

Examensarbete  
TVVR 10/5002

# Översvämningssrisker och kusterosion i Landskrona stad

En övergripande studie med avseende på klimatförändringen



---

Maria Karlsson Green  
Sandra Martinsson



Division of Water Resources Engineering  
Department of Building and Environmental Technology  
Lund University

Avdelningen för Teknisk  
Vattenresurslära  
TVVR-10/5002  
ISSN-1101-9824

# Översvämningsrisker och kusterosion i Landskrona stad

*En övergripande studie med avseende på klimatförändringen*

Maria Karlsson Green  
Sandra Martinsson



## Förord

Examensarbetet Översvämningsrisker och kusterosion i Landskrona stad – *en övergripande studie med avseende på klimatförändringen*, har utförts under tidsperioden september 2009 – januari 2010 på uppdrag av Landskrona stad. Ett stort tack riktas till vår handledare Hans Hanson, professor vid avdelningen för Teknisk vattenresurslära vid Lunds Tekniska Högskola, som har besvarat våra frågor och guidat oss under arbetets gång. Arbetet har utförts i samarbete med konsultföretaget SWECO som har ställt upp med resurser och handledning. Ett särskilt tack riktas därför till Björn Almström och Olof Persson vid avdelningen för Kust och Vattendrag. Även professor Magnus Larson tackas för att han har tagit sig tid för våra frågor.

Kontakter med kommunen har i första hand gått via Claes Göran Jagenroth och Olle Nordell till vilka vi riktar ett tack för vägledningen. Christian Andersson och Peter Kasslid vid kommunens GIS-avdelning har varit till stor hjälp under arbetets gång, vilket vi är mycket tacksamma för. Fältstudier och profilmätningar vid Landskronas kust har utförts med hjälp av Stefan Persson, mättekniker vid Landskrona Kommun. Även strandförmannen Ragnar Björnsing har ställt upp vid våra fältobservationer och gett många värdefulla kommentarer. Till dessa personer riktar vi därför också ett stort tack för att de tagit sig tid.

För värdefull hjälp och vägledning med frågor och problem rörande GIS vill vi tacka Karin Larsson på GIS centrum, Lunds Universitet.

Tack riktas även till Thomas Hammarklint, Else-Marie Winqvist och Marcus Flarup vid SMHI, samt SMHI:s kundtjänst som har hjälpt oss med våra funderingar och frågor.

Maria Karlsson Green och Sandra Martinsson

Lund december 2009

# Sammanfattning

**Titel:** Översvämningsrisker och kusterosion i Landskrona stad – *en övergripande studie med avseende på klimatförändringen*

**Författare:** Maria Karlsson Green och Sandra Martinsson

**Handledare:** Prof. Hans Hanson, avdelning för Teknisk Vattenresurslära vid Lunds Tekniska Högskola och Björn Almström, SWECO Environment, avdelningen för kust och vattendrag.

**Problemformulering:** Landskrona stad är en av många kustnära städer som riskerar att drabbas hårt av en stundande klimatförändring. Den höjda havsvattenytan kommer leda till ökad erosion och en förändring av kustlinjens lokalisering på många platser. Redan idag finns upplevda problem med en tillbakadragande kustlinje. Vissa av kommunens områden är mycket låglänta och riskerar att översvämmas även under nutida förhållanden. Detta problem kommer med stor sannolikhet att bli mycket större i framtiden, då högvattenstånden kommer att öka. Detta leder sammantaget till att stora ekonomiska värden riskerar att sättas på spel och många viktiga samhällsfunktioner kan temporärt slås ut.

**Syfte:** Syftet med denna studie är att studera hur kustlinjen utmed Landskrona kommun har förändrats över tiden samt att analysera befintliga data för att kunna studera hur situationen ser ut idag med tanke på vindar, vattenstånd, vågklimat och uppspolning. Vidare görs prognoser för hur situationen kommer att se ut i framtiden. Dessa prognoser ligger till grund för beräkningar av sedimenttransporten i framtiden på kritiska delar av kuststräckan. Projektet syftar även till att studera hur en ökad havsnivå kommer att påverka Landskrona med tanke på översvämningsrisker.

**Metod:** Vind- och vattenståndsdata från SMHI analyseras för att beräkna vågklimat, uppspolning och erosion. Prognoser görs utifrån existerande trender och befintliga forskningsresultat. Där inga tydliga prognoser finns har scenarion valts för att illustrera känsligheten hos systemet. Kommunens flygbilder analyserades för att uppskatta kustlinjens förändring över perioden 1940 – 2008. Kustprofilmätningar och observationer gjordes på valda lokaler utmed kuststräckan. Digitala höjdkurvor från kommunen användes för att genomföra en översvämningsanalys.

**Slutsats:** Erosionsproblem har noterats längs med vissa partier av kuststräckan. Framförallt de norra delarna av kommunen förefaller att vara utsatta för erosion. Dessa delar av kommunen har ofta bebyggelse nära kusten, vilket kan bli problematiskt i framtiden. Även uppspolningen kommer med stor sannolikhet att orsaka problem i framtiden, framförallt på grund av den höjda medelvattenytan. En ökad vindhastighet under vintermånaderna kan ha betydande inverkan på den erosion som uppspolningen orsakar. Den kustparallella transporten ökade vid vissa lokaler markant i förhållande till den marginella förändring av vindstyrkan som gjorts.

De extrema högvatten som beräknades för framtiden förhållanden, visade sig orsaka stora problem för Landskrona stad. El- och avloppsnätet visade sig vara mycket utsatt vid framtida högvatten högre eller lika med 10 respektive 100 års återkomsttid.

**Nyckelord:** Landskrona, erosion, översvämnning, klimatförändring, vågor, uppspolning.

## Abstract

**Title:** Flooding and coastal erosion along the coast of Landskrona municipality – *a general investigation with respect to climate change*

**Authors:** Maria Karlsson Green and Sandra Martinsson

**Supervisors:** Prof. Hans Hanson, Department of Water Resources Engineering, Lund University and Björn Almström, SWECO Environment, Department of coasts and watercourses

**Presentation of problem:** Landskrona municipality is one of many coastal municipalities that suffer from great risks related to climate change. The sea level rise will cause increased erosion and will change the morphology of the coastline. Even today there are problems with a retreating coastline. Some parts of the municipality are located at very low levels and can be exposed to flooding already today and to a much greater extent in the future due to much increased high water levels. This will altogether jeopardize large economical values and large part of important technical systems can be temporarily out of function.

**Objectives:** One of the main objectives of this study is to investigate the change of the location of the coastline over time. In addition the study aims to analyze existing data in order to calculate the present situation regarding sea water levels, wind- and wave climate and to predict the situation in the future. Further, erosion due to runup and longshore transport are to be calculated for present and future conditions. The study also includes an investigation of which areas that are exposed to risks of flooding due to a rising sea level.

**Procedure:** Wind and water level data was received from SMHI and was analyzed in order to calculate wave climate, runup and erosion. Forecast was made based on existing trends and recent publications. In absence of forecasts, some scenarios were chosen in order to illustrate the sensitivity of the system. Aerial photos received from the municipality were analyzed in order to estimate the change in location of the coastline for the time period 1940 - 2008. Profile measurements and observations were performed on chosen locations along the coastline. Digital elevation contour lines from the municipality were used for analyzing flooding forecasts.

