa och som följd av denna underminering av slänten sker ibland skred.

Risken för skred i nipor och de brottmekanismer som ligger bakom är förhållandevis outforskade i de aktuella jordarterna. Likaså har de konsekvenser skreden kan medföra ägnats ganska liten uppmärksamhet. Inte minst gäller detta effekter i älvarna av skred och påverkan på niporna genom korttidsreglering av vattendragen.

Denna förstudie är gjord av Vattenfall Hydropower AB på uppdrag av VASO och är ämnad att ge en bild av kunskapsläget inom området och att identifiera de risker som skred kan medföra samt att vid behov föreslå fortsatta studier eller undersökningar inom området.

2. ÄLVDALARNAS GEOLOGI

2.1. Jordartsindelning

Jordarterna i Sverige är bildade av processer under och efter senaste istiden.

Jordartsindelningen kan ur geologisk synpunkt göras efter olika principer.

Tidsmässigt

Glaciala jordar (bildade under istid)

Postglaciala jordar (bildade efter istid)

Efter avlagringssätt

Glaciala jordar (avsatta under, eller i anslutning till en glaciär)

Sediment (transporterade av vatten eller vind)

Bildade på plats (vittringsjordar, mossar)

Gravitativa (rasmassor, t ex talus)

Efter sammansättning

Mineraljordar

Organiska jordar

Efter fysikaliska principer

Kornstorleksindelningar (Atterbergs klasser o dyl.)

2.2. Sveriges jordartsgeologiska historia

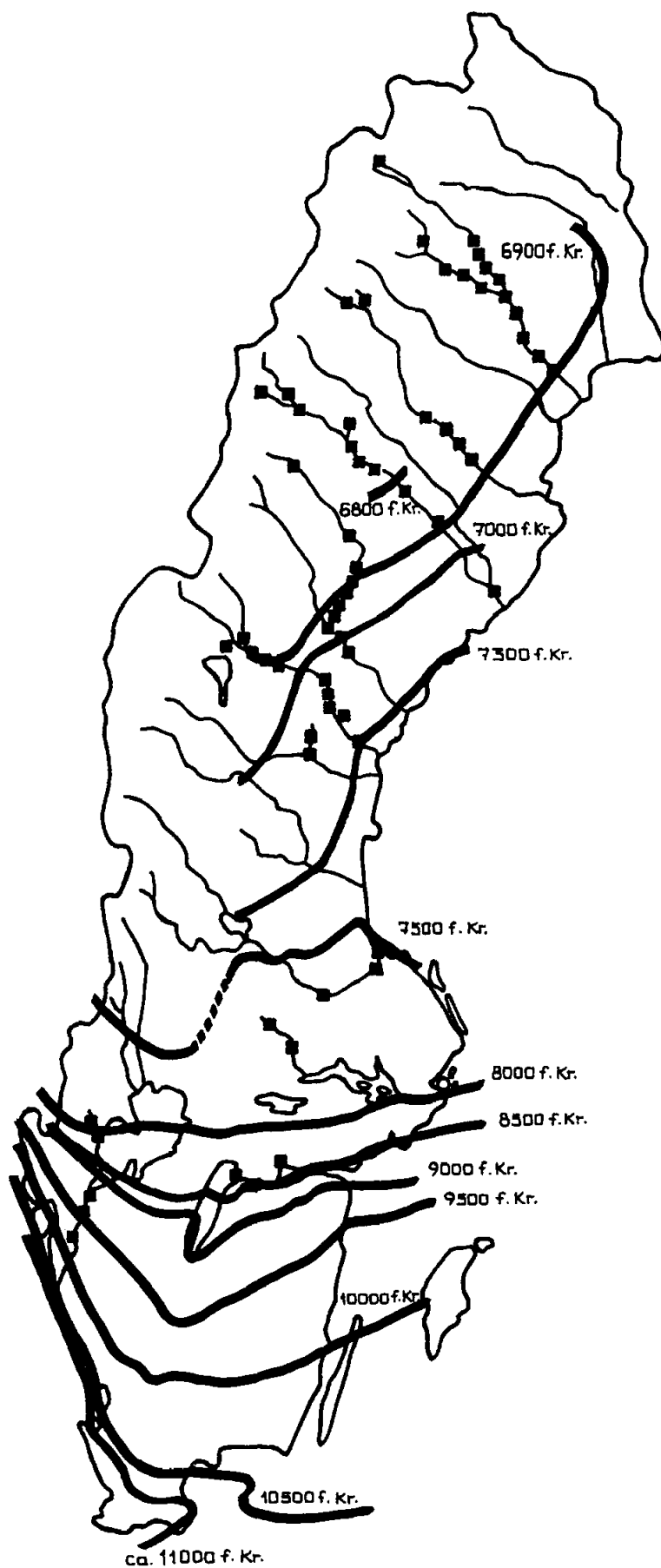
2.2.1. Moräner

Morän är Sveriges vanligaste jordart. Inlandsisen skrapade av äldre lösa avlagringar, samt eroderade berggrundsytan. Berggrundens mineralogiska sammansättning styr i hög grad moränens sammansättning. Finkorniga, svaga bergarter maldes ner till moräner med hög finjordshalt, t ex Skånes moränleror. Inom Norrland, där den grovkorniga Revsundsgraniten är vanligaste bergarten, blev moränen sandig – siltig. Kvarts och fältspat är dominerande mineralkorn i silt och sandfraktionerna.

2.2.2. Glaciala sediment

I samband med inlandsisens avsmältning samlades smältvatten i sprickor i isen. Dessa smältvattenflöden samlades ofta till områden med distinkta nivåvariationer, t ex de större dalgångarna. Moränmaterialet som följde med smältvattnet slipades under transport och avsattes successivt som *isälvsavlagringar*. Kornstorlek och fördelning varierar med vattenhastigheten som rådde vid varje tidpunkt.

Utanför iskanten, i lugnare vatten, avsattes *finkorniga glaciala sediment*. De blev ofta varviga, beroende på olika strömningshastighet under sommar (siltiga skikt) och vinter (leriga skikt). I de lugnaste djupvattnen avsattes slutligen de finkornigaste partiklarna (lera).



Figur 2.1. Inlandsisens avsmältning. Förenklad från förlaga av G. Lundqvist.

Under landhöjningen efter isavsmältningen (se kap 2.3) har materialtransporten fortsatt via älvarna ut i fjärdar och hav. I en given punkt avsattes först finkorniga postglaciala sediment. I takt med att landhöjningen försköt älvmyningarna närmare avsättningsområdet, avsattes successivt grövre fraktioner (se figur 2.4).

De postglaciala sedimenten kan innehålla varierande andel organiskt material.

2.3. Kustlinjens utveckling

Inlandsisen började smälta från Skåne 11–12 000 år f.Kr. Då fanns troligen fortfarande mer aktiva isrörelser i Östersjöns sänka.

Under en tillfällig klimatförsämring ca 8 200–9 000 år f.Kr. stannade isavsmältningen av i Mellansverige. Detta israndläge kan spåras även i södra Finland och längs Norges kust.

Ca 7 500 år f.Kr., när iskanten gick från mellersta Värmland till Gästrikland, skedde en accelererande isavsmältning. Inom några hundra år bröts isen sönder i Bottenhavet och Bottenviken. Efter ytterligare ca 500 år var i stort sett hela Skandinavien inlandsis bortsmält. Stora smältvattenmängder strömmade ut i de fjärdar som idag utgör Norrlands-älvarnas dalgångar. Smältvattenflödena accelererade norrut. Därför finns generellt sandigare avlagringar längs de större, nordligaste älvarna.

