

Stranderosion i Bjärred Lomma kommun

-en undersökning av påverkan från vågor och vattenstånd

Coastal Erosion in Bjärred, Lomma Municipality

-a Study on the Impact of Waves and Water Level

Ingrid Brännlund
Lina Svensson

Stranderosion i Bjärred

copyright © 2005 Ingrid Brännlund och Lina Svensson

Department of Water Resources Engineering
Lund University
Box 118
221 00 Lund

Lund, 2005

ISRN LU:2005:3

Stranderosion i Bjärred

Förord

Under hela arbetets gång har en person följt oss med stort intresse och engagemang och väglett oss mot slutet av vårt examensarbete. Han har alltid haft tid med våra frågor av varierande karaktär och besvarat dem så fort det varit möjligt. Hans namn är Magnus Larson och har varit vår handledare. Magnus Larson är professor vid institutionen för Teknisk vattenresurslära på Lunds Tekniska Högskola.

Konsultföretaget Ramböll Sverige AB har ställt kompetens och resurser till vårt förfogande under de tre månader vi tillbringade på företaget. På Ramböll har vi att tacka en speciell person vid namn Elisabet Hammarlund. Elisabet Hammarlund har ställt upp med kunskap och tid. Hennes kunskap och hjälp har varit ovärderlig vid våra undersökningar. Även Lars Johansson har varit till stor hjälp vid fältundersökningar och analys av insamlat material, både i början av arbetet när han var anställd vid Statens Geotekniska Institut och senare som verksam på Ramböll.

Utan Lomma kommun hade det inte blivit något examensarbete. Därför vill vi tacka framförallt Lennart Persson, Parkchef, för hans engagemang i vårt arbete. Därutöver vill vi tacka Fredrik Svensson för hjälp vid fältmätningar och icke att förglömma Lomma Brandkår som ställde upp med roddbåt och rodde oss i land.

Två andra personer som har hjälpt oss på vägen är Marcus Flarup på SMHI och Jenny Andersson på Skanska. Dessa underlättade vårt arbete med sina tjänster.

Ingrid Brännlund och Lina Svensson

Lund, februari 2005

Kusterosion i Bjarred

Sammanfattning

- Titel:** Stranderosion i Bjärred, Lomma kommun
-en undersökning av påverkan från vågor och vattenstånd
- Författare:** Ingrid Brännlund och Lina Svensson
- Handledare:** Prof. Magnus Larson, Institutionen för teknisk vattenresurslära vid Lunds Tekniska Högskola.
- Problemställning:** Erosion är ett problem längs många stränder i Sveriges. Ett flertal stränder i Lomma kommun (sydvästra Skåne) har eroderat under en längre tid, vilket har negativt påverkat kustnära infrastrukturer och aktiviteter. Föreliggande studie fokuserar på erosionsproblemen längs en kuststräcka definierad av Öresundsvägen och V:a Kennelvägen i Bjärred, beläget i norra delen av kommunen. Där hotas bebyggelse och infrastruktur av vågor som skapas av stormar vilka mestadels uppträder under höst- och vinterperioden. Stormarna bidrar till höga uppspolningshöjder genom vågorna som tillsammans med höga vattenstånd eroderar material från strandbankarna. Detta material består till stor del av finjord (ler och silt), men också av en del sand. Den eroderade sanden kommer att till viss del tillföras strandområdet medan finjorden transporteras ut från kusten och återförs inte till området. Detta skapar en obalans som innebär att kuststräckan eroderar på längre sikt.
- Syfte:** Syftet med examensarbetet är i första hand att analysera hur vågor och vattenstånd påverkar stranden i Bjärred samt utreda orsakerna till erosionen på den studerade kuststräckan. Examensarbetet ska vidare ge en teoretisk bakgrund till att utforma de lerkonstruktionerna som planerats att användas för att skydda strandbankarna mot erosion. Målsättningen är även att uppskatta hur lerkonstruktionerna kommer att påverkas av vågor och vattenstånd i tiden.
- Metod:** Initiellt genomfördes en studie av aktuell litteratur inom området, samtidigt som tidsserier av data omfattande vind och vattenstånd beställdes från SMHI. Serierna analyserades statistiskt och karakteristika för extrema stormar bestämdes. Med utgångspunkt från vinddata beräknades vågor och samhörande uppspolningshöjder. Vidare gjordes analys av flygbilder över den aktuella kuststräckan. Vegetationslinjen mättes in och jämfördes för att få fram storleken på erosionen under åren 1960-2004. Därefter utfördes två fältundersökningar, först en undersökning av strand- och bottenprofilerna, och sedan en

Kusterosion i Bjärred

undersökning av jordmaterialets egenskaper på den aktuella kuststräckan. På basis av våg- och vattenståndsdata beräknades sedimenttransporten vinkelrätt och parallellt med stranden. De beräknade transportmängderna låg till grund för att uppskatta eroderade volymer längs kuststräckan. Utifrån jordproverna och beräkningarna av uppspolningshöjderna uppskattades påverkan på lerkonstruktionerna och nödvändig hållfasthet. Två olika lutningar på de planerade lerkonstruktionerna undersöktes.

Slutsatser:

Vid undersökning av fem flygbilder (1960–2004) har vegetationslinjen i genomsnitt förskjutits ca 8,2 m inåt land med en variation från 0 till 16 m, vilket indikerar på en fortskridande erosion i området.

Erosionstillfällena är få men kraftfulla när de väl inträffar. Uppspolningshöjden överskrider nivån +1,3 m i strandprofilen i genomsnitt 4 ggr/år. För att erosion ska ske krävs det dock en viss varaktighet, på grund av tröghet i erosionsmekanismen. Detta innebär att det erfordras en viss tid av vågpåverkan mot banken innan erosion sker. Enligt beräkningar är den totala varaktigheten för uppspolningshöjder över +1,3 m cirka 11 tim/år.

Undersökning har gjorts på framtida strandprofilutningar. En brant lutning ger högre uppspolningshöjd än en flack lutning, vilket ger en större påverkan på konstruktionen och ett högre slitage. Vid brant lutning ökar även risken för överspolning.

Jordmaterialet som finns på den aktuella stranden är homogent och hårt packat. Det innebär att det tillförda materialet måste packas minst lika hårt som det befintliga för att få en tillräckligt hög hållfasthet. Vid tillförsel av samma material med samma packningsgrad som idag kommer påverkan på stranden vara likadan som tidigare. Detta kan innebära att underhåll kommer att vara nödvändigt för att förhindra en fortsatt erosion inåt land. För att uppnå en högre hållfasthet än i dag krävs ytterligare packning av det tillförda och befintliga materialet eller annan typ av erosionsskydd.

En begränsad kustparallell (netto-) sedimenttransport sker sydvästlig riktning. Beräkningar ger ett medelvärde på den potentiella kustparallella nettotransporten på 15 000 m³/år. Vid erosion av strandbanken sker dock transport huvudsakligen vinkelrätt stranden. Ett medelvärde på denna transporten från stranden är beräknat till 114 m³/år (längs hela kuststräckan).

Stranderosion i Bjärred

Nyckelord: Erosion, Bjärred, vågor, vattenstånd, vind, sedimenttransport, uppspolning, sediment, lerkonstruktion, erosionsskydd..

Abstract

Title: Coastal Erosion in Bjärred, Lomma Municipality
- A Study on the Impact of Waves and Water Level

Authors: Ingrid Brännlund and Lina Svensson

Supervisor: Prof. Magnus Larson, Department of Water Resources Engineering, Lund University, Lund, Sweden

Presentation of the problem:

Erosion is a problem along many beaches in Sweden. A number of beaches in the municipality of Lomma (in the southwest of Scania) have been eroding for a long time. This has had a negative effect on infrastructure and human activities along the coastline. The present study is focusing on the erosion problem along a stretch of coastline defined by Öresundsvägen and V:a Kennelvägen in Bjärred, located in the north part of the municipality. There, settlements and infrastructure are threatened by waves created by storms, mostly during autumn and winter. The storms contribute to high wave runup levels and together with high water levels they are eroding material from the shore banks. The material in the banks mostly consists of clay and silt but also of some sand. The sand will be transported offshore during storms, but may return back to the beach later when calm weather prevails. Contrary to this process, the clay and the silt will not return to the beach but be permanently lost. This creates a deficit in the material balance implying that the beach will erode in the long run.

Objectives: The main objectives of this study is (1) to analyse how the waves and water level fluctuations affect the beach in Bjärred and (2) to investigate the causes of the erosion of the coastline in the studied area. This Master's Thesis will further give a theoretical background for designing the revetment-type clay structures, which have been planned to be used for protection of the shore banks against erosion. The purpose is to evaluate how these clay structures will be affected by the waves and the water levels in time.

Procedure: Initially a study was performed of the available literature on the area. At the same time series of wind and water level data were ordered from SMHI. The series were analysed and characteristics for extreme storms were obtained. Waves and wave runup was calculated from wind data. Furthermore, aerial photographs over the investigated part of the coast were

Stranderosion i Bjärred

analysed to determine the line of vegetation. This analysis yielded the magnitude of erosion along the coastline between 1960 and 2004. Two field studies were also performed, first a survey of the beach and the bottom profiles, and then an investigation of the sediment material on the beach and in the banks. After determining the wave and water level data, calculations were made of the sediment transport perpendicular (cross-shore) and parallel (longshore) to the shoreline. The calculated quantities of sediment due to the cross-shore transport were the basis for estimating eroded volumes along the shoreline. From the sediment sampling and the calculations of the runup height, estimations of the effects of waves and water level on the clay structure and necessary strength were made. Finally, two different slopes on the planned structure were studied

Conclusions:

Based on analysis of the five aerial photographs (1960-2004), the line of vegetation has been displaced in average 8.2 m towards land with an alongshore variation of 0 to 16 m, which shows a progressing erosion in the area.

Events that include erosion are few, but have a great impact when they occur. The runup height exceeds the level +1.3 m (mean sea level) in the subaerial profile on the average 4 times/year. For significant erosion to happen, it is necessary that the event has a sufficient duration because of the inertia in the erosion process. This implies that both duration and runup height must be considered to assess if marked erosion takes place. According to calculations, the total duration of runup heights over 1.3 m is 11 hr/year.

Studies have been made on different slopes on the revetment-type clay structure. A steep slope yields larger runup heights than a mild slope, causing a greater effect on the structure and a higher wear.

The sediment in the existing bank is homogenous and packed hard. This means that material used in the structure must be packed as hard, or harder, as the existing material to reach the same strength. If similar material is employed in the structure with the same degree of packing as the present material, the beach will be affected in the same way as today. This probably means that maintenance will be necessary to prevent continued erosion. To reach a higher strength than today, further packing of the placed material, as well as the existing material, is needed or possibly a different type of protection.

Stranderosion i Bjärred

A limited net longshore sediment transport occurs towards the south-east. Calculations give an average of 15 000 m³/yr. When the shore bank is eroded transport occurs perpendicular to the shoreline away from the coast. This cross-shore transport was calculated to be 114 m³/yr along the studied shoreline.

Keywords:

Erosion, Bjärred, waves, water level, wind, sediment transport, wave runup, clay structure, shore protection

Förkortnings- och förklaringsordlista

BOJK	Bjärreds OptimistJolleKlubb
BVP	Brutet vågpaket
Extrapolera	Med hjälp av en grupp kända värden kan nya värden beräknas utanför de kända värdenas definitionsområde.
Friktionsjord	Grovakorniga jordarter med friktionsegenskaper, till exempel sand.
Hydrometer	Ett instrument som mäter den specifika tyngdkraften för en vätska eller ett fast material.
In situ försök	Mätningar som görs i fält utan att provet medtages hem.
Interpolera	Med hjälp av en grupp kända värden kan nya värden beräknas inom de kända värdenas definitionsområde.
Kohesionsjord	Jordarter med sammanbindande egenskaper (kohesiva krafter) på grund av vatteninnehåll, till exempel lera, gyttja, dy.
Kustzonen	Delen av havet närmast kusten som påverkas av strömmar genererade av vågorna.
Menisk	På grund av ytspänning blir inte vattenytan i ett litet rör horisontell, utan den böjer av och kryper upp längs kanten.
MW	Medelvattenytan
N	Nord
NNO	Nordnordost
NNV	Nordnordväst
NO	Nordost
NV	Nordväst
O	Öster
ONO	Ostnordost

Stranderosion i Bjärred

Perkolation	När vatten tränger ner genom ett jordmaterial.
Refraktion	Vågor rör sig snabbare på djupt vatten än på grunt vatten, vilket medför att en vågkam roterar mot bottenkonturerna om vågen faller in med en vinkel mot kusten.
S	Söder
Signifikant våghöjd	Medelvåghöjden av 1/3 av de högsta vågorna.
Skjuvhållfasthet	Ett materials hållfasthet när det utsätts för en kraft parallellt med dess yta.
SMHI	Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut
SO	Sydost
SSO	Sydsydost
SSV	Sydsydväst
Stryklängd	Sträckan över öppet vatten som vinden blåser när den genererar vågor.
SWL	Still water level,; vattennivån vid lugnt vatten.
SV	Sydväst
Uppspolningshöjd	Den vertikala höjd från det aktuella vattenståndet, som råder vid lugnt vatten, till den högsta punkten i strandprofilen som vågen når.
V	Väst
VNV	Västnordväst
VSV	Västsydväst
Våghöjd	Vertikala avståndet mellan vågtopp och vågdal.

Innehållsförteckning

1 INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND	1
1.2 SYFTE	2
1.3 BEGRÄNSNINGAR	2
1.4 GENOMFÖRANDE	3
2 KUSTEROSION	1
2.1 ORSAKER TILL KUSTEROSION	1
2.2 SANDTRANSPORT VINKELRÄTT MOT STRANDEN MED TILLHÖRANDE EROSION OCH ACKUMULATION	2
2.3 SANDTRANSPORT PARALLELLT MED STRANDEN.....	3
2.4 TEORETISK BESKRIVNING AV SANDTRANSPORT	3
3 BESKRIVNING AV OMRÅDET	9
3.1 LITTERATURSTUDIE FÖR LOMMABUKTEN	11
3.1.1 <i>Geologi och morfologi</i>	11
3.1.2 <i>Profilmätningar</i>	12
3.1.3 <i>Vind- och vattenstånd</i>	13
3.1.4 <i>Sedimenttransport och strömmar</i>	13
3.2 BJÄRREDS STRAND.....	14
3.3 HAVSBOTTEN	15
3.4 KUSTEROSIONSSKYDD I LOMMA KOMMUN	16
3.4.1 <i>Släntskoning av gabioner</i>	16
3.4.2 <i>Släntskoning av sten</i>	16
3.4.3 <i>Släntskoning av flexplattor (Betongplattor)</i>	17
3.4.4 <i>Sandutfyllnad</i>	17
4 VEGETATIONSLINJEFÖRÄNDRINGAR	19
4.1 ANALYS AV VEGETATIONSLINJEFÖRÄNDRINGAR	19
4.2 RESULTAT AV ANALYS AV VEGETATIONSLINJEN	19
5 FÄLTUNDERSÖKNINGAR	21
5.1 PROFILMÄTNING AV HAVSBOTTEN OCH STRANDEN.....	21
5.1.1 <i>Metod</i>	21
5.1.2 <i>Bearbetning av mätdata</i>	22
5.2 UNDERSÖKNING AV JORDENS EGENSKAPER	25
5.2.1 <i>Genomförande av jordprovtagning</i>	25
5.2.2 <i>Laboration med jordprover</i>	26
5.2.3 <i>Resultat av laboration</i>	28
6 VIND	30
6.1 ALLMÄNT OM VINDDATA	30
6.2 VINDSTYRKA	31
6.3 VINDRIKTNING	32
7 VÅGOR	35
7.1 VÅGHÖJDSBERÄKNINGAR	35
7.2 STRYKLÄNGDER	38

Stränderosion i Bjärred

7.3 BRYTANDE VÅGOR.....	39
7.4 VÅGHÖJD	41
8 VATTENSTÅND.....	43
8.1 ALLMÄNT OM VATTENSTÅNDSREGISTRERING.....	43
8.2 ANALYS AV DATA	43
8.3 SANNOLIKHETEN FÖR OLIKA VATTENSTÅND.....	46
8.4 SANNOLIKHETEN FÖR HÖGT VATTENSTÅND OCH HÖGA VÅGOR	50
9 UPPSPOLNINGSHÖJD	51
9.1 BERÄKNING	51
9.2 RESULTAT	53
9.3 VARAKTIGHET	57
10 SEDIMENTTRANSPORT	57
10.1 SANDTRANSPORT VINKELRÄTT MOT STRANDEN.....	57
10.1.1 Härledning till förenklad analytisk ekvation	57
10.2 RESULTAT AV BERÄKNINGAR AV VINKELRÄT SANDTRANSPORT	60
10.3 SEDIMENTTRANSPORT PARALLELLT MED STRANDEN	61
10.4 RESULTAT AV BERÄKNINGAR AV KUSTPARALLELL SANDTRANSPORT	62
11 LERKONSTRUKTIONEN	64
11.1 ANALYS AV RESULTAT FRÅN FÄLTUNDERSÖKNINGEN JORDPROVTAGNING.....	64
11.2 FRAMTIDA LERKONSTRUKTIONERS MOTSTÅND MOT VÅGOR.....	65
11.3 KÄNSLIGHETSANALYS AV STRANDPROFILERNS LUTNING.....	65
12 DISKUSSION	70
12.1 RESULTAT OCH SLUTSATS	70
12.2 REKOMMENDATIONER OCH FORTSATT FORSKNING	71
REFERENSER	72
BILAGA 1. SAMTLIGA FLYGBILDER	74
BILAGA 2. FÖRSLAG PÅ KUSTEROSIONSSKYDD	77
BILAGA 3. STRAND- OCH BOTTENPROFILER	79
BILAGA 4A. VATTENSTÅND	87
BILAGA 4B. HÖGSTA VATTENSTÅND FÖR BARSEBÄCK, VIKEN OCH KLAGSHAMN	88
BILAGA 5. VIND	1
BILAGA 6A. KORNFÖRDELNINGSKURVOR FÖR KOHESIONS-JORD	92
BILAGA 6B. KORNFÖRDELNINGSKURVA FÖR FRIKTIONSJORD.....	97

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Lomma kommun har haft återkommande problem med erosion längs sin kuststräcka. Kustområdet tillhör de viktigaste tillgångarna för kommunen och därför finns ett intresse för att bevara detta område. Den aktuella kuststräckan som studerats i detta arbete ligger mellan Öresundsvägen (BOJK - Bjärreds Optimistjolleklubb) och V:a Kennelvägen i Bjärred, Figur 1.1.



Figur 1.1. Karta över den aktuella kuststräckan mellan V:a Kennelvägen och Öresundsvägen. (Chefen & Chefen Kartguiden AB, Lomma Kommun)

Stranden utnyttjas delvis till bryggor med förtöjda båtar samt till förvaring av uppdragna båtar på vintern. Eftersom strandområdet syns och utnyttjas av många människor och även har ett stort rekreativvärde, så önskar kommunen ett naturligt erosionsskydd. Det som i första hand hotas av kusterosionen är det promenadstråk som finns närmast strandsträckan. Därefter följer en väg med angränsande villor.

För att finna en lösning på kusterosionsproblemet kontaktade kommunen konsultföretaget Ramböll Sverige AB. Lomma kommuns förslag på erosionsskydd är en lerkonstruktion, där utfyllnad av lermorän ska användas på kuststräckan. Ramböll tog fram tre olika förslag utan mer ingående förundersökningar på hur denna lerkonstruktion skulle kunna se ut, se bilaga 2. Deras huvudförslaget innebär att vegetationen avlägsnas och lermorän placeras på stranden. Därefter ska vegetationen återföras på lerlagret (Lundkvist, 2004).

Föreliggande examensarbete initierades då lerkonstruktionens effektivitet ifrågasattes, eftersom det tidigare inte finns någon liknande lösning dokumenterad i Sverige. För att få fram nödvändig bakgrundsinformation om kuststräckan till projektet, så utfördes undersökningen i detta examensarbete. Målsättningen var att ge en teoretisk

1 Inledning

bakgrund till vågpåverkan med hjälp av vind- och vattenståndsdata, men även att utreda de bakomliggande orsakerna till kusterosionen. Två olika förslag vad gäller lerkonstruktionens lutning undersöktes med avseende på uppspolningshöjder och även hur jordens egenskaper påverkar konstruktionen. Examensarbetets övergripande syfte är att ge Lomma kommun mer information om förhållandena på plats inför projektet med lerkonstruktionerna.

Samtliga tre ovan nämnda förslag på lerkonstruktioner ska initiiellt anläggas av en entreprenör längs en kortare sträcka på ca 100 m. Detta för att jämföra hur konstruktionerna påverkas av vågors kraft under en bestämd mätperiod. Den konstruktion som bäst står emot vågorna kommer senare att anläggas på hela sträckan som ska skyddas.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är i första hand att analysera hur vågor och vattenstånd påverkar stranden i Bjärred samt utreda orsakerna till erosionen på den studerade kuststräckan. Examensarbetet ska vidare ge en teoretisk bakgrund till att utforma de lerkonstruktionerna som planerats att användas för att skydda strandbankarna mot erosion. Målsättningen är även att uppskatta hur lerkonstruktionerna kommer att påverkas av vågor och vattenstånd i tiden.

1.3 Begränsningar

- Litteraturstudien begränsades delvis till Lommabukten och till rapporter om liknande utredningar utförda i Skåne, men även litteratur om allmänna begrepp och principer studerades.
- Området är begränsat i längsled till en 400-m lång kuststräcka, belägen mellan Öresundsvägen och V:a Kennelvägen.
- Vinkelrätt mot stranden sträcker sig det studerade området ca 800 m ut i Lommabukten.
- I vertikalled går avgränsningen vid lerlagret som täcker en stor del av området.
- Endast sex stycken vindriktningar av totalt 16 stycken användes vid beräkningarna eftersom bara dessa riktningar kan generera vågor av signifikant storlek.
- Vid beräkning av uppspolningshöjden användes Hunt's ekvation där höjden beror av strandplanets lutning, våghöjden och vågperioden.
- Använda vattenstånds- och vinddataserier från Viken och Barsebäck omfattar perioden 1982 till 2004 och serien från Klagshamn omfattar årshögsta vattenståndsvärden under perioden 1931 till 1992.
- Fem flygbilder, som är fördelade mellan åren 1960 till 2004, användes vid uppskattningen av storleken på erosionen i Bjärred.
- Människans inverkan på erosion diskuteras inte i detta examensarbete.
- Inverkan från de storskaliga vattenrörelserna i Öresund på ström- och sedimenttransportförhållanden i Lommabukten har försumrats.

Stränderosion i Bjärred

1.4 Genomförande

Examensarbetet inleddes i maj 2004 med att fastställa dess syfte och metodik genom diskussion med handledaren Magnus Larson, Institutionen för Teknisk Vattenresurslära (TVRL), LTH, och bihandledaren Elisabet Hammarlund, Ramböll. I september 2004 startades examensarbetet genom att samla in befintligt material och tillgängliga data på Ramböll, TVRL och Lomma kommun. För att få förståelse för hur området såg ut, besöktes den aktuella kuststräckan i Bjärred både på egen hand och tillsammans med Lennart Persson, parkchef på Lomma kommun. Litteratursökning genomfördes på bibliotek, TVRL och internet och det insamlade materialet studerades närmare, vilket resulterade i en sammanfattning av litteraturen.

Fem flygbilder bearbetades från åren 1960, 1967, 1973, 1984 och 2004. Vegetationsgränsen koordinatsattes och jämfördes mellan flygbilderna för att få fram storleken på erosionen under dessa år. Samtidigt beställdes vinddata från SMHI:s mätstation Falsterbo. Stryklängderna tillsammans med vinddata användes sedan för att beräkna våghöjder och uppspolningshöjder. Från SMHI beställdes även vattenståndsdata, dock från två mätstationer Viken och Barsebäck. Detta på grund av begränsningar i tillgängliga vattenståndsdata från stationen i Barsebäck. Viken ligger längre ifrån Bjärred än Barsebäck, men Vikens dataserie sträcker sig över den dubbla mätperioden. Fyra olika typer av jämförande analyser genomfördes för att undersöka om Vikens vattenståndsvariation överensstämmer med Barsebäcks. Den maximala vattennivån när erosion sker beräknades sedan genom att addera vattenståndet och uppspolningshöjden.

Två olika fältundersökningar utfördes. Den första undersökningen omfattade inmätning av botten- och strandprofiler, vilka användes vid beräkningen av lutningen på botten och stranden. Vid den andra fältundersökningen undersöktes jorden på kuststräckan. Jordprovtagningen gjordes på nio platser längs kuststräckan. Proverna analyserades och utifrån resultaten var det sedan möjligt att göra en uppskattning av hur förhållandena ser ut på platsen samt hur en lerkonstruktion skulle klara sig på den aktuella platsen. Två olika lutningar på lerkonstruktionen undersöktes och beräkning av uppspolningshöjder genomfördes för dessa lutningar.

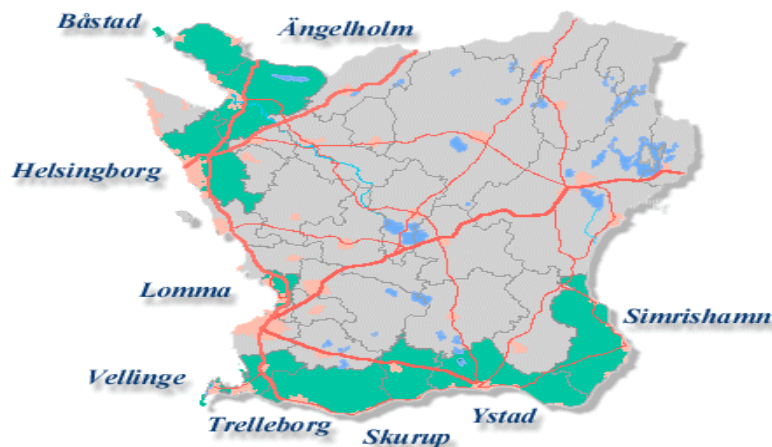
Båda den kustparallella och vinkelräta sedimenttransporten mot kusten undersöktes. För dessa typer av transport beräknades mängden transporterat material och åt vilket håll transporten sker.

2 Kusterosion

2 Kusterosion

Erosion är en naturlig process som ständigt pågår längs våra kuster. Strömmar till följd av vågor och vind transporterar sediment i kustområdena, och varierande förhållanden orsakar gradienter i den transporterad mängden. Dessa gradienter medför en minskad volym sediment på vissa platser (erosion) och ökad volym (ackumulation) på andra. De kustnära strömmarna för med sig sediment från eroderande platser till ackumulerande platser. Kusten är alltså i ständig förändring.

I Skåne är kusten drabbad av erosion på ett flertal ställen se Figur 2.1. Vissa kuststräckor har åtgärdats med olika typer av lösningar medan andra har inte skyddats (i kapitel 3.4 diskuteras de olika lösningar som Lomma kommun har använt sig av). Det varierar från område till område vilket intresse det finns för att åtgärda erosionsproblemet. Några exempel på vad som är avgörande vid beslut om eventuella åtgärder är: avståndet till tätortsbebyggelse, typ av byggnader eller infrastruktur och områdets lämplighet för rekreation. Våra kuster är viktiga för oss och i dagsläget används dessa till största del som rekreativområde, medan förr i tiden användes kusten huvudsakligen i försörjningssyfte.



Figur 2.1. De gröna områdena i figuren är kustområden i Skåne som är utsatta för erosion. (Hanson, uppdaterad 1999)

2.1 Orsaker till kusterosion

Orsakerna till kusterosion är flera. Stränder kan erodera i samband med stormar när det råder stark vind och hög uppspolningshöjd, se kapitel 9. Detta medför att material transporteras bort från strandbankar och dyner, vilka det normalt tar lång tid för naturen att återuppbygga. Eftersom det inte råder balans mellan bortförel och återförel av material sker erosion. Vid obalans mellan vågornas infallsriktning och strandens orientering kommer vågorna att falla med en vinkel mot stranden och därmed föra med sig sediment genom en kustparallell sedimenttransport alstrad av vågorna. En kustlinje strävar efter att orientera sig vinkelrät mot infallsriktningen hos de dominerande vågorna, vilket kan innebära att sediment måste förflyttas i de kustnära områden innan balans uppnås (Larson, 2005). Sådan sedimentförflyttningar skapar områden med erosion och ackumulation.

2 Kusterosion

Människan kan påverka den kustnära sedimenttransporten på ett flertal sätt bl.a. genom att tillverka konstruktioner av olika slag. Vågbrytare och pirar ansamlar material på uppströmssidan (ackumulation) medan material transporteras bort på nedströmssidan (erosion; Institutionen för Teknisk Vattenresurslära, LTH, uppdaterad 1999). Detta leder till ett lokalt stopp för sedimenttransporten och en onaturlig fördelning av materialet. Ett typexempel på en sådan påverkan är kusterosionsproblemet vid Skanör/Falsterbo, där sand ackumuleras på södra sidan om hamnen och eroderas på norra sidan på grund av hamnens vågbrytare (Hanson, Larson, 1993).

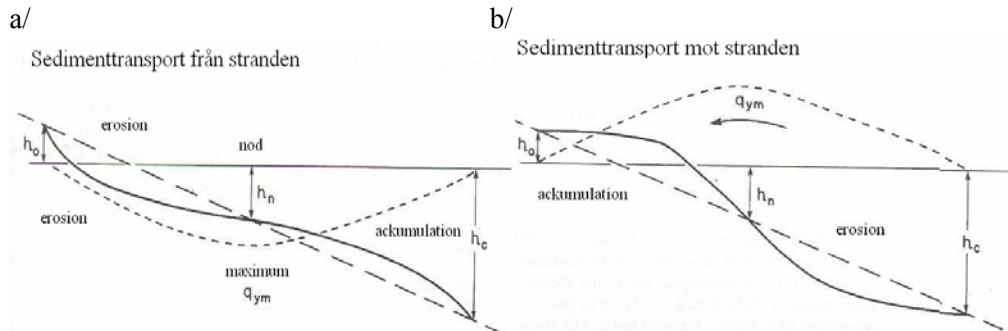
Ytterligare en orsak till erosion är utvinning av sand och grus i havet i närheten av kusten. Detta påverkar sedimenttransporten och kan leda därmed till ökad erosion på grund av att strömmar förändras eller sedimenttillförseln reduceras efter att uttag gjorts. Det senare medför att det finns mindre mängder sediment tillgängligt för transport, vilket också kan leda till att det inte finns tillräckligt mycket material för återhämtning av en kuststräcka efter en storm (Institutionen för Teknisk Vattenresurslära, LTH, uppdaterad 1999).

Växthuseffekten kan bidra till ökad erosion. Växthuseffekten kan orsaka en höjning av medeltemperatur vilket kan medföra att polarisarna krymper med en höjning av medelhavsytan som följd. När det gäller kusterosion kommer detta att innebära ett högre lokalt vattenstånd, vilket gör att vattnets vågor kan nå högre upp och längre in på en kuststräcka. Ett annat problem som kan skapas av en ökad medeltemperatur är att stormar troligen intensifieras och blir fler, vilket i så fall alstrar högre vågor som oftare kommer att attackera stranden. Skulle medelvattenytan öka samtidigt som stormarna blir fler och intensivare, kommer erosionsproblemen att accelerera i framtiden (Institutionen för Teknisk Vattenresurslära, LTH, uppdaterad 1999).

2.2 Sandtransport vinkelrätt mot stranden med tillhörande erosion och ackumulation

Vågor och strömmar samverkar för att generera sandtransport. Två typer av strandprofiler uppträder normalt med hänsyn till den transport av sediment som är vinkelrätt mot strandlinjen. Dessa strandprofiler är huvudsakligen associerade med transport i riktning bort från stranden och transport i riktning mot stranden, se Figur 2.2 a och b. De två transportsystemen är oftast beroende av årstid. Under vinterhalvåret är vädret normalt hårdare vilket resulterar i att fler stormar påverkar stranden och sediment transporteras bort från stranden. Detta ger en erosion närmast stranden och en ackumulation en bit ut i havet. Vågorna träffar stranden och för med sig sediment ut i vattnet som senare faller till botten, se Figur 2.2 a. Under motsatta förhållanden, oftast under sommarmånaderna (när färre stormar inträffar), infaller mindre vågor mot stranden kontinuerligt. Detta skapar en ackumulation närmast stranden och en erosion längre ut i vattnet, se Figur 2.2 b. Avgränsningen mellan ackumulationszonen och erosionszonen kallas nod. Detta är en teoretisk punkt i bottenprofilen där djupet är konstant med avseende på det säsongsmässiga utbytet av sediment och kvantiteten sediment som transporteras i någon riktning är som störst.