**Conclusion:** Erosion problems have been found along certain parts of the coastline. The northern parts of the coastline seem to be more exposed to this problem. Along these parts of the coast there are many vulnerable parts such as residential areas, which might be problematic in the future. Runup will most probably cause problems in the future, mainly due to the increased mean sea water level. An increase of wind speed during winter months can have significant effects on the erosion that is caused by runup. Also the longshore sediment transport can be increased significantly depending on location. The future extreme high water levels turned out to cause large problems for the city of Landskrona. The power distribution grid and waste water system was highly exposed when simulating future extreme water levels.

**Key words:** Landskrona, erosion, flooding, climate change, waves, runup.

# Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte.....	1
1.3	Avgränsningar.....	1
1.4	Disposition.....	1
2	Områdesbeskrivning.....	3
2.1	Geologi.....	3
2.2	Kusttyper.....	4
2.3	Värdefulla kustnära miljöer.....	6
2.4	Övergripande beskrivning av kuststräckan och lokalisering av befintliga erosionsskydd.....	7
3	Stranderosion – grundläggande teori.....	13
3.1	Orsaker.....	13
3.2	Konsekvenser.....	14
4	Havsvattenstånd.....	14
4.1	Sammanfattning.....	14
4.2	Tillgängliga data.....	15
4.3	Metodik.....	17
4.4	Analys.....	17
5	Havsnivåhöjning.....	21
5.1	Sammanfattning.....	21
5.2	Mekanismer.....	22
5.3	Tillbakablick.....	22
5.4	Framtid.....	27
6	Frekvensanalys.....	29
6.1	Sammanfattning.....	29
6.2	Metodik.....	29
6.3	Analys.....	30
6.4	Osäkerhet.....	34
7	Vindklimat.....	35
7.1	Sammanfattning.....	35
7.2	Tillgängliga data.....	35
7.3	Analys.....	35
7.3.1	Vindhastighet kontra vindriktning.....	35
7.3.2	Prognoser för vindklimatet i framtiden.....	36
8	Vindar och havsvattenstånd.....	40
8.1	Sammanfattning.....	40
8.2	Metodik.....	40
8.3	Analys.....	40
9	Vågor.....	42
9.1	Sammanfattning.....	42
9.2	Tillgängliga data.....	42
9.3	Metodik.....	42
9.3.1	Djupt vatten.....	42
9.3.2	Grunt vatten - brytande vågor.....	46
9.4	Analys.....	47
9.4.1	Djupt vatten.....	47

9.4.2	Brytande vågor .....	49
9.4.3	Vågor kontra vattenstånd .....	51
10	Uppspolning .....	53
10.1	Sammanfattning .....	53
10.2	Tillgänglig data .....	54
10.3	Metodik .....	54
10.3.1	Hunt's formel .....	54
10.3.2	Framtida uppspolning.....	55
10.4	Analys.....	56
10.4.1	Nutid.....	56
10.4.2	Framtid .....	66
11	Flygbildsanalys.....	73
11.1	Sammanfattning .....	73
11.2	Tillgängliga data.....	74
11.3	Metodik .....	74
11.4	Perioden 1940-2008 .....	75
11.5	Perioden 1940-1984 .....	77
11.6	Perioden 1984 – 2004.....	79
11.7	Perioden 2004 – 2008.....	81
11.8	Osäkerhet.....	83
12	Erosion .....	84
12.1	Sammanfattning .....	84
12.2	Tillbakadragande av kustlinjen till följd av en höjd medelvattenyta .....	84
12.2.1	Metodik .....	85
12.2.2	Analys.....	86
12.3	Vinkelrät sedimenttransport – nuvarande situation.....	87
12.4	Vinkelrät sedimenttransport - beräkningar.....	92
12.4.1	Metodik .....	92
12.4.2	Analys.....	94
12.4.3	Osäkerhet.....	98
12.5	Kustparallell sedimenttransport.....	99
12.5.1	Metodik .....	99
12.5.2	Analys – nuvarande situation .....	100
12.5.3	Analys - framtida kustparallell sedimenttransport .....	104
13	Översvämningsmodellering .....	107
13.1	Sammanfattning .....	107
13.2	Tillgängliga data.....	107
13.3	Metodik .....	107
13.4	Analys.....	108
13.4.1	Validering av digital höjdmodell.....	108
13.4.2	Översvämmade områden.....	109
13.4.3	Konsekvenser .....	121
13.4.4	Havsyttehøjningens effekter på Lundåkrabukten.....	124
14	Åtgärder och rekommendationer.....	126
14.1	Problemområden – sammanfattning.....	127
14.2	Erosion – funktionaliteten hos befintliga erosionsskydd .....	128
14.3	Förslag till åtgärder längs Landskronas kuststräcka .....	128
15	Slutsatser och diskussion.....	132
15.1	Rekommendationer .....	133
16	Referenser.....	134



16.1	Litteratur.....	134
16.2	Personlig kontakt.....	136
16.3	Internet .....	137
16.4	Ej publicerat .....	138
16.5	Övrigt .....	138
Appendix I – Härledning för brytande vågor.....		139
Appendix II – Sedimenttransport vinkelrät mot kusten.....		141
Appendix III – Beräknad kustparallell transport.....		142
Appendix IV – Kornfördelning.....		150
Appendix V – Inmätta kustprofiler.....		154
Appendix VI – Stryklängder.....		158

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Erosion och översvämningar är naturliga företeelser som alltid har, och alltid kommer att existera.

I takt med en pågående förändring av klimatet kommer situationen för många kustnära städer, världen över men även i Sverige, att förändras. Detta är ett problem som man i många svenska kommuner inte tidigare har behövt handskas med och därmed saknas ofta den nödvändiga kompetens och erfarenhet som krävs för att lösa dessa komplexa problem. Ofta är det stora ekonomiska värden som sätts på spel om kustlinjens läge skulle förändras genom erosion eller genom att landområden hamnar under vatten. Dessa ekonomiska värden utgörs dels av kustnära byggnader och infrastruktur men även av det ekonomiska värde som kusten har ur ett rekreativperspektiv d.v.s. som attraktion för turister och lokalbefolkning.

Det är av intresse för många kommuner att få en bild av hur just deras kustlinje kommer att påverkas och förändras men ofta finns kanske inte tid eller finansiella medel för att genomföra denna typ av studier.

## 1.2 Syfte

Syftet med denna studie är att studera hur kustlinjen utmed Landskrona kommun har förändrats över tiden samt att analysera befintliga data för att kunna studera hur situationen ser ut idag med tanke på vindar, vattenstånd, vågklimat och uppspolning. Vidare görs prognoser för hur situationen kommer att se ut i framtiden. Dessa prognoser ligger till grund för beräkningar av sedimenttransporten i framtiden på kritiska delar av kuststräckan. Projektet syftar även till att studera hur en ökad havsnivå kommer att påverka Landskrona med tanke på översvämningrisker.