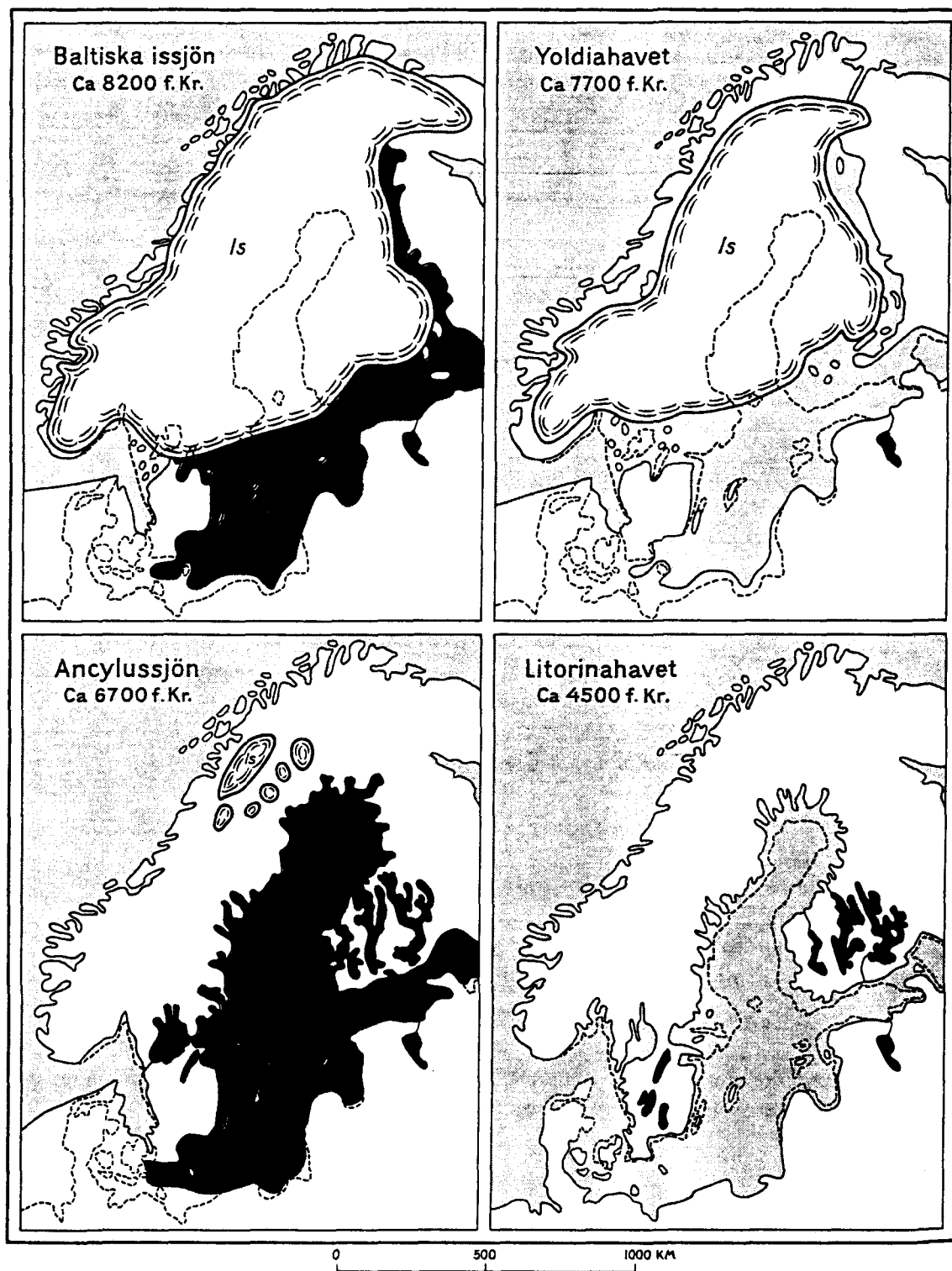
En sammanställning över inlandsisens avsmältning ges i figur 2.1.

Beroende på landhöjningens utveckling och iskantens avsmältning har Östersjön förbindelse med Nordsjön varierat, se figur 2.2. De områden där lera avsatts huvudsakligen i salt vatten är Västkusten, Gästriklands och södra Hälsinglands kustområden. Leraggregaten har där byggts upp under påverkan av natriumjoner till glesa kornskelett, vilket ofta ger leran en hög sensitivitet (s k kvickleror). I det salta vattnet avsattes dessutom leran närmare kusten, pga att leran bildade flockar och sedimenterade tidigare än vad de annars skulle ha gjort.

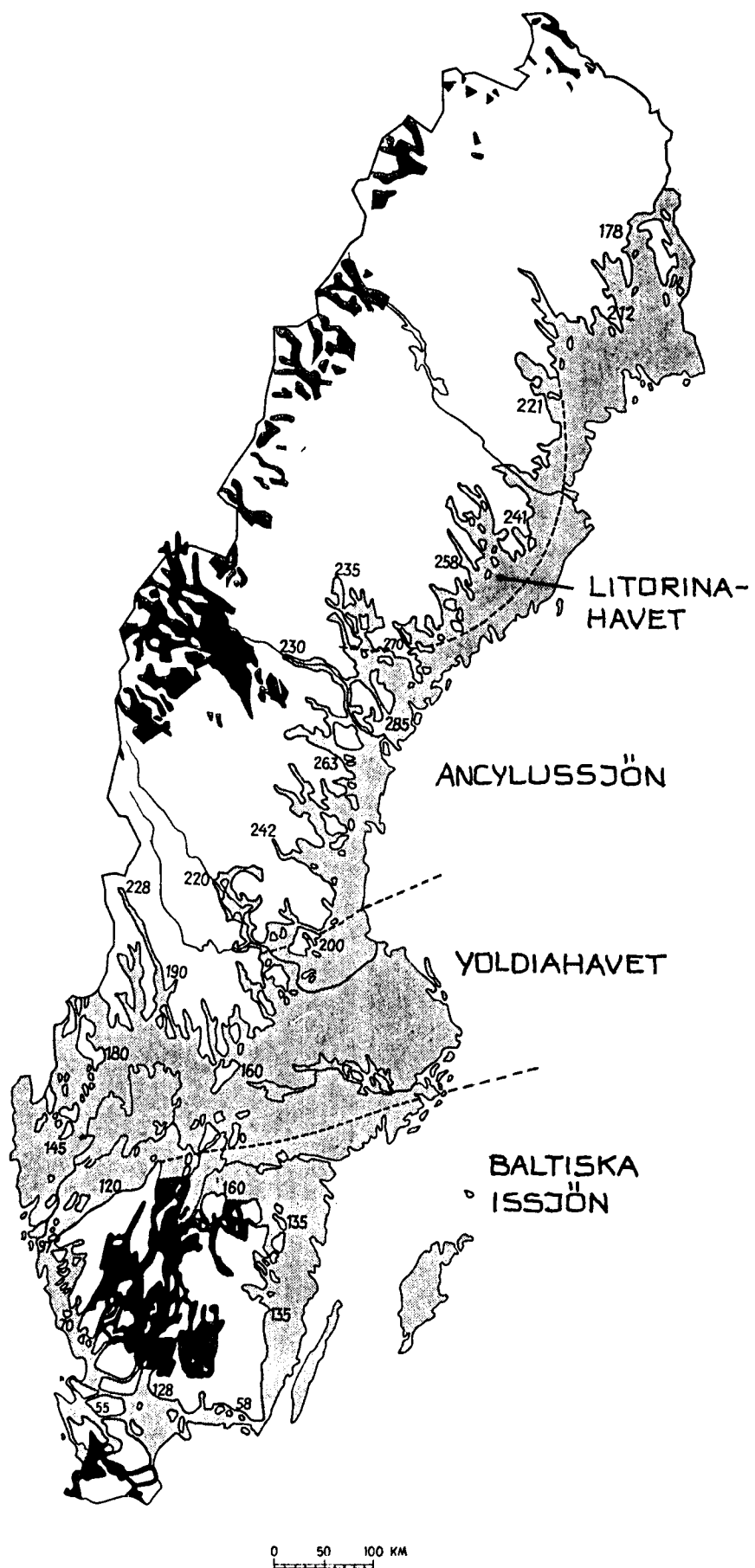
Högsta kustlinjens läge framgår av figur 2.3. Där framgår också under vilket utvecklingskede av Östersjön som Högsta kustlinjen utvecklats.

Det finns en markant skillnad i sediment mellan älvdalarna i södra och norra Sverige. Söder om en linje genom mellansvenska låglandet och södra Norrlands kustbygd var isavsmältningen långsammare och sedimentation skedde på flackare bottnar än inom Norrlandsterrängen. Större leravlagringar är vanliga.

Inom Norrlandsterrängen var isavsmältningen snabbare (se figur 2.1). I de relativt koncentrerade dalgångarna var vattenhastigheten stor. Andelen sand och silt var också stor i slammet. En principiell sedimentlagerföljd i en norrländsk älvdal under Högsta kustlinjen kan beskrivas enligt följande (se figur 2.4 och följande text):



Figur 2.2. Östersjöns viktigaste utvecklingsskeden. Mörkt raster betecknar sött vatten.



Figur 2.3. Högsta kustlinjen i Sverige, samt aktuellt utvecklingsstadium för Östersjön.

1. Isälvsavlagringar avsätts i eller nära jökelporten.
2. När iskanten drar sig bakåt, avsätts successivt finkornigare glaciala sediment. Lerskikt kan förekomma.
3. I fjärdarna som bildades upp mot Högsta kustlinjen avsattes finkorniga postglaciala sediment, främst silt. En låg andel organiskt innehåll kan förekomma.
4. Älvarnas delta har förflyttats nedströms i takt med landhöjningen. Deltaavlagringarna består huvudsakligen av sand. Längre bort från deltat har silt avsatts.
5. Slutligen har älvar eroderat sina egna sediment.

Beroende på älvdalens bredd, form samt läge i dalgången kan något av ovan nämnda avlagringar saknas i ett visst läge.

2.4. Älvsedimentens geotekniska egenskaper

Norrlandsälvarnas sediment avsattes främst i Ancylussjöns vatten. De tidigare älvar som avsatte sina avlagringar i ett förstadium av Litorinahavet (se figur 2.3) tillförde så mycket smältvatten, att sedimentation skedde i sötvatten. Endast inom delar av Ångermanälven kan viss sedimentation ha skett i mer bräckt eller salt vatten.