Stranderosion i Bjärred



Figur 2.2, a och b. Illustration av typisk bottenprofil vid transport av sediment från stranden (a) och mot stranden (b). Linjen med de kortaste strecken illustrerar mängd transporterat sediment per tidsenhet och nod är den plats i profilen där maximal kvantitet sediment passerar. (Komar, 1998)

2.3 Sandtransport parallellt med stranden

Större delen av den vinkelräta sedimenttransporten omfattar normalt en zon ut till där vågorna bryter, även om viss transport sker ända ut till där vågorna börjar påverkas av botten genom uppgrundning och refraktion, se föregående avsnitt. Den kustparallella transporten (sediment rör sig parallellt med kustlinjen) sker i regel över mycket längre sträckor och kan transportera hundratusentals kubikmeter sediment. Den totala volym sedimentet som transporteras i strömmars och vågors riktning förbi en punkt kallas bruttosedimenttransport och är oberoende av riktning. När strömmar och vågor ändrar riktning ändras sedimenttransportens riktning också. Begreppet nettosedimenttransport är beroende av i vilken riktning sedimenten färdas och är summan av sedimenttransporten i exempelvis nordlig riktning minus sedimenttransporten i sydlig riktning. Denna mängd är mindre än bruttosedimenttransporten och kan vara noll när ingen dominerande transportriktning finns. Det är lätt att bedöma i vilken riktning nettosedimenttransporten är om någon fysisk konstruktion finns längs kusten, som till exempel en vågbrytare (Komar, 1998). Sediment kommer då att ackumuleras på uppströmssidan av konstruktionen och eroderas från nedströmssidan av konstruktionen, vilket ger en indikation på i vilken riktning nettotransporten går.

2.4 Teoretisk beskrivning av sandtransport

Erosion kan ske i samband med att material transporteras ut i vattnet vinkelrätt från en kuststräcka eller transporteras längs med en kuststräcka, dock krävs det en gradient i transporterad mängd för att förändringar i kustens läge ska uppkomma. Om materialet rör sig i en riktning vinkelrätt mot stranden, t ex vid stormar, så sedimenterar det på olika avstånd från kusten beroende på kornfraktion. Vid optimala förhållanden kan det eroderade materialet återföras till kuststräckan när vågorna är lägre, men i vissa fall återkommer det inte till den aktuella kuststräckan. Om

2 Kusterosion

kornstorleken är liten transporteras materialet ut på så djupt vatten innan det sedimenterar att vågorna inte kan återföra det till stranden. Vidare, kustparallella strömmar kan transportera bort materialet innan bottenprofilen har en chans att återhämta sig från en storm.

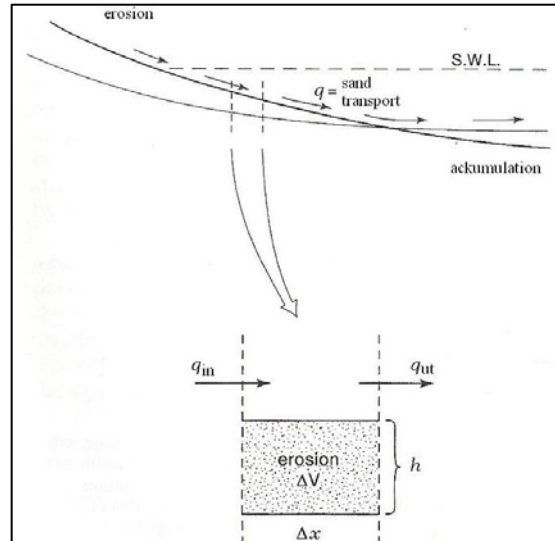
Det är inte kvantiteten av transporterat sediment när erosion eller ackumulation sker som bestämmer förändringen på botten, Δh , se Figur 2.3, utan den horisontella transportgradienten längs botten. För en strandprofil, om q_s är flödet per breddenhet och x är den vertikala strandens koordinat så tecknas gradienten i sedimenttransport:

$$\frac{dq_s}{dx} \quad (2.1)$$

Detta är illustrerat i Figur 2.3. Ekvation 2.2 visar skillnaden mellan mängden sediment som transporteras ut, q_{ut} , respektive in, q_{in} , i ett segment av bottenprofilen, vilket bestämmer om det blir erosion eller ackumulation, se Figur 2.3:

$$\Delta q_s = q_{ut} - q_{in} \quad (2.2)$$

Erosion sker när skillnaden är positiv och ackumulation när skillnaden är negativ i ekvation 2.2.



Figur 2.3. Segment av bottenprofilen, då q_{ut} är större än q_{in} sker erosion. (Komar, 1998)

Kvantiteten sediment som färdas per breddenhet erhålles genom att multiplicera Δq_s med tiden Δt . Kvantiteten kan också beskrivas genom $\Delta h \cdot \Delta x$. Detta ger att:

$$-\Delta h \cdot \Delta x = \Delta q_s \cdot \Delta t \quad (2.3)$$

Stranderosion i Bjärred

Vilken kan arrangeras om till:

$$\frac{\Delta q_s}{\Delta x} = - \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (2.4)$$

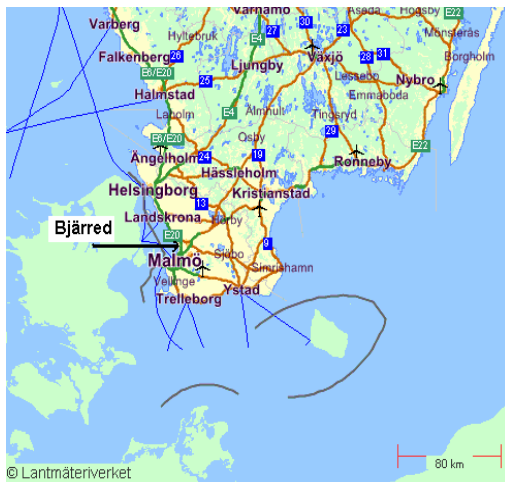
Vid övergång till infinitesimala storheter erhålls:

$$\frac{\partial q_s}{\partial x} = - \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.5)$$

Ekvation 2.5 visar att om det horisontella flödet av sediment ökar per breddenhet, så minskar den vertikala nivån på sedimentet med tiden (koordinaten som bestämmer bottenens läge pekat uppåt). När dh / dt är negativ och dq_s / dx är positiv sker en erosion, medan då dh / dt är positiv och dq_s / dx är negativ sker istället en ackumulation. Ekvation 2.5 innebär att sedimentet bevaras i strandprofilen om ingen transport av sediment sker längs stranden. Motsvarande ekvation kan tecknas för den kustparallella sedimenttransporten och associerade förändringar i strandlinjens läge (Komar, 1998)

3 Beskrivning av området

Den aktuella kuststräckan ligger i Lomma kommun i Skåne, se Figur 3.1 och Figur 3.2. Kuststräckan tillhör samhället Bjärred, se Figur 3.3, Figur 3.4 och Figur 3.5, och är 400 m lång samt befinner sig mellan Öresundsvägen (BOJK) och V:a Kennelvägen. Längs hela sträckan ligger ett promenadstråk närmast stranden, parallellt med en gata, samt villor. Utmed stranden finns ett antal enskilda bryggor och kuststräckan används bl.a. för olika båtaktiviteter. Området ligger alltså i ett bebyggt område, där människor är i rörelse. Lommabukten är väldigt grund (800 m ut från strandenlinjen är djupet 2 m) och detta minskar våghöjden och intensiteten på vågorna, vilket indikerar att det är under höst- och vinterstormarna som den största faran för erosion finns. Då uppträder höga vattenstånd och vågorna kan spolas högt upp på strandlutningen och föra med sig stora mängder strandmaterial på kort tid. (Hagström, 2001).



Figur 3.1. Karta över södra Svergie. (Eniro, 2004)



Figur 3.2. Karta över Lommabukten. (Kartguiden, 2004)

3 Beskrivning av området



Figur 3.3. Foto söderut från V:a Kennelvägen mot Öresundsvägen.



Figur 3.4. Foto söderut mot Öresundsvägen.

Stranderosion i Bjärred



Figur 3.5. Foto norrut mot V:a Kennelvägen.

3.1 Litteraturstudie för Lommabukten

Litteraturstudien har utförts för att få en översikt av vilka studier som tidigare har genomförts i Lommabukten. Davidsson (1963) är den främsta källan till denna litteraturstudie. Litteratur om Lommabukten finns endast i begränsad omfattning. Rapporter om liknande undersökningar i andra områden har också studerats. Resultatet av litteraturstudien redovisas med avseende på olika ämnesområden.

3.1.1 Geologi och morfologi

I en studie om Skånes kust av Davidsson (1963), undersöktes bl.a. Lommabukten. En del av de undersökningar som utfördes är jämförbara med detta arbete. Det gjordes en undersökning av moränens procentuella innehåll av sand, grus och små stenar på sju platser längs Lommabukten. Definitionen av de olika kornfraktionerna finns i Tabell 3.1. Sanden, (0,2-2 mm), bestod till 90 % av rundade kvartskorn och resten bestod flinta, fältspat, granit och magnetit. Glimmer fanns sparsamt. Gruset, (2-20 mm), bestod i första hand av kvarts och de primära bergarterna, men även flinta, kvartsit och kalksten. De små stenarna, (20-60 mm), bestod av lika delar av flinta, kalksten och de primära bergarterna. Även jordprover samlades in på flera platser i bukten och två av proven kan betraktas som intressanta för föreliggande arbete. Analyserna visade att kornfraktionen mellansand (0,2-0,6 mm) var helt klart den dominerade med cirka 90 vikt-%. Den efterföljande fraktionen var grovsand (0,6-2,0 mm) på cirka 10 vikt-%. De övriga fraktionerna fanns till en obetydlig del. Kornfraktionsbenämningarna i detta avsnitt kommer från 1953 års system, se Tabell 3.1.

3 Beskrivning av området

Tabell 3.1. Kornfraktioner enligt SGF:s standard 1981 och 1953 års jordartskomite (Svensson, hämtat 2005).

Huvudgrupper	Undergrupper			
	Benämning	Kornstorlek mm	Benämning 1981	Kornstorlek mm
Block	>600		>600	Block
Sten	600-60		600-200	Block
			200-60	Sten
		Grovgrus	60-20	Sten
Grus	60-2	Mellangrus	20-6	Grovgrus
		Fingrus	6-2	Fingrus
		Grovsand	2-0,6	Grovsand
Sand	2-0,06	Mellansand	0,6-0,2	Mellansand
		Finsand	0,2-0,06	Grovmo
		Grovsilt	0,06-0,02	Finmo
Silt	0,06-0,002	Mellansilt	0,02-0,006	Grovmjäla
		Finsilt	0,006-0,002	Finmjäla
Ler	<0,002		<0,002	L

Lommabuktens berggrund består av kalk och har formen av en ficka, med ursprung från berggrundslipningar och från lösa avlagringar. Topografin i området är skapad under kvartärtiden, av inlandsisens nötning av marken och avlämningar av moräner. Ovanpå avlagringar och avlämningar lämnades skiffrig morän, havsgrus och havssand kvar. Det finns fördjupningar i marken som innehåller en stenfri och så när som på en skiktad blandning av lera, organiskt material och sand, som kallas "Lomma lera". Det finns isolerade kullar av baltisk morän inåt land som minskar sin utsträckning mot kusten, som är täckta med post-glaciala avlagringar. Sådana kullar finns bl.a. i Bjärred, som är 10 m höga och har tidigare haft funktionen som vågbrytare. Något annat som också påverkat topografin är nötningen, transporten och bildandet av glaciala och post-glaciala hav, som har täckt kustområdet. Ovanpå allt detta, spreds även grus och sand som bildats under landhöjningen då morän slipats och därmed ändrade kustområdets form än en gång. Den troliga anledningen till att området kring Lommabukten är så platt beror på den flata berggrunden, vilket gör att marken endast ligger några meter över havsnivån, en kilometer in i landet (Davidsson, 1963).

3.1.2 Profilmätningar

I studien av Davidsson finns en karta över djupen i Lommabukten. Det område som är aktuellt för detta examensarbete har djupet 0,5 m 400 m ut från land och 1 m 700-800 m ut i Lommabukten. Den delen av kartan är framtagen 1955 med hjälp av ekolod och hade en felkälla på $\pm 0,2$ m. Undersökningen resulterade även i bottenprofiler på olika platser i bukten. En profil är aktuell för detta arbete och visar en svagt sluttande botten till 2200 m ut i havet, där djupet är cirka 7 m, vilket ger en lutning på cirka 0,003. Därefter kommer ett cirka 2 m högt rev, som kallas Flädierrevet och sedan sluttar det brant nedåt.

Stränderosion i Bjärred

3.1.3 Vind- och vattenstånd

Davidssons utredning omfattade även analys av vinddata från Oskarsgrundet, Drogden's fyr, Lomma och Malmö Redd. Vid undersökningen tittade Davidsson i första hand på hårda vindar och de visade sig komma mest från SV till NV och därefter från O.

Dessa vindar är vanligast förekommande i april, oktober och december och är minst förekommande i maj till juli. Det utfördes en studie på vattenståndet i Malmö under 1931-1961, vilket visade att högsta nivån låg på +1,40 m och lägsta låg på -1,02 m. Båda tillfällena med extrema vattenstånd inföll i februari. De mest kraftfulla och högsta vågorna kommer från VNV och de bryter vid ett djup på 2,1 m. Vindar från V-SV ger vågor på cirka en meter och då det blåser från vindriktningar mellan NNV-NV alstrar våghöjder på 0,5 m. Vindar från V-SV ger lågvatten, men vindriktningar från NNV-NV ger en ökning av vattenståndet.

Det har även gjorts liknade studier vid Skanör/Falsterbo (Hanson, Larson, 1993) och Ystadbukten (Larson, Hanson, 1992). I rapporten om Skanör/Falsterbo var målsättningen att kartlägga kustförändringarna och materialtransportförhållanden inom det studera de området. Detta gjordes med hjälp av vinddata och vattenståndsdata från SMHI och olika typer av undersökningar, bl.a. avvägning av strandprofiler och materialprovtagning. Studien i Ystadbukten hade som främsta mål att utreda materialtransportens mönster. Detta utreddes med hjälp av bl.a. studier av vind- och vattenståndsdata för att bestämma vågförhållanden.

3.1.4 Sedimenttransport och strömmar

Enligt Davidsson (1963) har utökningen av Malmö hamn gjort att tillgången på material som transporteras längs kusten i Lommabukten har minskat med tiden. Detta har även gett en ökad isolering av bukten, på grund av ökat skydd mot vindar från S-SV. Utanför Bjärred finns ett 2,5 km långt rev på havsbotten, Flädierrevet, som består av morän. Just inom denna sträcka är det väldigt långgrund och revet finns tidigast vid djupet 1,5 m och efter revet sluttar det brantare mot djupet 8 m. Det material som rör sig innanför revet kommer från mitten och den nedre delen av Lommabukten och rör sig norrut mot Vikhög, som ligger längst norrut i bukten, se Figur 3.2.

Hamnen i Lomma hindrar effektivt den långsgående kusttransporten, som i vanliga fall går mellan den yttre sandbanken och djupet 1 m. Från Flädierrevet, Lomma och Vikhög har man indikationer på att sedimenttransporten oftast sker norrut. Vid NV-N vind sker transporten söderut i den södra delen av Lommabukten på grund av utbuktningen av Malmö, Klagshamn och Limhamn, medan den norra delen av bukten är skyddad av Vikhög och Barsebäck. Den mittersta delen av Lommabukten är oskyddad, vilket ger lika stor möjlighet att sedimenttransporten blir nordlig som sydlig. Lommabuktens kuststräcka anses vara relativt stabil, med undantag för området vid Höje å, som mynnar ut i Lomma. Detta kom Davidsson (1963) fram till vid jämförelse av kartor från år 1680 fram till 1960, vilka visar att det i princip är jämvikt vad gäller sedimenttransporten i bukten.

3 Beskrivning av området

I Hagströms rapport om stranderosionen i Lomma kommun (2001) anges det att det oftast föreligger en norrgående ström med svaga hastigheter ($\leq 0,2$ m/s), vilket inte är av någon större betydelse för erosionen i Lomma kommun. Enligt modellförsök gjorda av Landskapsgruppen går den kustparallella nettotransporten åt söder, fast storleken var begränsad.

3.2 Bjärreds strand

Strandkanten är inte jämn utan den böljar in och ut mot havet. Fem flygbilder fördelade mellan åren 1960 och 2004 visar hur strandlinjen har förändrats genom åren. Genom jämförelse av vegetationsgränsen på dessa flygbilder, kan det konstateras att signifikant erosion har skett under dessa år, se Figur 4.2.

Från havet stiger stranden uppåt, med en nivåskillnad på runt tre meter från medelvattenytan upp till strandpromenadens höjd. Längst ner är stranden periodvis täckt av tång på flera platser. Längs sträckan finns även vass, som växer i strandkanten, vilket ger ett utökat skydd mot höga vågor. Lite längre upp mot land tar vegetationen över, som består både av gräs och högre vegetation som till exempel havssäv, men även större buskar och enstaka träd finns längst upp, se Figur 3.6.



Figur 3.6. Principskiss över den aktuella kuststräckan. (Ramböll AB, 2004)

Vegetationen binder jorden och bidrar till att skydda stranden mot mindre vågangrepp, men det räcker inte för att klara de intensiva stormar som kan uppträda under hösten och vintern. Materialet som finns på sträckan är heterogent och består av bl.a. grus, sand och silt, se Figur 3.7. Under dessa skikt breder ett lerlager ut sig, som även blottas på en del platser, se Figur 3.8.

Stranderosion i Bjärred



Figur 3.7. Heterogena material på stranden.



Figur 3.8. Leran blottas vid vattenlinjen. Det är även möjligt att urskilja de olika kornfraktionerna.

3.3 Havsbotten

Vid fältundersökningen för bestämma bottenprofilernas form, bekräftades informationen om de grunda förhållanden i Lommabukten som hade givits av Davidsson (1963). Cirka 800 meter ut från stranden var djupet omkring 2 m och över den sträckan påträffades en till tre sandrevlar beroende på mätlinje. Längs de fem linjerna där bottenmätningarna gjordes växte det mestadels låg havsvegetation.

3 Beskrivning av området

3.4 Kusterosionsskydd i Lomma kommun

För att förhindra att vågorna eroderar kustområden och skadar bl.a. infrastrukturen i samhället, måste olika typer av kusterosionsskydd användas. Lomma kommun har använt sig av flera olika typer genom åren på olika platser längs kommunens kust. Nedan beskrivs dessa kortfattat tillsammans med fördelar och nackdelar för respektive erosionsskydd (Hagström, 2001).

3.4.1 Släntskoning av gabioner

Gabioner är stenfyllda stålkorvar, även kallade gabionmadrasser, se Figur 3.9. Med detta erosionsskydd fylls stranden först ut med lämpligt material, sedan packas området till rätt lutning och hållfasthet och därefter läggs fiberduk på innan gabionmadrassen placeras ovanpå. Fiberdukens syfte är att förhindra underminering av konstruktionen. Lomma kommun har varit nöjd med gabionernas funktion, förutom en mindre sättning. Fördelarna är dess långa livslängd, tåligheten mot kraftiga vågor och växtlighetens förmåga att dölja erosionsskyddet. Nackdelarna är att den skyddar sluttningen men inte strandplanet. Vid brant lutning kan den även ge ett onaturligt intryck och efter ett antal år finns det risk för rost, som kan ge skador på människor och djur.



Figur 3.9. Gabioner. (Hagström, 2001)

3.4.2 Släntskoning av sten

Två typer av sten, kullersten och sprängsten, är möjliga att använda vid denna typ av kusterosionsskydd, se Figur 3. 6. Kullersten är naturligt slipade stenar och sprängsten är större oregelbundna stenar. Skillnaden mellan dessa stenar vid användning i erosionsskydd är att för sprängsten tar det längre tid för vegetationen att få fäste. Stenarnas variation i storlek, täthet och kvantitet avgör vilken motståndskraft konstruktionen har mot vågorna. Ju större stenar är desto bättre skydd. En fördel med denna konstruktion är att den skyddar sluttningen effektivt från erosion och är okänslig för sättningar och rörelser. Den är även enkel att utföra. Nackdelen är att den ger en minskad framkomlighet och därmed minskad möjlighet för rekreation på sträckan och den kan även ge ett onaturligt intryck.



Figur 3.7. Kullersten och sprängsten (Hagström, 2001).

3.4.3 Släntskoning av flexplattor (Betongplattor)

Flexplattor är dränerade betongplattor, som ligger kopplade i varandra, för att stå emot vågornas kraft, med en underliggande fiberduk, se Figur 3.8. Nackdelen är att det är svårt för vegetationen att få fäste mellan plattorna, eftersom flexplattornas hål är små och fiberduken under plattorna hindrar rötterna från genomträngning. Andra nackdelar är att flexplattor endast skyddar strandslutningen och inte strandplanet vid vattnet. Konstruktionen kan även ge ett onaturligt intryck. Fördelarna är att livslängden är lång och den tål kraftiga vågor.



Figur 3.8. Flexplattor, som är dränerade betongplattor (Hagström, 2001).

3.4.4 Sandutfyllnad

Sandutfyllnad är den mest naturliga lösningen eftersom det tillförs sand som har eroderats bort från platsen, se Figur 3.12. Genom att tillföra lika mycket sand som platsen tidigare hade, får området tillbaka sitt ursprungliga utseende. Vid utförandet av denna lösning är det viktigt att inte sand tas ifrån havsområden som ligger just utanför kuststräckan, eftersom det då finns en risk för att revlar försvinner. Det skulle medföra att vågorna blir högre när de når stranden och ger en ökning av erosionen på stranden. En nackdel är att sandutfyllnad inte är någon långsiktig lösning utan det kräver en återkommande påfyllning av sand. Fördelarna är att lösningen är relativt

3 Beskrivning av området

billig och den ger en naturlig strand som också ökar rekreativt värdet för den aktuella kuststräckan.



Figur 3.9. Här har tillförsel av sand skett, för att få tillbaka det ursprungliga utseendet på strand

4 Vegetationslinjeförändringar

För att studera utvecklingen av erosionen mellan år 1960 och 2004 användes fem flygbilder som var fotograferade av Lantmäteriet, 1960, 1967, 1973, 1984 och 2004. På dessa bilder jämfördes vegetationslinjen, gränsen mellan vegetation och bar mark. Vegetationslinjen flyttar på sig i takt med att erosion sker och ger en god bild av erosionsförloppet. Strandlinjen, gränsen mellan hav och strand ritades även upp från flygbilderna. Ett representativt värde för denna gräns var dock mycket svårt att uppskatta beroende på det varierande dagliga vattenståndet, vilket gjorde att uppskattningen av strandlinjen ej är tillförlitlig vid analys av erosion.

4.1 Analys av vegetationslinjeförändringar

Samtliga flygbilder koordinatsattes och kunde därmed rektifieras och jämföras. Flygbilderna var fotograferade från en höjd av 4600 m. För att avgöra om en förändrad vegetationslinje fanns, så zoomades bilderna in och vegetationslinjen uppskattats och digitaliserades på skärmen med flygbilden som underlag. De fem linjerna lades sedan ovanpå varandra för att se hur vegetationslinjerna har flyttats inåt land, på grund av erosion.

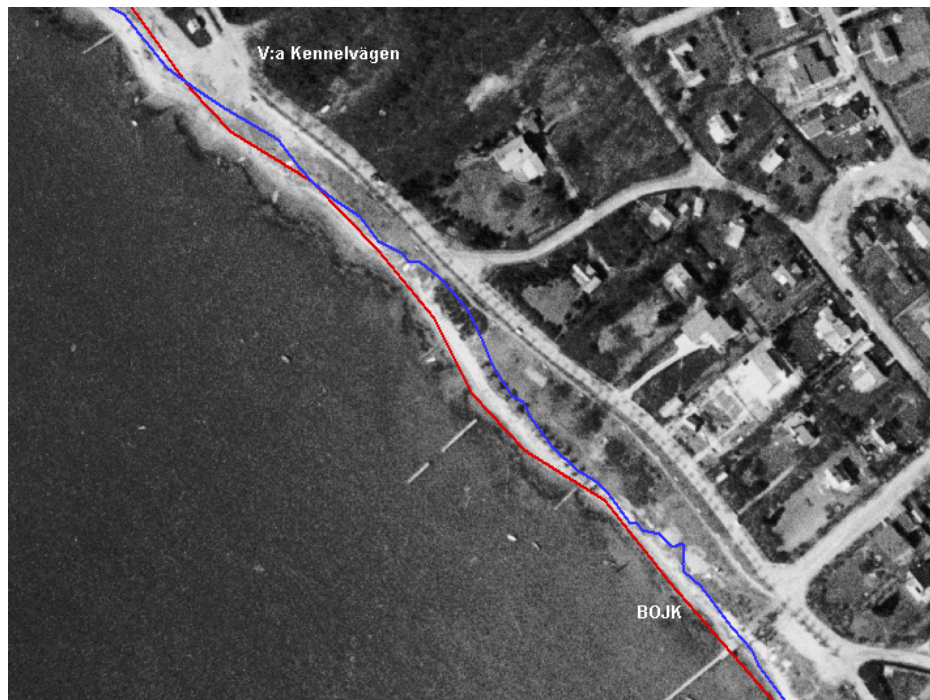
Vegetationslinjen är representativ när det gäller att avgöra om erosion sker eller har skett på grund av att när storm infinner sig nöter havet på strandsläntens innersta delar, vilket innebär att havet nöter på den del där vegetationen befinner sig. Vegetationslinjen kommer då att förflytta sig inåt land i takt med att erosion sker.

Bilden från 1960 är oskarp, se bilaga 1, vilket påverkar exaktheten av lokaliseringen av vegetationslinjen. Detta har tagits i beaktande när analysen har skett. Andra felkällor är att bilderna är tagna vid olika tidpunkter på året. Flygbilden från 1960 är fotograferad i mars, bilderna från 1967 och 1984 i april, bilden från 1973 och 2004 i juni. De som är fotograferade under perioden med löv på träden och mer synlig växtlighet gör att det blir svårare att se klara linjer vid dragningen av vegetationslinjen. Flygbilden från 2004 är fotograferade i färg, medan de fyra äldre flygbilderna i svartvitt. Kvaliteten på bilderna är varierande och påverkar noggrannheten vid linjesättning och koordinatsättning.

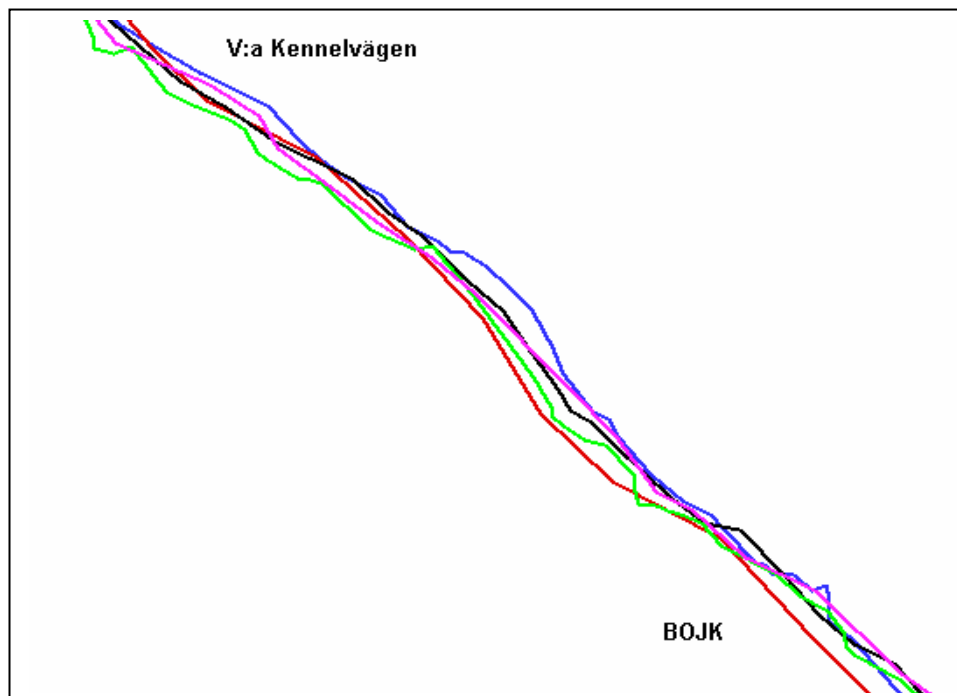
4.2 Resultat av analys av vegetationslinjen

Analysen av vegetationslinjen ger en bild av erosionsförloppet. Under de 44 studerade åren kan det konstateras att signifikant erosion har skett. Vegetationslinjen har förskjutits inåt landet på ett tydligt sätt. I Figur 4.1 visas vegetationslinjens utveckling från år 1960 (röd linje) till år 2004 (blå linje) från V:a Kennelvägen och BOJK (Öresundsvägen). I Figur 4.2 presenteras samtliga fem vegetationslinjer. I bilaga 1 visas samtliga flygbilder. Maximalt har ca 16 m strand försvunnit ut i havet på grund av av erosionen under dessa år. Hur stor erosionen är på sträckan är varierande, från 0 till ca 16 m och mederosion uppgår till 8,2 m. Anledningen till den varierande erosionen kan bero på flera faktorer, bl.a., den lokala topografien, hur den långsgående sedimenttransporten påverkar de olika platserna längs sträckan och jordlagrens sammansättning.

4 Vegetationslinjeförändringar



Figur 4.1. Vegetationslinjens förändring från år 1960 till 2004. Blå vegetationslinje år 2004 och röd linje är 1960. (Lantmäteriet, 1967)



Figur 4.2. Samtliga fem vegetationslinjer. Blå linje: 2004, lila linje: 1984, grön linje: 1973, svart linje: 1967, röd linje: 1960.

5 Fältundersökningar

För att få mer information om området vid kuststräckan har två typer av fältundersökningar utförts: profilmätning av havsbotten (under vatten) och stranden (ovan vatten) samt jordprovtagning på stranden.

5.1 Profilmätning av havsbotten och stranden

Syftet med profilmätningen var att få fram en representativ lutningen på havsbotten och stranden samt erhålla en allmän bild av de topografiska förhållandena i området.

5.1.1 Metod

Profilmätningen av havsbotten och stranden utfördes vid två tillfällen. Vid första tillfället gjordes fyra mätlinjer av havsbotten till en ungefärlig längd av 800 m ut i vattnet där djupet var ca 2 m. Undersökningen utfördes en solig dag i slutet av september med svag vind. Vid mätningarna stod en mättekniker från Lomma kommun på stranden och hanterade en totalstation. En roddbåt användes vid förflyttningen längs linjen och mellan 20 och 24 mätpunkter per linje med ett mellanrum på 20 till 50 m, beroende på den lokala variationen i topografin, mättes upp, vilket ansågs tillräckligt. Ett prisma på en 3 m lång stång, se Figur 5.1, sattes ner från båten mot havsbotten. På detta sätt avlästes x-, y- och z-koordinaterna från totalstationen på land. Totalstationens minne hanterade sedan mätdatan.



Figur 5.1. Det prisma, som användes i roddbåten för mätning i x-, y- och z-led.

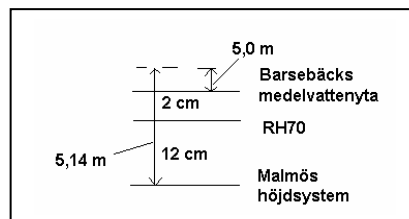
Vid den andra profilmätningen mättes ytterligare en bottenprofil upp och även fem mätningar av strandens profil (ovan vattenytan) utfördes. Arbetet pågick i mitten av oktober och vädret var soligt men med en något starkare vind än vid första mättillfället. Detta resulterade i vågor på havet och gjorde att mätningen av bottenprofilen fick avbrytas ungefär 500 m från land. Antalet mätpunkter blev enbart 8 stycken och avståndet mellan dem varierade från ca 50 till 100 m.

5 Fältundersökningar

Vattnet var relativt strömt vid första mättillfället vilket kan orsaka en del felkällor. Det resulterade i att stängen med prisma inte alltid kunde hållas vinkelrätt mot botten. Vid det andra mättillfället var det ännu svårare att hålla stängen vinkelrätt mot botten på grund av den starka vinden. I samband med mätningarna kunde även stängen med prisma sjunka ner i botten och därmed indikera ett större djup. Vid mättillfällena var det viktigt att hålla en rak linje ut från land vilket inte kunde genomföras fullt ut på grund av vågklimatet. Avvikelse från dessa linjer ger ett fel i x-led (parallellt med stranden) vid varje mättillfälle. I beräkningarna har punkterna projicerats så att en rak linje i y-led (ortogonalt mot stranden) erhållits vid uppritning och analys av profilerna. Dessa fel gemensamt kan uppskattas ge ett noggrannhetsfel på decimeternivå.