## 1.3 Avgränsningar

Arbetet syftar ej till att grundligt studera hela kommunens kustlinje utan skall mer betraktas som en översiktlig studie vilken skulle kunna användas som underlag inför vidare undersökningar. Ven är ej inkluderad i studien eftersom problemen där är allt för komplexa för att lösas inom ramen av detta examensarbete. Det framtidsscenario som tas i beaktande sträcker sig ca 100 år framåt i tiden. Inga beräkningar har gjorts på strömmar.

Projektet kommer inte att ta hänsyn till förändringar av nederbörden i samband med en klimatförändring.

## 1.4 Disposition

Rapporten inleds med en övergripande beskrivning av kommunen och dess karaktär (kapitel 2). Vidare ges en mycket kortfattad beskrivning av den teoretiska grund som ligger bakom relevanta processer i denna studie (kapitel 3).

En jämförande analys av havsvattenstånd ges i kapitel 4. Därefter görs en prognos för framtiden (kapitel 5) och en frekvensanalys av befintliga data (kapitel 6). Vindklimatet diskuteras i kapitel 7 och jämförelse av samtida vindar och havsvattenstånd ges i kapitel 8. Vinddata används därefter för att beräkna vågklimatet i kapitel 9. Uppspolning diskuteras i kapitel 10 där också beräkningsresultat presenteras för olika delområden.

Flygbilderna analyseras i kapitel 11, där en studie görs över kustlinjens förändring över tiden. Beräkningar och uppskattningar av erosionen till följd av vinkelrät respektive kustparallell sedimenttransport görs i kapitel 12. Där diskuteras även allmänt hur en höjd medelvattenyta kan påverka en kuststräcka.

I kapitel 13 redovisas en analys av hur extremvattenstånd kan påverka kommunen idag och i framtiden.

Övergripande diskussion kring åtgärder och rekommendationer ges i kapitel 14. Därefter sammanfattas de viktigaste slutsatserna mycket kort i kapitel 15.

## 2 Områdesbeskrivning

I detta kapitel presenteras en kort beskrivning av Landskrona kommun och dess naturliga förutsättningar som är av relevans i denna studie.



Figur 2-1 – Karta över Landskrona kommun (hitta.se, 2009)

### 2.1 Geologi

Vid kuststräckan söder om Borstahusens hamn och ända ner till kommungränsen dominerar jordarterna sand, grus och grovmo, som oftast besitter en mäktighet upp till 2.5 meter. Det finns även vissa inslag av moränlera, exempelvis utanför Häljarp. Ett område med deltakaraktär uppträder vid Saxåns mynning.

Stadskärnan är uppbyggd på grovmo och sand (SGU serie Ae nr 27, 1976). Utanför centrum, med början strax norr om Citadellet och med slut vid Axeltofta, har en utfyllnad av staden upprättats. Den består till största delen av sand och mo men här finns även andra jordarter representerade. Mäktigheten av fyllningen varierar mellan 2 och 4 meter (Ringberg, 1976). Då man förflyttar sig längre in mot land är det främst moränlera som förekommer, med vissa inslag av sand.

Då man rör sig norröver Borstahusens hamn går det att konstatera att karaktären av jordarterna är densamma för kuststräckan här, d.v.s. de domineras av sand grus och mo. Dock är utbredningen av dessa inåt land betydligt mindre (SGU serie Ae nr 16, 1974).

Uppe vid Ålabodarna i norr är det lera som är den dominerande jordarten och halten av ler och silt i sedimenten är mycket hög. I området saknas dock sten och block nästan helt och hållet (Adriellsson *et al*, 1981). Kuststräckan utanför Ålabodarna karaktäriseras av sand. Norr om Hildesborg karaktäriseras kuststräckan av mycket branta partier (SGU, serie Ae nr 16, 1974), så kallade klintkuster. Vid Glumslövs backar består dessa klintkuster av löst deponerat material (SNA, 1992).

Den maringeologiska sammansättningen längs med Landskronas kuststräcka består till största delen av sand. Sandiga bottenar tyder ofta på en aktiv transport av material i området (SNA, 1992). Förutom sand finns också ett litet område utanför citadellet som består av så kallad hårbotten. Denna kan i sin tur vara mycket varierande, och bestå av deposition av inlandsis, eller grus, stenar och block. Karaktären på den hårda botten kan vara ett resultat av erosionsproblem i området där finkornigt material har spolats bort till andra, djupare områden i närheten (SNA, 1992).

Bottentopografin visar att det är mycket långgrundt utanför Landskronas kust. Djupen varierar mellan 0-25 meter enligt National Atlas of Sweden, och efter studier av sjökort visar en grov beräkning att ett djup på 20 meter nås ca 2,8 km ut från kusten på någon av de mer långgrundade delarna av kusten.

## **2.2 Kusttyper**

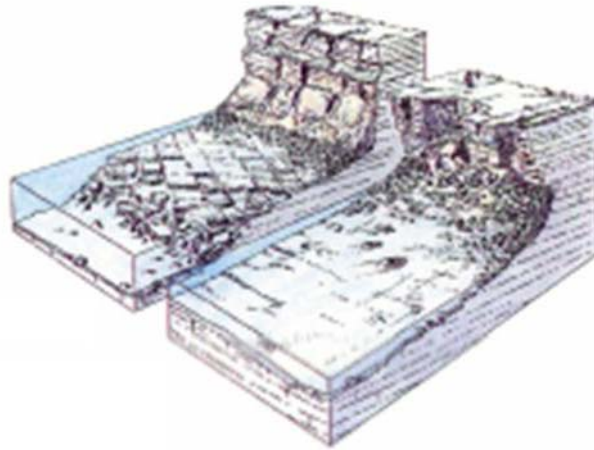
Vid studie av Landskronas kuststräcka, dels med hjälp av flygbilder, och även vid fältstudierna, har det gått att fastställa att kuststräckan består av tre olika kusttyper.

- Klintkust
- Sandig kust
- Deltakust

### *Klintkust*

Klintkuster (Figur 2-2) har som egenskap att de består av branta slänter där vågorna har orsakat ras och skred och tagit med sig rasmassor ut i havet (SNA, 1992). Klintkuster kan bestå antingen berg eller jord (SNA, 1992). Klinterna i Landskrona kommun består som redan nämnts av löst deponerat material. Området utanför Glumslöv kallas för Glumslövs backar och branterna kan där nå höjder på över 100 meter över havet (LST, 2009). Branterna utgör habitat för en rad specialiserade djur- och växtarter som har nischat sig på att leva under dessa mycket speciella förhållanden som en klintkust erbjuder.

I Landskrona är det klintkust från Hildesborg upp till strax söder om Glumslöv. Denna sträcka av kusten är naturreservat och således skyddad mark. Det pågår en ständig erosion av backarna. Det som händer är att vågor och vatten gräver sig in vid foten av klinterna och orsakar ett tomrum, detta leder till att material kommer att rasa nedåt och en ny klintprofil bildas. Eftersom det är skyddade områden får man inte göra något för att hindra erosionen vilken således kommer att fortlöpa längs med sträckan. Det eroderade materialet från klinterna kommer då att tjäna som sedimentkälla.