Den kemiska miljön vid sedimentavsättning var således likartad längs större delen av Norrlandskusten. Utfällning av järnoxid och kalkutfällningar är ofta rapporterade från de siltiga och sandiga sedimenten. Detta orsakar ofta en viss cementeringseffekt.

Utfällningarna förekommer i två principiellt skilda lägen:

1. I relativt grövre skikt, troligen orsakade av järnutfällning från tidigare högre grundvattenstånd.
2. I homogena silt- och finsandlager. De har antingen orsakats av utfällning från vatten, lakning av främst järn ur fältspat eller omvandling av kolsyra ur grundvatten till kalcit i porvinklar.

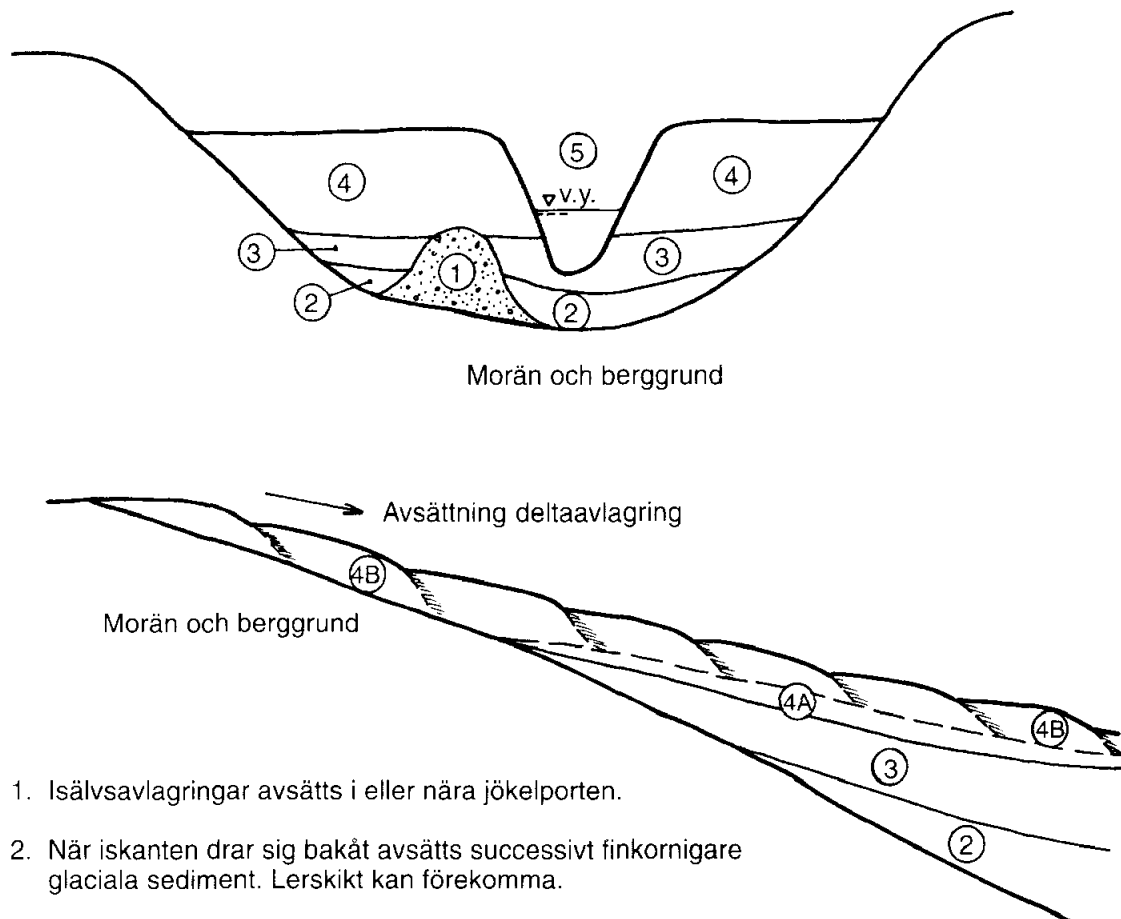
Silten över grundvattenytan kan ofta vara överkonsoliderad pga avlastning via erosion. Leriga skikt med låg skjuvhållfasthet (glaciala eller postglaciala fjärdsediment) har påträffats i detaljundersökningar.

2.5. Naturlig erosion

Förekommande finkorniga jordarter i de norrländska älvdalarna är lätteroderade. Vatten- drag meandrar lätt i dessa jordar. Även i en relativt bred älvfåra kan djupfåran meandra, med undervattenserosion som följd. Naturliga strandförskjutningar finns avrapporterade i ett antal översiktsstudier.

Även bäckar och åar som ansluter till älvarna kan lätt erodera sig ner i sedimenten. Detta gör att det på många håll i älvdalarnas siltjordar bildats ravinlandskap på sidan av älvarna, t ex Säterdalen i Dalarna. Denna ravinbildning kan gå mycket snabbt om förhållandena är gynnsamma.

Där tillskotten från ytvatten varit sämre har sedimenten kunnat kvarstå i form av branta nipor. Niporna är ofta brantare än aktuell jordarts friktionsvinkel. Cementering och porvattenundertryck är de mest påtagliga orsakerna till detta.



1. Isälvsavlagringar avsätts i eller nära jökelporten.
2. När iskanten drar sig bakåt avsätts successivt finkornigare glaciala sediment. Lerskikt kan förekomma.
3. I fjärdarna, som bildades upp mot Höga kustlinjen, avsattes finkorniga postglaciala sediment, främst silt. En låg andel organiskt innehåll kan förekomma.
4. Älvarnas delta har förflyttats nedströms i takt med landhöjningen. Deltaavlagringarna består huvudsakligen av sand. Längre bort från deltat har silt avsatts.
5. Slutligen har älvar eroderat sina egna sediment.

Figur 2.4. Principskiss över lagerföljd i en norrländsk älvdal.