5.1.2 Bearbetning av mätdata

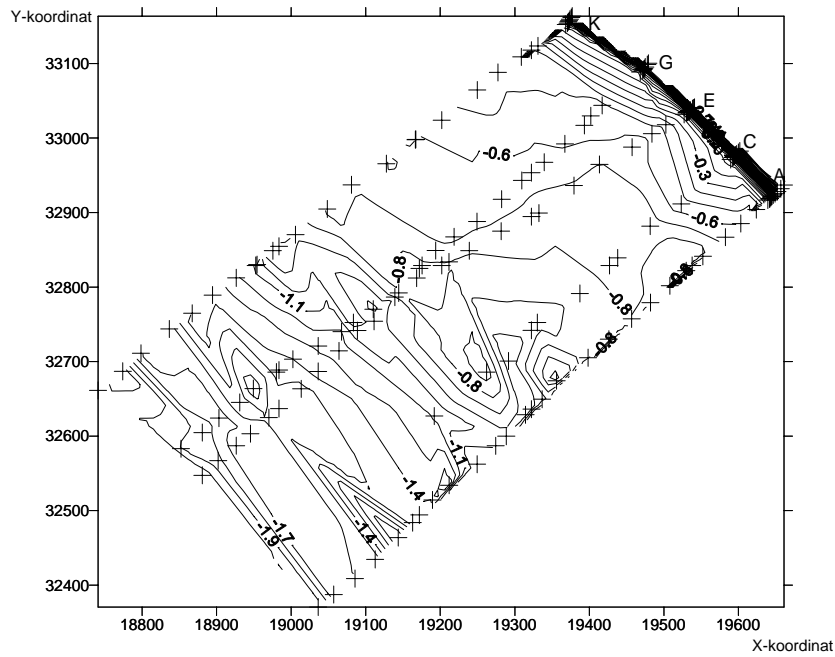
Mätningarna utfördes utifrån Malmös lokala höjdsystem, eftersom det även används som lokalt höjdsystem av Lomma kommun. Malmös höjdsystem ligger 12 cm under Rikets höjdsystem, RH70, se Figur 5.2. För att kunna jämföra botten- och strandprofilerna med vattenståndsdata måste profilerna korrigeras till medelvattenytan (MW). Olika platser skiljer sig olika mycket från medelvattenytan. Mätstationen Barsebäck låg närmast Bjärred och Barsebäcks RH70-nivå låg 2 cm under medelvattenytan. Med anledning av detta subtraheras 0,14 m för att konvertera från Malmös till Barsebäcks höjdsystem.



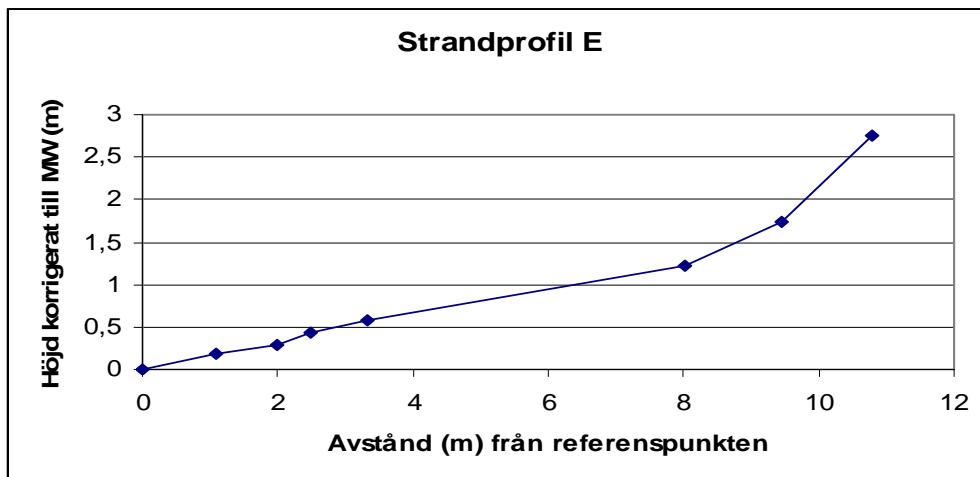
Figur 5.2. Översikt på vattenstånd. Höjderna 5,0 m och 5,14 m är exempel.

I programmet Surfer används olika metoder att interpolera och extrapolera data. För att få fram samtliga mätlinjer och dess mätpunkter användes triangulär linjär interpolation, som endast interpolerar mellan de befintliga datapunkterna och inte extrapolerar datapunkterna. I Figur 5.3 nedan visas mätlinjerna A, C, E, G och K och dess mätpunkter. Mätdata är angivna i det ursprungliga koordinatsystemet och z har inte ändrats med avseende på medelvattenytan. Strand- och bottenprofilerna har också korrigerats till medelvattenytan (MW) och ritats upp, se Figur 5.4, Figur 5.5 och Figur 5.6. Övriga profiler finns i bilaga 3, tillsammans med tabeller över mätpunkters koordinater och mätuppgifter.

Stranderosion i Bjärred

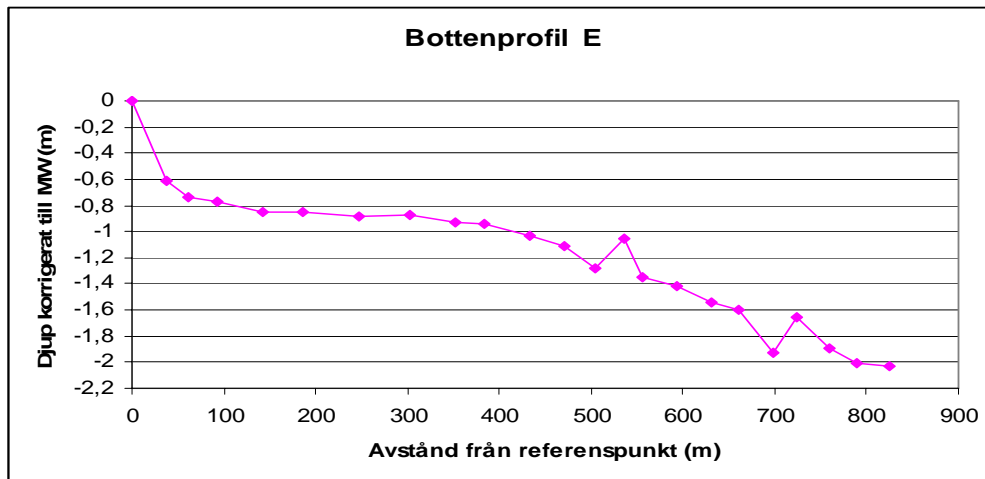


Figur 5.3. Samtliga mätlinjer och mätpunkter utan korrigering till medelvattenytan.



Figur 5.4. Strandprofil för linje E.

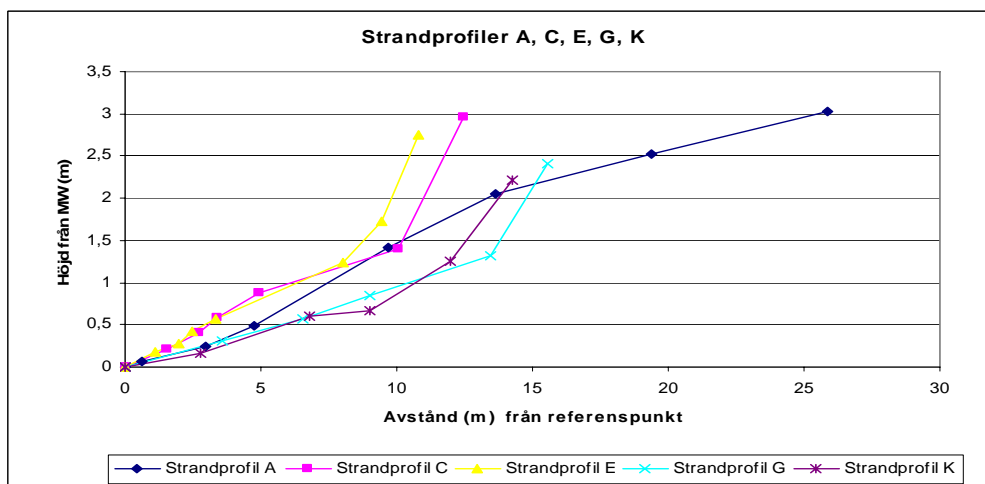
5 Fältundersökningar



Figur 5.5. Bottenprofil för linje E.

Davidsson undersökning (1963) omfattade en strandprofil som var intressant för detta arbete, se kapitel 3.1.2. Där gick undersökningen till ett 7 m djupet vilket gav en lutning på 0,003. I detta arbete blev den genomsnittliga lutningen på bottenprofilerna 0,002. Skillnaden på lutningen kan bero på att den senaste mätningen endast omfattar profilen ut till djupet 2 m.

I Figur 5.6 visas samtliga strandprofiler och det visar sig att strandprofil A (blå) skiljer sig markant i jämförelse med övriga strandprofiler.



Figur 5.6. Samlade strandprofiler plottade till MW.

Stranderosion i Bjärred

Profil A har mätts över en något längre sträcka inåt land, men har även en annan form än övriga linjer. Vid profil A finns en större brygga och vid undersökning av flygbilden från 2004 kan en minskning av mängden sediment på ena sidan om bryggan (erosion) och en ökning av sediment på den andra sidan (ackumulation) påvisas, se Figur 5.7. En anledning kan vara den södergående sedimenttransporten som sker längs stranden.



Figur 5.7. Området precis norr om kusterosionskyddet och linje A.

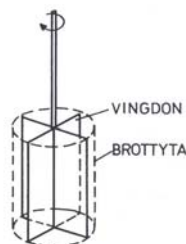
5.2 Undersökning av jordens egenskaper

Provtagning utfördes på några platser på strandplanet och i strandbanken under november månad med soliga förhållanden. Temperaturen på provtagningsdagen låg på ett par plusgrader. Föregående dag blåste det hårt vilket innebar att lerpartierna var uppblötta vilket gjorde det lätt att ta proverna. Underlag för genomförandet och den laborativa delen är hämtat från Sällfors, Laborationshandledning i Geoteknik (1979).

5.2.1 Genomförande av jordprovtagning

Jordprovtagning var nödvändig för att få en bild av kornfördelning på jorden samt dess egenskaper. Detta är viktigt för en ökad förståelse för dess motståndskraft mot vågor och utformningen av lerkonstruktionen. In situ försök utfördes samt det togs störda och ostörda prover som undersöktes närmare i laboratorium, se kapitel 5.2.2.

Vingförsök: Två vingtest utfördes i vardera provpunkt vilket innebar att en vinge som sitter på ett skaft förs ner i jorden och ett moment tillförs vingen, se Figur 5.8.



5 Fältundersökningar

Figur 5.8. Vingdonet som används vid bestämning av den odränerade skjuvhållfastheten. (SGF, Hämtat 20041115)

När motståndet upphör, har ett brott i jorden åstadkommit och ett värde på den odränerade skjuvhållfastheten kan bestämmas. Vingförsök görs in situ vilket betyder att inga prover tas hem utan mätresultatet erhålls direkt i fält.

Kolvprover (ostörda prover): I varje provtagningspunkt togs kolvprover med lera. Kolvprover är dränerade prover vilka används till konförsök (se nedan) för att bestämma den dränerade skjuvhållfastheten. En slägga användes som hjälpmedel vid provtagningen för att lättare få ner rören i marken. Rören fylldes med lera och plastskydd placerades på vardera sida om sedimentprovet för att behålla fuktigheten. Till sist tillslöts kolvarna med plastlock på vardera sida, vilket ger ett lufttätt prov. Rören fylldes till brädden i de flesta fall. På vissa provtagningsplatser var leran mycket hård och rören kunde bara fyllas till ca hälften. Dessa placerades med sedimentdelen nedåt i förvaringslådan för att på bästa sätt behålla provet ostört. Övriga prover placerades också i lådan vilket innebär att de stod stabilt lutade mot varandra under transporten till laboratoriet.

Störda prover: Störda prover på jord användes till bl.a. vattenkvotberäkning och kornfraktionskurvor. Proverna grävdes fram och placerades i vattentäta provtagningspåsar eller i plastkassar beroende på om de skulle utnyttjas för vattenkvotsberäkning eller framräkning av kornfraktionskurvor. Ingen ytterligare specialbehandling var nödvändig för dessa prov ute i fält.

5.2.2 Laboratorieanalys av jordprover

Två metoder användes för att undersöka kornfraktionsfördelningen i friktionsjorden respektive kohesionsjorden. Vidare bestämdes skjuvhållfastheten med fallkonförsök. Glödgningsstest gjordes för bestämning av eventuell humushalt i proverna.

Siktning: Friktionsjorden torkades under 8 tim i 105 grader C innan ett prov på 500 g siktades med hjälp av ett vibrationsinstrument under 15 min. Siktens delar vägdes med 0,01 g noggrannhet före siktning utan material och efteråt tillsammans med material. Två försök på samma jordmaterial utfördes. Kornfraktionskurvaor ritades upp i båda fallen och jämfördes.

Slamningstest:

Metod 1:

Stranderosion i Bjärred

Slamningstest utfördes för att undersöka kornfraktionsfördelningen på kohesionsjorden för de olika provtagningspunkterna. Provet blandades med en dispersionslösning i detta fall Tetra Natriumpyrofosfat för att på bästa sätt lösa upp det till en homogen lösning. En del av provet blandades med vatten och placerades i ett provrör. Provet skakades för att fördela jordmassan i vattnet för att sedan lämnas i vila. Sedimenterad mängd mättes upp efter 3 s, 30 s, 4.5 min, 50 min och 8 h. Detta ger ett resultat på hur stor andel av materialet som har en viss kornfraktion på grund av att de större och därmed tyngre kornen sjunker snabbare än de mindre partiklarna. Varje kornfraktion har en bestämd sjunkhastighet. Slamningstest kan utföras på material som har en största kornfraktion på 2 mm. Noggrannhetsgraden i detta test är för dålig och en hydrometer bör användas varför provet skickades för noggrann analys till ett laboratorium.

Metod 2:

När hydrometer används, bereds provet genom att bl.a. avlägsna humus och järn. Provet späds till 1000 cm^3 och blandas om noggrant. När omrörning avslutas läses värdena på hydrometern av efter 1 min, 2, 4, 10, 20, 50, 100, 400 min och 24 h. Vid varje avläsning förs hydrometern ner i provet försiktigt och avläses vid övre miniskens del. Hydrometeravläsningarna anger direkt koncentrationen av korn med diametern $<d$, där d är en funktion av hydrometervärdet och sedimentationstiden. Halten av korn $<d$ beräknas enligt följande:

$$P = \frac{R}{m_{tot}} \quad (5.1)$$

P anger viktandelen korn $<d$ i hela provmängden $< 2 \text{ mm}$, R står för hydrometeravläsning (g för hela provmängden i suspension) och m_{tot} anger vikten i g av hela provmängden $< 2 \text{ mm}$ i torrt tillstånd.

Vattenkvot: Vattenkvoten definieras som förhållandet mellan vätskans vikt och den fasta fasens vikt av ett material. Vattenkvoten bestämdes för leran och sanden. Det är viktigt att provet som grävts fram direkt innesluts i en vattentät påse så att inte något vatten försvinner från provet innan ett försök har utförts. Provet vägdes först i naturligt tillstånd innan torkningen hade påbörjats och sedan efter torkning då provet svalnat. Provet torkades i 105 grader C under ca 24 h. Vattenkvoten w blir:

$$w = \frac{m_w}{m_k} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_3 - m_1)} \quad (5.2)$$

Där m_1 anger massan av skålen tom, m_2 står för massan av skålen med ej torkat provprov och m_3 betyder massan av torkat jordprov.

$$m_w = m_2 - m_3 = \text{porvattnets massa}$$

$$m_k = m_3 - m_1 = \text{kornens massa}$$

5 Fältundersökningar

Konförsök: Den dränerade skjuvhållfastheten uppmättes genom konförsök. Kolvprovet placerades på en apparat som förde ut leran ur röret. Den översta och understa delen av provet är stört vilket inte kan användas. Mittersta delen är ostörd och skärs ut till skivor som är ca 2 cm tjocka. Dessa placeras under en kon som släpptes ner på provet från en bestämd fallhöjd, som är konstant. För att få ett tillförlitligt resultat av detta försök måste en kon av rätt tyngd användas. Konen ska tränga in i leran minst 5 mm och högst 15 mm för att skjuvhållfastheten ska kunna läsas av i diagram i laborationshandledningen. Vilken kon som väljs beror på lerans hårdhet. En kon av tyngden 400 g och vinkeln 30 grader användes i detta försök.

Glödgningsprov: Glödgningsprov var nödvändigt för att bestämma mängden organisk halt i kohesionsprovet. För detta prov behövs en ugn som kan värmas upp till 800 grader C och en våg med 0,01 g noggrannhet. Provet torkades till att börja med i 105 grader C under 24 h. Porslinsdegeln vägs innan och efter provet tillsatts. Provet stoppas därefter in i ugnen där temperaturen är 800 grader C i en timme. När provet svalnat vägs det igen. Glödgningsförlusten, g bestäms:

$$g = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_3 - m_1)} \quad (5.3)$$

Där m_1 anger porslinsdegeln ursprungliga massa, m_2 står för porslinsdegeln massa med torkad jord innan försöket och m_3 anger porslinsdegeln massa med glödgad jord efter försöket.

$m_2 - m_1$ = torkade jordens massa

$m_2 - m_3$ = massförlusten vid glödning

Massförlusten orsakas av OH-grupperns avgång ur mineralpartiklarnas kristallgitter och av karbonaternas nedbrytning. Korrigering ska göras från tabell för glödgningsförlusten i Sällfors laborationshandledning (1979). Den verkliga humushalten minskas med värde beroende på jordartstyp.

5.2.3 Resultat av laboratorieanalys

Se Figur 12.1 i kapitel 12 för detaljerad resultat av vingförsök, vattenkvot och konförsök.

Siktning: Mycket små skillnader kunde konstateras mellan de två provförsöken som utfördes. Friktionsjorden består till största delen av sand. Ca 8 % av jorden består av grus. Se kornfördelningskurva i bilaga 6b.

Slamning:

Metod 1: Fem försök utfördes men dessa undersökningar gav otillräckliga resultat eftersom lermängden inte kunde fastställas, på grund av brist på information om volymförhållanden. Resultaten skiljde sig dock med ca +/- 10 % i jämförelse med metod 2.

Stranderosion i Bjärred

Metod 2: Fem prover för slamning skickades till laboratorium. Proverna bestod från 40 % till 55 % av ler. I övrigt innehöll de finsilt: 11 % till 16 %, mellansilt: 18 % till 26 % och grovsilt: 15 % till 24 %. Det kan konstateras att jordproverna är en lera eftersom de måste innehålla minst 40 % ler för att materialet ska kunna kallas lera, se

Tabell 5.1. Se bilaga 6b för kornfraktionskurvor.

Tabell 5.1. Andel kornfraktioner efter slamning av lera på fem olika platser längs stranden

Prov	1	4	5	7	6
Jordtyp	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Ler	44,5	48,5	43	42	55
Finsilt	16,5	14,5	11	12	12
Mellansilt	22,5	19,5	26	22	18
Grovsilt	16,5	17,5	20	24	15
Totalt	100	100	100	100	100

Konförsök: Flera konförsök gjordes på varje kolv och ett medelvärde räknades ut. Skjuvhållfastheten lästes av i diagram för varje medelvärde och det varierade mellan 30 och 80 kPa beroende på vattenkvot, vilken varierade mellan 18 - 29 %. Vid de lägre vattenkvotsvärdena erhöles de högre värdena på skjuvhållfastheten och vice versa.

Glödgningsprov: Efter genomfört glödgningsprov erhöles olika humushalter på de två prov som utfördes. Dessa värden skiljde sig mycket åt, vilket beror på att prov 1 grävdes upp på en plats där vattnet oftast befinner sig och prov 2 där vattnet endast befinner sig ibland. Prov 1 visade sig ha en högre humushalt än prov 2.

Humushalt för prov 1: 5,9 %

Humushalt för prov 2: 9,3 %

Humushalt för prov 1 efter korrektion från diagram (Sällfors, 1979): 4,4 %

Humushalt för prov 2 efter korrektion från diagram: 6,8 %

Vattenkvot: Kohesionsjorden på strandremsan har en vattenkvot mellan 20 % och 25 % och friktionsjorden har en vattenkvot på 13 %.

Vingförsök: Två försök utfördes på varje provtagningsplats och medelvärdet mellan dessa försök användes i utvärderingen av resultatet. Den odränerade skjuvhållfastheten i kohesionsjorden ligger mellan 32,5-63 kPa. På fyra av fem mätplatser hamnade värdena över 52 kPa. Det avvikande värdet på 32,5 kPa bortses från. Det kan avvika till exempel på grund av att leran i den punkten skiljer sig från övriga lerpartier eller på grund av missbedömningar vid mätning till exempel ett

5 Fältundersökningar

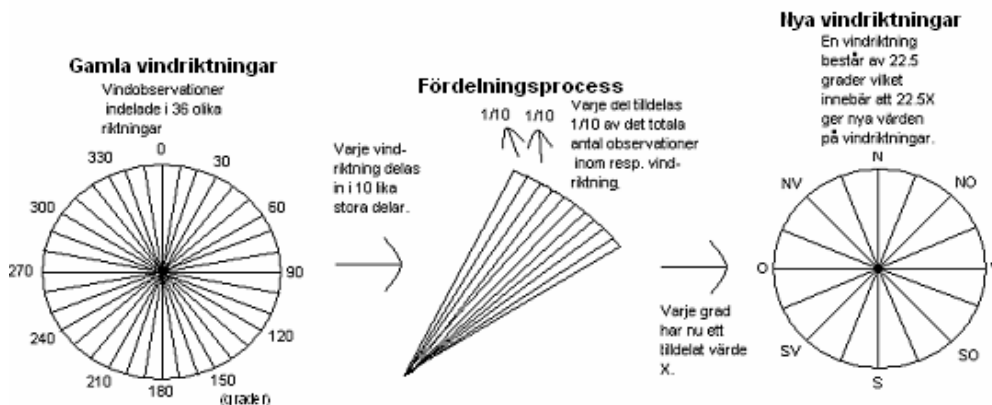
avläsningsfel. Resultatet på den odränerade skjuvhållfastheten ligger då i ett intervall mellan 52 kPa och 63 kPa.

6 Vind

6.1 Allmänt om vinddata

Bjärred har ingen station för mätning av vindriktning och vindhastighet, vilket betyder att närmaste vindstation får representera Bjärred, vilket i detta fall är Falsterbo. Falsterbo kommer därför att utgöra grunden för fortsatta beräkningar. Vindförhållandena i sydvästra Skåne anses vara snarlika vilket innebär att valet av representativ station inte är särskilt känsligt (Larson, Hanson, 1992). En studie har genomförts för att jämföra vindklimatet mellan Trelleborg och Falsterbo (Hanson, Larson, 1993). Studien utfördes för en 16-års mätserie från Trelleborg och vindstatistik från Falsterbo baserad på 20 års vindobservationer. Vindstyrkans och vindriktningens frekvens jämfördes och resultatet pekade på att mätstationerna Falsterbo och Trelleborg var jämförbara vilket indikerar att vindklimatet i Skåne är relativt homogent över den skalan.

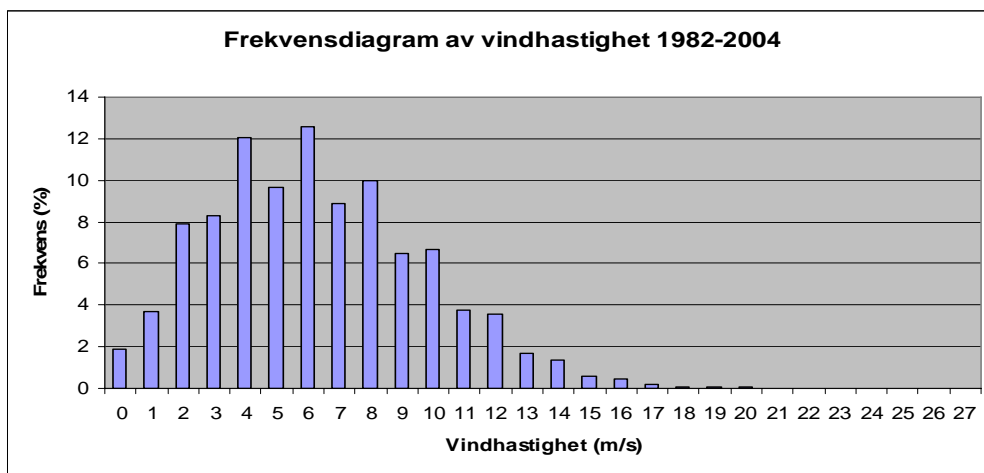
Mätstationen Falsterbo har varit aktiv sedan 1961. Vindmätningarna består av vindriktning och vindstyrka, registrerat var tredje timme, vilket ger ca 65 000 observationer av riktning och styrka mellan åren 1982 och 2004 (den tidsperiod för vilken vattenståndsdata fanns tillgängligt). Vindstyrkan är angiven i hela m/s med en upplösning på 1 m/s och vindriktningen är uppmätt med en upplösning av 10 grader, där 360 och 0 grader innebär riktningen N, se Figur 6.1. Materialet har bearbetats om till 16 kompassriktningar: NNV, V, S, SSV m.fl., se Figur 6.1, från 36 vindriktningar ($360^\circ/10^\circ=36^\circ$) som de ursprungliga mätningarna från SMHI var indelade i. Dessa 16 nya vindriktningar omfattar 22,5 grader vardera. Varje vindriktning från SMHI:s mätningar bestående av 10 grader har delats upp i tio bitar som har tilldelats en tiondel av de fall då vinden blåser från denna riktning. Varje grad har alltså tilldelats ett approximativt värde på hur många gånger det blåst från just i den riktningen. Dessa värden har sedan fördelats över de nya vindriktningarna och summerats.



Figur 6.1. Förklaring på hur SMHI:s 36 vindobservationer blir 16 vindriktningar, som sedan används i analyser och beräkningar.

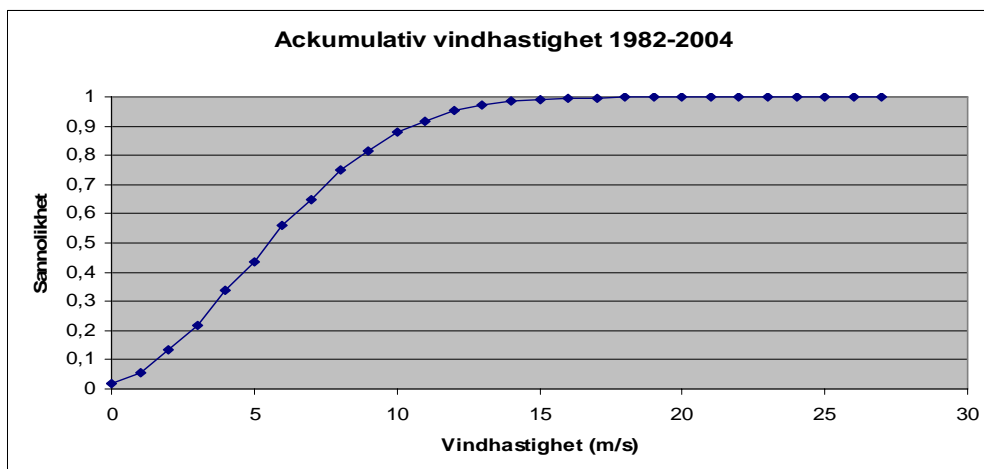
6.2 Vindstyrka

Vindmätaren i Falsterbo sitter på 10 meters höjd över havet, vilket innebär att ingen höjdcorrigering är nödvändig. Norrifrån är vindmätaren något skyddad av växtlighet, som ligger på ett avstånd av 300 meter. Detta kan innebära en viss reduktion av vindhastigheten vilket dock bortses från i beräkningarna. Figur 6.2 visar den procentuella fördelningen av vindstyrkan i Falsterbo under 1982-2004. Vindar mellan 3 och 8 m/s är vanligast förekommande. Den maximala vindstyrkan som noterats är 27 m/s. I ca 6 % av fallen blåser det mindre än 1 m/s vilket innebär att det är stiltje, se Figur 6.3. Sannolikheten för att vindar med en hastighet större än 15 m/s uppträder är 0.015, se Figur 6.3.



Figur 6.2. Frekvensdiagram för vindhastighet i Falsterbo som antas vara representativ för Bjärred. För mer detaljerad utformning, se tabell 1 i bilaga 5. Bearbetad data från SMHI.

Figur 6.3 visar sannolikheten för att vindhastigheten inte ska överstiga en speciell styrka, till exempel, sannolikheten för att vindstyrkan inte ska överstiga 10 m/s är 0,88.

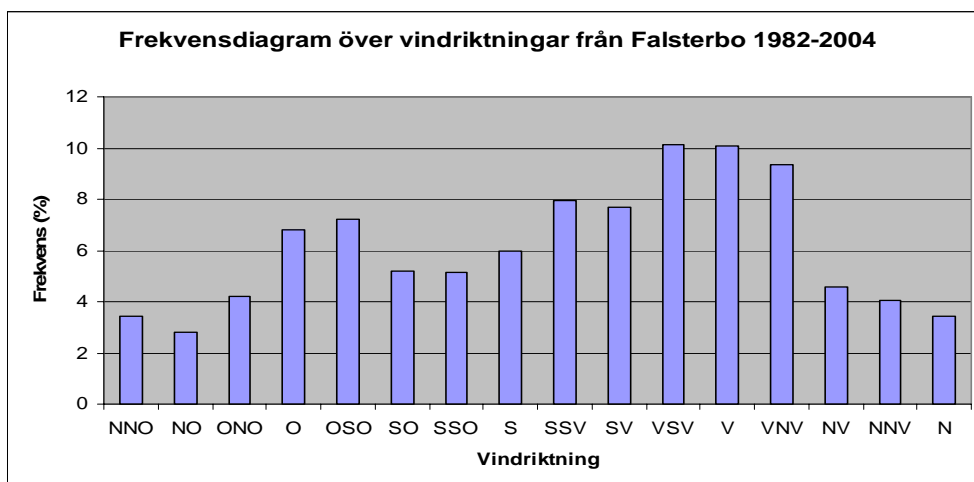


6 Vind

Figur 6.3. Sannolikheten för att en viss vindhastighet inte sak överstigas (Falsterbo). Bearbetad data från SMHI.

6.3 Vindriktning

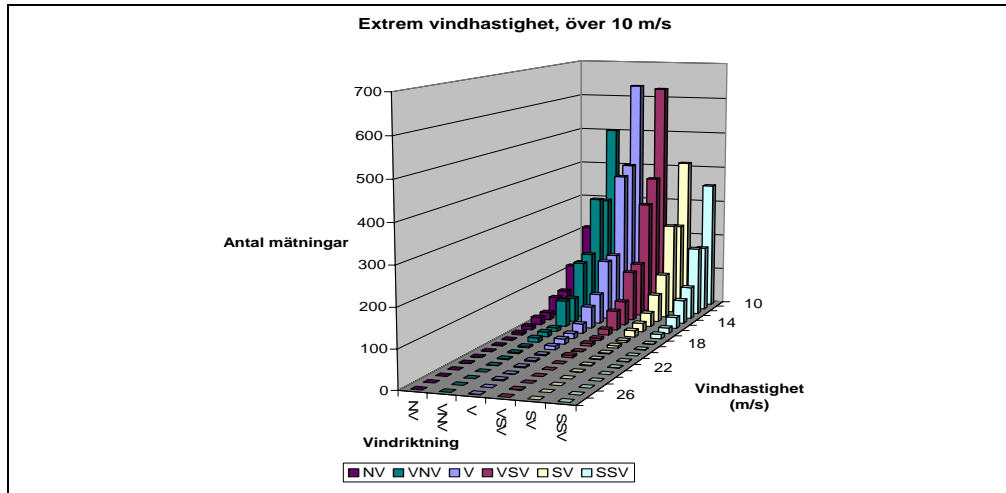
Vindriktningsundersökningar är nödvändiga för beräkning av hur ofta och mycket det blåser längs varje stryklängd, se kapitel 7.2. Det är sex vindriktningar som är aktuella för Bjärred vad gäller våggenerering: NV, VNV, V, VSV, SV och SSV, där varje stryklängd representerar 22,5 grader (dessa vindriktningar ligger i riktning mot havet från den aktuella stranden, se Figur 6.5). Övriga väderstreck utbreder sig över landområden eller havsområden som Bjärreds strand skuggas från, såsom NNV på grund av geografiska former. Det innebär att dessa väderstreck inte alstrar några väsentliga våghöjder som kan påverka stranden. Figur 6.4 visar tydligt att vinden oftast kommer väster ifrån och vindarnas maxområde ligger mellan SSV och VNV. Det innebär att vinden oftast blåser från riktningar som geografiskt vetter mot kusten i Bjärred och alstrar vågor som kan ha en eroderande verkan. Sannolikheten att det blåser från O och OSO är hög men vindar från dessa riktningar alstrar inga vågor eftersom de genereras från land vid Bjärreds kust. Dessa vindriktningar är därför ej medtagna i fortsatta beräkningar.



Figur 6.4. Fördelning av vindriktningar för Falsterbo. Diagrammet visar från vilken riktning det har blåst under mätperioden (1982-2004) oberoende av vindstyrka. Bearbetad data från SMHI.

Det sex aktuella vindriktningar för Bjärreds kuststräcka, visas i Figur 6.5 och illustrerar vindhastigheter över 10 m/s. Dessa är mest förekommande när det blåser från V och VSV och minst förekommande när det blåser från NV, vilket Figur 6.5 visar. Uppspolningshöjden är beroende av vågorna som i sin tur delvis bestäms av vindhastighet och den bör då bli högst när vinden kommer från V och VSV. Detta är dock inte alltid fallet eftersom uppspolningshöjden ofta får de högsta värdena när vinden kommer från NV, vilket är det väderstreck av de sex aktuella, som det blåser minst antal gånger ifrån. För vidare diskussion kring detta se kapitel 9.