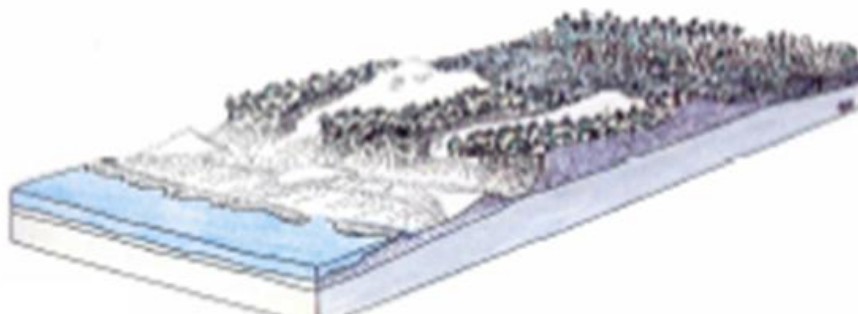


**Figur 2-2 – Exempel på klintkust (Rankka och Rankka, 2003).**

### *Sandig kust*

Denna typ av kust (Figur 2-3) kännetecknas av en bred strand där dyner har bildats en bit upp på stranden av vindar som har blåst finkornig sand inåt land och deponerat det där de stöter på hinder, t.ex. vid vegetation (SNA, 1992). Sanddynerna kan vara av stor betydelse för en strands stabilitet om de får vara ostörda och inte blir bebyggda. Erosion av dessa, till följd av stormar, kan således utgöra ett stort hot.

En kort sträcka längst upp i norr i Landskrona kommun utgörs av sandig kust och även en liten del av kusten strax norr om Ålabodarna. Sedan återfinns sandiga kuster utmed golfbanan och söder om denna, samt utanför campingen. Det är också badstränder vid Borstahusens hamn och vid vattentornet. Även en liten sträcka längst i söder utgörs av sand.



**Figur 2-3 – Exempel på sandig kust (Rankka och Rankka, 2003).**

### *Deltakust*

Deltakuster uppstår vid floders och åars mynningar (Figur 2-4). De består av material som vattendragen har transporterat med sig och som de sedan avsätter där de möter havet. De grövsta materialen påträffas närmast mynningen och mer finkorniga material avsätts längre ut i havet. Under tiden som material avsätts, förgrenas ån och ett trädliknande mönster uppstår i området. Detta är vad som kan ses på sidorna om Saxåns mynning och söderut mot Saxtorpsskogen.



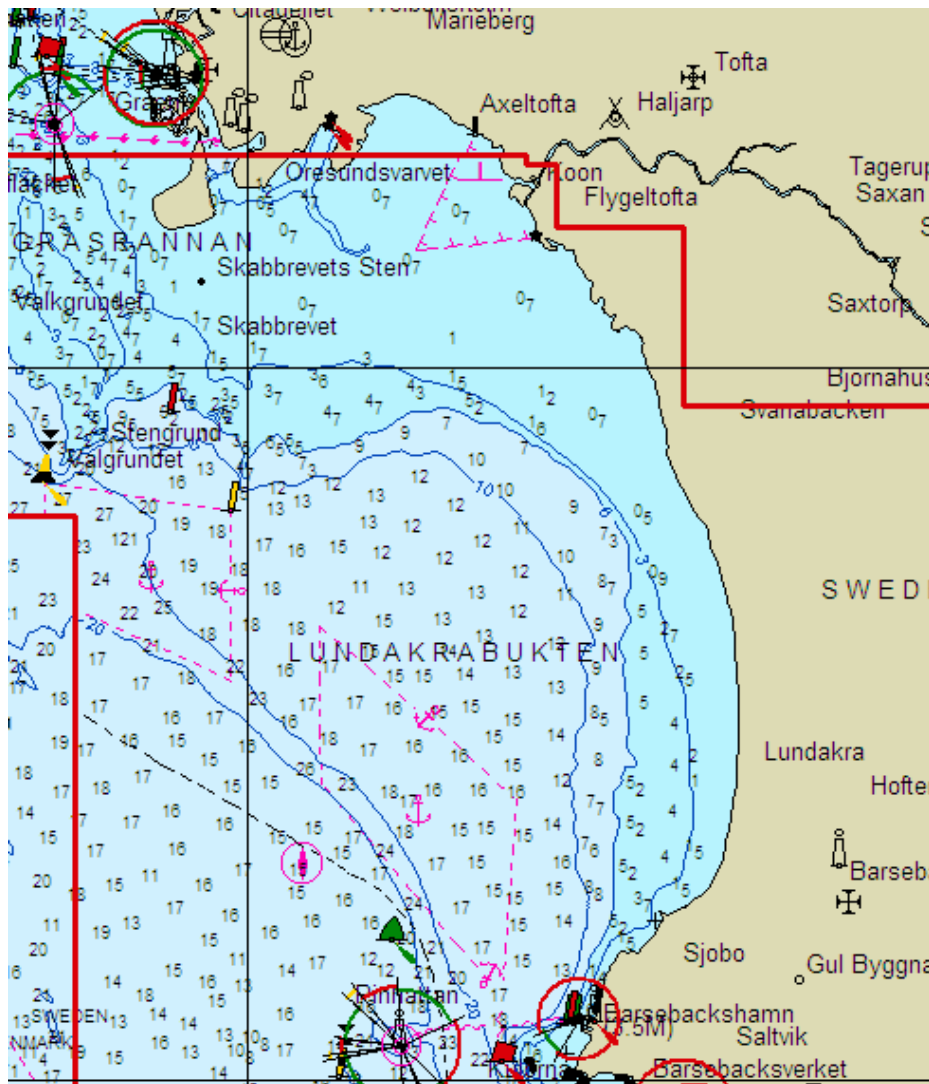
Figur 2-4 – Exempel på deltakust (Rankka och Rankka, 2003).

### 2.3 Värdefulla kustnära miljöer

Landskrona kommun omfattar många intressanta områden ur naturvärdessynpunkt. Branta erosionsutsatta partier bestående av klintkust återfinns i de norra delarna av kommunen, mellan kommungränsen och Ålabodarna samt söder om Rustningshamnen. Dessa områden är bland annat av stort geovetenskapligt intresse (Persson, J., 2009).

Ett annat kustnära område med höga naturvärden är regionen kring Saxåns mynning, beläget i Lundåkrabukten (Persson, J., 2009). Här återfinns mycket flacka, betade ängar samt långgrunda havsbottnar. Området är på grund av sitt läge ofta utsatt för översvämningar vilket skapar en speciell miljö. Eftersom det är ett gränsland mellan salt och sött vatten, finns här en flora som innehåller några mer salttåliga arter (Persson, J., 2009). Betningen av ängarna skapar en gynnsam miljö för många våtmarksfåglar (Persson, J., 2009). Denna del av kommunen utgör ett område som är intressant och betydelsefullt ur flera perspektiv. Saxåns mynning är ett naturreservat bildat 1972 (Jansson, 2005). Vidare är området mellan Saxån och Järvallen i Kävlinge kommun ett Natura 2000 område (Jansson, 2005). Förutom detta, är området klassificerat som ett Ramsar område sedan 2001 (Jansson, 2005). Ramsarkonventionen är till för att skydda viktiga våtmarksområden, från början med syftet att skydda fågellivet (NE, 2009). Dock har konventionen modifierats efterhand och kan nu även handla om exempelvis skydd av grunda havsbottnar (NE, 2009). I detta fall är området viktigt både med avseende på fågellivet och fisklivet. Hela Lundåkrabukten är på grund av dess långgrunda karaktär en mycket viktig lokal för både fåglar och havslevande djur. I Figur 2-5 visas sjökort över Lundåkrabukten där det syns att det finns stora arealer med ett djup på mindre än 3 m. In mot Axeltofta och Saxåns mynning råder riktigt grunda förhållanden, där djupet enligt sjökortet är 0,7 m.