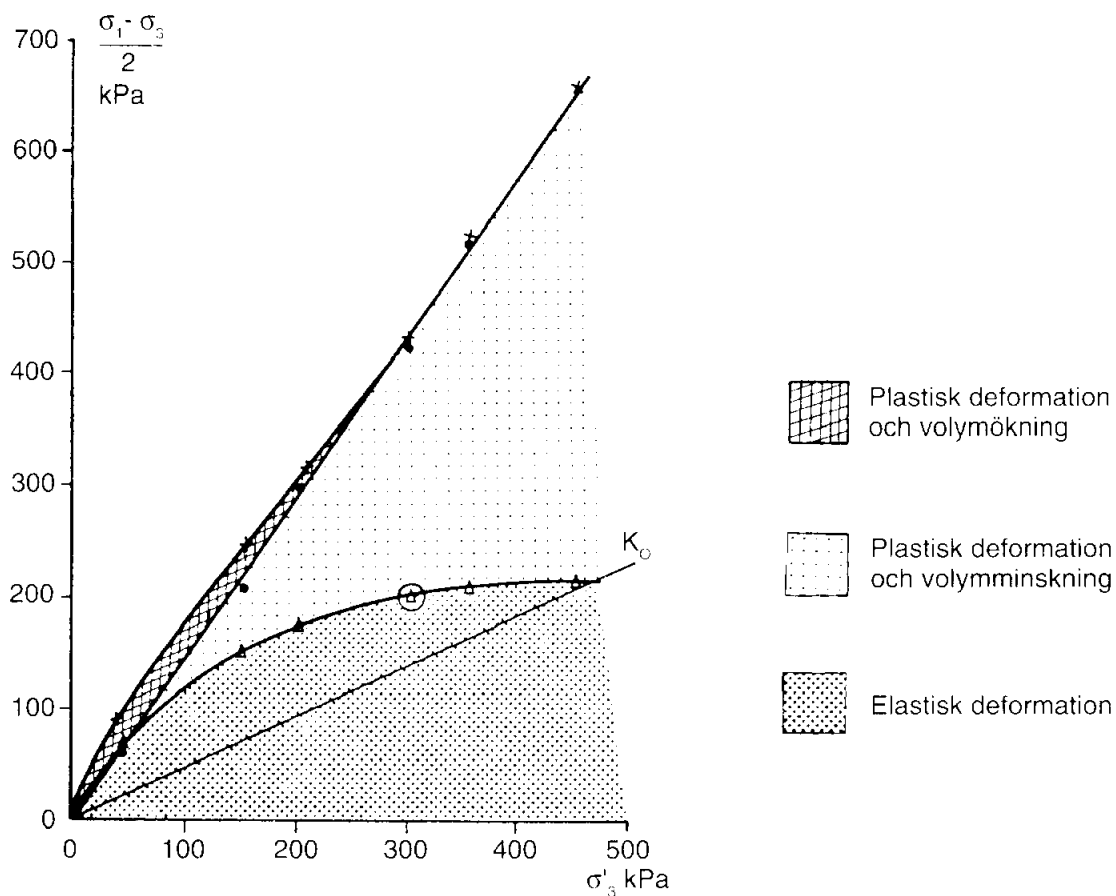
3. NIPORNAS DOMINERANDE JORDART - SILT

3.1. Mekaniska egenskaper

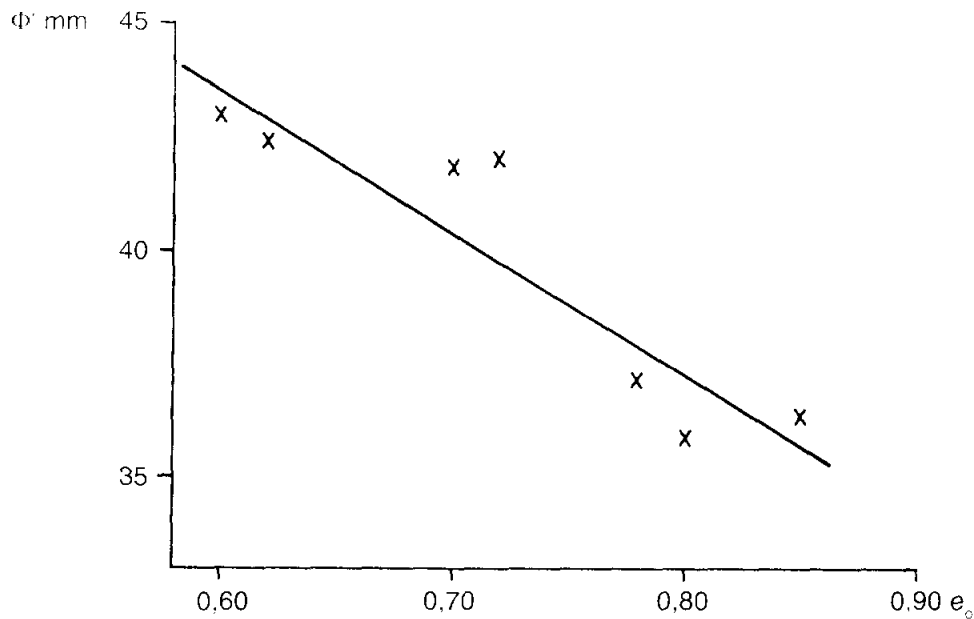
Silt är beteckningen på jordar vars huvudbeståndsdel är korn i storleksordningen 0,002–0,06 mm, dvs det som kallas mjåla och finmo i Atterbergs kornskala. Det brukar ur hållfasthetssynpunkt räknas som en kohesionsjord trots att dess inre friktion är av större betydelse för bärförmågan.

Kohesionen i silt anges av handböcker till 2–3 kPa. Detta värde är dock endast en grafisk anpassning av brottenvelopen till Mohr–Coulombs brottkriterium. Försök har visat att den verkliga brottsenvelopen går genom origo, och att den verkliga kohesionen följaktligen är noll (Börjesson, 1981). Brottsenvelopen brukar för de flesta siltiga jordar vara böjd, till följd av att silten tenderar att dilatera vid en ökning av normaltrycket. Hållfastheten hos silt med ett lågt lerinnehåll består endast av inre friktion och av eventuella cementerings-effekter. Dessutom bidrar den nämnda dilatationen till en ökning av hållfastheten.

Värdet på friktionsvinkeln är beroende av vald provningsmetod. Triaxialtester ger en friktionsvinkel som ligger omkring 5° över de som erhålls vid skjuvboxförsök (Börjesson, 1981). Siltens friktion är också beroende av portalet. Friktionsvinkeln hos en silt från Luleå uppmättes till 43° vid portalet $e=0,6$ och 36° då $e=0,85$. Om man istället använder en Mohr–Coulomb modell med ett värde på kohesionen, brukar friktionsvinkeln anges till ca 35° vid fast lagring och 30° vid lös lagring.



Figur 3.1. De tre olika zoner som bildas vid konsolidering av silt.



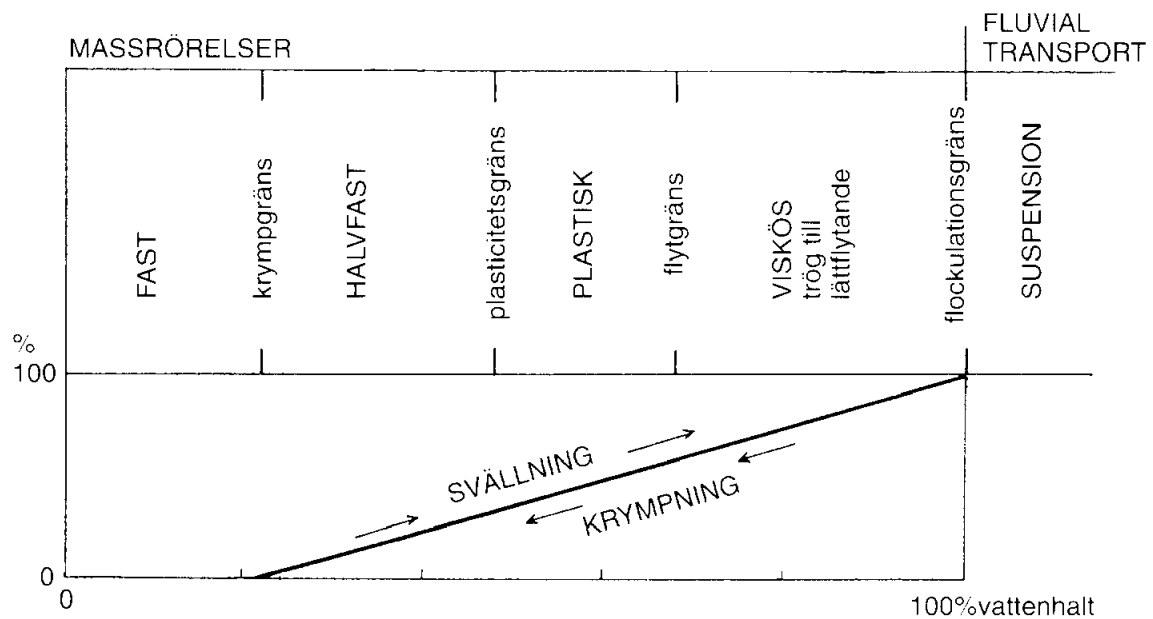
Figur 3.2. Friktionsvinkelns beroende av portalet i en silt i Luleå. Från Börjesson, 1986.

Det finns ej några allmänt accepterade beräkningsmetoder för bärigheten och stabiliteten hos silt. De metoder som brukar användas är framtagna för lera eller sand, och ger alltför låga värden på siltens bärförmåga. Börjesson föreslår att stabiliteten hos siltjordar bör beräknas med en ren friktionsanalys vid dränerade förhållanden, där friktionsvinkeln bestäms genom triaxialtest på om möjligt ostörda prover. Vid odränerade förhållanden bör däremot en totalspänningsanalys precis som för en lera utföras, alternativt en effektivspänningsanalys med användande av en portrycksparemeter bestämd genom vingborrförsök.

3.2. Cementering

Cementeringseffekter i jord kan uppstå genom att olika ämnen binder ihop kornen och därigenom ökar jordens hållfasthet. Dessa kemikalier kan ha följt med jorden vid dess sedimentering (t ex kalk), eller bildats genom att vissa ämnen i mineralkornen genom åren har oxiderats (t ex järnoxid FeO_2), eller bildats genom vittring av t ex kalkrika sediment. I markskiktet kan också förekomsten av humus bidra till en starkare bindning.

Förekomsten av cementeringseffekter i de norrländska siltjordarna är bristfälligt undersökta. Det är känt att de siltjordar som finns kring älvdalarna ofta har ett visst kalkinnehåll. Denna kalk kan ha lösts ut av koldioxidhaltigt grundvatten och sedan fällt ut i utströmningssområden och vid grundvattenytan. Pga landhöjningen har grundvattenytan sjunkit med tiden, vilket innebär att för kalkutfällning gynnsamma förhållanden har rått i de delar av niporna som ligger över dagens grundvattenyta. Dessutom brukar grundvatten i urbergsområden vara järnhaltigt, och man har också observerat utfällningar i silt och finsand i området, speciellt i mer permeabla skikten. I podsoljordar finns dessutom järnoxid- och aluminiumoxidutfällningar ytligt i den sk rostjorden, vilket lokalt bör ge cementeringseffekter.



Figur 3.3. Konsistens och volymändring hos silt vid olika vattenkvoter. Från Bergqvist 1986.