Stranderosion i Bjärred



Figur 6.5. Antal observationer med hänsyn till vindriktning och vindhastighet. Diagrammet visar hur ofta vindhastigheter över 10 m/s förekommer i respektive vindriktning. Endast vindriktningar som är aktuella för Bjärred kuststräcka finns med i diagrammet. Bearbetad data från SMHI.

Tabell 6.1 redovisar en mer detaljerad sammanställning av de aktuella vindriktningarna och antalet observationer i varje vindhastighetsintervall. Illustration i form av ett diagram finns i bilaga 5. Minst antal observationer på vindhastigheter har gjorts från NNV och NV innebärande att det är mest ovanligt att vinden kommer från dessa riktningar. Det är mest sannolikt att vinden kommer från V och VSV.

6 Vind

Tabell 6.1 .Antal observationer från aktuella vindriktningar och dess fördelning.

Vindhastighet (m/s)	NNV	NV	VNV	V	VSV	SV	SSV	
1	141	116	155	147	171	109	140	
2	272	245	350	352	367	311	358	
3	268	260	328	369	385	363	425	
4	347	347	550	538	634	579	712	
5	266	303	543	535	514	503	524	
6	291	438	749	760	733	643	753	
7	215	273	489	637	639	478	471	
8	222	355	691	836	787	604	481	
9	151	181	458	606	561	379	305	
10	137	211	502	633	626	413	350	
11	81	116	304	409	373	238	178	
12	82	118	316	385	307	249	187	
13	39	56	167	168	147	120	88	
14	26	50	153	162	135	75	64	
15	17	20	66	81	65	37	30	
16	11	20	71	59	52	23	15	
17	7	10	10	26	16	17	12	
18	2	6	13	14	6	5	1	
19	1	2	12	14	7	6	1	
20	0	2	4	10	1	2	0	
21	1	1	3	3	6	2	1	
22	1	1	2	3	0	2	1	
23	0	1	1	3	0	1	0	
24	0	0	0	1	0	0	0	
25	0	0	0	3	0	0	0	
26	0	0	0	0	1	0	0	
27	0	0	0	1	0	0	0	
Summa	2578	3132	5937	6755	6533	5159	5097	35191

7 Vågor

7.1 Våghöjdsberäkningar

På djupt vatten ($d/L > 1/2$, d = djupet, L = våglängd) finns det huvudsakligen tre faktorer som bestämmer våghöjder till följd av vind enligt SPM (1984). Den första faktorn som är bestämmande för skapandet av vågor är stryklängden, vilket innebär att vågen inte blir högre än höjden som hinner skapas under den begränsade sträckan över vilken vinden blåser. Den andra faktorn som begränsar vågorna är vindens varaktighet, där vågornas höjd beror på hur lång tid det blåser. Slutligen, om det blåser under obegränsad tid och över en oändlig stryklängd kommer det leda till en jämvikt för våghöjden som bestäms av vindstyrkan. När vågorna når detta jämviktstillstånd kallas det för fullt utvecklade sjö. Stryklängden är begränsande i de flesta fall för de vågor som studerades i detta arbete, eftersom Danmark ligger nära den svenska kusten.

Vid beräkning av våghöjder användes ett program som utnyttjade vinddata från Falsterbo och vattenståndsdatabaser från Viken och Bjärred. Programmet utvecklades i samband med en analys av förhållandena i Ystad (Larson, Hanson, 1992). Vinddata från SMHI består av mätningar av vindriktningen och vindhastigheten var tredje timme. Mellan tidpunkterna för mätning av vindhastigheten och vindriktningen kan vinden förändras på ett okänt sätt. I detta arbete antages dock att vinden blåser med samma styrka i tre timmar. Detta resulterar i att varje uppmätt vindvärde var tredje timme också antas ha en varaktighet på tre timmar. I det följande beskrivs hur våghöjderna beräknas i det använda programmet (Larson, Hanson, 1992).

Enligt SPM (1984) måste vinddata först korrigeras för diverse omständigheter som rådde vid mätningarna. Först ska vinden korrigeras med hänsyn till på vilken höjd mätstationen sitter, eftersom ekvationerna är anpassade till att mätningarna ska vara gjorda på en höjd av 10 meter över marken. Mätstationen i Falsterbo sitter på denna höjd och korrigering av mätstationshöjd är följaktligen inte nödvändig. Det antogs även att neutrala förhållanden i atmosfären uppträdde samt att temperaturskillnaden mellan luften och vatten var noll, vilket innebär att vindhastigheten inte korrigerades med avseende på det vertikala utbytet i atmosfären. Den enda nödvändiga korrigeringen av vindhastigheten var att beräkna den effektiva hastigheten till följd av vindskjuvkrafter vilken används i beräkningsformlerna enligt SPM (1984),

$$U_A = 0,71U^{1,23} \quad (7.1)$$

där U står för uppmätt vindhastighet och U_A för den effektiva hastigheten med hänsyn till vindskjuvkrafterna.

Efter korrigering var vindmätningarna möjliga att använda vid beräkning av våghöjder. En annan viktig storhet vid vågberäkningarna var stryklängden, F , se kapitel 7.2, som anger den längd över vilken vinden blåser när den genererar vågor. I Tabell 7.2 nedan finns de sex aktuella stryklängderna för Bjärred.

7 Vågor

För fall när stryklängden är begränsande för vågornas tillväxt, beräknas våghöjden H_{mo} och vågperioden T_m enligt följande ekvationer:

$$H_{mo} = 5,112 \cdot 10^{-4} U_A F^{1/2} \quad (7.2)$$

$$T_m = 6,238 \cdot 10^{-2} (U_A F)^{1/3} \quad (7.3)$$

Ifall varaktigheten hos vinden (t_v) är kortare än den tid det tar för hela stryklängden att medverka (t_m) blir varaktigheten bestämmande för vågorna. För att kunna använda ekvationerna 7.2 och 7.3 beräknas en ekvivalent stryklängd för vilken $t_m = t_v$, där t_v är 3 tim i det aktuella fallet. Varaktigheten t_m definieras av:

$$t_m = 32,15 \left(\frac{F^2}{U_A} \right)^{1/3} \quad (7.4)$$

Värdena för H_{mo} och T_m får inte heller överstiga värden som gäller vid fullt utvecklad sjö. Ekvationerna som gäller för det fallet är följande:

$$H_{mo} = 2,482 \cdot 10^{-2} U_A^2 \quad (7.5)$$

$$T_m = 8,30 \cdot 10^{-1} U_A \quad (7.6)$$

Den varaktighet (t_f) som behövs för att fullt utvecklad sjö ska uppträda ges av:

$$t_f = 7,296 \cdot 10^3 U_A \quad (7.7)$$

Om vågen befinner sig på ett vattendjup där förhållandena är grunda ($d/L < 1/25$, $d =$ djupet, $L =$ våglängd) eller i övergångszonen ($d/L = 1/25 - 1/2$) minskar våghöjden och vågperioden blir kortare på grund av effekter från botten (friktion och perkolation). Nedan angivna formlerna beskriver approximativt effekten av bottenfriktion och perkolation på vågornas höjd och period:

$$\frac{gH}{U_A^2} = 0,283 \tanh(K_1) \tanh\left(\frac{K_2}{K_3}\right) \quad (7.8)$$

$$K_1 = 0,53 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)^{(3/4)} \quad (7.9)$$

$$K_2 = 0,565 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{(1/2)} \quad (7.10)$$

$$K_3 = \tanh(K_1) \quad (7.11)$$

Stranderosion i Bjärred

$$\frac{gT}{U_A} = 7,54 \tanh(K_4) \tanh\left(\frac{K_5}{K_6}\right) \quad (7.12)$$

$$K_4 = 0,833 \left(\frac{gd}{U_A^2}\right)^{(3/8)} \quad (7.13)$$

$$K_5 = 0,0379 \left(\frac{gF}{U_A^2}\right)^{(1/3)} \quad (7.14)$$

$$K_6 = \tanh(K_4) \quad (7.15)$$

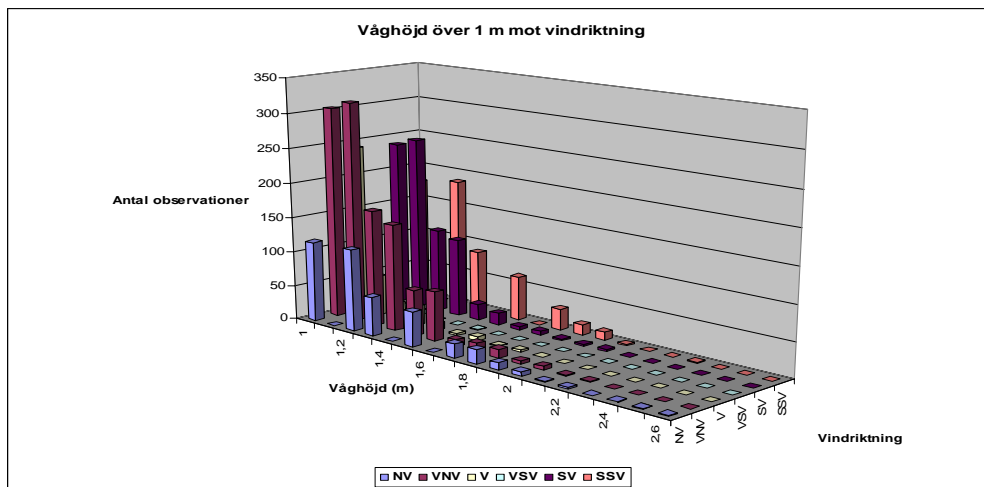
Ekvationerna 7.8 – 7.15 är mer empiriska än de ekvationer som gäller för djupt vatten, så det finns det tillfällen när den beräknade våghöjden på grunt vatten och i övergångszonen blir större än våghöjden på djupt vatten. I dessa fall blir våghöjden på djupt vatten begränsande, eftersom våghöjden på grunt vatten och i övergångszonen måste vara lägre än på djupt vatten.

De korta stryklängderna i föreliggande studie innebär att dessa normalt är begränsande för våghöjden och inte varaktighet hos vinden. Den varaktighet som krävs hos vinden på grunt vatten för att hela stryklängden ska bidra är:

$$\frac{gt_m}{U_A} = 5,37 \cdot 10^2 \left(\frac{gT}{U_A}\right)^{(7/3)} \quad (7.16)$$

I de fall där vindens varaktighet är kortare än t_m beräknas en effektiv stryklängd från ekvation 7.16 på samma sätt som för djupt vatten. Ekvationernas mer komplicerade utseende gör dock att de måste lösas numeriskt.

I Figur 7.1 visas antalet beräkningar av våghöjder över 1 m för att ge en klarare bild av hur ofta höga vågor uppträder och riktningen på vinden vid dessa tillfällen. I Tabell 7.1 visas samtliga våghöjder och ifrån vilken riktning vinden kommer ifrån.



Figur 7.1. Antalet beräkningar av våghöjder över 1 m och respektives vindriktning.

7 Vågor

Tabell 7.1. Antalet beräknade värden vad gäller olika våghöjder och vindriktningar.

Våghöjd (m)	SSV	SV	VSV	V	VNV	NV
0,2	1279	1072,5	1497	1137	1108	794,5
0,4	1256,5	1114	2339,5	1882,5	1192,5	695,5
0,6	1088	1101,5	1921,5	1774	1309	669,5
0,8	393	491,5	585,5	1221	574,5	268
1	591,5	721,5	162,5	482	886	360,5
1,2	182,5	428	22	193,5	551,5	117
1,4	181,5	183,5	3	46	269,5	115
1,6	64	31	1	11	109	50
1,8	37,5	9,5	0	5,5	24	30
2	20,5	4,5	0	2,5	12,5	23
2,2	1	1,5	0	0	4	6
2,4	1	0	0	0	0,5	1,5
2,6	0	0	0	0	0	2,5
Summa	5096	5159	6532	6755	6041	3133

7.2 Stryklängder

Vid beräkning av våghöjden krävs kännedom om stryklängder, som är sträckan över öppet vatten som vinden blåser för att generera en våg. Stryklängderna togs fram med hjälp av sjökort i de sex aktuella vindriktningarna, se Figur 7.2. I Tabell 7.2 finns stryklängderna angivna tillsammans med medelvattensdjup för varje kompassriktning. Medelvattendjupet togs fram utifrån de djup som finns på sjökort längs varje kompassriktning.

Tabell 7.2. Stryklängder och tillhörande medeldjup.

Kompassriktning	Stryklängd (km)	Medeldjup (m)
SSV	65	9
SV	27	9
VSV	8	8
V	13	9
VNV	28	10
NV	40	13

Stranderosion i Bjärred



Figur 7.2. De aktuella stryklängderna för kuststräckan i Bjärred.

7.3 Brytande vågor

När en våg bryter förbrukas energi, som kan mobilisera och transporter sediment längs med kusten och/eller vinkelrätt mot/från kusten. Det finns ett samband i SPM (1984) för vågbrott enligt:

$$\frac{H_b}{h_b} = 0,78 \quad (7.17)$$

Där b är ett index som refererar till förhållandena vid vågbrott, H_b betyder brytande våghöjd och h_b står för brytande djup. För att få fram h_b användes linjär vågteori, se ekvation 7.18-7.28 nedan som är hämtat från SPM (1984). Endimensionell vågutbredning används i detta examensarbete och vågberäkningar gjordes på basis av vindmätningar var tredje timme, vilket ger brytande våghöjder var tredje timme. Den beräknade tidsserien av H_b användes för att bestämma den kustparallella sedimenttransporten.

Ekvation 7.18, som uttrycker att energin bevaras, möjliggör beräkningen av h_b , eftersom det kan antas att den största och mest betydande delen av energiförlusten sker när vågen bryter. Från ekvationerna 7.19-7.25 beräknas nödvändiga kvantiteter i ekvation 7.18 som sedan kan användas till att få fram h_b med ekvation 7.29.

Energiflödet i en våg, F , beräknas enligt:

7 Vågor

$$F = EC_g \cos \theta = \text{konst} \quad (7.18)$$

F står för energiflödet per breddenhet, C_g är grupphastigheten, θ är vågornas infallsvinkel, E anger energitätheten hos vågen och ρ anger vattnets densitet. Energitätheten beräknas enligt:

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (7.19)$$

Bottenkonturerna antas vara raka och parallella, vilket gör att Snell's lag är möjlig att använda. Detta för att bestämma refraktionen mellan punkter (1 och 2 i ekvation 7.20). I denna ekvation utnyttjas vinkeln mellan den infallande vågen och strandlinjens orientering. Det antas att vågen kommer ifrån samma vinkel som vinden kommer ifrån. De sex aktuella stryklängderna som är nämnda i kapitel 7.2, definierar ingångsdata för vinkeln som används i följande ekvation,

$$\frac{\sin \theta_1}{L_1} = \frac{\sin \theta_2}{L_2} \quad (7.20)$$

där våglängden på grunt och djupt vatten, L och L_o , beräknas enligt:

$$L = L_o \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \quad (7.21)$$

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (7.22)$$

Vågshastigheten (C) och grupphastigheten, (C_g), som anger den hastighet som vågenergin utbreder sig med, ges av:

$$C = \frac{L}{T} \quad (7.23)$$

$$C_g = nC \quad (7.24)$$

$$n = 0,5 \left(1 + \frac{\left(\frac{4\pi d}{L}\right)}{\sinh\left(\frac{4\pi d}{L}\right)} \right) \quad (7.25)$$

Som tidigare diskuterat så kan ekvation 7.18 användas om det antas att den största och mest betydande delen av energiförlusten sker vid brytningen av vågen. Detta innebär att bottenfriktionen på grunt vatten antas ge en försumbar energiförlust och att energiflödet per breddenhet, F , kan sättas lika mellan två olika punkter utanför brytningen. I föreliggande studie antogs att våghöjder genererade av vinden är

Stranderosion i Bjärred

representativa för ett vattendjup på 10 m, så en punkt tas på detta djup och den andra punkten tas precis vid brytpunkten:

$$(EC_g \cos \theta)_{10} = (EC_g \cos \theta)_b \quad (7.26)$$

För grunt vatten, som förhärskar där vågorna bryter, gäller:

$$L_b = T \sqrt{gh_b} \quad (7.27)$$

$$C_{gb} = \sqrt{gh_b} \quad (7.28)$$

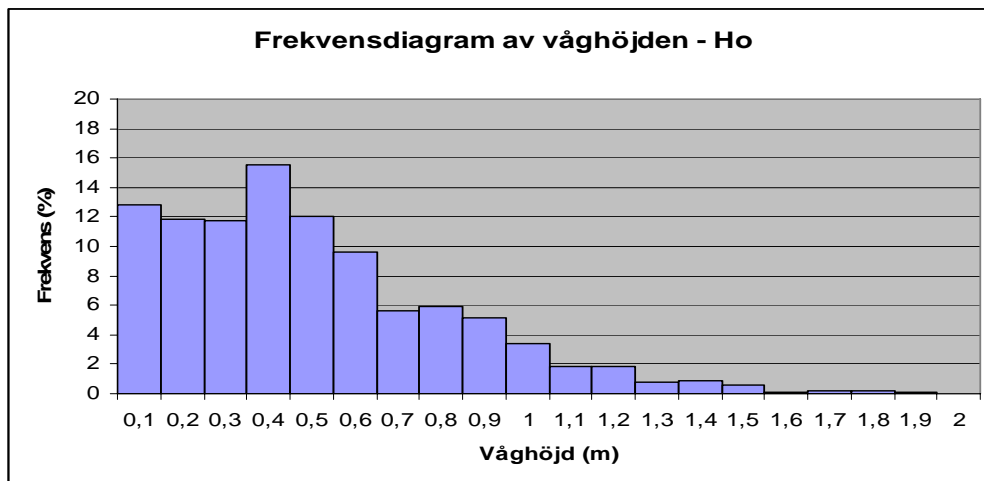
Genom att använda ekvationerna 7.18-7.28 erhålls en ekvation som bestämmer h_b för varje våg, som löses numeriskt:

$$\frac{1}{8} \rho g (0,78h_b)^2 \sqrt{gh_b} \cos \left[\arcsin \left(\frac{\sin \theta_{10} T \sqrt{gh_b}}{L_{10}} \right) \right] = (EC_g \cos \theta)_{10} \quad (7.29)$$

Utifrån de beräknade vågparametrarna i brytpunkten är det sedan möjligt att beräkna den längsgående sedimenttransporten, se kapitel 10.

7.4 Våghöjd

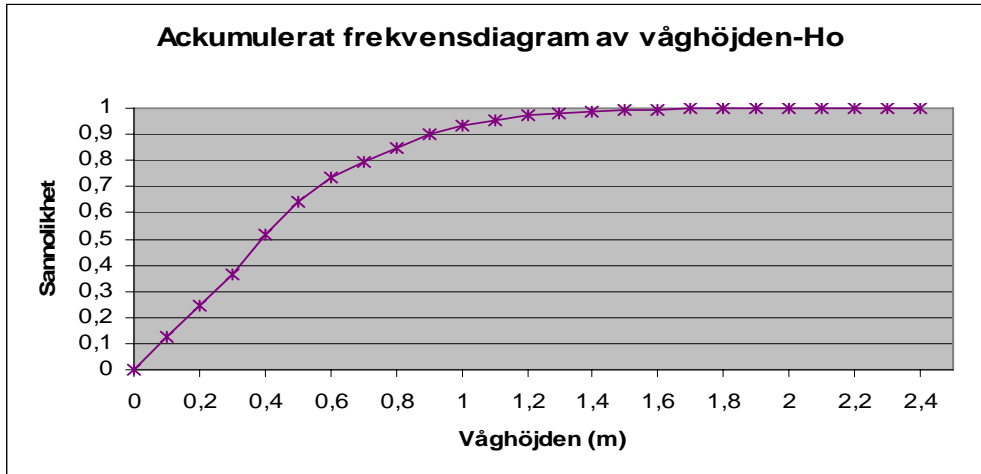
I Figur 7.3 och Figur 7.4 har endast de våghöjder tagits med som överstiger eller är lika med 0,05 m. Detta eftersom 52 % av våghöjderna är lägre än 0,05 m, vilket ger en obetydlig inverkan på stranden. I Figur 7.3 beskrivs fördelningen av våghöjden, H_0 , på djupt vatten. Trenden visar i figuren att den håller sig på en stabil nivå på runt 12 % från våghöjden 0,1 m till 0,5 m. Därefter sluttar den sakta ner till omkring 0 % för våghöjden 2 m.



Figur 7.3. Frekvensdiagram för våghöjden, H_0 .

7 Vågor

I Figur 7.4 visas den ackumulerade frekvensen av våghöjden (försumbara våghöjder har inte tagits med). Här kan man se att den högsta beräknade våghöjden är 2,5 m, men det skedde endast en gång under hela beräkningsperioden på 22 år. Antalet tillfällen då våghöjden översteg 2 m var endast 8 stycken. Figuren förklarar sannolikheten att våghöjderna understiger en viss höjd, till exempel 0,64 av våghöjderna var lägre än 0,5 m.



Figur 7.4. Ackumulerat frekvensdiagram av våghöjden, H_0 .

8 Vattenstånd

8.1 Allmänt om vattenståndsregistrering

SMHI har ett antal observationsplatser längs kusten som registrerar vattenståndet varje timme under dygnet. Observationsvärdena från SMHI bearbetades och analyserades med hjälp av ett dataprogram som bland annat sorterade ut det högsta vattenståndet varje månad.

Ingen mätstation finns placerad i Bjärred utan den närmaste mätstation som kan anses vara representativ ligger i Barsebäck (cirka 8 km norr om Bjärred). Observationsserien från Barsebäck var begränsad, endast en del av året 1982 och 1992-2004 fanns tillgänglig från SMHI. Vid plottning av samtliga data konstaterades att under åren 1992-1994 innehöll serien avvikande värden. Dessa år anses därför ej tillförlitliga och uteslöts ur analysen. Efter bearbetning av serien kunde en trend konstateras: Maximalt vattenstånd inföll i de flesta fall på vinterhalvåret och oftast i januari.

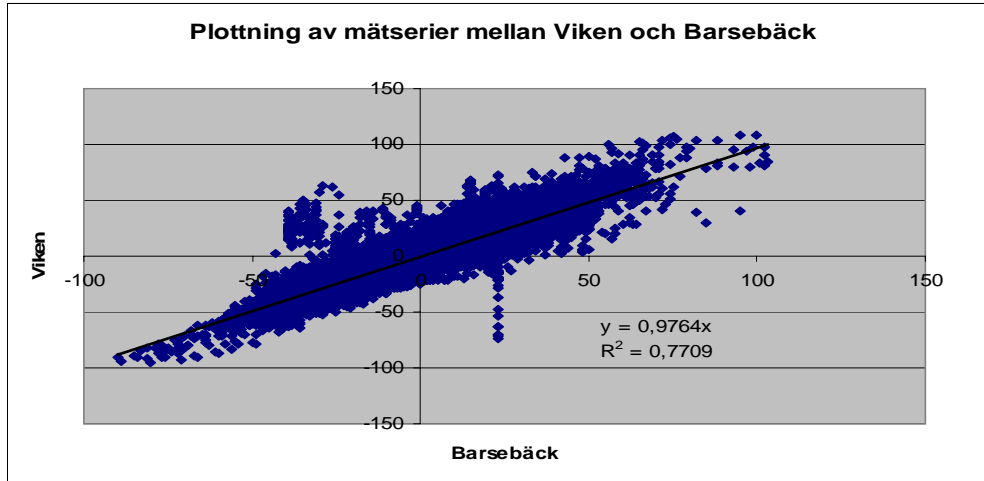
Barsebäcks mätserie anses kort i ett ingenjörsmässigt tidsperspektiv och en expanderings av denna mätserie ansågs därför nödvändig. En längre mätserie från Viken som ligger cirka 50 km norr om Bjärred kunde då användas. Mätningar har gjorts i Viken sedan 1982 och pågår än idag (2005). Denna serie bearbetades och samma resultat som ovan konstaterades. Maximalt vattenstånd inträffade under vinterhalvåret i januari eller i december. Vid analys av återkomsttider är även denna mätserie något kort vilket befogade användning av ytterligare en mätserie. Denna serie har använts i tidigare undersökningar på institutionen för Teknisk Vattenresurslära och bestod av högsta och lägsta årliga vattenstånd samt ett dagligt värde (klockan tolv) på vattenståndet från Klagshamn från åren 1931 till 1992. Klagshamn ligger ca 35 km söder om Barsebäck. Bearbetad data från denna mätserie finns i Sandtransport och kustutveckling vid Skanör/Falsterbo (Hanson, Larson, 1993).

8.2 Analys av data

En grundlig undersökning om mätstationerna Barsebäck och Viken är jämförbara var nödvändig. Fyra analyser utfördes.

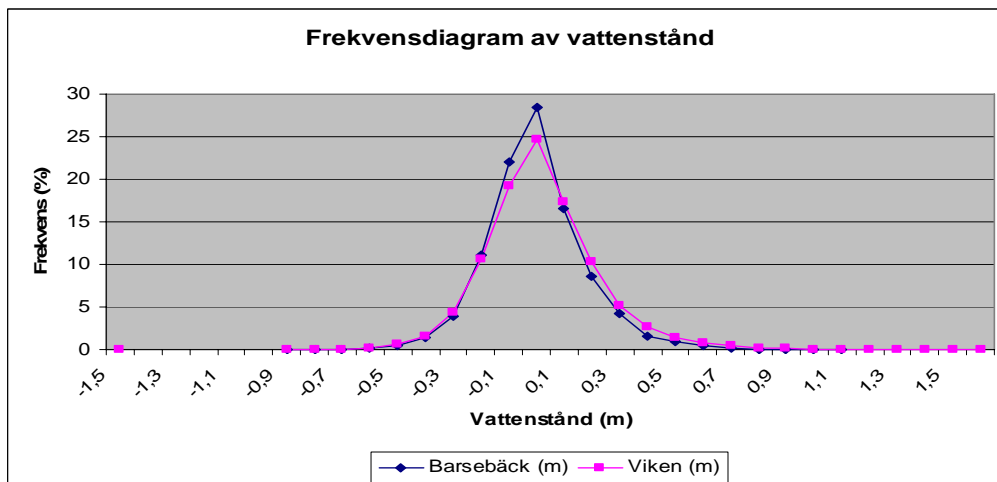
Analys 1: Vattenståndet varje timme plottades mellan de två mätstationerna i ett diagram och en trendlinje skapades, se Figur 8.1. Denna trendlinje utgör ett förhållande mellan mätstationerna och ju närmare 1,0 värdet är, desto bättre stämmer platsernas mätningar överens. Resultatet visade att en trendlinje med en lutning på ungefär 1,0 bildades, vilket innebar att Viken var användbar i denna analys.

8 Vattenstånd



Figur 8.1. Jämförelse av mätvärden från SMHI mellan Viken och Barsebäck. En trendlinje kan utläsas ur diagrammet.

Analys 2: Alla värden från Viken och Barsebäck plottades i ett frekvensdiagram, se Figur 8.2. Båda linjerna visar på en ungefärlig normalfördelning och vid närmare undersökning följer de varandra förutom vid vattenstånd kring medelvattenytan och vid vattenstånd på 0,4 m och då med en förändring på +/- 0,1 m. Vid dessa vattenstånd skiljer sig mätstationerna med 0,5 % till 3 % vilket ansåg vara försumbart och kan bero på att mätserien från Barsebäck är kortare.

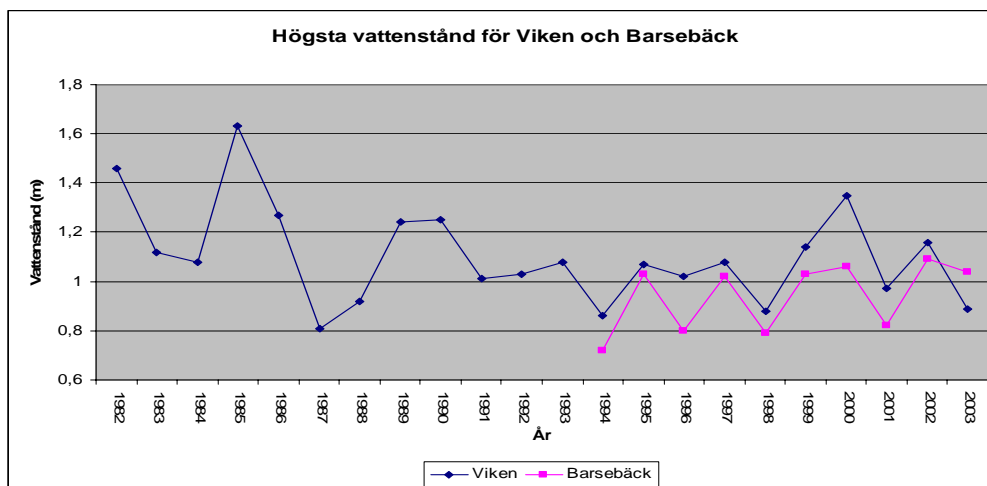


Figur 8.2. Frekvensdiagram över Barsebäck (1994-2003), Viken, (1982-2003). Bearbetad data från SMHI.

Analys 3: Det högsta vattenståndet varje år jämfördes mellan Viken och Barsebäck, se Tabell 1 och 2 i bilaga 4b och Figur 8.3. Vattenstånden plottades i ett diagram och kurvorna följer varandra sånär som på två tillfällen. Det konstaterades dock att hälften av mättillfällena då det högsta vattenståndet infann sig för de olika mätstationerna,

Stranderosion i Bjärred

inföll vid olika tidpunkter på året. Högsta vattenståndsvärdena som inte inföll samtidigt analyserades på olika sätt för att eventuellt hitta en orsak till skillnaden. Bland annat analyserades vattenståndsvariation med hänsyn till vindriktningarna, men ingen orsak kunde identifieras. Dessutom skiljer sig medelvärdet för Vikens högsta vattenstånd från medelvärdet för Barsebäcks högsta vattenstånd med ca 0,2 m. Denna analys visar på skillnad mellan mätstationerna som kan förekomma för individuella vindar. De observerade systematiska skillnaderna kan bero på att mätserien från Barsebäck är kortare.

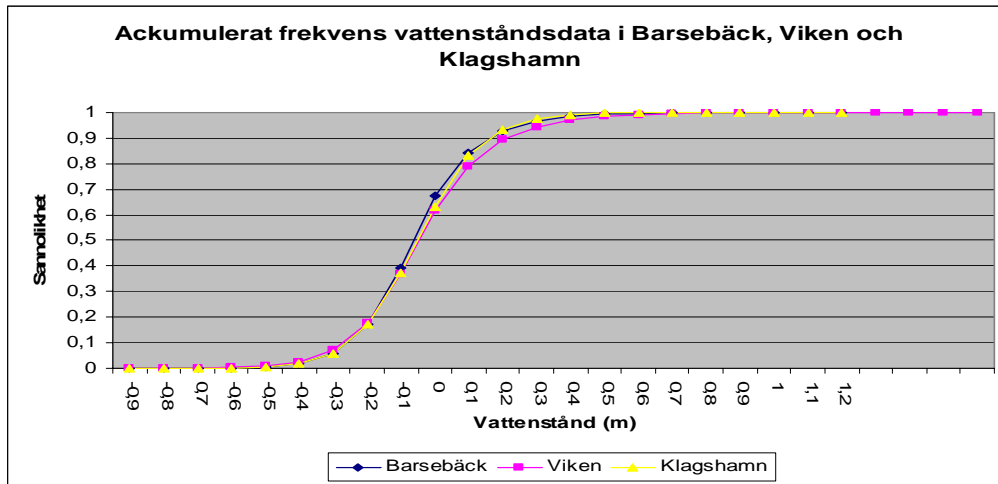


Figur 8.3. Jämförelse av högsta vattenstånd för Viken och Barsebäck. Bearbetad data från SMHI.

Vikens mätstation har varit i bruk sedan 1982 vilket är en kort tidsperiod när bl.a. återkomsttider av högsta vattenstånd ska analyseras. Detta gör det befogat att använda en ännu längre mätserie. Från tidigare studier (Hanson, Larson, 1993) finns bearbetade data från en serie uppmätt i Klagshamn, se Tabell 2 i bilaga 4a, vilket innebär att ett frekvensdiagram över Klagshamns mätdata är möjligt att göra. Undersökningar för att klargöra om Klagshamn är representativ för Barsebäck utfördes därför, se vidare analys 4.

Analys 4: Ett ackumulerat frekvensdiagram plottades med data från Barsebäcks, Vikens och Klagshamns mätstation, se Figur 8.4. Linjerna i figuren följer varandra sånär som på ett par centimeter vid ett vattenstånd mellan 0 och 0,5 meter. Denna skillnad är liten och kan bortses från. Denna figur visar även att Vikens värden är representativa för Bjärred. Högsta vattenståndsdata jämfördes också mellan dessa tre mätstationer på samma sätt som i analys 3 och medelvärden räknades ut. Medelvärdet skiljer sig 0,05 m mellan Barsebäck och Klagshamn vilket är obetydligt. Se bilaga 4b för mer noggrann information om högsta vattenstånd.