Grunda botten är viktiga av flera skäl. Dels påverkas området av det utflödande sötvattnet från ån som ofta för med sig en del näringsämnen. Dessa grunda botten bör därför vara ganska produktiva. Temperaturen är också högre. Detta sammantaget skapar en gynnsam miljö för yngel (Nummelin, 2008). Bortsett från reproduktion utnyttjar fiskar även lokalen för att söka föda (Svensson, 1998). Den rika förekomsten av växter, fisk och andra organismer gör att även fåglar söker sig hit för att finna föda, rasta och i vissa fall även övervintra (Svensson, 1998).



Figur 2-5 – Sjökort över Lundåkrabukten (© C-map Norway, 1996).

Även områden som inte har ett naturligt ursprung kan vara gynnsamma miljöer för flora och fauna. Detta är Gråen ett bevis på. Denna ö är en rest av en gammal, aldrig avslutad försvarsanläggning från 1700-talet (Persson, J., 2009). Även om miljön inte är särskilt varierande återfinns här både sällsynta växtarter såväl som ett rikt sjöfågelliv (Persson, J., 2009). Gråen blev ett reservat 1952 (Svensson, 1998).

## 2.4 Övergripande beskrivning av kuststräckan och lokalisering av befintliga erosionsskydd

Stora delar av kommunens kuststräcka är idag belagd med stenskonung i varierande skick. Även om stenskonungen inte framträder tydligt på alla ställen, finns tecken på att det en gång i tiden lagts ut en stenskonung. Då det inte finns någon dokumentation kopplade till anläggandet av dessa stenskonungar, baseras denna text på författarnas observationer och samtal med insatta personer.





**Figur 2-6 – Lokalisering av befintliga stenskoningar.**

I Figur 2-6 visas vart det idag finns någon typ av stenskoning, främst baserat på studier av flygfoton. Söder om kommungränsen finns bland annat sträckor bestående av den branta klintkust som omnämndes tidigare. Omedelbart söder om gränsen finns Fortuna strand där några villor är belägna. Här förefaller inte finnas någon synlig stenskoning. På flygbilder syns antydningar till att det finns någon typ av mindre betongmurar vars syfte skulle kunna vara att hindra uppspolning att nå villatomterna. Omedelbart söder om Fortuna strands villor syns ett par kortare stenvallar lokaliserade ungefär vid vattenbrynet. Ursprunget är oklart, men är rimligen ett försök att hindra vågornas verkan. Då det i dagsläget inte förefaller ligga något av större skyddsvärde i anslutning till dessa stenvallar, är det sannolikt att dessa stenvallar tillkommit långt tillbaka i tiden.

Därefter följer en sträcka med klintkust som sträcker sig ned till Ålabodarna. Utmed klintkusten verkar det på sina ställen finnas större stenar utmed strandlinjen. Då dessa stenar inte verkar vara så många kan de ha naturligt ursprung och ha uppkommit genom tiderna då klintkusterna rasat efterhand som stormar har utsatt kusten för starka krafter. Det kan också vara rester från mycket gamla stenvallar som genom tiderna fragmenterats av vågornas inverkan.

Strax norr om Ålabodarnas hamn verkar det finnas en del kortare sträckor med stenskonig. I denna region finns mycket sporadiskt förekommande sten av varierande storlek precis vid vattenlinjen samt på stranden. Detta kan vara ett tecken på att de stenskoningar som en gång anlagts har utsatts för kraftig överspolning och stenarna spridits ut. Det verkar osannolikt att de större stenarna skulle härröra från området eftersom jordarten sannolikt är ganska finkornig i övrigt.

Vid Ålabodarna blir stenskoningarna mer tydliga. Här finns även uppmurad stenskonig s.k. glacis. Även här förekommer dock mycket större sten ute i vattenbrynet, vilket kan vara delar av stenskoningar som förstörts av uppspolningen. Söder om Ålabodarna löper stenskoningen vidare med ett uppehåll vid den badplats (Figur 2-7) som är belägen söder om själva byn, där det av praktiska skäl inte finns någon markant stenskonig. Omedelbart norr om badplatsen finns en stenhövd. Efter badplatsen finns det en sträng av stenar precis vid vattenbrynet. Därefter verkar en kraftigare stenskonig ta vid.



**Figur 2-7 – Badplats söder om Ålabodarna. En stenhövd kan noteras i norr samt en smalare stenvall i söder.**

Det finns områden där stenskoningarna försvagats och tecken på att vattnet gräver sig inåt. Detta kan skönjas i trakterna mellan Ålabodarna och Sundvik (Figur 2-8).



**Figur 2-8 – Tecken på försvagad stenskoning på sträckan mellan Ålabodarna och Sundvik.**

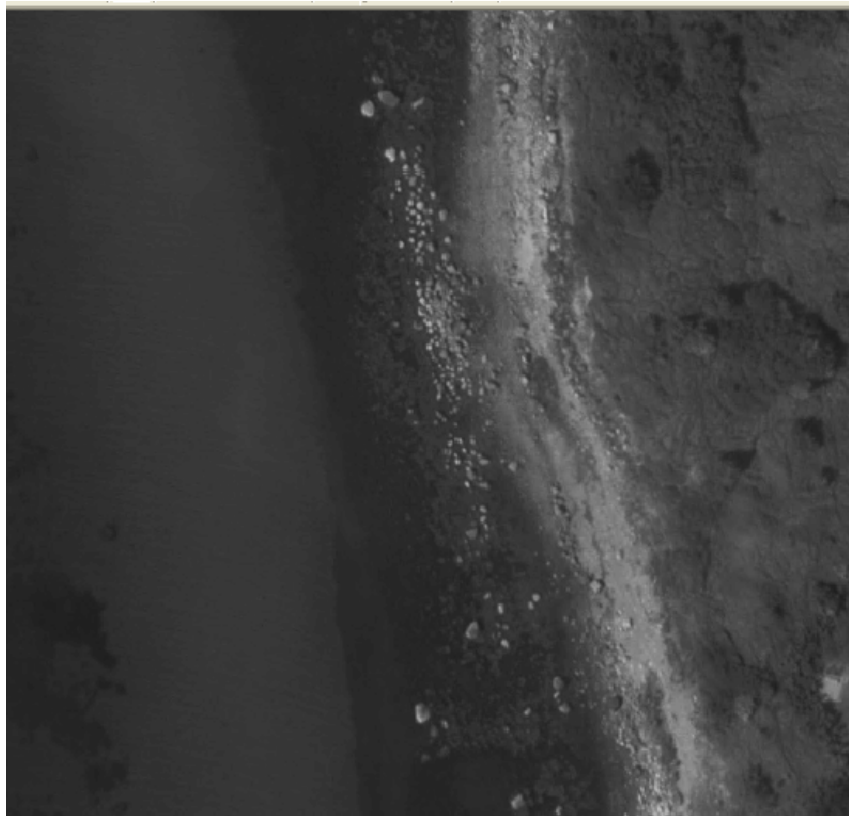
Strax norr om Sundvik förefaller de mer systematiskt utlagda stenarna sluta. Man kan också under stenarna skönja rester från de tegelbruk som en gång legat här, då man förr i tiden slängde ut rester från tegelbruken vid kusten (Sundevall, 2009). En stenskoning som till viss del raserats och de underliggande tegelresterna blottlagts, visas i Figur 2-9.