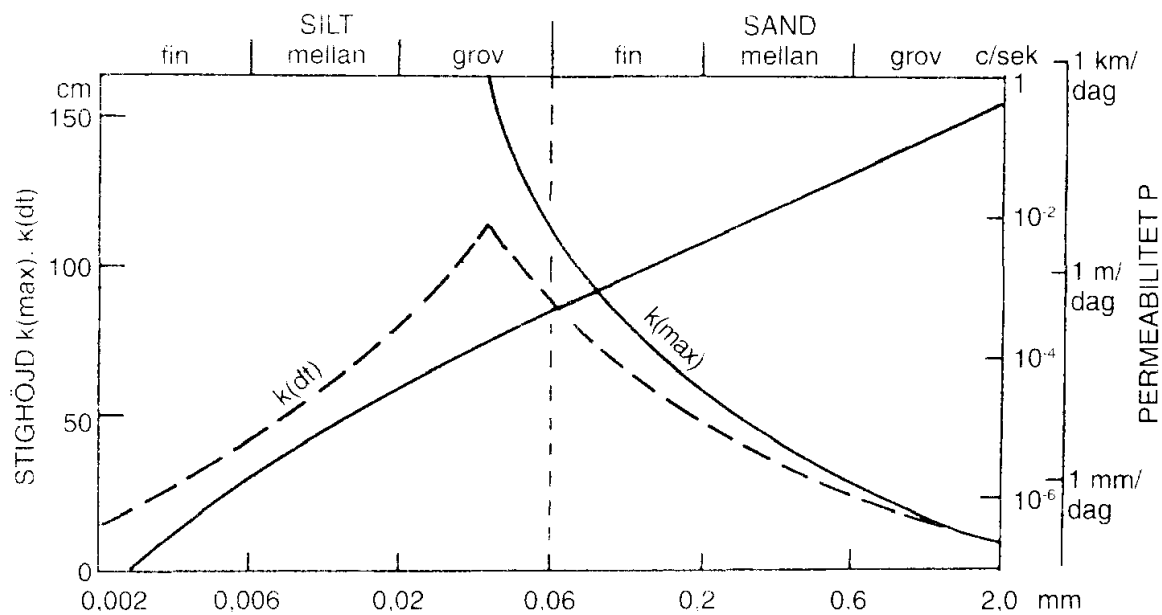
3.3. Konsistens

Konsistensen hos lera och silt förändras med vattenkvoten. Om man tillsätter vatten till en från början torr silt, kommer först dess porer att vattenfyllas. Så länge som dessa inte till större delen är vattenfyllda kommer ingen volymökning att ske, och jorden betecknas som fast. Vid en gräns, krympgränsen, som ligger vid cirka 15–25% vattenkvot börjar silten att svälla under fortsatt vattenupptagande. Den övergår till en halvfast form. Vid cirka 20–40% vattenkvot börjar silten att plasticeras. Vid en ännu högre vattenkvot nås flytgränsen och silten blir viskös. Om vattenkvoten överstiger 100% kan silten endast förekomma i suspension. Förmågan att förändra konsistens leder till att hållfastheten varierar beroende på vattenkvoten.

3.4. Kapillaritet

Siltens speciella egenskaper beror till stor del på storleken på dess porer. Dessa är så pass små att silten har en betydande kapillärsugande förmåga, 1,5 m–10 m vid lös lagring och det dubbla vid fast lagring, samtidigt som porerna är så pass stora att de möjliggör en förhållandevis snabb vattentransport, dvs silten har en ganska hög permeabilitet. Den reagerar därför tämligen snabbt på förändringar i vattentillgång i omgivningen, med förändringar i effektivspänningar och konsistens som följd.

Siltens goda permeabilitet och kapillaritet leder också till att den är tjälfarlig. Då jorden börjar frysa vid ytan bildas ett undertryck vid tjälfrontens underkant. Undertrycket för med sig att vatten sugas upp underifrån och fryser till. Efterhand börjar det bildas en islin i jorden som på markytan märks genom en hävning av jorden. Då marken tinar kan det uppstå rörelser i jorden, speciellt i slänter. Tjälskjutningen kan också leda till att befintliga sprickor i jorden vidgas.



Figur 3.4. Permeabilitet, kapillaritet och kapillär stighöjd efter 24h vid olika kornstorlekar.

3.5. Erosion av silt

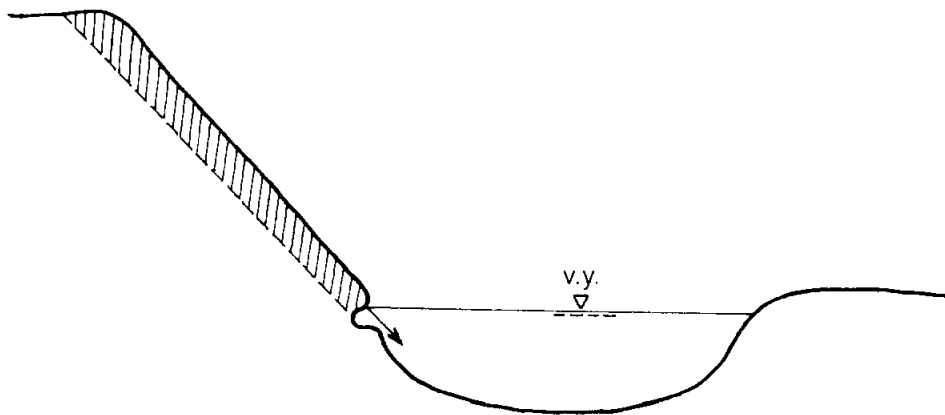
Det faktum att silten till skillnad från lera saknar kohesion, och att den har en lägre kornvikt än sand gör att den lättare än dessa jordar eroderas av rinnande vatten. Silten har en tendens att vid god vattentillgång flyta ut och utjämna ojämnheter i marken, t ex grävda diken vid tjällossningen, genom sk siltströmmning. I marker med god tillgång till ytvatten finns det därför inte några förutsättningar för att branta siltslänter kan utvecklas. Där tillgången på ytvatten är mindre kan höga branter bildas, främst beroende på att ett negativt porvatten-tryck utvecklas (falsk kohesion), som höjer effektivspänningen i jorden.

4. SKRED

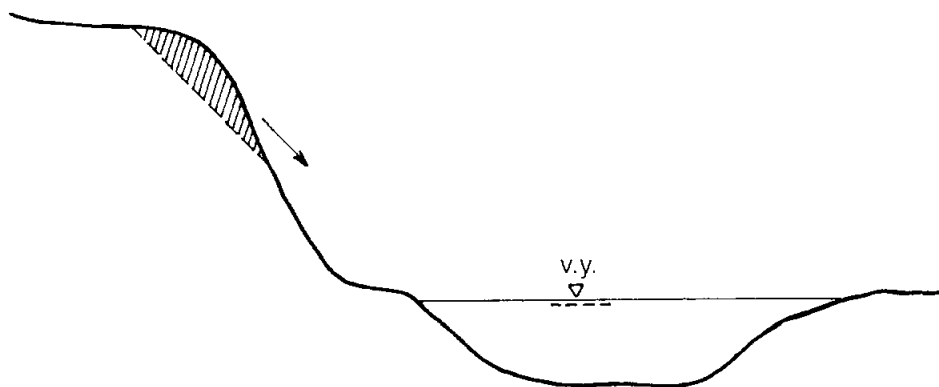
4.1. Former, orsaker och initiering

Skred i siltjordar har i geotekniken ägnats betydligt mindre uppmärksamhet än skred i leror. Siltskred är ett jämförelsevis outforskat område, och den relativa betydelsen av olika brottmekanismer är tämligen okänd. Den redogörelse som här följer är huvudsakligen grundad på uppgifter från observationer i älvdalarna.

Den dominerande skredformen i de norrländska niporna är en utglidning av relativt tunna flak längs plana glidytor. Dessa glidytor kan omfatta i stort sett hela slänten och vara orsakade av en underminering. Glidyten går då parallellt med slänten (figur 4.1) och slänten kommer att ha samma lutning efter skredet som före. Dessa skred sker oftast som flera delskred som åter sig uppför slänten. En annan skredform uppstår då ett bit av den översta delen av nipan glider ut, och minskar släntlutningen i nipans övre del (figur 4.2). Dessa glidytor mynnar ibland vid en spricka i krönet. För att det överhuvudtaget ska uppstå något skred bör, enligt Hörnberg (1974), släntlutningen vara minst 35° , vid mindre släntlutningar tar istället andra erosionsprocesser överhand.



Figur 4.1. Skred i nipa orsakad av en underminering av slänten. Skreden sker ofta som flera delskred genom att skredytan successivt flyttar sig uppåt. Efter skredet kommer slänten ha samma lutning som innan.



Figur 4.2. Skred i den övre ofta branta delen av en nipa. Skredet kan t ex vara initierat av en spricka ovan krönet.

Vid speciella jordlagerföljder kan andra skredformer bildas. Pusch (1979) nämner tre större skred i Norrbotten mellan åren 1975 och 1979 där glidyten gick genom ett mer permeabelt sandlager.

Cirkulär cylindriska skred som griper djupt in i slänten förekommer knappast i siltjordar. I nipor med ett högt lerinnehåll kan dock lokalt en viss rundning av skredytan märkas. Då silten underlagras av lera, vilket ofta är fallet, kan också det plana skredet i silten avslutas med ett mer cirkulärt brott i dess nedre del. I nipor som till stor del består av fin- eller mellansand sker istället oftast ett mer kontinuerligt ras, genom att sanden rullar nerför slänten.