8 Vattenstånd



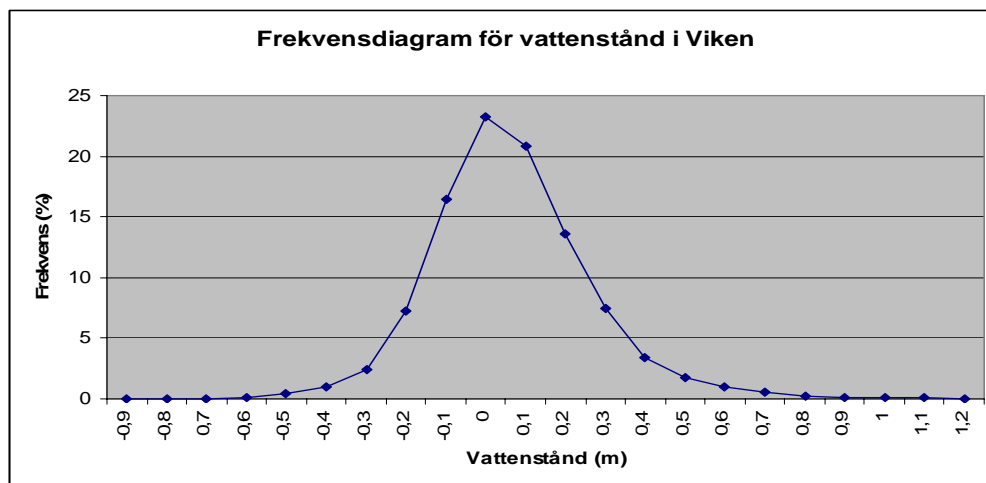
Figur 8.4. Ackumulerat frekvens av vattenståndsdata för Barsebäck, Viken och Klagshamn. Bearbetad data från SMHI.

Efter undersökningar mellan Klagshamns, Vikens och Barsebäcks serier visar det sig att värdena från dessa tre serier är så pass lika att Klagshamn och Viken kan antas vara representativa för Barsebäcks mätstation (och Bjärred). Därmed kan serierna från Viken och Klagshamn användas och den senare kan anses vara tillräckligt lång för att få en bra överblick på årliga högsta vattenståndsdata och återkomsttider. Se bilaga 4b för de högsta vattenstånden för Viken, Barsebäck och Klagshamn.

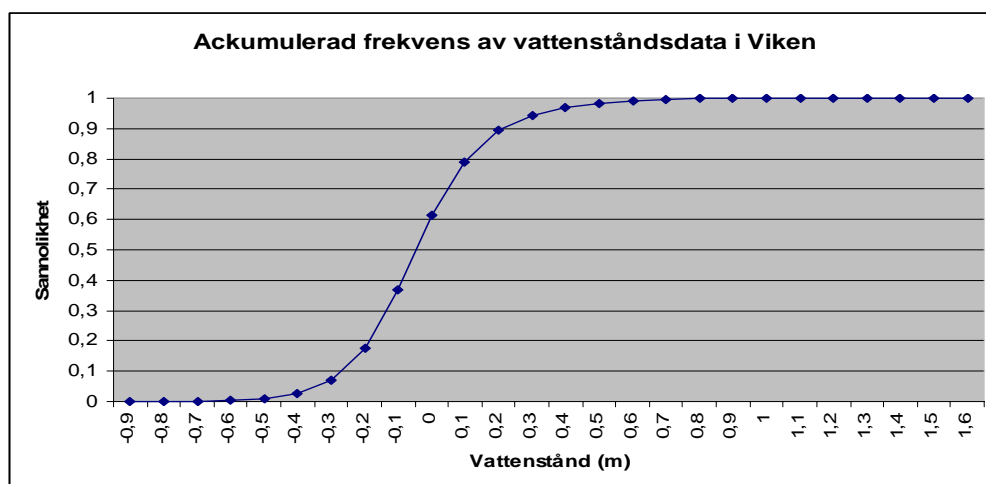
8.3 Sannolikheten för olika vattenstånd

Ett frekvensdiagram för olika vattenstånd i Viken (1982-2004) presenteras i Figur 8.5. Vattenståndet visar en ungefärlig normal (Gaussisk)-fördelning. Vattenstånd på 0.5 m eller högre i Viken, har inträffat med en sannolikhet på ca 2.8 % och vattenstånd på -0.5 m eller lägre har inträffat med en sannolikhet av ca 1 %. Vattenstånd över 0,5 m är därmed vanligare än vattenstånd under -0,5 m. De observerade värdena på vattenstånd sammanfattas i Tabell 8.2. Frekvensvärdena för vattenstånd 0,5 m och högre har adderats och motsvarande för vattenstånd -0,5 m och lägre, för att beräkna sannolikhetsvärdena. Sannolikheten för olika vattenstånd finns även illustrerat i Figur 8.6, där vattenståndet är refererat till medelvattenytan (MW).

Stranderosion i Bjärred



Figur 8.5. Frekvensdiagram för vattenståndet i Viken för en dataserie mellan åren 1982 och 2004. Bearbetad data från SMHI.



Figur 8.6. Ackumulerat frekvensdiagram för vattenståndet i Viken för en dataserien mellan åren 1982 och 2004. Bearbetad data från SMHI.

För en sammanställning av återkomsttid av högvattenstånd se Tabell 8.1. Tabellen är baserad på mätserien från Klagshamn som anses vara tillräckligt lång för att ge representativa värden.

Tabell 8.1. Återkomsttiden för högvattenstånd i Klagshamn. Bearbetad data från (Hanson, Larson, 1993)

Återkomsttiden för högvattenstånd i Klagshamn	
Återkomsttid	Högvattenstånd (m)
20 år	>1.3
10 år	>1.2
3 år	>1.1
2 år	>0.9
1 år	>0.5

8 Vattenstånd

Tabell 8.2. Frekvensen av uppmätta vattenstånd i Viken från 1982 till 2004. Bearbetad data från SMHI.

Vattenstånd (m)	Frekvens (%)
1,9	0.01
1,8	0.02
1,7	0.08
1,6	0.22
1,5	0.66
1,4	1.60
1,3	4.41
1,2	10.68
1,1	19.21
1	24.67
0,9	17.37
0,8	10.37
0,7	5.185
0,6	2.62
0,5	1.35
0,4	0.72
0,3	0.41
0,2	0.23
0,1	0.10
0	0.05
-0,1	0.02
-0,2	0.01
-0,3	0.005
-0,4	0.002
-0,5	0.002
-0,6	0.002

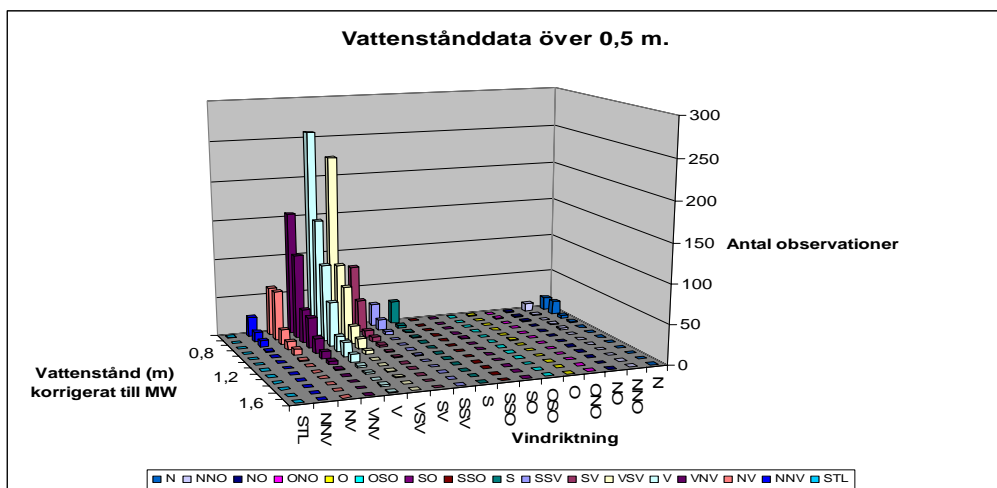
Vattenståndet styrs av vindstyrka, vindriktning samt lufttrycksvariationer över området såväl som över angränsande vattenområden, t ex Östersjön (samt små tidvattenfluktuationerna). Det är dock vindstyrkan och vindriktningen som har den största inverkan på vattenståndet. (Larson, Hanson, 1992).

Sammanställningen i Tabell 8.3 indikerar att vindar från väster är mest frekventa. Figur 8.7 visar i vilken riktning vinden kommit från då vattenstånden varit över 0.5 m. När vinden kommer från en sektor mellan SV till NV har vattenstånden haft sina toppnivåer. Lägst blir vattenstånden då vinden kommer från en sektor mellan SO till NO.

Stranderosion i Bjärred

Tabell 8.3. Antalet observationer av olika vattenstånd i respektive vindriktning i en mätserie från Viken mellan år 1982 och 2004. Bearbetad data från SMHI.

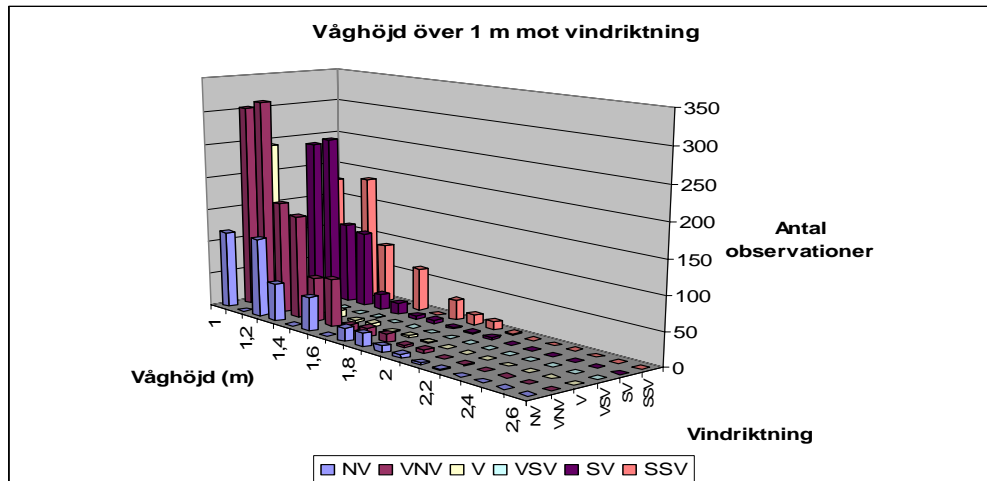
Vattenstånd (m)	N	NV	V	SV	S	SO	O	NO
1,6	0	0	1	0	0	0	0	0
1,5	0	0	2	0	0	0	0	0
1,4	0	0	0	0	0	0	0	0
1,3	0	0	2	0	0	0	0	0
1,2	0	0	3	0	0	0	0	0
1,1	0	0	10	1	0	0	0	0
1,0	0	1	18	1	0	0	1	0
0,9	0	8	19	3	0	1	0	0
0,8	2	11	56	6	1	0	0	0
0,7	4	19	98	8	1	0	0	1
0,6	17	63	150	41	3	0	0	1
0,5	16	61	258	80	29	1	1	1
0,4	34	133	446	182	115	5	3	7
0,3	104	240	726	389	334	24	17	33
0,2	176	453	1246	796	732	94	56	98
0,1	399	656	1501	1219	1081	347	300	260
0	587	713	1224	1220	876	765	903	380
-0,1	526	530	669	791	473	952	1329	516
-0,2	298	224	255	311	208	652	1052	354
-0,3	97	42	66	91	66	370	525	162
-0,4	22	7	3	12	41	160	221	58
-0,5	1	2	1	8	10	93	101	13
-0,6	0	0	1	3	1	31	34	2
-0,7	0	0	0	3	0	10	5	0
-0,8	0	0	0	0	0	6	3	0
-0,9	0	0	0	0	0	4	0	0
-1,0	0	0	0	0	0	0	0	0
-1,1	0	0	0	0	0	0	0	0
-1,2	0	0	0	0	0	0	0	0
Summa	2283	3163	6755	5165	3971	3515	4551	1886



Figur 8.7. Illustration av antal gånger vattenståndet stigit över 0,5 m när vinden kommit från respektive vindriktning. Bearbetad data från SMHI.

8.4 Sannolikheten för högt vattenstånd och höga vågor

Högt vattenstånd uppträder när vindarna kommer från en sektor mellan VNV till VSV, se Figur 8.7. Våghöjder på över en meter och associerade vindriktningar finns illustrerade i Figur 8.8. Det är tydligt att flest observationer har gjorts på vågor över en meter när vinden har kommit från VNV och SV. Dock har flesta tillfällen med extremt hög våghöjd förekommit när vinden kommer från NV och SSV trots att det blåser mest från V, VSV och VNV, vilka borde ge högst våghöjder. För de tre vindriktningarna, V, VSV och VNV finns emellertid en begränsande faktor. Som tidigare nämnts finns det tre begränsande parametrar för vågorna: vindstyrka, vindens varaktighet och stryklängden. Stryklängden för vindar från V, VSV och VNV är kortare än när det blåser från NV och SV, vilket innebär att större vågor bildas när det blåser från de senare riktningarna om vindförhållandena är desamma..



Figur 8.8. Antal observationer med en våghöjd över 1 m från respektive vindriktning. Bearbetad data från SMHI.

Den mest extrema uppspolningssituationen som inträffade under mätperioden i Viken var en kombination av en våghöjd på 0,88 m och ett vattenstånd på 1,62 m vilket gav en uppspolningshöjd på 2,17 m (se nästa avsnitt). Den omvända situationen som gav en extrem uppspolningshöjd var en kombination av en våghöjd på 2,47 m och ett vattenstånd på 0,88 m vilket gav en uppspolningshöjd på 2,44 m. Uppspolningshöjder som medför erosion (över 1,3 m upp i vertikalled, se kapitel 9) av strandbanken återkommer i snitt 3,6 gånger/per år. Detta värde är baserat på Vikens mätserie.

9 Uppspolningshöjd

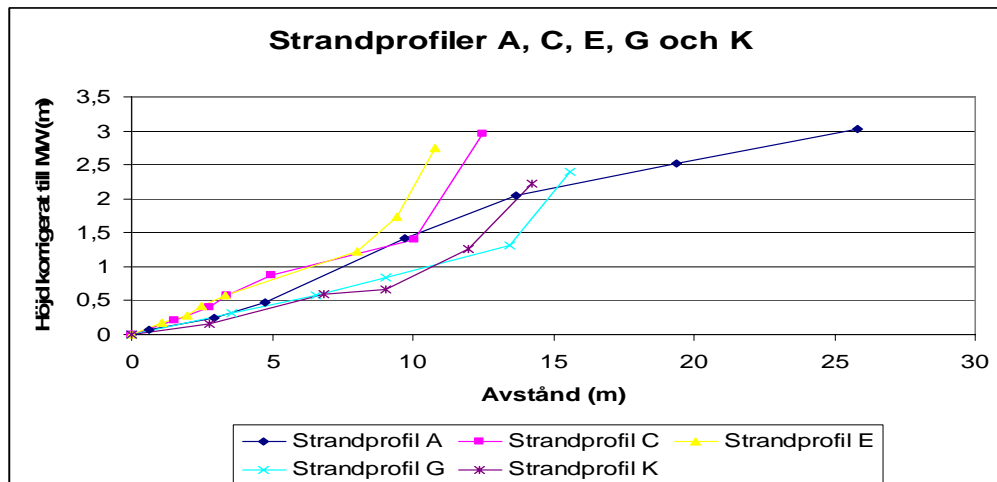
9.1 Beräkning

Uppspolningshöjden, R , är den vertikala höjden från det aktuella vattenståndet som råder vid lugnt vatten till högsta punkten i strandprofilen som vågen når när den spolas upp på strandplanet, se Figur 9.1.



Figur 9.1. Uppspolningshöjden, R . SWL (Still Water Level) står för vattennivån vid lugnt vatten,

Uppspolningshöjden bestäms främst av våghöjden, vågperioden, släntlutning, strandprofilens utseende och sedimentets egenskaper, som till exempel kornstorlek, råhetsegenskaper och permeabilitet (Larson, Hanson, 1992). Vattenståndet utgör referens för uppspolningshöjden och har studerats simultant för hela mätserien i Viken. Vid beräkning av uppspolningshöjden bestäms lutningen på stranden och på havsbotten. För att uppskatta en genomsnittlig lutning, m_{strand} , för strandprofilerna drogs en representativ linje för profilerna C, E, G och K. Dessa strandprofiler har en konkav form, se Figur 9.2. Mätlinje A avviker från övriga strandprofiler genom sin form och bortses från vid beräkningen. Denna del av stranden är förmodligen påverkad av en kustparallell sedimenttransport.



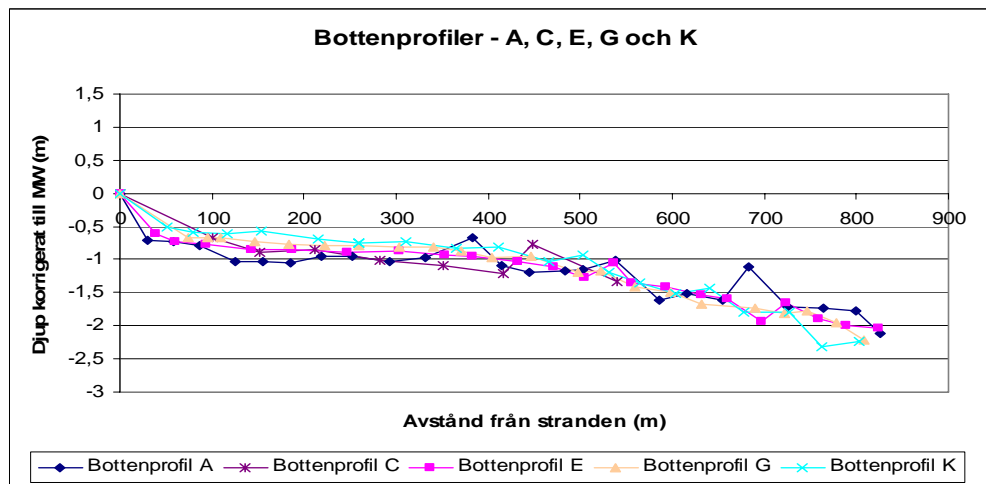
Figur 9.2. Strandprofil A, C, E, G, K relaterade till MW.

Förändringen på y- och x-axeln för den representativa linjen i figuren uppskattades och m_{strand} bestäms genom att använda ekvation 9.1. Resultatet blev 0,14 vilket kommer att användas i de fortsatta beräkningarna.

9 Uppspolningshöjd

$$m_{strand,botten} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (9.1)$$

Ekvation 9.1 utnyttjades även för att bestämma havsbottnens lutning och där användes samtliga bottenprofiler, se Figur 9.3. Bottenlutningen är väldigt flack i Lommabukten: 800 meter ut i bukten är det endast 2 meter djupt, se kapitel 5.1, och m_{botten} uppskattades till 0,0025.



Figur 9.3. Bottenprofiler för linjerna A, C, E, G och K.

Hunt's ekvation 9.2 användes vid beräkning av uppspolningshöjden, R (Mayer, Kriebel, 1994). Den ger normalt en konservativ uppskattning av uppspolningshöjden om strandplanets lutning används, eftersom bottenlutningen inte inkluderas. Bottenlutningen är generellt lägre än lutningen på strandplanet, så en viktning mellan dessa två lutningar, som ofta är det mest korrekta, ger ett lägre R . Dock är det svårt att bestämma hur stor andel av bottenprofilen som ska medtas när en viktad lutning bestäms. Hunt's ekvation tecknas,

$$R = \tan \beta \sqrt{H_o L_o} \quad (9.2)$$

där $\tan \beta$ är en representativ lutning baserad på botten och strandplanet, H_o är våghöjden på djupt vatten, dvs den våghöjd som är framtagen i våghöjdsberäkningarna, se kapitel 7.2, och L_o är våglängden vid djupt vatten,

$$L_o = 1,56T_m^2 \quad (9.3)$$

där T_m motsvaras av vågperioden, som beräknas med ekvation 7.3 i kapitlet 7.2. Med ekvation 9.2 beräknades uppspolningshöjden för alla vågor i tidsserien. Initiellt beräknades R genom att använda en viktad lutning baserad på m_{strand} och m_{botten} . Det visade sig att det var svårt att hitta en lämplig viktning, som tidigare påpekats, och

Stranderosion i Bjärred

alltför små uppspolningshöjder erhöles vid beräkningarna som inte var rimliga. Den väldigt långa och flacka bottenlutningen gjorde det svårt att definiera den del av botten som skulle tas med vid bestämningen av den representativa lutningen. Användningen av strandplanets lutning vid beräkning av R producerade rimliga värden och uppskattningsvis når vågorna upp till den erosionsbenägna zonen ungefär 3,6 ggr per år, se Figur 9.6, vilket bedöms som sannolikt. Observera att detta värde inte är ett mått på hur mycket det eroderar, eftersom även varaktigheten av vågpåverkan har betydelse.

9.2 Resultat

Stranden består av sand, lera och olika typer av vegetation. Sand befinner sig närmast havet sedan tar leran och vegetationen vid. Stranden har en flackare lutning ungefär 13 m från referenspunkten (nollpunkten i Figur 9.6) och blir sedan brantare vilket Figur 9.2 illustrerar. Det kan konstateras att det är den brantare delen över 1,3 m i vertikalled i profilen, grön linje, som skadas mest vid stark vind och hög uppspolningshöjd. Den flackare delen av stranden (under grön linje i Figur 9.6) påverkas oftare av vågor och har därmed kommit i bättre balans med vågornas påverkan, vilket resulterar i att den har bättre motståndskraft. Vid påverkan av den brantare delen av stranden, blir skadan permanent på grund av att partiet består av finsediment som inte kan föras tillbaka och lägga sig på plats. Kornfraktionen är för liten för att kunna sedimentera utom när extremt lugna förhållanden råder, vilket det sällan gör invid en strand. Maximal beräknad uppspolningshöjd illustreras med den bruna linjen och ligger på ca 2,4 m. Uppspolningshöjder av den storleken är ovanliga.

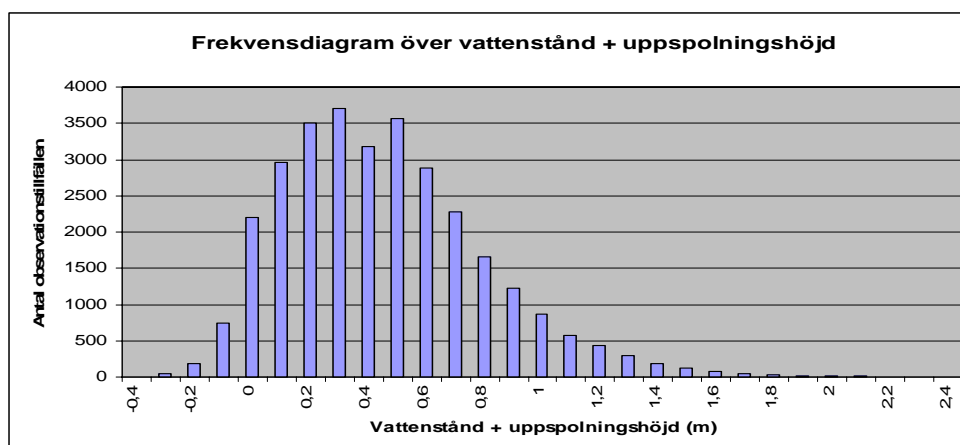
Sannolikheten att uppspolningshöjden inklusive vattenståndet överstiger 1 m är ca 6 % och att den stiger över 1,3 m när stranden är som mest erosionsbenägen är 0,98 %. Beräkning av sannolikheten har utförts utifrån

Tabell 9.1. I Figur 9.4 visas frekvensen av antalet observationer av olika vattenstånd och uppspolningshöjder och i Figur 9.5 beskrivs den ackumulativa frekvensen av detsamma. Medianvärdet för dessa värden är 0,36 m. När uppspolningshöjden når över ca 1,3 m. i strandprofilen påbörjas markant erosion. En illustration över detta finns i Figur 9.6. Flest vågor över 1,3 m kommer från vindriktningen VNV, se Figur 9.7. Anledningen till att våghöjden från vindriktningen NV är så markant trots att antal vindobservationer från denna riktning är måttliga, se kapitel 6, är att stryklängden från denna riktning är ca dubbelt så lång som stryklängden från vindriktningarna VNV, V, VSV och SV, se kapitel 7.2. När vinden kommer från denna riktning genereras höga vågor just på grund av detta. En total analys av uppspolningshöjd i relation till vindriktningen finns illustrerat i Tabell 9.1.

9 Uppspolningshöjd

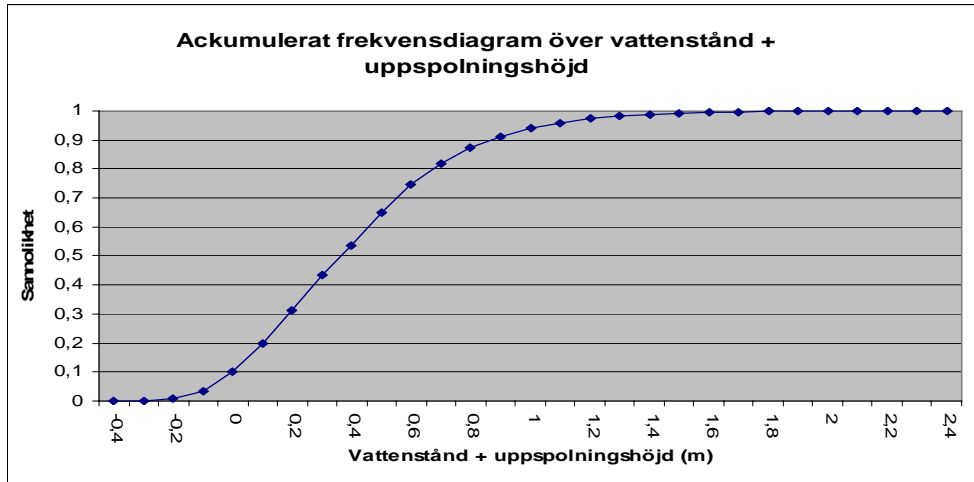
Tabell 9.1. Sammanställning av antal observationer av vattenstånd + uppspolningshöjd för respektive vindriktning samt dess storlek. Vattenståndsdata från SMHI.

Vattenstånd + Uppspolningshöjd (m)	NV	VNV	V	VSV	SV	SSV	Summa observationer
2,4	1	0	0	0	0	0	1
2,3	2	1	1	0	0	0	4
2,2	1	3	1	0	0	0	5
2,1	3	6	4	0	0	1	14
2,0	1	5	1	1	1	0	9
1,9	7	6	5	1	0	1	20
1,8	9	11	7	0	3	2	32
1,7	9	16	12	0	1	3	41
1,6	23	25	20	0	7	4	79
1,5	18	54	27	1	7	13	120
1,4	18	60	61	6	18	17	180
1,3	44	114	68	10	21	34	291
1,2	51	130	115	24	52	61	433
1,1	46	148	160	52	87	83	576
1,0	84	222	249	75	125	111	866
0,9	106	262	332	139	211	180	1230
0,8	101	344	457	228	283	245	1658
0,7	164	419	706	323	367	306	2285
0,6	197	509	853	513	459	355	2886
0,5	238	570	1050	690	512	502	3562
0,4	208	474	926	713	436	422	3179
0,3	245	577	1003	847	505	525	3702
0,2	296	492	864	765	476	612	3505
0,1	269	414	652	722	371	535	2963
0	230	269	461	492	293	338	2083
-0,1	80	118	199	200	102	126	825
-0,2	26	44	47	46	26	43	232
-0,3	3	9	14	12	6	9	53
-0,4	1	1	0	2	1	1	6
Summa observationer	2481	5303	8295	5862	4370	4529	30840

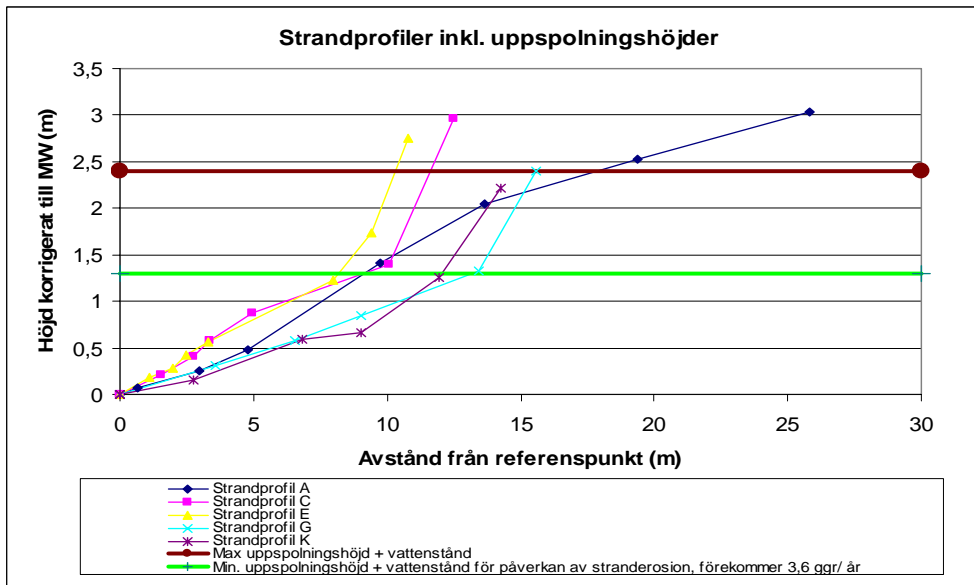


Stranderosion i Bjärred

Figur 9.4. Frekvensdiagram över vattenstånd + uppspolningshöjd. Vattenståndsdata från SMHI och uppspolningshöjd beräknad med Hunt's formel. Baserad på Tabell 9.1.

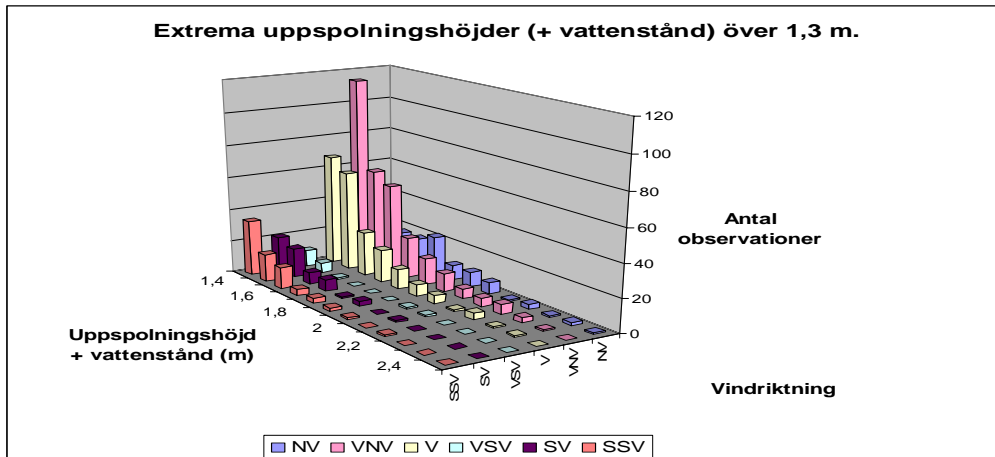


Figur 9.5. Ackumulerat frekvensdiagram över vattenstånd + uppspolningshöjd. Baserad på Tabell 9.1.



Figur 9.6. Strandprofiler inklusive maximal uppspolningshöjd + vattenstånd samt gränsen i z-led för erosion i strandprofilen.

9 Uppspolningshöjd



Figur 9.7. Antalet observationer av uppspolningshöjd+ vattenstånd när vattnet överstiger 1,5 m samt vindriktning för tillfället.

Stranderosion i Bjärred

9.3 Varaktighet

Uppspolning-Höjd	Antal Timmar	Antal timmar/år
2,4	3	0
2,3	18	1
2,2	21	1
2,1	42	2
2,0	27	1
1,9	60	3
1,8	96	4
1,7	129	6
1,6	240	11
1,5	366	17
1,4	540	25
1,3	873	40
1,2	1299	59
1,1	1728	79
1,0	2601	118
0,9	3690	168
0,8	4977	226
0,7	6858	312
0,5	8655	393
0,5	10686	486
0,4	9543	434
0,4	11106	505
0,2	10515	478
0,1	8889	404
0	6606	300
-0,1	2217	101
-0,2	573	26
-0,3	126	6
-0,4	18	1
Summa	92502	4205

Tabell 9.2. Totalt antal hela timmar som respektive uppspolningshöjd under 22 år varat med en upplösning på 3 h.