**Figur 2-9 – Stenskoning på sträckan mellan Ålabodarna och Sundvik där underlaget har blottlagts och tegelrester är synliga.**

Söder om Sundvik finns ett par stenhövder som är resultatet från ett projekt genomfört av en privatperson (Sundevall, 2009). Även mellan Sundvik och Rustningshamn kan en mängd stora stenar observeras ute i vattnet och in mot stranden (Figur 2-10). Strax söder om

Rustningshamn verkar stenskoningen sluta och en brantare klintliknande kuststräcka ta vid. Mellan Rustningshamn och Hildesborgs gård kan det skönjas att en sträcka med mer systematiskt förekommande smala stenvallar tar vid. Detta är sannolikt rester från stenar som en gång i tiden lagts ut för att skydda kusten från erosion (Molin, 2009). Då detta gjordes är svårt att säga, men sannolikt väldigt långt tillbaka i tiden. Enligt källor skulle det kunna härröra från tidsperioden 1930 till 1940 (Molin, 2009). Dessa systematiskt utlagda stenar är inte längre synliga då golfbanan tar vid, även om det enligt källor har lagts ut sten ungefär hela vägen från badplatsen vid Lill-Olas väg upp till Sundvik (Molin, 2009). På de ställen där endast sporadiskt förekommande större stenar nu är synliga kan det vara så att detta är gamla rester från stenar som lagts ut för mycket längesedan.



**Figur 2-10 – Större stenar som observerats norr om Rustningshamn.**

Den sträcka som saknar synligt erosionskydd tar vid ungefär vid den norra delen av golfbanan och sträcker sig ned mot campingen. Där tar en stenskonig igen strax norr om de vågbrytare som är lokaliserade mittemot campingen. Vågbrytarna är tre till antalet och är uppskattningsvis ca 70 m långa. Omedelbart norr om Borstahusens hamn finns också en kortare strand utan stenskonig. Söder om Borstahusens hamn återkommer stenskoningen med undantag för en kort sträcka omedelbart söder om hamnen som sannolikt används vid upptagning av båtar. Denna stenskonig sträcker sig obruten ned till strax norr om Lindshamnen där den slutar. Anledningen till att denna skonig inte sträcker sig ända till hamnen beror endast på motstånd från lokalbefolkningen då denna skulle byggas (Knutsson, 2009). Söder om Lindshamnen ned mot stenpiren sträcker sig vad som verkar vara en något smalare och mindre stenskonig. Stenpiren är gammal och härrör sannolikt från krigstiden (Jagenroth, 2009).

Sträckan ned mot och förbi strandpaviljongen är skyddad av en brantare, uppmurad stenskoning s.k. glacis. Vid vattentornet har en stenvall/stenskoning lagts ut i vattnet (Figur 2-11). Från kallbadhuset och ca 300 m österut finns en sträcka med stenskoning.



**Figur 2-11 – Stenar som lagts ut på stranden vid vattentornet.**

Vid Varvsudden skall det enligt uppgift finnas stenskoning som sträcker sig in mot själva hamnen (Jagenroth, 2009). Söder om denna punkt finns inga ytterligare kustskyddande strukturer.

Därefter verkar det som att stenskoningar eller andra kustskyddande konstruktioner saknas på resterande del av kommunens kuststräcka.

### 3 Stranderosion – grundläggande teori

Nedan följer en kort beskrivning av fenomenet stranderosion. Detta för att ge läsaren en inblick i ämnet vilket skall underlätta förståelsen av de kapitel som presenteras längre fram i rapporten.

Det sker ständigt en omplacering av sand vid kusterna. Vid vissa tillfällen kommer sand att tillföras en lokal och vid andra tillfällen kommer sand att föras bort från samma lokal. Så länge jämvikt existerar mellan tillförsel och borttransport är strandens överlevande säkrad. Men om material transporteras från stranden i snabbare takt än det tillförs material, är jämvikten rubbad och stranden kommer att förändra form och minska i storlek. Det är detta fenomen som kallas erosion.

Med begreppet erosion menas alltså att det har skett en förlust av material; mer material har bortforslats än tillkommit en viss plats under en viss tid. Stranden kan läka erosions-skador, men det krävs då ett mycket brett strandplan och vindar som blåser in sand över detta (Åkesson *et al*, 2008).

#### 3.1 Orsaker

Erosion av stränder är en fullkomligt naturlig process vars omfattning styrs av en mängd olika faktorer, till exempel sammansättningen av material på stranden. Fint material är lättare för vatten eller vind att lyfta och bära med sig, medan mer grovkorniga material har större motståndskraft. Även strandens form är avgörande för erosionens utbredning. Vid flacka stränder har vågor längre sträcka att frigöra energi på och har därför inte lika stor kraft att bära med sig material, medan branta stränder är betydligt mer utsatta. Flacka stränder karakteriseras därför av finkorniga material och vid brantare stränder är det grövre kornstorlekar som dominerar (Rankka och Rankka, 2003).

Kusterosion uppkommer till stor del vid kraftiga stormar. Stormarna orsakar en tillfällig höjning av vattenytan, vilket gör att vågorna når högre och kan orsaka erosion av dyner längre inåt land (Zhang *et al*, 2004).

Vindgenererade vågor och höga vattennivåer är de orsaker till erosion som kommer att behandlas i denna rapport. Mänskliga aktiviteter kan också påverka erosion i olika grad, exempelvis genom anläggning av hamnar, dammar och liknande konstruktioner. Denna antropogena inverkan är dock ej behandlad här. Även is, strömmar och vindar eroderar kusterna.

## 3.2 Konsekvenser

Konsekvenser som uppkommer till följd av kusterosion kan bli omfattande och innebära stora problem för många kustnära kommuner runt om i Sverige. Det går att dela in dessa grovt i tre olika kategorier enligt MESSINA (2006):

- Områden med ekonomiska eller ekologiska värden förloras. Till exempel turismanläggningar, infrastruktur och naturreservat.
- Strändernas naturliga kustskydd, förstörs vilket leder till översvämning av bakomliggande områden. Exempel på naturliga kustskydd är sanddynor.
- Anlagda strandskydd undermineras.

När kustens morfologi förändras kan det helt enkelt leda till att mark rasar och försvinner (Åkesson *et al.*, 2008) och mycket höga ekonomiska värden står på spel. Många kommuner utmed kusten kommer att drabbas och det krävs noggrann planering och vetenskapligt understödda metoder för att kunna hantera framtida problem.

Det är viktigt att komma ihåg att då man anlägger kustskydd vid en delsträcka av kusten, så kan det komma att påverka erosionsprocesser vid intilliggande delsträckor. Det är mycket vanligt att problemen med erosion enbart förflyttas till andra lokaler. Vågorna som hindras av kustskydd har fortfarande mängder av energi att frigöra och kommer att göra det på annan plats med resultat att sediment kommer att forslas bort vid lokaler bredvid det anlagda skyddet.