Det finns en mängd yttre faktorer som kan nedsätta en nipas stabilitet och därigenom kunna initiera ett skred. Hörnberg (1974) har delat in dessa efter var påverkan sker, från strandplanet och upp till krönet. Här görs istället en uppdelning efter hur slänten påverkas.

1) Påverkan som leder till ändrad släntgeometri:.

- a) Erosion av strömmar, vågor och is på strandplanet samt, om strandplan saknas och vid högvatten, även på släntfoten.
- b) Massrörelser (ras eller skred) i strandplanet eller vid släntfot.
- c) Framspringande grundvatten i slänten som leder till lokal erosion och som kan undergräva slänten.
- d) Tjälrörelser i slänten.
- e) Rörelser i slänten beroende på erosion av ytvatten eller siltströmning.
- f) Avsaknad av växttäckning som blottställer en slänt för erosion.
- g) Sprickbildning ovanför krönkanten. Sprickorna kan vara torksprickor eller orsakade av plöjning parallellt med krönet. Dessa sprickor kan sedan vidgas vid tjälning.
- h) Korttidsreglering som kan ge våg- och isangrepp över en större yta. Snabba vattenståndssänkningar kan också ge erosion i släntfot p g a att det blir en vattenström ut från nipan.
- i) Regleringar som höjer det högsta vattenståndet. Det kan minska eller eliminera strandplanet och möjliggör erosion längre upp på slänten.
- j) Direkta mänskliga ingrepp i släntgeometrin. Rensningar och fördjupningar i älvfåran kan leda till att det laterala stödet minskar. Urschaktningar på strandplanet eller i slänten. Urschaktningar i krön som kan leda till att bakomliggande avlagringar blottställs.

2) Påverkan som leder till en ökad belastning.

- a) Tyngden av vatten och snö i slänt och vid krön.
- b) Tyngden av högre vegetation, i synnerhet större träd utsatt för vindlast.
- c) Ökad belastning på krön exempelvis genom tippmassor eller nybyggnad.

3) Påverkan som leder till ett minskat negativt portryck.

- a) Häftiga regn som ger en ökning av porvattentrycket i jorden, vilket för med sig att effektivspänningarna minskar.
- b) Långvarig torka, som kan leda till att det negativa portrycket försvinner.
- c) Vid en tjälad slänt kan grundvatten stängas in och högre porvattentryck byggas upp.
- d) Felaktigt gjorda dräneringar.
- e) Högvatten i älven.

4) Annan påverkan.

- a) Vibrationer från exempelvis trafik, sprängning eller grundläggningsarbeten.
- b) Infiltration av föroreningar i jorden. Föroreningar som härstammar från exempelvis soptippar, gödselstackar eller avloppsledningar kan reagera med t ex kalk eller andra ämnen i jorden som orsakar cementering.
- c) Förurning av marken. Den kan minska cementering som orsakas av kalkutfällningar i jorden. Förurningsfronten brukar ligga förhållandevis ytligt i jorden men påverkan kan ha betydelse lokalt ute i slänterna.

En del av dessa faktorer kan i vissa fall minska riskerna för skred p g a att slänterna eroderas ner på annat sätt.

4.2. NIPORS STABILITET

Niporna står brantare än vad de borde kunna göra enligt konventionell beräkningsmetodik. Om man i beräkningen tar hänsyn till det negativa portryck som finns fås mer sannolika säkerhetsfaktorer (Högsta, 1992) men fortfarande är de för låga, dvs omkring eller under 1,0. Det kan därför förmodas att cementeringseffekter har en inte obetydlig inverkan på stabiliteten.

En nipa stabilitet mot erosion måste bedömas från fall till fall. Olika erosionsformer dominerar under olika förutsättningar. Skred i nipor förekommer enligt litteraturen knappast om släntlutningen understiger 35°. I nipor med ett större lerinnehåll kan denna gräns ligga något lägre.

En förutsättning för att en nipa ska uppstå är att tillgången på ytvatten är låg. Om så är fallet och nipan inte undergrävs av älvens erosion kan nipan kvarstå mycket länge. Regnvatten brukar dräneras vertikalt i permeabla skikt högt upp i nipan, så att niporna stabilitet påverkas endast till en mindre del av nederbörden. Om älven eroderar sig åt något annat håll kan nipan stå kvar som en sk fossil nipa en bit ifrån älven. Ibland sticker sk nipuddar ut i älvrökar som är avskurna från landet bakom, och som därigenom inte utsätts för något inströmmande yt- eller grundvatten som kan nedsätta stabiliteten.

Släntvärden är viktig för att undvika erosion. Träd får inte växa sig för stora, utan det är fördelaktigare med en lägre vegetation. En nipas stabilitet kan också förbättras genom att erosionsskydd läggs ut i släntfot och längs botten.

Vid extrema flöden kan nipornas stabilitet reduceras avsevärt. Fara för skred finns dels då vattenståndet är som högst, dels då vattnet sjunker undan och det går en grundvattenström ut från niporna. Som exempel kan tas ett högt flöde i Umeälven och Vindelälven 1938 som gav ett stort antal skred i älvbrinkarna. Vid en flodvåg efter ett dammbrott ökar skredrisken betydligt.

Ett antal inventeringar som direkt eller indirekt behandlar stabiliteten i nipur har tidigare gjorts. Under 60- och 70-talen utfördes älvvisa inventeringar av erosionen i älvbottnar och älvbrinkar som ett forskningsprojekt på Naturgeografiska Institutionen i Uppsala. Även Sundborg (1956), Arnborg (1958) och Sandersen (1981) har utfört liknande undersökningar, men de har huvudsakligen koncentrerat sig på bottenerosion och sedimenttransport. En av undersökningarna (Hörnberg, 1974) behandlar Vindelälven och Umeälven, och utfördes på uppdrag av Vattenfall mellan 1959 och 1971 för att undersöka förändringar uppkomna genom regleringen av Umeälven. I en inventering som SGI utförde 1988 (Viberg, Fallsvik) av nipornas stabilitet längs Ångermanälven och Faxälven i Sollefteå kommun har dock skredbenägenheten varit huvudfrågan. De mest utförliga inventeringarna har gjorts kommunvis på uppdrag av Räddningsverket, och det finns rapporter för fyra eller fem kommuner längs Dalälven (se t ex VBB VIAK, 1990). Dessutom har olika konsultbolag gjort utredningar om stabiliteten i enskilda nipur, för VBB VIAK rör det sig om ett 20-tal utförliga undersökningar.

De gjorda inventeringarna har främst grundat sig på visuella observationer av släntgeometri, pågående erosionsprocesser och ålder och förekomst av vegetation i slänterna. Jämförelser har också gjorts mellan dagens situation och gamla fotografier. Dessutom har flygbildstolkningar gjorts, och det uppges i några fall att intervjuer med kringboende har utförts. Endast konsultbolagen tycks ha använt sig av vedertagna geotekniska metoder.

Någon skredstatistik är inte framtagen. Däremot så har en del kraftägare uppgifter på hur mycket de har betalat ut i skogsskadeersättning för skred. Enligt uppgift från Tord Lindström på Vattenfalls vattenregleringskontor i Vuollerim sker den besiktning, som ligger till grund för skaderegleringen, endast genom en översiktlig kontroll av hur mycket skog som kan ha följt med i skredet.

Rapporter om skred förekommer sparsamt och är ofta bristfälliga. Viberg (1988) anger visserligen att det var ett större skred i en hög nipa i Sollefteå 1969 men ger inga fler uppgifter om detta. Han nämner också två mindre skred vid Ångermanälven. Skredkommissionen (1991) beskriver kortfattat ett mindre skred som inträffade 1979 i en nipa vid Trängbacken vid Ångermanälven, och som uppges ha orsakats av häftiga regn. Att rapporteringen om skred är så sparsam kan om man så vill tas som en indikation på att skred inte förekommer så ofta och att de materiella skadorna av skred brukar vara små.

5. KONSEKVENSER OCH RISKER I SAMBAND MED SKRED

5.1. Förträngningar i vattendrag

Sannolikheten för att ett skred i en nipa skulle kunna dämna någon av de större norrländska älvarna helt eller till en avsevärd del torde vara liten. Något skred av denna storlek har veterligen inte förekommit. Däremot finns åtskilliga fall där bäckraviner har rasat samman. I en stor älv skulle ett större skred förmodligen bara kunna minska avbördningsförmågan med en mindre del.

Större delen av rasmassorna från ett nipskred hamnar oftast på strandplanet eller på grunt vatten. Det betyder att den förträngning av älven som normalt orsakas av ett skred blir liten eller obetydlig. Dessutom är siltjordar lättroderade vilket innebär att siltfraktionen snabbt kan sköljas bort om strömhastigheten är stor.