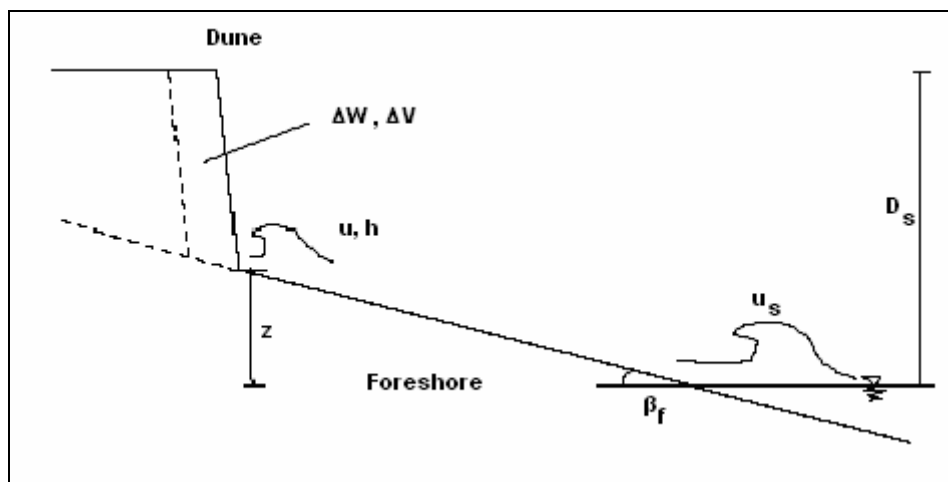
Erosion har en viss tröghet vilket innebär att vid en ökning av uppspolningshöjden tar inte erosionen fart direkt (Hanson, Larson, 1993). Även stormens varaktighet är av intresse. Enstaka höga vågor kan vara mindre erosionsbenägna än mer frekventa lägre vågor som pågår under längre tid. Beräkningarna i detta kapitel är resultat från mättilfällen var 3:e timme, vilket utgör en representativ varaktighet av vågorna. En detaljerad tabell på varaktigheten av uppspolningshöjder är omöjlig att framställa på grund av brister i observationsdata. Om uppspolningshöjden antas verka under dessa tre timmar kan antal timmar olika uppspolningshöjder har verkat illustreras, se Tabell 9.2. Tabellen ska läsas med dessa begränsningar samt med hänsyn till tröghetseffekter.

Denna tabell är konstruerad utifrån Tabell 9,1. Mätvärden i föregående tabell har multiplicerats med 3 för att få fram den totala varaktigheten under mätperioden (mittkolumnen). Vid beräkning av antal timmar per år (högra kolumnen) som varje uppspolningshöjd påverkat stranden, har mittkolumnen dividerats med mätperiodens antal år.

10 Sedimenttransport

10.1 Sandtransport vinkelrätt mot stranden

För att beräkna erosionen av strandbanken har en förenklad analytisk ekvation enligt Larson, Erikson, Hanson (2004) använts. Resultatet efter uträkningen gav transporterad sand ut från strandbankarna på årsbasis. Formeln har använts vid tillfällen när den sammanlagda höjden av uppspolning och vattenstånd överskrider höjden z_o som uppskattas till 1,3 m, se Figur 10.1. Överskrider vattennivån denna höjd sker erosion av strandbanken. I detta kapitel är de använda parametrarna definierade i Figur 10.1.



Figur 10.1. Illustration av variabler som används vid beräkning av erosion av strandbanken (Larson, Erikson, Hanson, 2004).

10.1.1 Härledning till förenklad analytisk ekvation

Nedan följer en härledning till den förenklade analytiska ekvationen som används för att beräkna erosionen av strandbanken i denna rapport. Vid uppskattning av erosion av en strandbank kan det antas att förhållandet mellan kraften som verkar på sanddynen, F (ett resultat av förändringen i rörelsemängd när ett brutet vågpaket (BVP) träffar dynen) och tyngden av sedimentvolymen, ΔW , som forslas bort är linjär enligt,

$$\Delta W = C_E F \quad (10.1)$$

där C_E är en empirisk koefficient. Tyngden ΔW ges av:

$$\Delta W = \Delta V \rho_s (1 - p) g \quad (10.2)$$

Där ρ_s är densiteten av sedimentet, p är porositeten av sedimentet och g är gravitationskonstanten. Enstaka BVP genererar en kraft på strandbanken som uppgår till,

10 Sedimenttransport

$$F_o = \frac{d}{dt}(m_o u) = m_o \frac{du}{dt} \quad (10.3)$$

där m_o är massan av BVP, u är hastigheten på BVP och t står för tiden. Massan, m_o kan uppskattas med hjälp av,

$$m_o = \frac{1}{2} \rho h s_o \quad (10.4)$$

där h är höjden av BVP, s_o är längden på BVP och ρ står för vattnets densitet. Retardationen kan uppskattas från,

$$\frac{du}{dt} = \frac{u}{T} \quad (10.5)$$

där T är vågperioden. Hastigheten på BVP relateras till höjden och beskrivs av,

$$u = C_u \sqrt{gh} \quad (10.6)$$

där C_u är en empirisk koefficient. Kraften F_o kan nu räknas ut genom att BVP:s våglängd beräknas som en produkt mellan BVP:s hastighet och period, enligt:

$$F_o = \frac{1}{2} \rho u^2 h = \frac{1}{2} \rho \frac{u^4}{g C_u^2} \quad (10.7)$$

Vid beräkning av flera BVP som påverkar sanddynen under en viss tid, Δt , så erhålls följande uttryck,

$$F = \frac{1}{2} \rho \frac{u^4}{g C_u^2} \frac{\Delta t}{T} \quad (10.8)$$

där $\Delta t/T$ anger antal inkommande vågor. Ekvation 10.2 och 10.8 ger tillsammans:

$$\Delta V \rho_s (1 - \rho) g = \frac{1}{2} C_E \rho \frac{u^4}{g C_u^2} \frac{\Delta t}{T} \quad (10.9)$$

Efter viss omstuvning erhålls:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{C_E}{C_u^2} \frac{\rho}{\rho_s} \frac{u^4}{g^2 2T} \frac{1}{(1 - p)} \quad (10.10)$$

Stranderosion i Bjärred

Erosionsprocessen är mer eller mindre diskret beroende på nedbrytningsmekanismen, men ett medelvärde på erosionen kan tecknas:

$$q_D = \frac{dV}{dt} = -\frac{1}{2} \frac{C_E}{C_u^2} \frac{\rho}{\rho_s} \frac{u^4}{g^2 T} \frac{1}{(1-p)} \quad (10.11)$$

Minustecknet är introducerat på grund av att strandbankens volym måste minska med tiden. Denna ekvation är basen för beräkningar av erosion av strandbanken. Den kan lätt implementeras i numeriska modeller. För att komma fram till den förenklade analytiska modell som används i denna rapport måste vissa variabler introduceras. BVP:s hastighet precis framför dynen (u) kan beräknas med,

$$u^2 = u_s^2 - 2gz_o \quad (10.12)$$

där u_s är hastigheten på vågen när den börjar röra sig upp för strandplanet och z är höjden där erosionen i strandprofilen startar. Hastigheten, u_s måste bestämmas och det enklaste sättet att uttrycka u_s är i uppspolningshöjden R . När uppspolningshöjden är maximal är hastigheten på vattnet noll och därmed sätts u till noll och följande utveckling av ekvation 10.12 används:

$$u_s^2 = 2gR \quad (10.13)$$

Konstanten C_s införs enligt:

$$C_s = \frac{1}{2} \frac{C_E}{C_u^2} \frac{\rho}{\rho_s} \frac{1}{1-p} \quad (10.14)$$

Ekvation 10.11 kan för konstant uppspolningshöjd skrivas,

$$\Delta V = -4C_s \frac{(R-z_o)^2}{T} \Delta t \quad (10.15)$$

där ΔV anger transporterad volym sand, Δt är vågpåverkans varaktighet och C_s är en konstant som är specifik för respektive område som studeras. Ekvation 10.15 tar ej hänsyn till förändringen av z_o när erosionen pågår

Uppspolningshöjden som är relevant för påverkan på strandbanken beräknas från,

$$R = 0.158 \sqrt{H_o L_o} \quad (10.16)$$

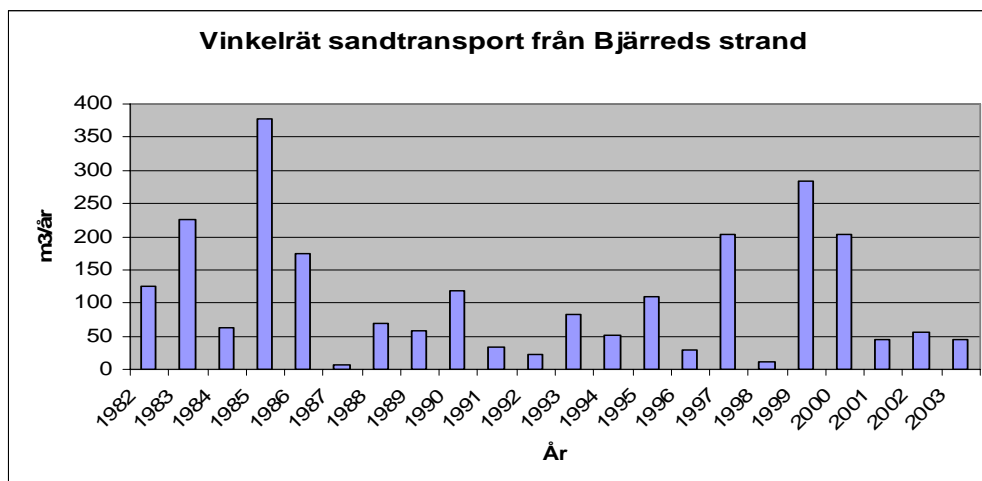
där H_o anger våghöjden på djupt vatten, L_o är våglängden på djupt vatten och dessa värden är hämtade från uppspolningsberäkningar i kapitel 9.

10 Sedimenttransport

Konstanten C_s bestämdes utifrån uppmätta vegetationslinjeförändringar i Bjärred. Mellan år 1960 och 2004 förflyttades vegetationslinjen i genomsnitt tillbaka 8,2 m vilket innebär i snitt 0,18 m per år. Årlig medeltransport kan räknas ut och genom att jämföra dessa värden med uppmätta vegetationslinjeförändringar kunde ett representativt värde på kalibreringskoefficienten räknas ut och C_s uppskattades därigenom till $0,77 \cdot 10^{-4}$. Varaktigheten för varje observationsberäkning bestämdes till 3 tim på grund av begränsningar i vinddata från SMHI (se kapitel 6). Tån på strandbanken z_o uppskattades till 1,3 m.

10.2 Resultat av beräkningar av vinkelrät sandtransport

Resultatet från beräkningen av strandbankens erosion har summerats årligen och åskådliggörs i Figur 10.2 (för mer detaljerad information hänvisas till Tabell 10.1.) Medelvärde på sandtransporten från stranden mellan åren 1982 och 2003 är $0,28 \text{ m}^3/\text{m}/\text{år}$, vilket motsvaras av $114 \text{ m}^3/\text{år}$ på hela kuststräckan. Transporten varierar normalt mellan nära 0 och $100 \text{ m}^3/\text{år}$ utom vid några tillfällen, exempelvis 1985 och 1999 då mängden material i rörelse ökade radikalt, se Figur 10.2. Detta indikerar på att dessa år har haft ovanligt många eller kraftiga erosionstillfällen, och antagligen medfört en radikal förskjutning av vegetationslinjen i nordostlig riktning. Det innebär att vågorna äter av strandbanken ovanför z_o , se Figur 10.1. Detta material transporteras ut med vågorna och försvinner ut till havs eftersom sedimentet huvudsakligen består av kornfraktionen ler i den delen av profil. Figur 10.2 och Tabell 10.1 ger en uppskattning av den totala mängden borttransporterat sediment per breddmeter och år.



Figur 10.2. Vinkelrät sedimenttransport av material per år från strandbanken i Bjärred.

Stranderosion i Bjärred

Tabell 10.1. Total mängd transporterat sediment per år och längdmeter vinkelrätt från stranden när våghöjden + vattenstånd har varit över 1,3 m.

År	m ³ /m	m ³ /år	År	m ³ /m	m ³ /år
1982	0,315	126	1993	0,206	82,4
1983	0,565	226	1994	0,128	51,2
1984	0,155	62	1995	0,276	110,4
1985	0,943	377,2	1996	0,07	28
1986	0,435	174	1997	0,509	203,6
1987	0,014	5,6	1999	0,029	11,6
1988	0,175	70	2000	0,711	284,4
1989	0,143	57,2	2001	0,511	204,4
1990	0,294	117,6	2002	0,111	44,4
1991	0,083	33,2	2003	0,137	54,8
1992	0,058	23,2			

10.3 Sedimenttransport parallellt med stranden

Med kännedom om brytande våghöjd och vågens infallsvinkel kan den kustparallella sandtransporten Q beräknas enligt Komar (1998),

$$Q = \frac{KP_{is}}{g}(\rho_s - \rho)(1 - a) \quad (10.17)$$

där K anger en kalibreringskoefficient, vilken är specifik för det område som studeras, g är tyngdaccelerationen, ρ_s anger sandens kompaktdensitet och a är sandens porositet. Variabeln P_{is} anger kustparallell komponent av vågornas energiflöde vilken kan tecknas som:

$$P_{is} = \frac{\rho g (H^2 C_g \sin(2\theta))_b}{16} \quad (10.18)$$

Index b innebär att energiflödet i vågornas brytpunkt ska användas, C_g anger vågornas grupp hastighet, θ står för vågornas infallsvinkel och H står för våghöjden, som normalt är den signifikanta våghöjden eller rms ("root-mean-square"; roten ur det kvadratiska medelvärdet) våghöjden vid beräkning av sandtransporten. Det finns ett fixt samband mellan signifikant våghöjd H_s och rms våghöjden H_{rms} , om en Rayleighfördelning beskriver den aktuella våghöjdsfördelningen. Sambandet blir då:

$$H_s = \sqrt{2H_{rms}} \quad (10.19)$$

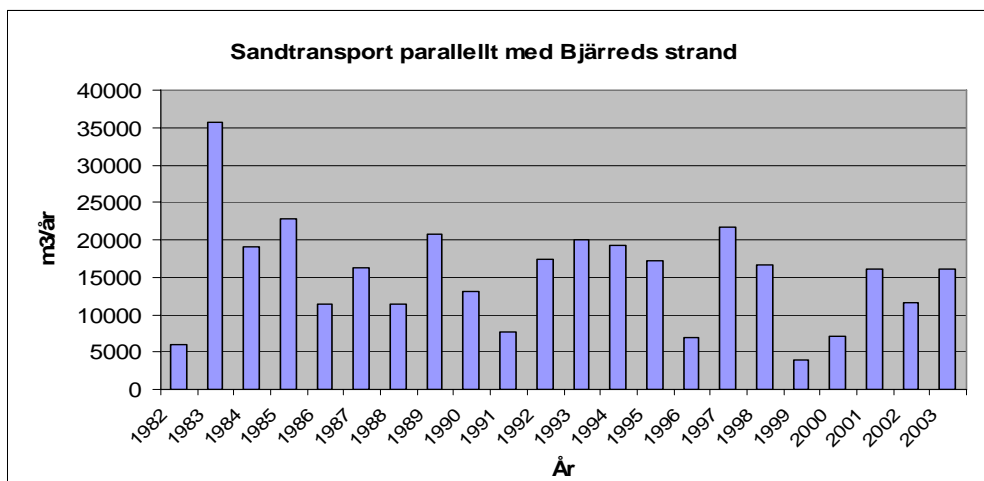
Vid användandet av denna metod erhålles den potentiella sandtransporten vilket innebär att det måste finnas obegränsat med material på stranden, för att uppfylla dessa transportvärden. Denna transport innebär normalt en överskattning om den används för kuster med olika typer av konstruktioner, kuster med andra kornfraktioner än sand och områden där begränsad mängd transporterbart material finns. Den potentiella transporten ger dock värdefull information om sandrörelser i ett område trots att det kan vara svårt att uppskatta transportmängden i absoluta tal. Den kustparallella sandtransporten har bestämts utanför Bjärreds kust med ekvation 10.17. Kalibreringskoefficienten, K , ligger normalt i ett intervall mellan 0,2-1,0 och om H_{rms} används vid beräkningarna finns ett rekommenderat värde på 0,77 (Komar, 1998),

10 Sedimenttransport

vilket dock ofta anses vara för högt. Porositeten i ekvation 10.17 har satts till 0,4, kompaktdensiteten till 2600 kg/m^3 och kalibreringskoefficienten till 0,3 (Larson, Hanson, 1992). Nettotransport-mängderna har summerats på årsbasis och ritats upp i Figur 10.3.

10.4 Resultat av beräkningar av kustparallell sandtransport

Nettotransporten går i riktning mot sydost i uträkningarna. Detta bekräftas vid analys av flygbilderna, där sediment har ansamlats på den norra sidan om bryggan vid Öresundsvägen. Nettotransporten pendlar mellan ca 5 000 till ca 20 000 $\text{m}^3/\text{år}$ förutom ett extremt år då den låg på ca 37 000 m^3 , se Figur 10.3. Medelvärdet för perioden mellan 1982 och 2003 var 15 361 $\text{m}^3/\text{år}$, för ytterligare information se Tabell 10.2. Detta är ett relativt lågt värde vid jämförelser med andra platser exempelvis sandtransporten vid Skanör/Falsterbo (Hanson, Larson, 1993) och Ystad (Larson, Hanson, 1992). Variationen mellan högsta och lägsta mängd transporterad sandtransport är stor, där högsta värdet är 600 % större än det lägsta. Detta är endast det potentiella transportmönstret, där tillgänglig mängd sand måste uppskattas för att den verkliga transporten ska erhållas, men det ger ändå en bild av variationsmönstret hos transporten. Längs stranden i Bjärred finns begränsat med sand vilket betyder på att sandtransporten är lägre än beräknade värden.



Figur 10.3. Beräkning av den årliga potentiella kustparallella nettotransporten mellan åren 1982-2003 i Bjärred.

Stranderosion i Bjärred

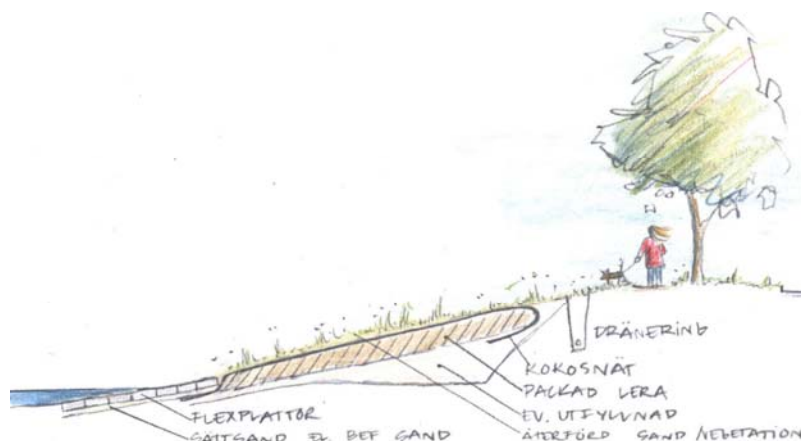
Tabell 10.2. Illustrerar transporten av sand för respektive år. Q_{pos} = transport av sediment i sydostlig riktning, Q_{neg} = transport i nordvästlig riktning, $Q_{net} = Q_{pos} - Q_{neg}$, $Q_{brutto} = |Q_{pos}| +$

År	Q_{POS} (m ³ /år)	Q_{NEG} (m ³ /år)	Q_{NET} (m ³ /år)	Q_{BRUTTO} (m ³ /år)
1982	23264	-17290	5974	40553
1983	49103	-13484	35620	62587
1984	33912	-14891	19022	48803
1987	24123	-7808	16316	31931
1988	23935	-12568	11366	36503
1989	29129	-8401	20727	37530
1990	27898	-14766	13132	42664
1991	20773	-13150	7623	33924
1992	24731	-7329	17401	32060
1993	25548	-5562	19986	31110
1994	27319	-8007	19312	35326
1995	23688	-6527	17161	30215
1996	11762	-4796	6966	16558
1997	26915	-5167	21748	32082
1998	26909	-10258	16651	37167
1999	25318	-21379	3939	46697
2000	23880	-16828	7053	40708
2001	21868	-5865	16003	27733
2002	19163	-7642	11522	26805
2003	20613	-4479	16135	25092
		MEDEL POSITIV TRANSPORT	(Q_{POS}):	25709
		MEDEL NEGATIV TRANSPORT	(Q_{NEG}):	-10348
		MEDEL NET TRANSPORT	(Q_{NET}):	15361
		MEDEL BRUTTO TRANSPORT	(Q_{BRUTTO}):	36057

11 Lerkonstruktionen

11 Lerkonstruktionen

Figur 11. 1 visar schematiskt hur lerkonstruktionen kommer att se ut i Bjärred. I bilaga 2 beskrivs de olika alternativen som finns på konstruktionen i detalj. Enkelt beskrivet ska ett hårdare material anläggas närmast vattnet för att klara den dagliga vågpåverkan. Därefter kommer lera att packas i en viss lutning upp till strandbanken och ovanpå leran kommer vegetation tillföras för att skydda leran.



Figur 11. 1. Den framtida lerkonstruktionen i Bjärred.

11.1 Analys av resultat från jordprovtagning

Tabell 11.1 visar en sammanställning av jordprovtagningen på samtliga provpunkter. Vattenkvoterna och resultaten från vingförsöken och konförsöken skiljer sig ej nämnvärt mellan dessa punkter. Utifrån detta är det möjligt att anta att jorden är homogen på den aktuella kuststräckan i Bjärred. Eftersom provpunkterna är utspridda över hela sträckan och proven visade sig vara homogena, så tyder det på att det finns lera under sanden. Sanden som finns på plats har antagligen sköljts in av vågorna.

Tabell 11.1. Sammanställning av resultaten från jordprovtagningen.

Benämning	Vingförsök (kPa)	Vattenkvot (%)	Konförsök: (kPa)
Lera/Silt			
pkt. 1	62,5	22,1	
pkt. 2.1	32,5	25,4	38
pkt. 2.2		29,7	28
pkt. 4	57,5	21,6	
pkt. 5	52,5	20,0	50
pkt. 6	57,5	19,0	80
pkt. 6.2		22,8	
pkt. 7		22,6	
pkt. 8		19,5	15 och 40
pkt. 9			>100
Sand			
pkt. 3		12,8	

Stränderosion i Bjärred

I tabellen kan utläsas att vattenkvoten är förhållandevis låg för att vara i en kustzon, vilket tyder på att halten av silt är högre än ler på platsen, eftersom silt har en större vattengenomsläpplighet än ler. Detta bevisas ytterligare av slamningsförsöken, se kapitel 5.2, där samtliga prov utom ett hade högre halt av silt än ler. Intervallet av ler låg mellan 43 % och 48 %, se bilaga 6a. Gränsen mellan jordarten siltig lera och lera går då materialet innehåller en lerhalt på 40 % (Svensson, hämtat 2005) vilket samtliga prov gjorde. Detta resulterade i att jordarten är lera.

Den höga skjuvhållfasthet utifrån försöken visar att sedimentet är hårt packat, vilket är en effekt av att silthalten är högre än lerhalten. Anledningen är att silt har en större vattengenomsläpplighet än ler, vilket i sin tur gör att materialet packas när vatten perkolerar och för med sig partiklar ner genom materialet. (Johansson, 2004-2005)

11.2 Framtida lerkonstruktioners motstånd mot vågor

Materialet på den aktuella stranden är hårt packat, vilket innebär att det nya materialet som ska läggas ovanpå det befintliga lerlagret kräver samma packningsgrad för att få minst samma hållfasthet som tidigare. För att packningen av det nya lagret ska kunna utföras, så krävs det att det befintliga lagret är tillräckligt styvt för att kunna ge det motstånd som krävs vid packningen. Om inte detta går att uppnå, resulterar det i att det nya lagret får sämre hållfasthet än det befintliga, vilket inte ger en hållbar konstruktion. Vid placering av det nya lagret ovanpå det ursprungliga, är det möjligt att det måste ske någon sorts sammanfogning eller limning mellan lagren. Ett annat alternativ är att den översta biten av det befintliga lagret rivs upp för att lagren ska få fäst i varandra och bilda en enhet mot vågorna.

Svårigheter finns att utifrån tillgänglig data, bedöma hur lerkonstruktionen kommer att fungera på plats. Eftersom det som avgör hur mycket konstruktionen tål, beror på packningsmöjligheter och den nya lerans egenskaper. Om leran skulle vara av samma typ som det befintliga lagret och packas till samma hållfasthet skulle det klara sig lika bra som det som finns på plats i dag. Om det inte är möjligt att använda samma lera som den befintliga kan lermorän utnyttjas, men då endast om det kan uppnå samma packningsgrad. Lermorän har en positiv effekt jämfört med lera, eftersom de finare partiklarna svallas ur av vågorna och de större partiklarna som blir kvar, skyddar den underliggande leran. För att finna packningsegenskaper för den nya leran, måste ett MCV-försök (Moisture Condition Value) utföras (Bergren, et al., hämtat 2005). Då bestäms volymmiskningen på provet vid packning. Detta värde bestämmer den minsta packningen på provet vid aktuell vattenkvot.

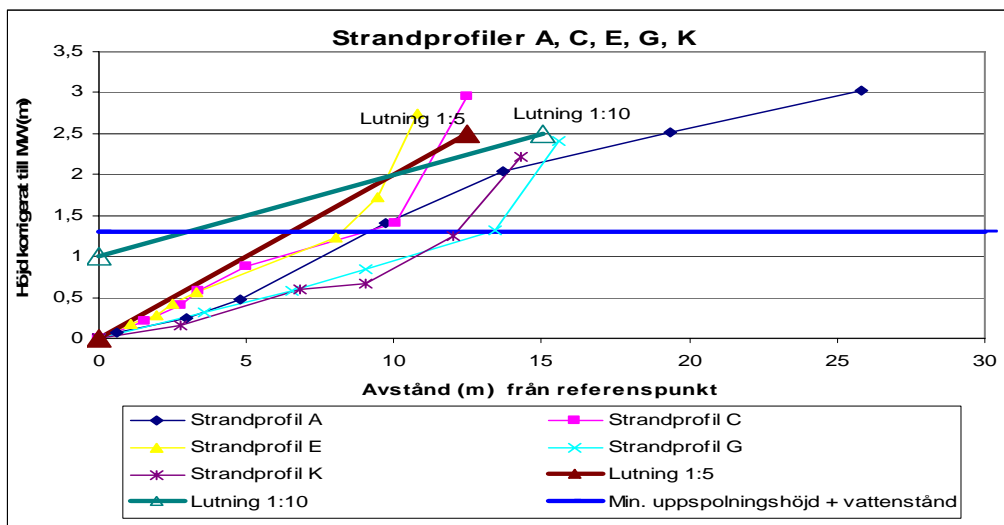
Vid denna typ av lerkonstruktion kommer det att innebära ett kontinuerligt underhåll efter hand, speciellt efter stormar under höst och vinter. Den bästa perioden att anlägga konstruktionen eller att förbättra den på, är vid lågt vattenstånd vilket infaller med störst sannolikhet i maj eller juni.

11.3 Känslighetsanalys av strandprofilens lutning

Vid dimensionering av framtida konstruktion är uppspolningshöjder av intresse. En studie har gjorts där uppspolningshöjden har räknats ut vid två olika förslag på

11 Lerkonstruktionen

lutningar av det framtida lerlagret. Vid denna beräkning har Hunt's ekvation (9.2) använts för beräkningsgång. Dessa uppskattningar av uppspolningshöjd kan på grund av en väldigt flack bottenlutning och val av ekvation vara på den säkra sidan. Eftersom en lutning på 1:10 används, se Figur 11.2, kommer den maximala uppspolningshöjden att ligga på ca 2,05 m då det varierande vattenståndet är inräknat. Medelvärde på uppspolningshöjden då lutningen är 1:10 blir 0,355 m. Figur 11.2 visar gränsen på 1,3 m för uppspolningshöjden adderat vattenståndet då erosion sker i strandprofilen.



Figur 11.2. Strandprofiler samt lutningsförslag på strandprofil i framtiden.

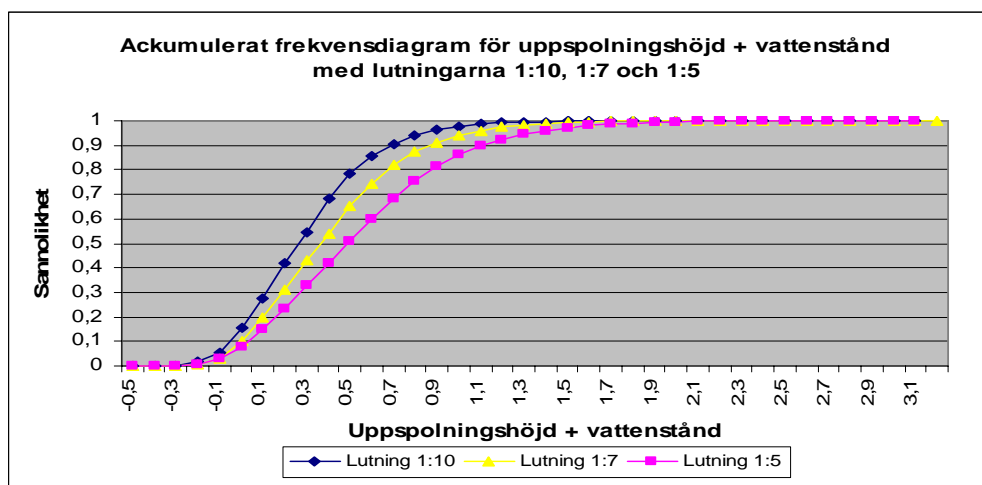
En uppspolningshöjd över 1,3 m sker en gång per år. Detta värde är beräknat med hjälp av Tabell 11.3. Vid dimensionering med denna lutning skulle strandzonen behöva förskjutas ca 10 m horisontellt ut i vattnet. Extra förstärkning av skvalpzonen anses nödvändig i detta fall på grund av ständiga rörelser från vågor som nöter på leran. Ytterligare en lösning har utretts. Vid en lutning på 1:5, se Figur 11.2, kommer den maximala uppspolningshöjden inklusive vattenståndet att ligga på ca 3 m och medelvärdet av uppspolningshöjden blir 0,6 m. En uppspolningshöjd på 1,3 eller högre sker 11 ggr per år. Även vid denna lutning behövs extra förstärkning vid skvalpzonen på grund av eroderande vågpåverkan. Vid önskan att ej behöva förstärka vid vattenbrynet krävs en större lutning än 1:5 men då finns det risk för överspolning. Generellt alstrar den brantare lutningen på 1:5, högre uppspolningshöjd jämfört med lutningen 1:10. Sannolikheten för att uppspolningshöjden + vattenståndet ska överstiga 1 m är ca 0,98 för lutningen 1:10 och sannolikhet för lutningen 1:5 är 0,87, se Figur 11.3. Värden är framräknade med hjälp av

Tabell 11.3 och dessa siffror är baserade på 20 års statistik från SMHI. Siffrorna i detta avsnitt finns sammanfattade i Tabell 11.2. I tabellen finns även lutningen 1:7 illustrerad som är den nuvarande lutningen på profilen i genomsnitt.

Stranderosion i Bjärred

Tabell 11.2. Sammanställning av skillnader mellan olika lutning på lerkonstruktionen.

Lutning	1:5	1:7	1:10
Maximal uppspolningshöjd	3 m	2,45 m	2,05 m
Medelvärde på uppspolningshöjd	0,6 m	0,45 m	0,34 m
Sannolikheten för en uppspolningshöjd över 1 m	0,13	0,06	0,02
Sannolikheten för en uppspolningshöjd över 1,3 m	0,06	0,02	0,015
Aterkomsttiden för att uppspolningshöjden överstiger 1,3 m	11 ggr/ år	4 ggr/ år	1 ggr/ år



Figur 11.3. Akkumulerat frekvensdiagram för uppspolningshöjden + vattenståndet med lutningen 1:10, 1:7 och 1:5 på framtida lerkonstruktion.

11 Lerkonstruktionen

Tabell 11.3. Bakgrundsdata till Figur 11.3. Dessa siffror är baserade på 20 års statistik från SMHI.

Uppspolnings- höjd vattenstånd (m)	Lutning 1:10		Lutning 1:7		Lutning 1:5	
	Antal observa- tioner inom intervall	Ackumulerat antal observa- tioner inom intervall	Antal observa- tioner inom intervall	Ackumulerat antal observa- tioner inom intervall	Antal observa- tioner inom intervall	Ackumulerat antal observa- tioner inom intervall
3,1	-	-	-	-	1	1
3	-	-	-	-	0	1
2,9	-	-	-	-	1	2
2,8	-	-	-	-	3	5
2,7	-	-	-	-	7	12
2,6	-	-	-	-	9	21
2,5	-	-	-	-	7	28
2,4	-	-	1	1	15	43
2,3	-	-	4	5	20	63
2,2	-	-	5	10	23	86
2,1	-	-	14	24	41	127
2	4	4	9	33	65	192
1,9	7	11	20	53	101	293
1,8	16	27	32	85	116	409
1,7	10	37	41	126	201	610
1,6	19	56	79	205	252	862
1,5	42	98	120	325	362	1224
1,4	62	160	180	505	473	1697
1,3	100	260	291	796	633	2330
1,2	179	439	433	1229	870	3200
1,1	277	716	576	1805	1131	4331
1	479	1195	866	2671	1406	5737
0,9	675	1870	1230	3901	1815	7552
0,8	1039	2909	1658	5559	2191	9743
0,7	1540	4449	2285	7844	2722	12465
0,6	2233	6682	2886	10730	2768	15233
0,5	3184	9866	3562	14292	2629	17862
0,4	4130	13996	3179	17471	2905	20767
0,3	3953	17949	3702	21173	2919	23686
0,2	4411	22360	3505	24678	2551	26237
0,1	3779	26139	2963	27641	2217	28454
0	3025	29164	2083	29724	1528	29982
-0,1	1251	30415	825	30549	641	30623
-0,2	387	30802	232	30781	185	30808
-0,3	68	30870	53	30834	39	30847
-0,4	10	30880	6	30840	4	30851
0,5	4	30884	-	-	-	-

Föreliggande analys är baserad på en lutning som är beräknad utifrån ett medelvärde av alla mätprofiler längs strandprofilen, se Tabell 11.4. Resultatet blir en medellutning som inte startar vid strandprofilens översta del, vilket är lämpligt att ta hänsyn till vid dimensionering av strandprofiler. Känslighetsanalysen är dock endast en fingervisning för hur uppspolningshöjden varierar med lutningen på strandprofilen och tar inte hänsyn till detta. Vid beräkning av maximal befintlig lutning längs kuststräckan med början vid profilens översta del i profilen blir denna 1:4. Hänsyn har inte tagits till att strandprofilerna ser olika ut längs kuststräckan.