## 4 Havsvattenstånd

### 4.1 Sammanfattning

En havsvattenyta befinner sig ständigt i rörelse och på olika nivåer i förhållande till land. Det är detta förhållande mellan havsnivå och land som kallas för havsvattenstånd och som är av betydelse när det gäller analys av exempelvis översvämningens risker. I Sverige pågår en landhöjning som resultat av inlandsisens tillbakadragande och det upplevs då som att havet sjunker. I de södra delarna av Sverige har dock denna landhöjning i princip avstannat och havsnivåhöjningen överstiger landhöjningseffekten (SMHI I, 2009).

En rad olika faktorer påverkar havets nivå och dess kortsiktiga förändringar. Några av dessa, utöver redan nämnda landhöjning, är lufttryck, vindar och vattnets densitet (SMHI I, 2009). Enligt studier utförda av Larson & Hanson (2008) är det dock vindarna som har störst inverkan på vattenståndet i de södra delarna av Sverige. Havsnivåerna fluktuerar kring en medelnivå under året, mest frekventa högvattenstånd inträffar under vintern. Långsiktiga förändringar av havsvattenstånd diskuteras mer utförligt i kapitel 5 om framtida scenarier.

Jämförande analyser av havsvattenstånd från mätstationer i Klagshamn, Viken samt Barsebäck genomfördes. Detta för att undersöka homogeniteten av havsnivåer längs med Öresundskusten. Det framkom att mätningar från Barsebäck och Viken stämde bra överens med varandra gällande högvattenstånd och fluktuationer. Klagshamn följde andra fluktuationsmönster, troligtvis för att denna station ligger söder om Öresundsbron. Det är nämligen vanligt att det dras en gräns för när högvattenstånd inträffar, ungefär där

Öresundsbron idag är lokaliserad. Dock har bron i sig inget med fenomenet att göra. Data från Viken och Barsebäck anses därför vara representativ för havsvattenstånd i Landskrona, då mätstationen där är nedlagd. Dessa stationer används således i beräkningar för framtida förhållanden.

## **4.2 Tillgängliga data**

Mätserier med observerade havsvattenstånd från mätstationer i Viken, Barsebäck samt Klagshamn har använts i analysen. Dessa tre mätstationer valdes ut för att de ligger geografiskt nära Landskrona. Landskronas egen mätstation är nedlagd och därför är det lämpligt att undersöka närliggande stationer för att se om de kan anses vara representativa för kommunen i fråga. I Figur 4-1 visas 3 mätstationer för havsvattenstånd i Skåne.

På kortast avstånd till Landskrona befinner sig stationen i Barsebäck. Denna station uppskattas ligga 14 km från stadskärnan i Landskrona, med utgångspunkt i Barsebäcks hamn. Viken ligger på ett avstånd av ca 32 km från Landskrona centrum, alltså drygt dubbelt så långt ifrån staden som Barsebäck och dessutom väldigt långt norrut i Öresund. Stationen i Klagshamn är den som är längst från Landskrona, ca 40 km söder om stadskärnan.

Eftersom Viken ligger mycket långt norrut är området nordväst om Viken inte lika smalt som området om man befinner sig längre söderut i sundet som både Barsebäck och Klagshamn gör. Således kan det tänkas att Viken är utsatt för ett annorlunda vindklimat än de bägge andra stationerna. Det är därför intressant att utföra jämförelsen för att se om det kan antas att havsvattenstånd betar sig homogent oavsett lokal i sundet.

Havsvattenstånd kan redogöras för i olika så kallade referenssystem baserade på olika fixa punkter. Det senaste nationella höjdsystemet är RH2000 (Rikets Höjdsystem 2000) och togs officiellt i bruk 2005. RH2000 baseras på 50 000 fixpunkter spridda över landet och är efterträdare till referenssystemet RH70 (Rikets Höjdsystem 1970). Nollpunkten för RH2000 är en punkt i Holland vilken är samma för många europeiska länder (Lantmäteriet, 2009). Det finns även lokala referenssystem runt om i landet Dessa betecknas HW och är specifikt knutna till varje enskild plats. Ekvationer finns för att kunna transformera vattenståndsdata mellan de olika höjdsystemen. Vid många analyser är det av intresse att studera havsvattennivåer relativt en apparent eller absolut landhöjning. Mätserier i sådana referenssystem finns tillgängliga via SMHI som observerar havsvattenstånd längs med hela Sveriges kust.





Figur 4-1 – Karta över 3 mätstationer för havsvattenstånd i Skåne (Google maps, 2010)

Eftersom Klagshamn befinner sig på ett relativt stort avstånd från Landskrona och de två övriga stationerna är det möjligt att havsnivåerna där beter sig annorlunda. Det är nämligen vanligt att det dras en gräns för när högvattenstånd inträffar, ungefär där Öresundsbron idag är lokaliserad. Dock har bron i sig inget med fenomenet att göra. Söder och öster om denna punkt uppkommer högvattenstånd vid andra väderleksförhållanden än för områden norrut (Åkesson *et al.*, 2008). Eftersom Klagshamn är lokaliserad söder om denna punkt kan det komma att resultera i ett annat beteendemönster vid denna station.

Klagshamn är den längsta mätserien och sträcker sig från 1929-11-13 till 2009-05-07, dock uppvisar den vissa luckor i mätningarna. Tillgängliga serier från Viken och Barsebäck är betydligt kortare. Mätserien från Viken sträcker sig från 1976 till 2009, medan mätserien från Barsebäck löper mellan åren 1938 och 1969, 1982 samt även mellan åren 1992 och 2009, också med vissa år då mätningarna har varit bristfälliga. Data består av mätningar gjorda var 10:e minut.

Datan som erhöles från SMHI har sedan bearbetats för att vara lämplig för respektive analys. Samtliga jämförelser av vattenståndsdaten är utförda i referenssystemet RH2000.

I Tabell 4-1 presenteras värden på landhöjningen för respektive mätstation. Från SMHI erhöles ett uppmätt värde för Klagshamn och ett uppskattat värde för Barsebäck emedan något värde för Viken inte alls fanns dokumenterat (SMHI II, 2009). För att få en uppskattning över även Vikens årliga landhöjning utfördes en viktad interpolation mellan värdet för Klagshamn och ett värde för Varberg (0,2 cm/år).

**Tabell 4-1– Landhöjning för de tre mätstationerna i cm per år.  
Värden för Barsebäck och Klagshamn erhållna från SMHI.  
Värdet för Viken är uppskattat.**

Lokal	Landhöjning (cm/år)
Viken	0,14
Barsebäck	0,1
Klagshamn	0,1

Då alla tre mätstationerna ligger nära varandra och det endast är Klagshamn som har ett observerat värde att tillgå, ansågs dock landhöjningen ändå vara försumbar i denna jämförande analys.

### **4.3 Metodik**

Analysen syftar till att undersöka eventuell korrelation mellan mätserier från de tre mätstationerna i Viken, Barsebäck och Klagshamn. Detta för att sedan kunna sluta sig till vilken av stationerna som kan tänkas vara representativ för Landskrona och framtida analyser gällande havsnivåer där.