5.2. Vågor genererade av skred

Nipskred är i jämförelse med lerskred ganska långsamma. Skreden sker oftast som släppor där massorna trögt och långsamt glider ner på strandplanet eller ner i vattnet förmodligen bromsade av friktionen i glidytor. Skreden brukar ske som flera delskred. Sannolikheten att sådana skred orsakar vågor av betydelse borde alltså vara liten.

5.3. Risk för uppdämning genom medföljande träd

Större träd som hamnar i älven genom ett skred kan om de förs bort med strömmen fastna i trånga sektioner och orsaka uppdämning. Speciellt stor är risken vid låga broar med pelare i älvfåran. Vid en igensättning kommer uppströmsvattenytan att stiga vilket i sin tur kan leda till att avbördningskapaciteten minskar vid ovanförliggande kraftstation. Om träden är många och vattenföringen stor kan det också uppstå betydande extra krafter på konstruktioner i älven. Vid ett skred i Gagnef vid Dalälven i början av 80-talet var en flottbro nära att rivas med av drivved från ett skred. Även Stora sägs ha haft problem vid broar med drivande träd.

Norsk Hydroteknisk Laboratorium gjorde 1991 ett antal laborieförsök på uppdämningar av vattendrag (Godtland, 1992). Dessa försök är gjorda i laboratorieskala, men i brist på annat kan de ändå ha ett betydande värde.

Ett samband uppställdes mellan trädstorlek och erforderligt djup, fri höjd och pelaravstånd för att undgå uppdämning. De rekommenderade att pelaravstånden, med tanke på igensättning av enskilda träd, inte bör vara mindre än 80% av dimensionerande trädhöjd, att öppningen mellan brobanan och älvbotten bör överstiga 15% av trädhöjden och, att om det finns ett överfall alldeles nedanför bron, att det ej får vara större än 1/3 av trädhöjden. För trånga sektioner utan bro uppstod en tillstopning då vattenståndet understeg 1/6 av trädhöjden. Då träden kom drivande i flock krävdes en viss ökning av den fria höjden för att de skulle kunna passera.

NHL ställde också upp en generell formel för att beräkna den erforderliga förankringskraft som krävs mot drivved i vattendrag som en funktion av drivvedens utbredning och vattenhastigheten:

$$F = C_d b (30t + 1) \rho \frac{v^2}{2}$$

där C_d är en dragkoefficient, b = drivvedens bredd tvärs älven, t = drivvedens tjocklek under vattnet, ρ = vattnets densitet och v = vattenhastigheten. Dragkoefficienten varierar mellan 0,06 och 0,10 där det högre värdet gäller vid högre vattenhastigheter. Ökningen beror på att drivveden sugas ner i vattnet då hastigheten överskrider cirka 0,3 m/s.

5.4. Risk för byggnader och människor

Den risk som föreligger för människor och byggnader i samband med skred och skred i nipor måste bedömas i varje enskilt fall. Faran för byggnader kan vara större vid hastiga ravinbildningar än vid skred. Det finns flera exempel på raviner med en längd av 100 meter har bildats på tre dygn med en bortsköljd mängd av omkring 20 000 m³, t ex i Svartån i Värmland 1977 (Skredkommissionen, 1991) och i Öreälven, 1983 (Bergqvist, 1986). Bergqvist har redovisat riskområden för detta på kartbilagor. Han har därvid schablonmässigt satt riskområdet till 200 meter från en befintlig ravin, och 0 meter från nipor.

Viberg (1988) har en redogörelse över risker i samband med skred för vägar och bostadshus i Sollefteå kommun. De har undersökt sammanlagt 40 nipor och raviner. Vid fyra av dessa 40 fall verkar fara finnas att bebyggelsen kommer till skada vid ett skred.

VBB VIAK (1990) har åt Räddningsverket genomfört inventeringar längs Dalälven. De har utifrån sannolikheten för skred och konsekvenserna av ett sådant klassificerat de skredbenägna stränderna i tre klasser. Vid dessa undersökningar har de ansett att konsekvensen för ett skred är allvarlig om byggnader (ej uthus el dylikt) riskeras att omfattas av skredet eller att områden där folk vistas mycket är i fara. Det potentiella riskområdet har bedömts i varje enskilt fall men avståndet från krönkant har rört sig om i storleksordningen 10 meter. Bara områden som hotas vid ett första skred har beaktats.

De prioritetsklasser som slänterna delats in i är följande:

Prioritet 1 (röd)

Slänterna placeras i denna grupp om de har otillfredsställande stabilitet och erosion eller släntskred kan orsaka skada eller otillfredsställande stabilitet av väsentlig betydelse för fastighetens värde. Även slänter som idag har tillfredsställande stabilitet men där förändringsmekanismerna i älvs slänterna är svårbedömda placeras här.

I denna grupp krävs omedelbara åtgärder, i form av detaljundersökningar och/eller förstärkningar.

Prioritet 2 (gul)

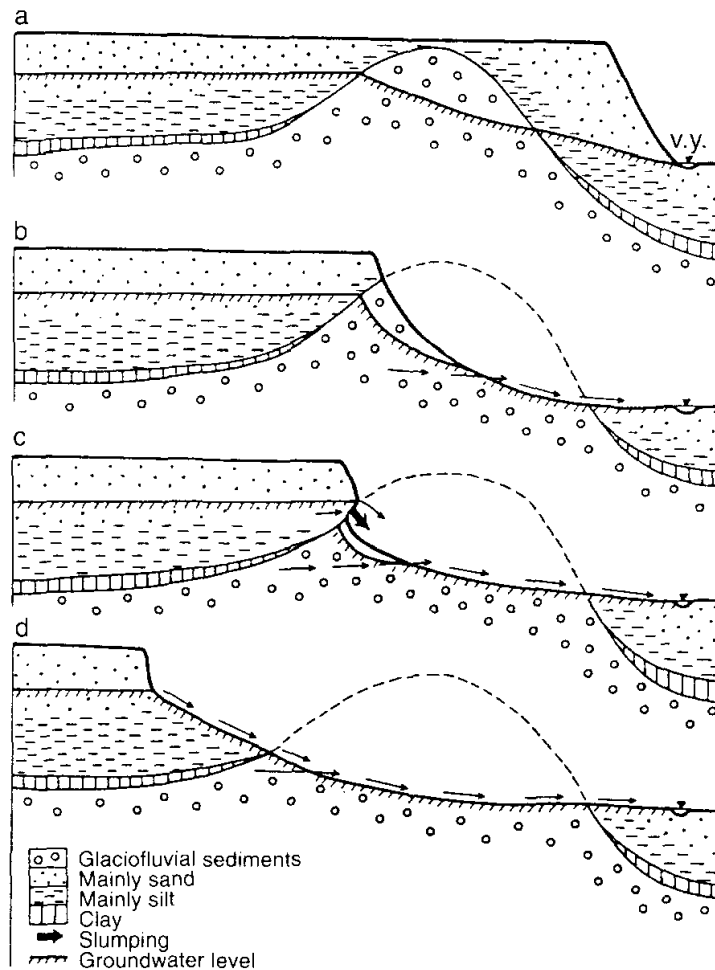
Ytterligare skred eller erosion får inträffa utan att omedelbar fara för byggnader och värdefull mark uppkommer. Riskbedömningen är framförallt knuten till förhållanden under vattenytan. Området besiktigas och lodas årligen.

Prioritet 3 (grön)

Observation av skadeutvecklingen i och över vattenytan är tillräcklig för att avgöra framtida behov av åtgärder. Till denna grupp räknas slänter med breda strandplan, samt brantare slänter där släntskred bedöms påverka fastighetsvärdet i mindre omfattning. Området besiktigas årligen.

Sträckor utan prioritering

Skador i strandlinjen bedöms inte kunna påverka stabiliteten för bebyggelse och tomtmark under överskådlig tid. Normal uppsikt över området rekommenderas dock.



Figur 5.1. Rekonstruktion av förloppet vid en katastrofar-tat snabb ravinerosion vid Öreälven 1983. Efter bortschaktning av det glacifluvi-ala materialet (b i figuren) och höjning av grundvatten-ståndet följande vår, skar det utströmmande grundvattnet genom den återstående trös-keln av glacifluvialt material. Vägen öppnades därigenom för erosion i bakomliggande finsediment, bestående av silt och grundvattenförande sand. Förloppet har anförts som ett typexempel för liknande fall i norrländska älvdalar. Från Nordström 1984.

6. FÖRSLAG TILL FORTSATTA UNDERSÖKNINGAR

Siltjordars mekaniska egenskaper är idag tämligen okända, och därigenom även betydelsen av de olika faktorer som kan leda till brott, vilket inte minst återspeglar sig i de mycket försiktiga belastningar som tillåts i siltjordar enligt byggnormerna. Forskning som leder till en större kunskap om siltens mekaniska egenskaper och brottmekanismer i silt skulle vara av stort värde. Därigenom så skulle bättre beräkningsmetoder för släntstabilitet och bärförmåga i silt kunna utvecklas.