Tabell 11.4. Lutning på strandprofiler

Strandlinje	Genomsnittlig lutning
A	1:7,7
C	1:5,3
E	1:5
G	1:8,3

Stranderosion i Bjärred

K	1:8,3
Medellutning:	1:6,7

12 Diskussion

12.1 Resultat och Slutsats

Undersökning av fem flygbilder mellan åren 1960 – 2004 visar att vegetationslinjen i genomsnitt förskjutits 8,2 m inåt land med en variation på 0 – 16 m. Förflyttning av vegetationslinjen indikerar på en fortskridande erosionsprocess, vilket innebär att material från stranden förs ut i havet i samband med stormar och återförs inte till stranden.

Uppspolningshöjden på kuststräckan varierade mellan 0 m, när vindstilla förhållanden råder och 2,4 m, när vinden och förhållandena som påverkar uppspolningshöjden varit optimala. Efter undersökningar av strandprofilerna uppskattades nivån då erosion inträder i strandprofilen till 1,3 m. Uppspolningshöjder ovan denna gräns sker med ett intervall på 3,6 ggr/år. Detta är ett värde på hur många gånger uppspolningshöjden överstigit denna gräns, men säger inget om hur länge erosionen verkar, eftersom det krävs en viss tid av vågpåverkan för att erosionsprocessen ska börja. Vinden mäts i ett intervall på tre timmar, vilket ger en svårighet att uttala sig om exakta varaktigheten för varje uppspolningstillfälle. Enligt denna förenkling skulle uppspolningshöjden ha överstigit 1,3 m horisontellt i strandprofilen under $3,6 \cdot 3h$ vilket ger ett resultat på 10,8 h/år.

Undersökningar om möjliga lutningar på de planerade lerkonstruktionerna har utförts. Uppspolningshöjden har kalkylerats för två planerade lutningar på 1:10 respektive 1:5. Resultatet visar att desto flackare lutningen på strandkonstruktionen är, ju lägre kommer uppspolningshöjden i vertikalled att bli. Nackdelen med en flack konstruktion är dock att konstruktionen blir längre i horisontalled och kan behöva konstrueras ut i vattnet och kräver därmed mer material än en brant. Båda konstruktionerna behöver förstärkning i någon mån i skvalpzonen. Med den branta konstruktionen blir uppspolningshöjden högre, som ger en större kraftpåverkan och kan leda till överspolning. Denna konstruktion kommer därmed att utsättas för mer slitage. Zonen där det i dag eroderar är i princip vertikal, medan den nya konstruktionen kommer att få en mindre lutning, som då inte blir lika utsatt för vågorna.

På de flesta platser längs kuststräckan dominerar sand eller låg vegetation i det översta laget, samt exponeras lera på en del ställen. Platserna som lera visar sig på är spridda längs hela sträckan, vilket ger indikationer på att lera ligger i ett lager under sanden och vegetationen. Utifrån resultaten från jordprovtagningen är det möjligt att bedöma att jorden på den aktuella sträckan är homogen, på grund av att vingförsöken, vattenkvoten och konförsöken inte skiljer sig nämnvärt åt. Vid jordartsbestämningen konstaterades att finjorden var lera, eftersom att innehållet av ler var större än 40 % i proven. Vid siktning av materialet med större kornfraktion konstaterades det att materialet var sand. Jordmaterialet som finns på den aktuella stranden är hårt packat. Det bevisas av konförsöken och vingförsöken som utförts. Detta innebär att det tillförda materialet måste packas minst lika hårt som det befintliga materialet för att få en tillräckligt hög hållfasthet. Vid tillförsel av samma

Stranderosion i Bjärred

material med samma packningsgrad som idag kommer det att påverka stranden på samma sätt som tidigare. Detta innebär att underhåll kommer att vara nödvändigt för att förhindra en fortsatt erosion inåt land. För att uppnå en högre hållfasthet än i dag krävs ytterligare packning av det tillförda och befintliga materialet eller annan typ av erosionskydd.

En mindre transport av sediment sker parallellt med kusten i en sydvästgående riktning, vilket bevisas av ackumulation på norra sidan om bryggan vid BOJK och en erosion på södra sidan enligt flygbilder. Beräkningar visar att medelvärdet på nettotransporten är 15 000 m³/år. Detta är ett värde på den potentiella transporten och ger en fingervisning av möjliga kvantiteter av transporterat sediment, vilket kan jämföras mellan olika år. Vinkelrät sandtransport från strandbanken sker under erosionstillfällen samt sker även en kontinuerlig återförsel. Ett medelvärde av eroderad mängd material från stranden har kalkylerats till 114 m³/år på den aktuella kuststräckan i Bjärred. Eftersom finjorden (silt, ler) på stranden i Bjärred förs ut i havet sedimenterar den långväga från dess ursprungliga plats. Detta innebär att om stranden har förlorat dessa delar förs de ej tillbaka igen och ger därmed en permanent förlust av material.

12.2 Rekommendationer och fortsatt forskning

Vid bestämning av lutningen på konstruktionen så ger en flack lutning lägre uppspolningshöjd och därmed mindre slitage på konstruktionen än en brant lutning och hänsyn bör tagas till detta vid konstruktion. Dock bör det beaktas att vid en flack lutning kommer denna att sticka ut i vattnet utanför kustlinjer, norr och söder om den aktuella kuststräckan, och därmed finns det en risk för en ökad parallell sedimenttransport. Vid bestämningen av vilket material som ska användas till den aktuella kuststräckan är det viktigt att använda ”rätt” material. Materialet ska tåla packning och behålla sin hållfasthet i så hög grad som möjligt. Packningen är ett kritiskt skede och bör därför utföras noggrant. Vid dålig packning kommer vågorna med sin kraft vid stormar urholka leran snabbt och underhåll kommer då att behövas ofta. Rätt packning och en väl undersökt lutning på konstruktionen skulle kunna ge ett gott resultat men underhåll kommer att krävas men med någorlunda långa intervall. Desto brantare lutning på konstruktionen ju svårare är packningsmöjligheterna.

Förslag på fortsatt forskning inom området: tjocklek på lerlagret, sammansättning av kornfraktioner på lerlagret, längd på förstärkning i skvalpzonen, gradientförändring från vattenbrynet och upp till strandbanken på lerkonstruktionen och materialet på skvalpzons-förstärkningen.

Referenser

Referenser

Litteraturreferenser

- Davidsson, J., 1963, "Littoral Processes and Morphology on Scanian Flat-coasts", Gleerups University, Lund.
- Department of the Army, 1984, "Shore Protection Manual (SPM)", Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi.
- Hagström, T., 2001, Landskapsgruppen Öresund AB, "Stranderosion i Lomma kommun", Lund.
- Hanson, H., Larson, M., 1993, "Sandtransport och kustutveckling vid Skanör/Falsterbo", Institutionen för Teknisk Vattenresurslära, Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Komar, P., D., 1998, "Beach Processes and Sedimentation", College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Oregon State University, New Jersey.
- Larson, M., Erikson, L., Hanson, H., 2004, "An analytical model to predict dune erosion due to wave impact", Coastal Engineering 51, s 675-696.
- Larson, M., Hanson, H., 1992, "Analys av klimatologiska och hydrografiska data för Ystadbukten", Institutionen för Teknisk Vattenresurslära, Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Lundkvist, C., 2004, Scandiaconsult Sverige AB (numera Ramböll Sverige AB), "Erosionsskydd i Bjärred - Handlingsplan för del av stranden Bjärsund – Näktergalsvägen (BOJK-V:a Kennelvägen)" Malmö.
- Mayer, R., H., Kriebel, D., L., 1994, "Wave runup on composite-slope and concave beaches " Coastal Engineering, Proceedings of the twenty-fourth international conference, Kobe, Japan, Vol 2, s 2325-2339.
- Sällfors, G., CTH, 1979, "Laborationshandledning i Geoteknik", Tekniska Högskolan i Lund, Lund.

Internetreferenser

- Berggren, B., et al., Sveriges Geologiska Förening, SGF Notat 1:2004: "Packning och packningskontroll av blandkornig och finkornig jord", Linköping, 2004. www.sgf.net/addon/notat/SGF%20Notat-1_Ytpackning.pdf, hämtat 20050201.
- Eniro: <http://www.eniro.se/>, hämtat 20041004.

Stranderosion i Bjärred

- Hanson, H., institutionen för Teknisk Vattenresurslära, Lunds Tekniska Högskola, <http://aqua.tvrl.lth.se/hh/atlas/index.htm>, Uppdaterad: 19991201, hämtat 20040922.
- Institutionen för Teknisk vattenresurslära, LTH, ”Erosion – orsak och verkan”, Lund <http://aqua.tvrl.lth.se/hh/atlas/doc/erosion.htm#erosion>, Uppdaterad 19991201, hämtat 20041101.
- Kartguiden: <http://www.kartguiden.com>, hämtat 20041210.
- SGF, Sveriges Geologiska Förening,: ”Rekommenderad standard för vingförsök i fält”, Rapport 2:93, http://www.sgt.net/forening/publikationer/SGF_R2_93.pdf, hämtat 20041115.
- SMHI, ”Havsvattenstånd”, 2004, www.smhi.se, Uppdaterad 20041001, hämtat 20041217.
- Svensson, C., Ingenjörsgelogiska Exkursion, Sveriges Jordarter, Institutionen för Teknisk Geologi, LTH. <http://connywww.tg.lth.se/Sv.jordarterdokument/IndelnigeSammanstning/tabellkornfraktioner.html>, Uppdaterad 19961206, hämtat 20050127.

Övriga referenser

- Chefen & Chefen Kartguiden AB, Karta: ”Lomma Kommun 2004-2005”.
- Johansson, L., teknisk licentiat i geoteknik, Statens Geoteknisk Institut (SGI) (numera anställd på Ramböll Sverige AB), Malmö, 2004-2005.
- Lantmäteriet, flygbilder: 1960, 1967, 1973, 1984 och 2004.
- Larson, M., 2004-2005, Personlig konversation Institutionen för Teknisk Vattenresurslära, Lunds Tekniska Högskola, Lund.
- Ramböll, 2004, Ramböll Sverige AB.

Bilaga 1. Samtliga flygbilder

Flygbild: 1960



Stranderosion i Bjärred

Flygbild: 1967



Flygbild: 1973



Bilaga 1. Samtliga flygbilder

Flygbild: 1984



Flygbild: 2004



Bilaga 2. Förslag på kusterosionsskydd

På denna kuststräcka har dessa olika förslag utarbetats (Ramböll Sverige AB):

Förslagsalternativ 1: Släntuppfyllnad utan särskilda förstärkningsåtgärder

- Bortschakt av nuvarande vegetationstäckes (ca 0,5 m djup)
- Förstärkning i strandzonen genom utfyllnad med makadam eller liknande.
- Uppfyllning av slänten med lermorän (extern tillförsel) till ca 0,5 m under planerad släntyta.
- Packning av lermoränen. Släntlutning 1:6—1:7 eller flackare eftersträvas.
- Påföring av massor från vegetationstäckets och komplettering med externt tillförd matjord till total tjocklek om ca 0,5 m.
- Etablering av lämplig vegetation (vass,säv, strandväxter, gräs o likn).

Förslagsalternativ 2: Släntuppfyllnad med förstärkningsåtgärder; nedbrytbar erosionsmatta

- Bortschakt av nuvarande vegetationstäckes (ca 0,5 m djup)
- Förstärkning i strandzonen genom utfyllnad med makadam eller liknande.
- Uppfyllning av slänten med lermorän (extern tillförsel) till ca 0,5 m under planerad släntyta.
- Packning av lermoränen. Släntlutning 1:6—1:7 eller flackare eftersträvas.
- Utläggning av erosionsmatta (nedbrytbar) som eventuellt förankras i undergrunden (jordspikning).
- Påföring av massor från vegetationstäckets och komplettering med externt tillförd matjord till total tjocklek om ca 0,5 m. Erosionsmattan finns även i alternativ med redan etablerad vegetation.
- Etablering av lämplig vegetation (vass,säv, strandväxter, gräs o likn).

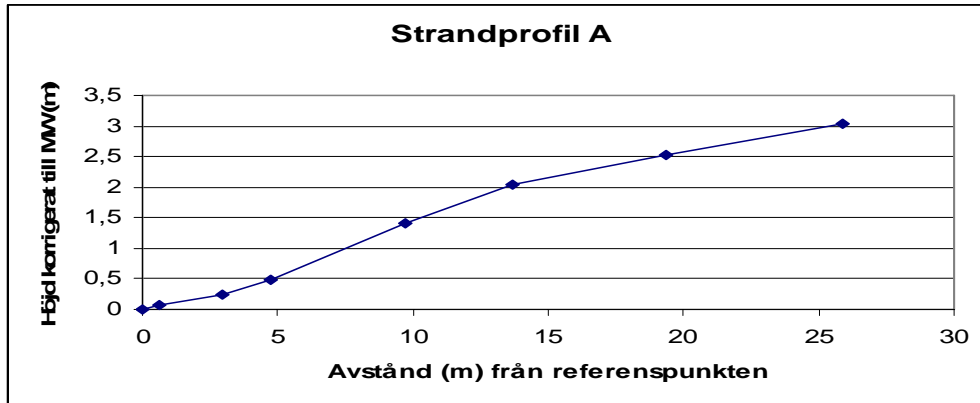
Förslagsalternativ 3: Släntuppfyllnad med förstärkningsåtgärder; permanent erosionsmatta/nät

- Bortschakt av nuvarande vegetationstäckes (ca 0,5 m djup)
- Förstärkning i strandzonen genom utfyllnad med makadam eller liknande.
- Uppfyllning av slänten med lermorän (extern tillförsel) till ca 0,5 m under planerad släntyta.
- Packning av lermoränen. Släntlutning 1:6—1:7 eller flackare eftersträvas.
- Utläggning av matta/nät (beständig) som förankras i undergrunden (jordspikning).
- Mattan/nätet fylls med lämpligt material.

Bilaga 2. Förslag på kusterosionsskydd

- Påföring av massor från vegetationstäcket och komplettering med externt tillförd matjord till total tjocklek om ca 0,5 m. Erosionsmatta/nät finns även i alternativ med redan etablerad vegetation.
- Etablering av lämplig vegetation (vass,säv, strandväxter, gräs o likn).

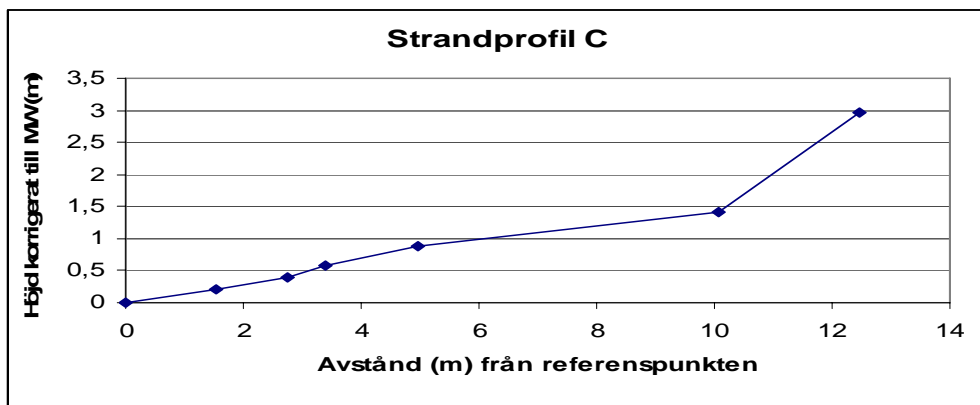
Bilaga 3. Strand- och bottenprofiler



Figur 1. Strandprofil A.

Strandprofil A	Koordinat X	Koordinat Y	Koordinat Z-0,14 (m)	Avstånd mellan punkterna och korrigerat till MW (m)
A51	32918,44	19641,73	0	0
A52	32918,95	19642,13	0,0637	0,638303436
A53	32920,69	19643,75	0,2507	2,958664788
A54	32921,95	19645,15	0,4808	4,763582406
A55	32925,41	19649,03	1,4157	9,720181003
A56	32928,17	19652,1	2,0475	13,66177849
A57	32932,03	19656,75	2,5192	19,3573203
A58	32937	19661,06	3,0308	25,84242717

Tabell 1. Strandprofil A:s X, Y och Z-koordinater, där Z är korrigerat till medelvattenytan. Avstånd mellan mätpunkterna.

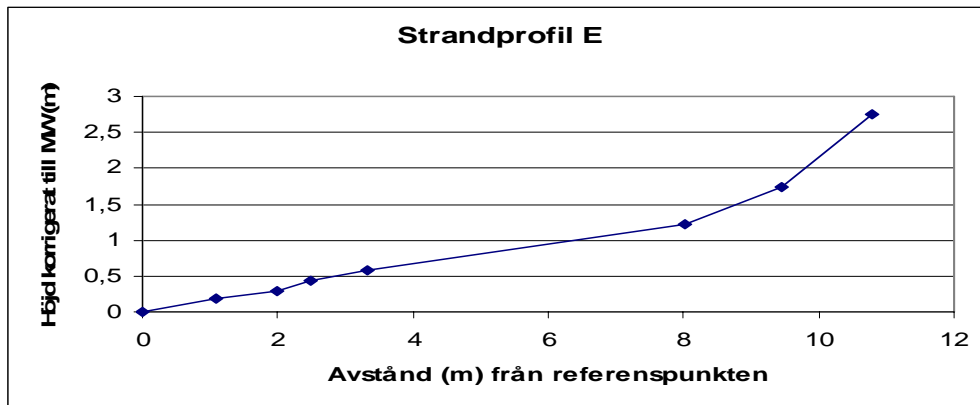


Figur 2. Strandprofil C.

Bilaga 3. Strand- och bottenprofiler

Strandprofil C	Koordinat X	Koordinat Y	Koordinat Z-0,14 (m)	Avstånd med korrigerad nolla till MW (m)
C51	32973,8	19592,13	0	0
C52	32974,84	19593,36	0,2161	1,525923161
C53	32975,77	19594,18	0,4054	2,74134778
C54	32976,18	19594,75	0,5786	3,38506186
C55	32977,24	19596,06	0,8795	4,965435729
C56	32980,79	19600,06	1,4027	10,06175137
C57	32982,5	19601,92	2,9627	12,48105691

Tabell 2. Strandprofil C:s X, Y och Z-koordinater, där Z är korrigerad till medelvattenytan. Avstånd mellan mätpunkterna.

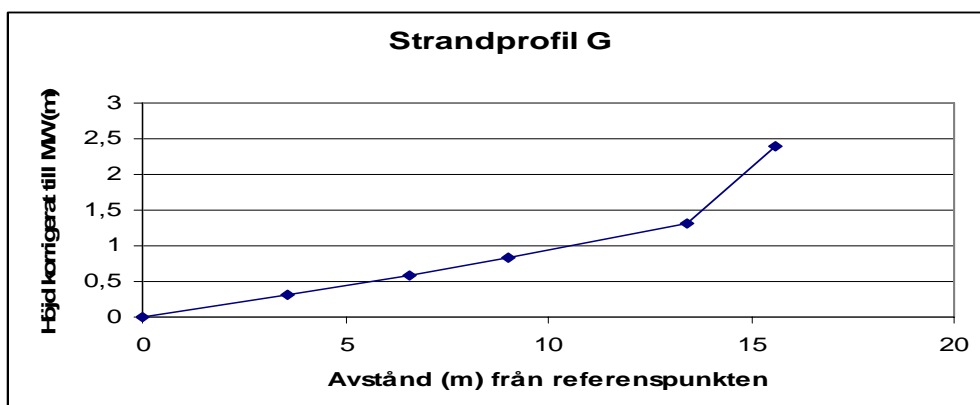


Figur 3. Strandprofil E.

Strandprofil E	Koordinat X	Koordinat Y	Koordinat Z-0,14 (m)	Avstånd med korrigerad nolla till MW (m)
E52	33034,52	19531,13	0	0
E54	33035,17	19532,18	0,1837	1,084526933
E55	33035,78	19532,89	0,2826	1,977133639
E56	33036,11	19533,31	0,4264	2,474957195
E57	33036,56	19534,19	0,5697	3,311297975
E58	33039,58	19538,32	1,2293	8,007644593
E59	33040,38	19539,77	1,7314	9,438379589

Tabell 3. Strandprofil E:s X, Y och Z-koordinater, där Z är korrigerad till medelvattenytan. Avstånd mellan mätpunkterna.

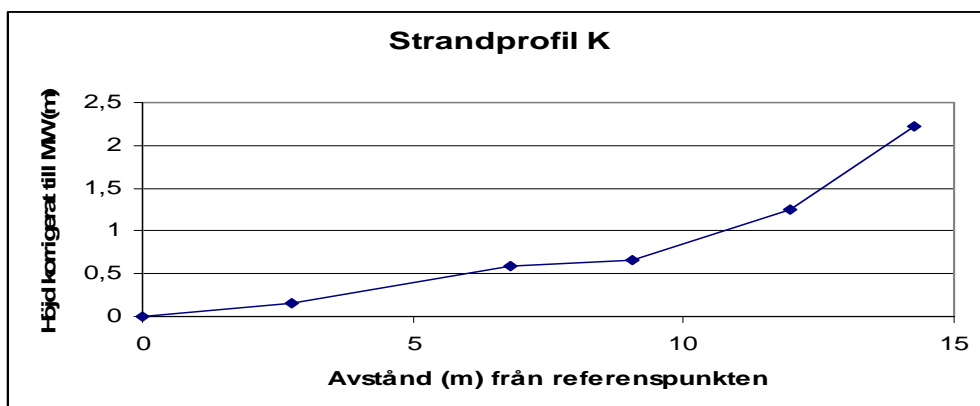
Stranderosion i Bjärred



Figur 4. Strandprofil G.

Strandprofil G	Koordinat X	Koordinat Y	Koordinat Z-0,14 (m)	Avstånd med korrigerad nolla till MW (m)
G50	33088,72	19468,37	0	0
G51	33091	19471,5	0,3134	3,555977704
G52	33093,14	19473,8	0,5775	6,562686152
G53	33095,3	19474,97	0,8422	9,020118149
G54	33098,73	19477,85	1,3207	13,43469619
G55	33100,42	19479,2	2,4032	15,58163665

Tabell 4. Strandprofil G:s X, Y och Z-kordinater, där Z är korrigerad till medelvattenytan. Avstånd mellan mätpunkterna.

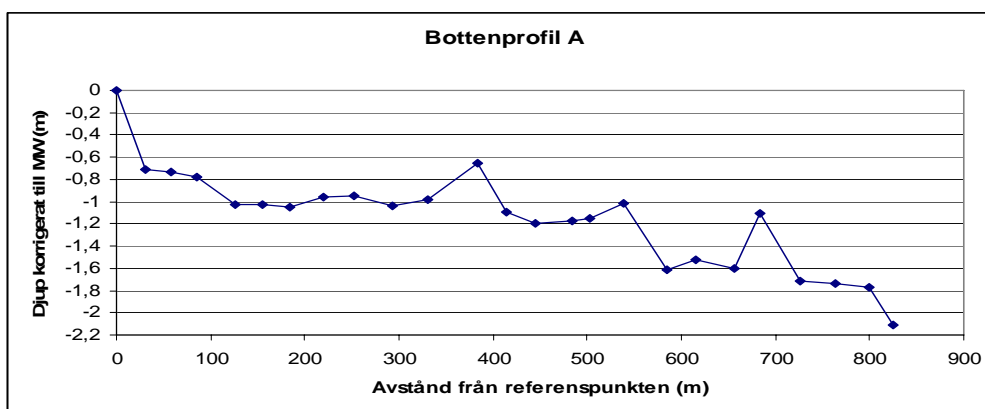


Figur 5. Strandprofil K.

Strandprofil K	Koordinat X	Koordinat Y	Koordinat Z-0,14 (m)	Avstånd med korrigerad nolla till MW (m)
K50	33152,33	19368,34	0	0
K51	33154,24	19370,56	0,1604	2,770265971
K52	33157,54	19372,92	0,5956	6,815423527
K53	33159,53	19373,94	0,6663	9,041132482
K54	33161,77	19375,9	1,2515	11,9669465
K55	33163,72	19377,11	2,2216	14,25968008

Tabell 5. Strandprofil K:s X, Y och Z-kordinater, där Z är korrigerad till medelvattenytan. Avstånd mellan mätpunkterna.

Bilaga 3. Strand- och bottenprofiler

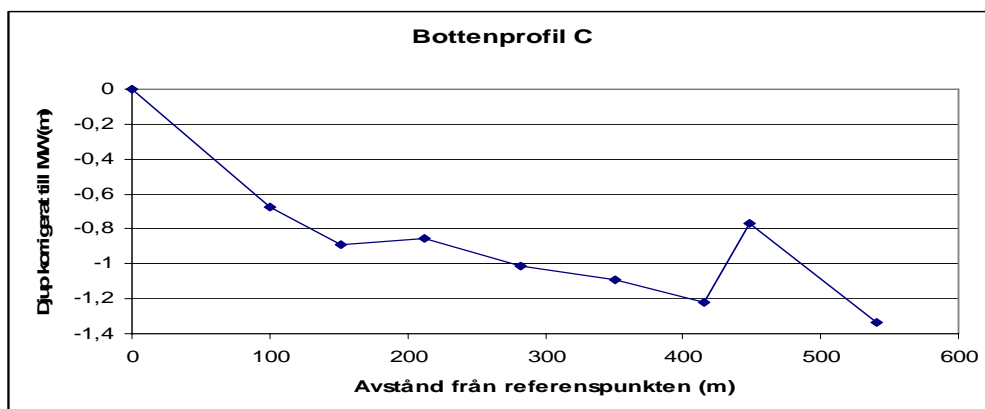


Figur 6. Bottenprofil A

Bottenprofil A	Koordinat X	Koordinat Y	Koordinat Z-0,14 (m)	Akkumulerat avstånd med korrigerad nolla till MW (m)
A0	32923,659	19646,7813	0	0
A1	32904,0356	19623,918	-0,713	30,12985752
A2	32885,2475	19603,2572	-0,7385	58,05585541
A3	32867,0017	19582,5085	-0,7812	85,68587114
A4	32841,3064	19552,3462	-1,0245	125,309258
A5	32822,0721	19529,9383	-1,0264	154,8401279
A6	32801,7507	19508,0287	-1,0479	184,723064
A7	32779,0567	19481,8833	-0,9581	219,3438609
A8	32757,2778	19456,798	-0,9441	252,5642275
A9	32730,053	19426,1939	-1,0342	293,5251928
A10	32705,2205	19398,2002	-0,9773	330,9457793
A11	32674,3731	19356,0932	-0,6596	383,1431119
A12	32649,4335	19336,6263	-1,0998	414,7808085
A13	32628,6139	19314,2965	-1,1997	445,3107235
A14	32599,8553	19288,5849	-1,1755	483,8871859
A15	32586,9597	19274,3196	-1,1533	503,1172479
A16	32562,1851	19249,43	-1,0201	538,2352346
A17	32534,031	19211,9328	-1,6168	585,1254613
A18	32514,259	19189,4616	-1,522	615,0568297
A19	32483,8795	19162,9021	-1,6049	655,4092901
A20	32463,7991	19143,6973	-1,105	683,1950204
A21	32434,4205	19112,7293	-1,714	725,8813081
A22	32408,7167	19085,6098	-1,7393	763,2464337
A23	32387,2234	19057,2424	-1,7714	798,8367601
A24	32370,5112	19036,2319	-2,1134	825,6833379

Tabell 6. Bottenprofil A:s X, Y och Z-koordinater, där Z är korrigerad till medelvattenytan. Ackumulerat avstånd mellan de olika mätpunkterna.

Stranderosion i Bjärred

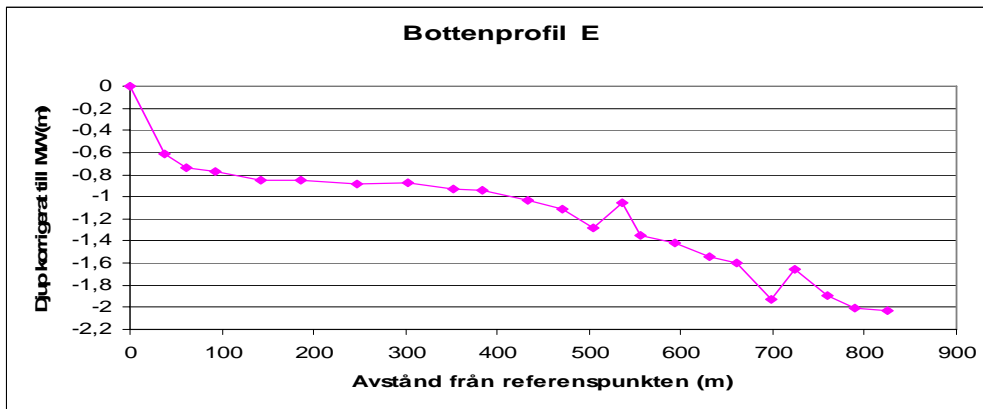


Figur 7. Bottenprofil C.

Bottenprofil C	Koordinat X	Koordinat Y	Koordinat Z-0,14 (m)	Akkumulerat avstånd med korrigerad nolla till MW (m)
C0	32978,6356	19597,6183	0	0
C1	32911,6261	19523,2969	-0,6776	100,0696937
C2	32881,8181	19481,7166	-0,8931	151,2305988
C3	32839,2428	19437,9288	-0,8558	212,3045507
C4	32791,3207	19387,407	-1,0139	281,9391681
C5	32752,3513	19330,0699	-1,0877	351,2656217
C6	32700,6597	19291,6038	-1,2197	415,6990165
C7	32685,8648	19262,2124	-0,7716	448,6040839
C8	32627,0196	19192,0346	-1,3355	540,1883684

Tabell 7. Bottenprofil C:s X, Y och Z-kordinater, där Z är korrigerad till medelvattenytan. Ackumulerat avstånd mellan de olika mätpunkterna.

Bilaga 3. Strand- och bottenprofiler

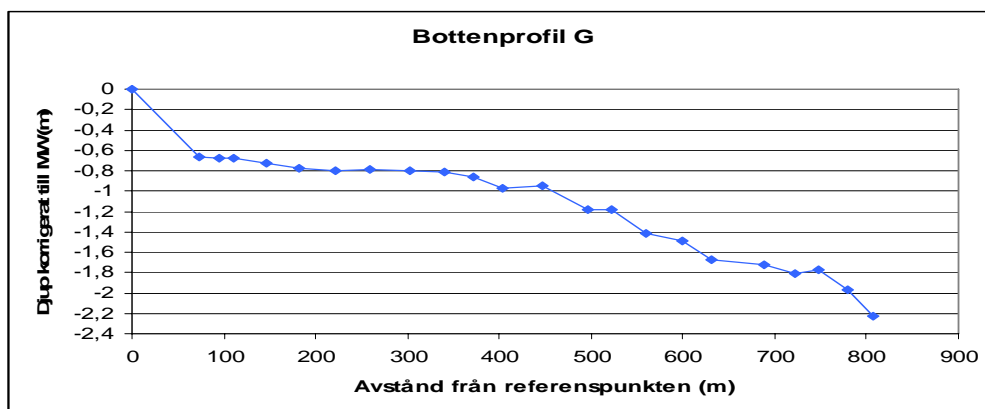


Figur 8. Bottenprofil E.

Bottenprofil E	Koordinat X	Koordinat Y	Koordinat Z-0,14 (m)	Akkumulerat avstånd med korrigerad nolla till MW (m)
E0	33037,5213	19535,6134	0	0
E1	33017,8938	19502,7133	-0,6154	38,30999003
E2	33005,8276	19483,9738	-0,7327	60,59814927
E3	32987,7631	19457,2337	-0,7696	92,86824546
E4	32964,6069	19413,6235	-0,8455	142,2449519
E5	32936,2149	19379,3608	-0,8475	186,7425729
E6	32899,3178	19332,262	-0,8888	246,5731082
E7	32875,0691	19281,6342	-0,878	302,7084232
E8	32848,8705	19238,8144	-0,9344	352,9070478
E9	32833,8377	19211,8201	-0,9437	383,8049006
E10	32812,1054	19168,3421	-1,0352	432,4117864
E11	32786,5288	19139,0366	-1,1162	471,3087631
E12	32770,3426	19110,2306	-1,2772	504,3508379
E13	32752,4112	19083,5519	-1,0588	536,4956375
E14	32740,0632	19067,6633	-1,3496	556,6182793
E15	32720,9687	19036,3263	-1,4209	593,3144303
E16	32703,1898	19002,4598	-1,5416	631,5639938
E17	32685,8271	18980,1754	-1,5982	659,8139112
E18	32663,7754	18949,3907	-1,9273	697,6817766
E19	32645,2155	18931,0921	-1,6524	723,7453268
E20	32624,2285	18903,1236	-1,8981	758,7123279
E21	32604,6414	18880,756	-2,0033	788,4438602
E22	32583,1487	18852,088	-2,0276	824,2738808

Tabell 8. Bottenprofil E:s X, Y och Z-koordinater, där Z är korrigerad till medelvattenytan. Ackumulerat avstånd mellan de olika mätpunkterna

Stranderosion i Bjärred

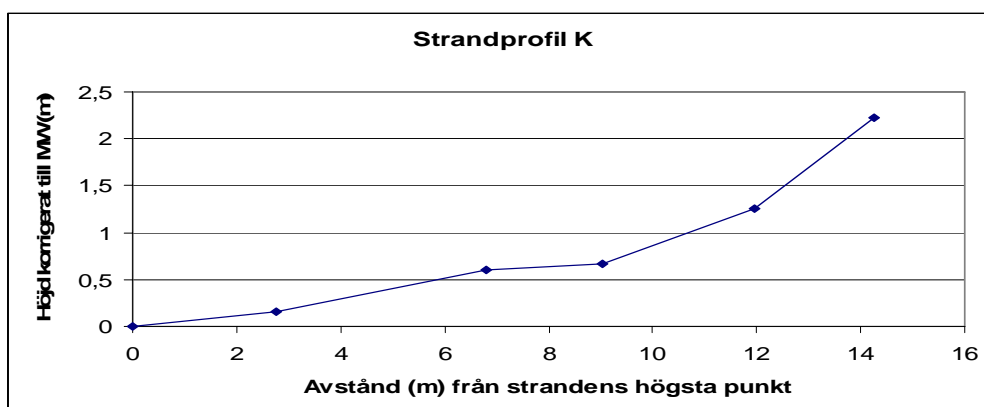


Figur 9. Bottenprofil G

Bottenprofil G	Koordinat X	Koordinat Y	Koordinat Z-0,14 (m)	Akkumulerat avstånd med korrigerad nolla till MW (m)
G0	33092,2118	19472,7562	0	0
G1	33043,8393	19417,2453	-0,6687	73,62987692
G2	33029,8024	19401,863	-0,6795	94,45413477
G3	33017,1299	19393,2433	-0,6743	109,7803047
G4	32992,1768	19367,2101	-0,7283	145,8411519
G5	32967,4895	19339,5523	-0,7788	182,9142781
G6	32943,1176	19309,3674	-0,7965	221,7101244
G7	32917,8222	19282,4017	-0,7835	258,6831719
G8	32887,9917	19249,3794	-0,8059	303,1840823
G9	32867,3356	19218,6257	-0,812	340,2308707
G10	32849,0416	19193,8071	-0,8617	371,0632132
G11	32824,9807	19171,9957	-0,9765	403,5388052
G12	32792,1504	19144,3304	-0,9451	446,4712804
G13	32754,0318	19111,3567	-1,1856	496,8725954
G14	32741,7166	19088,9415	-1,1775	522,4480787
G15	32714,3993	19064,0255	-1,4113	559,4216089
G16	32686,7544	19036,1589	-1,4934	598,67448
G17	32663,4728	19013,5257	-1,6705	631,1443836
G18	32624,7918	18970,0871	-1,7262	689,3090785
G19	32603,1232	18945,3659	-1,8112	722,1825626
G20	32587,088	18926,2785	-1,7768	747,1115914
G21	32566,9722	18902,0748	-1,9652	778,5832374
G22	32547,4262	18880,8284	-2,2243	807,452869

Tabell 9. Bottenprofil G:s X, Y och Z-koordinater, där Z är korrigerad till medelvattenytan. Akkumulerat avstånd mellan de olika mätpunkterna.

Bilaga 3. Strand- och bottenprofiler



Figur 10. Bottenprofil K.

Bottenprofil K	Koordinat X	Koordinat Y	Koordinat Z-0,14 (m)	Akkumulerat avstånd med korrigerad nolla till MW (m)
K0	33156,0063	19371,7462	0	0
K1	33123,6952	19330,9924	-0,5188	52,00845506
K2	33108,9129	19308,6174	-0,5861	78,82555814
K3	33088,0487	19277,4537	-0,6056	116,3287719
K4	33064,4801	19249,6164	-0,5757	152,8033408
K5	33024,0299	19201,9054	-0,6887	215,353786
K6	32998,2094	19167,1987	-0,7504	258,6117708
K7	32997,7834	19166,6432	-0,7519	259,3118105
K8	32965,5855	19127,7074	-0,73	309,8360748
K9	32937,2496	19081,0017	-0,8269	364,4652395
K10	32904,8778	19048,39	-0,8079	410,4158262
K11	32870,3176	19005,8217	-1,0253	465,2470909
K12	32848,8331	18975,4171	-0,923	502,4764266
K13	32830,0793	18954,2148	-1,1848	530,7826546
K14	32812,4297	18926,255	-1,3599	563,8471188
K15	32789,1449	18894,6468	-1,5083	603,1060059
K16	32764,7727	18867,2123	-1,4283	639,8028167
K17	32743,814	18836,5475	-1,797	676,9457443
K18	32711,1373	18798,5091	-1,8045	727,0923952
K19	32686,8739	18774,0385	-2,3114	761,5528485
K20	32661,3715	18740,9552	-2,2427	803,3245751

Tabell 10. Bottenprofil K:s X, Y och Z-koordinater, där Z är korrigerad till medelvattenytan. Akkumulerat avstånd mellan de olika mätpunkterna.

Bilaga 4a. Vattenstånd

Barsebäck	1982-2003
Vattenstånd (m)	Frekvens (%)
-0, 80	0,0
-0, 70	0,0
-0, 60	0,1
-0, 50	0,4
-0, 40	1,4
-0, 30	3,9
-0, 20	11,1
-0, 10	22,1
0,0	26,1
0,10	17,6
0,20	9,3
0,30	4,5
0,40	1,7
0,50	0,9
0,60	0,4
0,70	0,2
0,80	0,1
0,90	0,0
1,0	0,0

Tabell 1. Frekvensen av uppmätta vattenståndsdata från Barsebäck (Data från SMHI).

Klagshamn	1931-1992
Vattenstånd (m)	Frekvens (%)
-0, 80	0,0
-0, 70	0,0
-0, 60	0,1
-0, 50	0,3
-0, 40	1,3
-0, 30	4,2
-0, 20	11,1
-0, 10	20,4
0, 00	25,8
0, 10	19,9
0, 20	10,4
0, 30	4,3
0, 40	1,4
0, 50	0,6
0, 60	0,1
0, 70	0,0
0, 80	0,0

Tabell 2. Frekvensen av uppmätta dygnsmedelvärden av vattenstånd för en 64-års serie från Klagshamn (Data från SMHI).

Bilaga 4b. Högsta vattenstånd för Barsebäck, Viken och Klagshamn

Bilaga 4b. Högsta vattenstånd för Barsebäck, Viken och Klagshamn

År	Högsta vattenstånd i relation till MW (m)
1994	0,72
1995	1,03
1996	0,8
1997	1,02
1998	0,79
1999	1,03
2000	1,06
2001	0,82
2002	1,09
2003	1,04
Medelvattenstånd:0,90m	

Tabell 1. Högsta vattenstånd i Barsebäck under perioden 1994-2003.

År	Högsta vattenstånd i relation till MW (m)	År	Högsta vattenstånd i relation till MW (m)
1982	1,46	1993	1,08
1983	1,12	1994	0,86
1984	1,08	1995	1,07
1985	1,63	1996	1,02
1986	1,27	1997	1,08
1987	0,81	1998	0,88
1988	0,92	1999	1,14
1989	1,24	2000	1,35
1990	1,25	2001	0,97
1991	1,01	2002	1,16
1992	1,03	2003	0,89
Medelvattenstånd: 1,12 m			

Tabell 2. Högsta vattenstånd i Viken under perioden 1982-2003.

Stranderosion i Bjärred

År	Högsta vattenstånd i relation till MW (m)	År	Högsta vattenstånd i relation till MW (m)	År	Högsta vattenstånd i relation till MW (m)
1931	0,78	1952	0,80	1973	1,07
1932	1,20	1953	0,59	1974	0,77
1933	0,49	1954	90,0	1975	0,98
1934	1,3	1955	0,93	1976	1,0
1935	0,93	1956	0,91	1977	0,88
1936	0,72	1957	1,13	1978	0,99
1937	0,71	1958	0,68	1979	0,82
1938	0,75	1959	-	1980	0,72
1939	0,90	1960	0,65	1981	1,14
1940	0,67	1961	0,87	1982	0,67
1941	0,86	1962	1,13	1983	1,10
1942	0,60	1963	0,68	1984	0,88
1943	0,56	1964	0,92	1985	0,66
1944	0,54	1965	0,94	1986	1,13
1945	1,14	1966	0,67	1987	0,96
1946	1,24	1967	1,38	1988	1,30
1947	0,61	1968	1,05	1989	1,15
1948	0,73	1969	0,83	1990	1,09
1949	1,15	1970	1,01	1991	0,76
1950	0,50	1971	0,83	1992	1,27
1951	0,65	1972	0,86		
Medelvattenstånd: 0,89 m					

Tabell 3. Högsta vattenstånd i Klagshamn under perioden 1931-1992.

Stranderosion i Bjärred

Bilaga 5. Vind

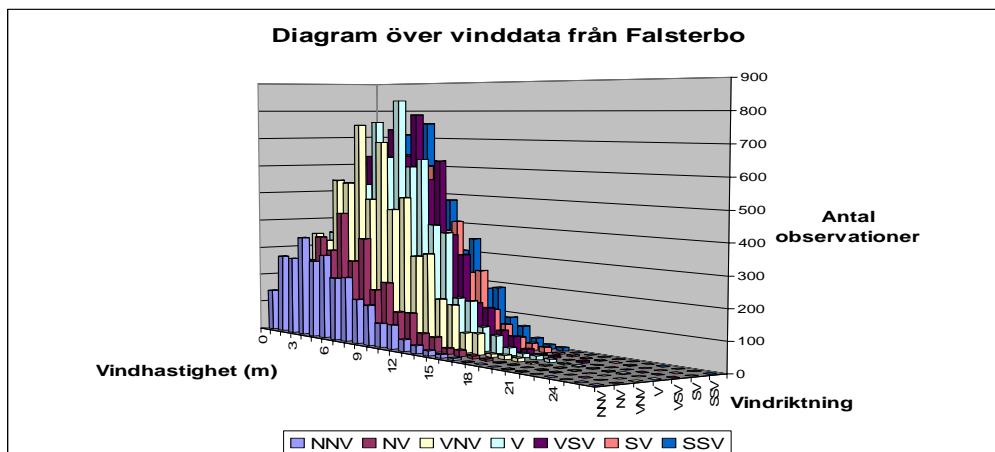
8	STL	NNV	NV	VNV	V	VSV	SV	SSV	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO
0	1226															
1		141	116	155	147	171	109	140	146	139	126	125	253	196	251	202
2		272	245	350	352	367	311	358	347	340	269	263	278	386	442	376
3		268	260	328	369	385	363	425	379	325	320	313	326	380	391	353
4		347	347	550	538	634	579	712	614	476	502	556	531	447	367	404
5		266	303	543	535	514	503	524	459	374	370	514	450	314	186	234
6		291	438	749	760	733	643	753	573	450	512	692	630	325	137	237
7		215	273	489	637	639	478	471	350	302	339	489	485	205	49	120
8		222	355	691	836	787	604	481	353	311	326	524	566	175	37	108
9		151	181	458	606	561	379	305	217	180	220	341	348	99	12	51
10		137	211	502	633	626	413	350	204	175	224	310	331	87	7	36
11		81	116	304	409	373	238	178	111	87	100	177	181	37	4	19
12		82	118	316	385	307	249	187	96	74	105	129	145	36	3	25
13		39	56	167	168	147	120	88	42	33	50	71	61	10	1	10
14		26	50	153	162	135	75	64	42	25	29	54	41	5	0	6
15		17	20	66	81	65	37	30	7	8	9	14	20	1	0	4
16		11	20	71	59	52	23	15	22	5	9	7	12	2	0	0
17		7	10	10	26	16	17	12	3	1	2	9	1	1	0	2
18		2	6	13	14	6	5	1	2	1	1	3	3	0	0	2
19		1	2	12	14	7	6	1	2	0	0	1	3	0	0	0
20		0	2	4	10	1	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0
21		1	1	3	3	6	2	1	2	0	0	0	1	0	0	0
22		1	1	2	3	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
23		0	1	1	3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
24		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25		0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1226	2578	3132	5937	6755	6533	5159	5097	3976	3306	3513	4592	4666	2706	1887	2189

Tabell 1. Antalet observationer från aktuella vindriktningar och dess fördelning av vindhastighet (STL står för stiltje).

Stranderosion i Bjärred

	Frekvens (%)
0	1,9
1	3,7
2	7,9
3	8,3
4	12,1
5	9,7
6	12,6
7	8,9
8	10,0
9	6,5
10	6,7
11	3,8
12	3,5
13	1,7
14	1,4
15	0,6
16	0,5
17	0,2
18	0,1
19	0,1
20	0,03
21	0,03
22	0,01
23	0,01
24	0,002
25	0,005
26	0,002
27	0,002

Tabell 2. Frekvensanalys av vindhastighet i Falsterbo under 22 år.

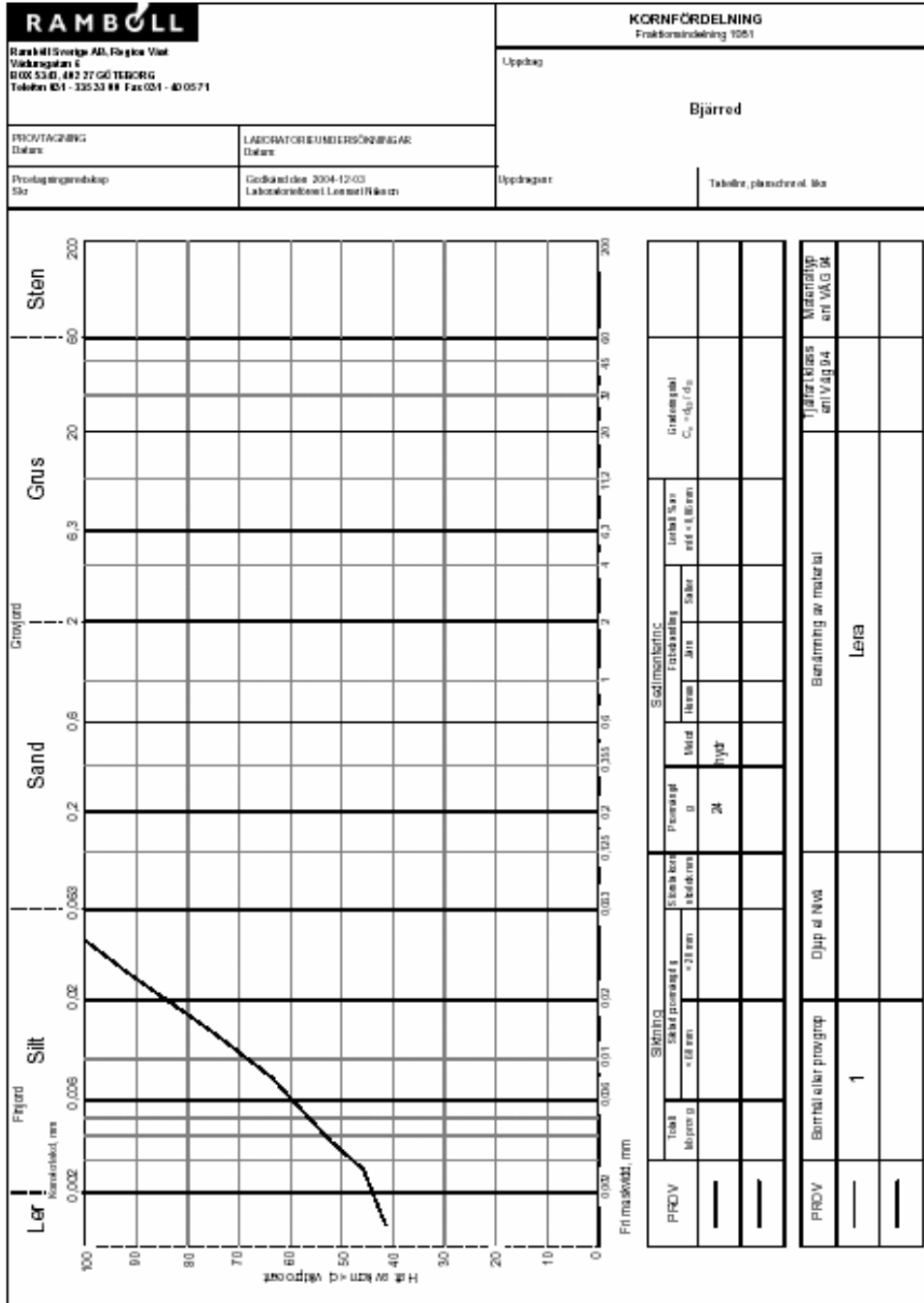


Figur 1. Översikt av vinddata från Falsterbo. Diagrammet illustrerar hur ofta vinden infallit från aktuella vindriktningar och dess vindhastig.

Bilaga 6a. Kornfördelningskurvor för kohesions-jord

Bilaga 6a. Kornfördelningskurvor för kohesions-jord

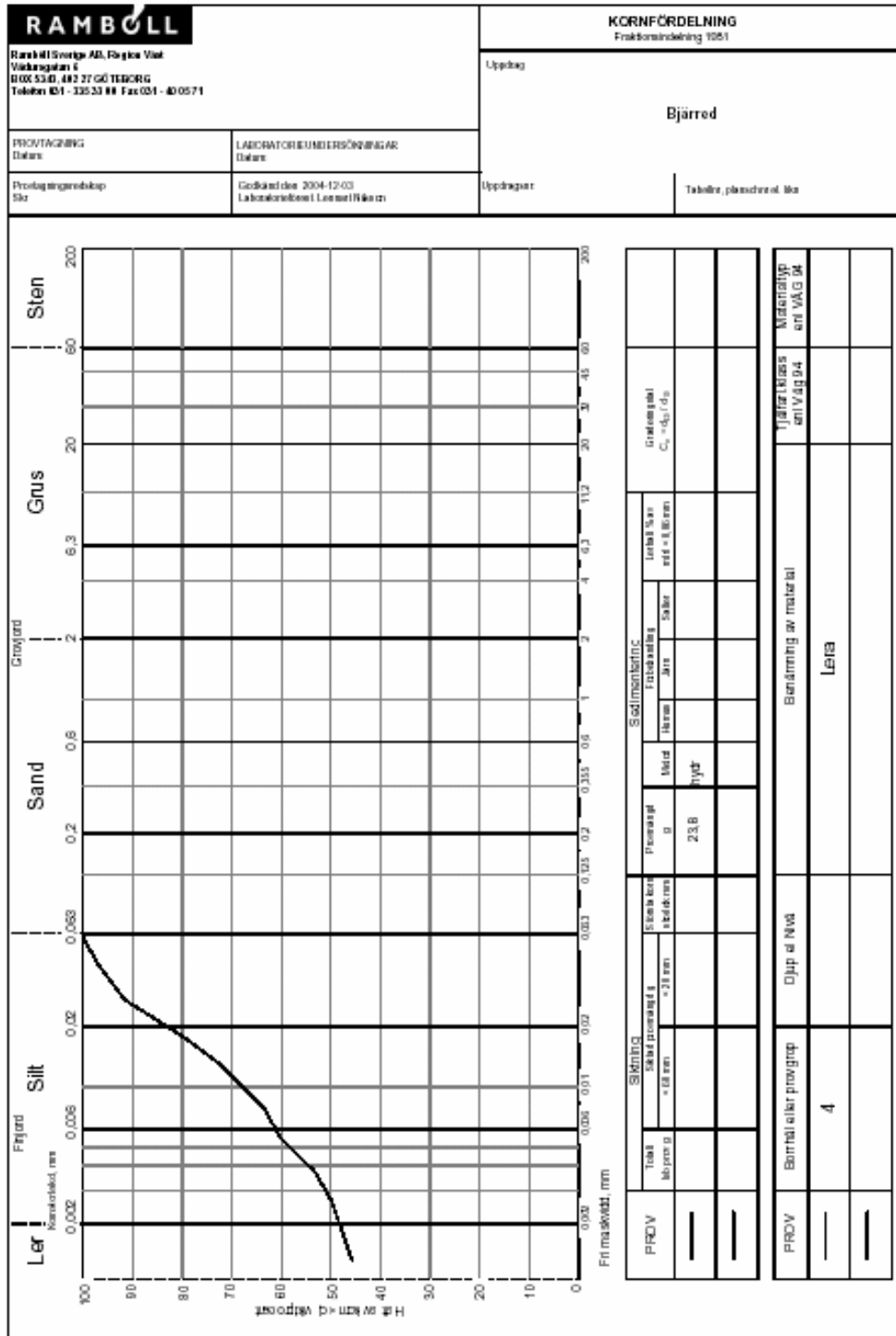
BILAGA



Figur 1. Slammingsresultat från provpunkt 1.

Stränderosion i Bjärred

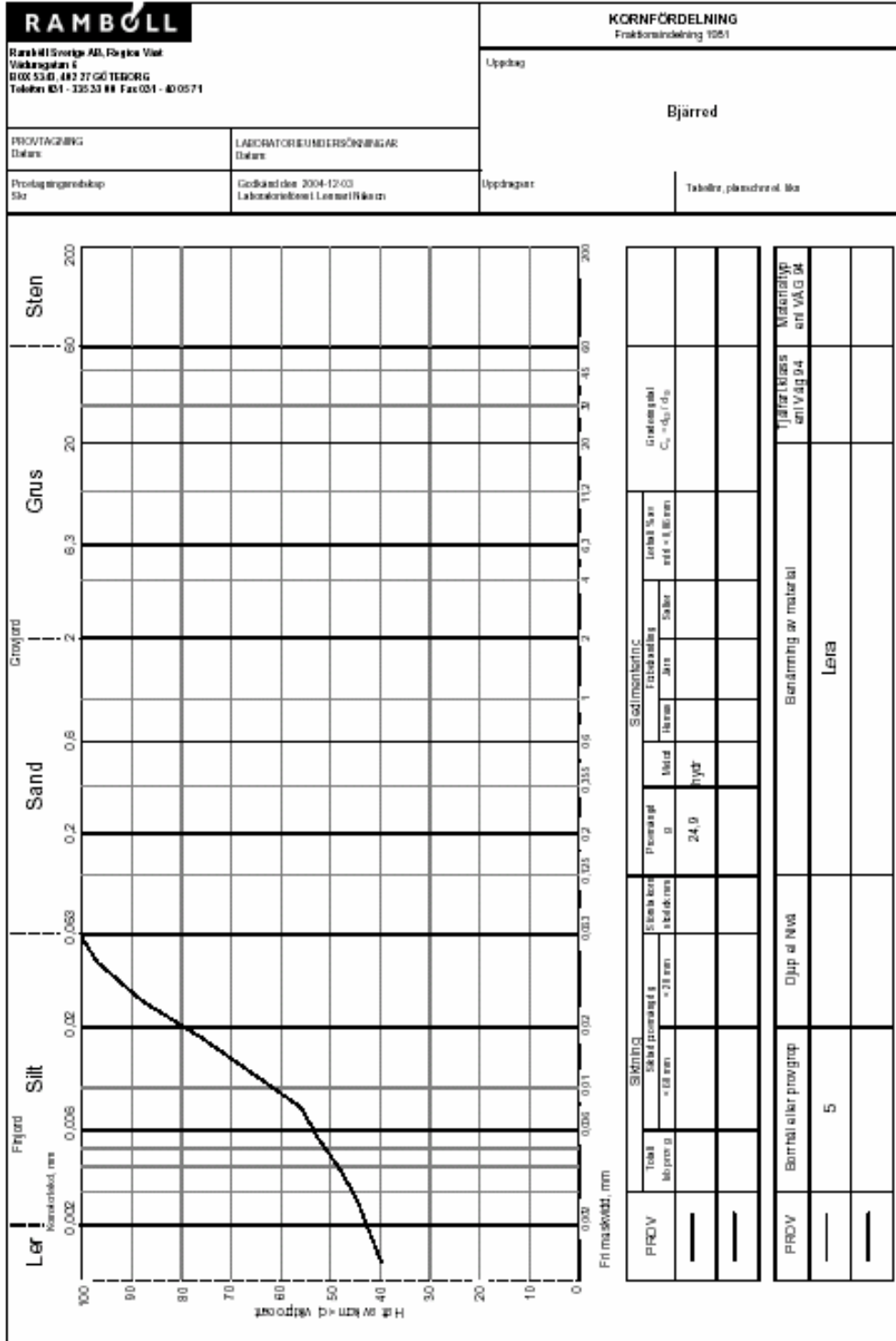
BILAGA



Figur 2. Slammingsresultat från provpunkt 4.

Bilaga 6a. Kornfördelningskurvor för kohesions-jord

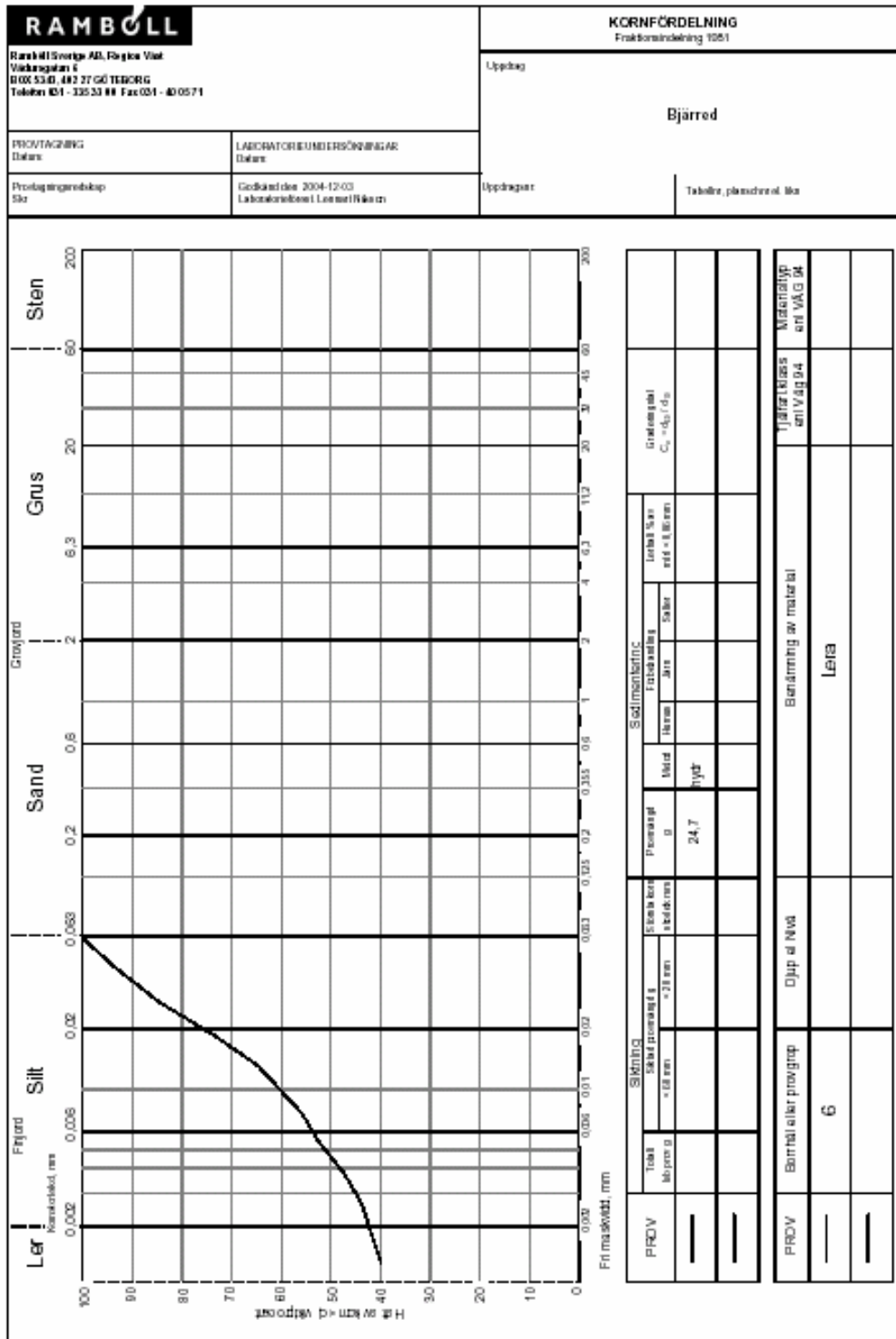
BILAGA



Figur 3. Slamningsresultat från provpunkt 5.

Stränderosion i Bjärred

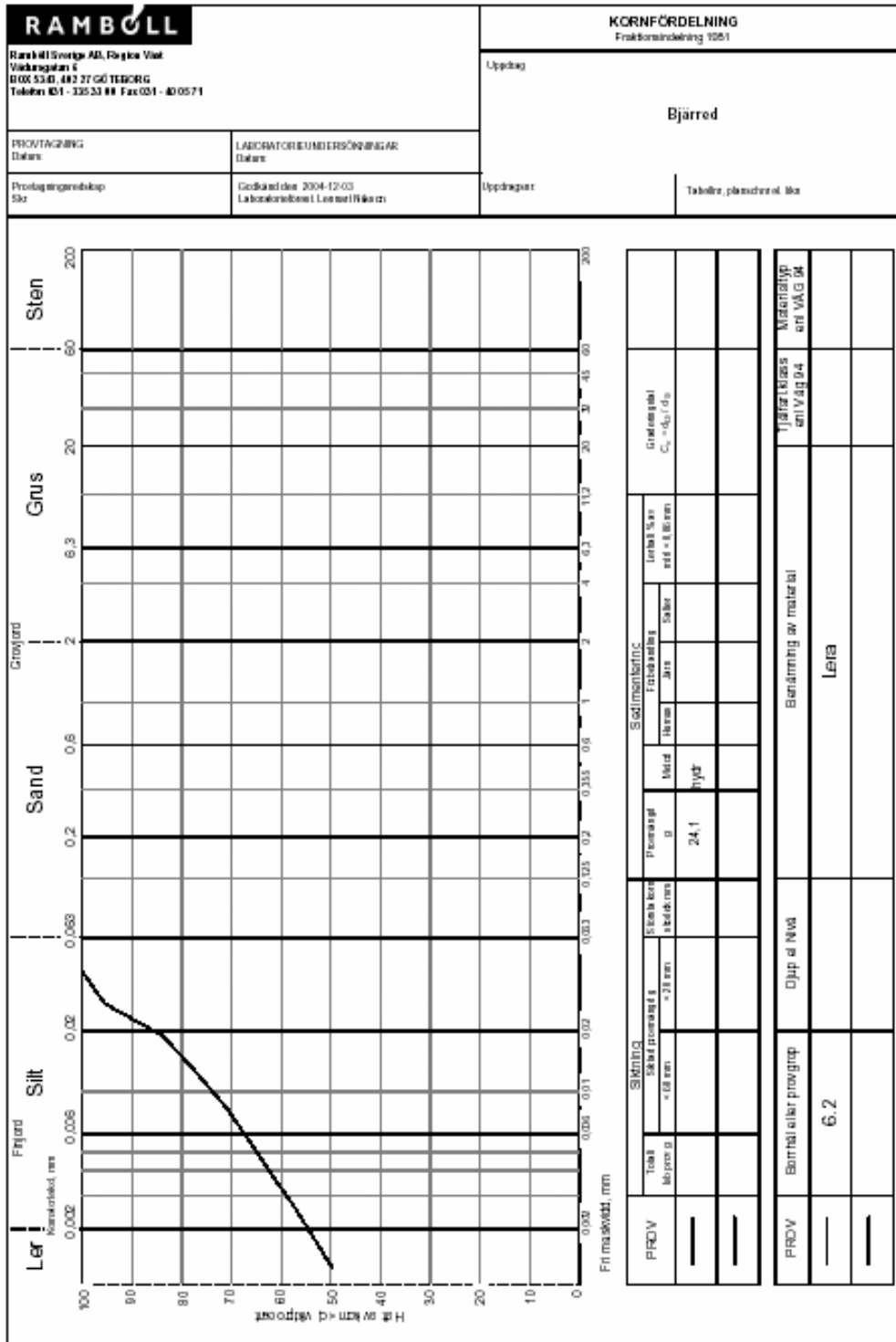
BILAGA



Figur 4. Slammingsresultat från provpunkt 6.

Bilaga 6a. Kornfördelningskurvor för kohesions-jord

BILAGA



Figur 5. Slammingsresultat från provpunkt 6.2.