För niporna är förekomsten och storleken av porvattenundertryck och cementering i jorden av stor betydelse för en förståelse av deras stabilitet och känslighet för yttre påverkan. Fältmätningar av nipor bör kunna öka denna kunskap. En del forskningsrapporter har publicerats de senaste åren om cementering i jord, framförallt i sand. Det skulle vara av intresse att en litteraturstudie inom området gjordes i samband med fältmätningarna. Det finns dessutom ett uppenbart behov av grundforskning inom området.

Olika växtrötters armerande effekt samt möjligheterna att utveckla släntvårdsprogram för slänter med olika vegetationstyper bör utredas.

För att få ett bättre grepp om hur skred sker, hur stora de är, hur ofta de förekommer och vilka konsekvenser de kan få så skulle en skredstatistik behövas. En sådan statistik kan förhoppningsvis sammanställas utgående från uppgifter i äldre utredningar och från kraftägare, kompletterat med uppgifter från exempelvis tidningar, flygbilder och gamla kartor.

Risken för uppdämningar i älven genom medföljande träd bör utredas bättre. Alla broar och andra trånga sektioner i skredbenägna områden bör gås igenom för att identifiera riskobjekt. Lämpligen kan de beräkningsmetoder som framtagits av NHL (Godtland, 1991) användas, åtminstone vid en första riskobjektidentifiering.

Risken för större fördämningar i älvarna p g a skred är av mindre betydelse, men kan behövas studeras närmare om den framtagna skredstatistik föranleder detta.

Älvvisa inventeringar av skredbenägna slänter vid eller nära bebyggelse eller andra platser där människor vistas, bör helst genomföras på samma sätt som redan har skett i vissa kommuner längs Dalälven.

För flertalet av dessa undersökningar bör det kunna finnas fler intressenter än VASO som har intresse av att de genomförs.

ANTECKNINGAR

7. LITTERATURFÖRTECKNING

Arbeten av allmänt intresse :

Bergqvist, E. 1986, *Svenska nip och ravinlandskap - Processer och former, översikt och förslag till naturreservat*. SNV rapport nr 3156

Börjesson, L. 1981, *Mechanical Properties of inorganic silt*. Luleås tekniska högskola. Institutionen för geoteknik, rapport 1981:09 D.

Övrig citerad litteratur :

Hörnberg, E. 1974, *Umeälven och Vindelälven. Del 2 Älvbrinksutvecklingen*. Uppsala Universitet, Naturgeografiska institutionen. UNGI rapport 33.

Godtland, K. 1991, *Tilstopping av flomlop*. Projekt damsikkerhet. Rapport nr 4. Sintef NHL rapport STF60 F91119.

Högsta, U. Öberg, A-L. 1992, *Negativa portryck och dess betydelse för stabilitet i silt- och sandslänter*. Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för geoteknik, rapport X 92:1.

Pusch, R. 1979, *Slope failure mechanisms in Northern Sweden*. Nordiska geoteknikermötet 1979, Esbo, föredrag och artiklar, s 486-494.

VBB VIAK 1991, *Stabilitetsförhållanden vid älvstränder, översiktlig undersökning*. Borlänge kommun. Utredning beställd av Räddningsverket.

Viberg, L. Fallsvik, J. 1989, *Inventering av stabilitetsförhållandena utmed delar av Ångermanälven och Faxälven i Sollefteå kommun*. SGI Dnr 5.4-208/88.

ANTECKNINGAR

ANTECKNINGAR

ANTECKNINGAR

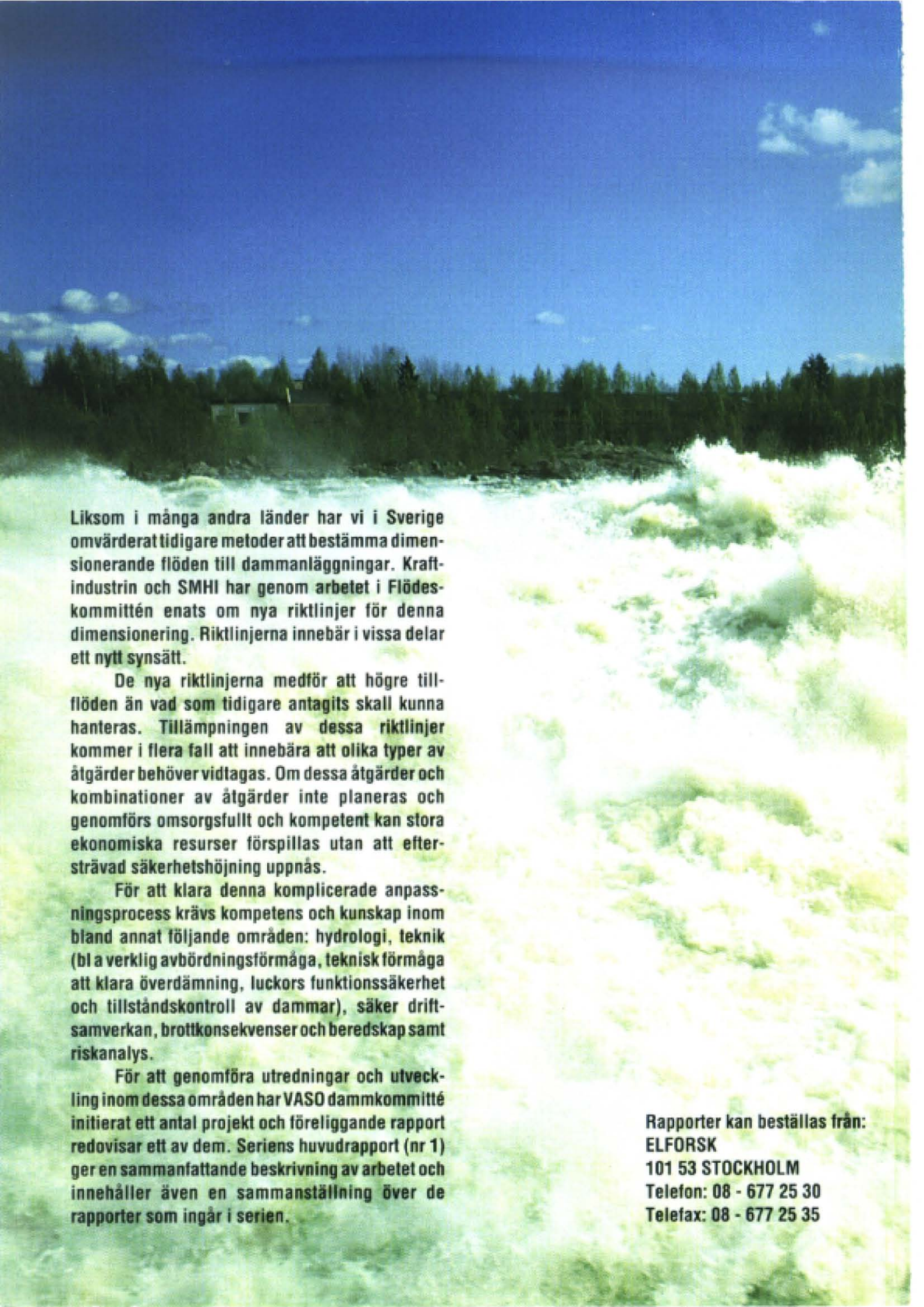
ANTECKNINGAR

ANTECKNINGAR

ID nr: **216**

Utg. år: **1995**

Vattenkraft



Liksom i många andra länder har vi i Sverige omvärderat tidigare metoder att bestämma dimensionerande flöden till dammanläggningar. Kraftindustrin och SMHI har genom arbetet i Flödeskommittén enats om nya riktlinjer för denna dimensionering. Riktlinjerna innebär i vissa delar ett nytt synsätt.

De nya riktlinjerna medför att högre tillflöden än vad som tidigare antagits skall kunna hanteras. Tillämpningen av dessa riktlinjer kommer i flera fall att innebära att olika typer av åtgärder behöver vidtagas. Om dessa åtgärder och kombinationer av åtgärder inte planeras och genomförs omsorgsfullt och kompetent kan stora ekonomiska resurser förspillas utan att eftersträvd säkerhetshöjning uppnås.

För att klara denna komplicerade anpassningsprocess krävs kompetens och kunskap inom bland annat följande områden: hydrologi, teknik (bl a verklig avbördningsförmåga, teknisk förmåga att klara överdämning, luckors funktionssäkerhet och tillståndskontroll av dammar), säker driftsamverkan, brottkonsekvenser och beredskap samt riskanalys.

För att genomföra utredningar och utveckling inom dessa områden har VASO dammkommitté initierat ett antal projekt och föreliggande rapport redovisar ett av dem. Seriens huvudrapport (nr 1) ger en sammanfattande beskrivning av arbetet och innehåller även en sammanställning över de rapporter som ingår i serien.

Rapporter kan beställas från:
ELFORSK
101 53 STOCKHOLM
Telefon: 08 - 677 25 30
Telefax: 08 - 677 25 35