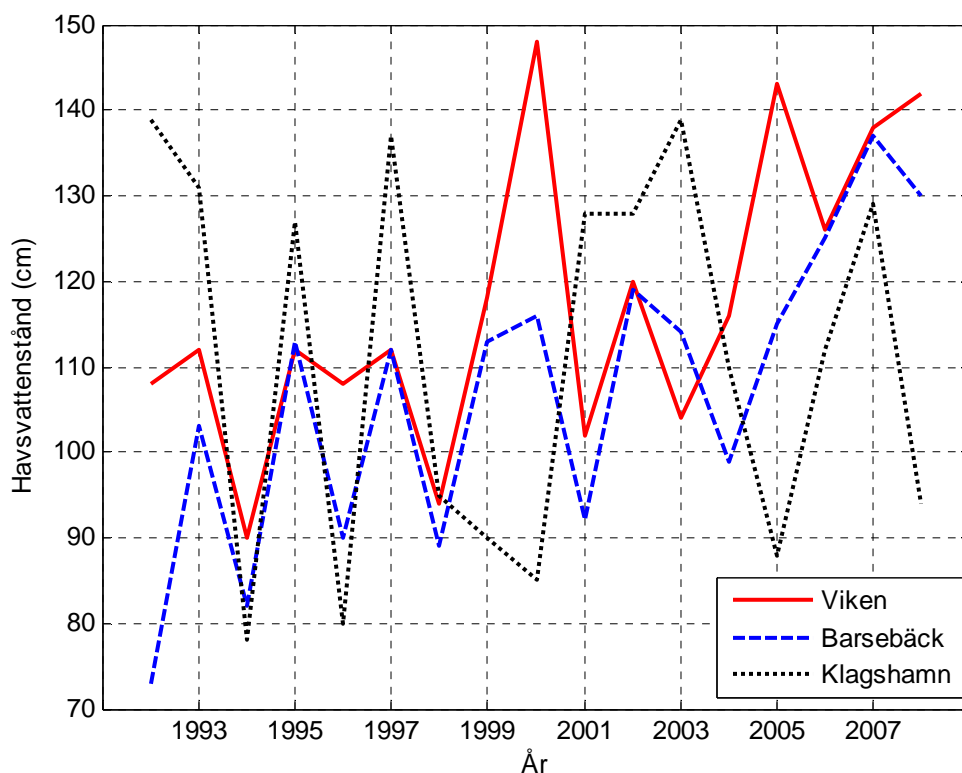
Samtliga serier vid jämförande av Viken, Barsebäck och Klagshamn är gjorda i referenssystem RH2000. En första analys gjordes av årliga maximum, sedan med mätningar gjorda med tio minuters intervall. Dessa mätningar bör vara lämpligast för analysen då man vill fånga upp fluktuationer i extremvattenstånd och snabba svängningar, något som lätt kan missas om analysen skulle utföras på dygnsmedelvärden. Ett alternativ vore att använda sig av värden för dygnets maximala nivåer eftersom man då fångar upp extremnivåerna. Men om man även är intresserad av snabba fluktuationer mellan hög- och lågvattenstånd bör det ändå vara lämpligast att ta mätningarna som är gjorda med tio minuters intervall.

Tre stycken analyser av serier genomfördes för att påvisa korrelation mellan stationerna. Dels en övergripande analys där årliga maxvärden under perioden 1992-2009 har jämförts, dels noggrannare analys av enskilda månader. Mätserierna har även uppritats mot varandra för att ytterligare kunna stärka en eventuell korrelation.

Lämpliga månader att jämföra i analysen bedömdes vara månader då det är säkert att extremvattenstånd inträffar. En första undersökning av maximala månadsvärden utfördes således för att plocka ut passande tidpunkter. På detta sätt kan man fastställa att extrema förhållanden inkluderas i analysen och utgör grund för en korrekt jämförelse av fluktuationsmönster vid de tre stationerna.

### **4.4 Analys**

Ett första steg var att analysera hur de årliga maximala havsvattenstånden såg ut vid de olika lokalerna under perioden 1992-2009. Figur 4-2 åskådliggör resultaten.

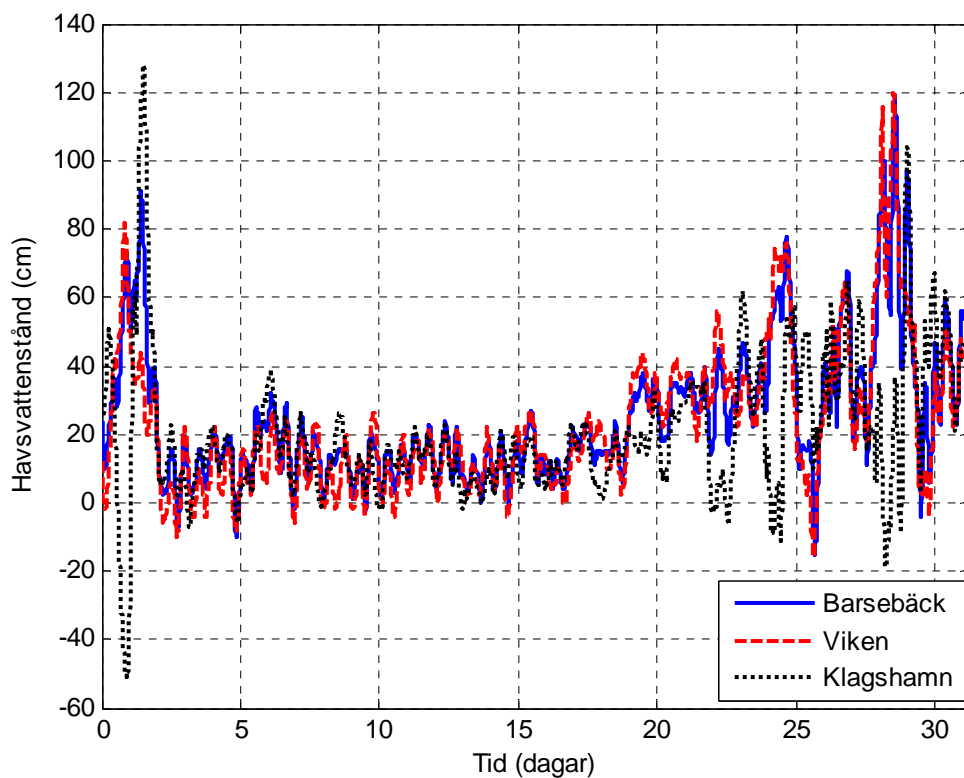


**Figur 4-2 – Årliga maximum i havsvattennivåer vid de olika lokalerna Barsebäck, Viken, och Klagshamn (Bearbetad data från SMHI).**

Årliga maxima verkar följa något sånär samma mönster, med vissa undantag gällande Klagshamn. Som nämndes i stycket om metodik, är det dock lämpligare att göra utförligare analyser då mätningarna är tagna med tio minuters intervall, för att mer korrekt uppfånga vattenståndens fluktationsmönster. Årliga maximum kan inträffa vid så olika tidpunkter vid de olika lokalerna och ger därför inte en rättvis bild av likheter och skillnader dem emellan.

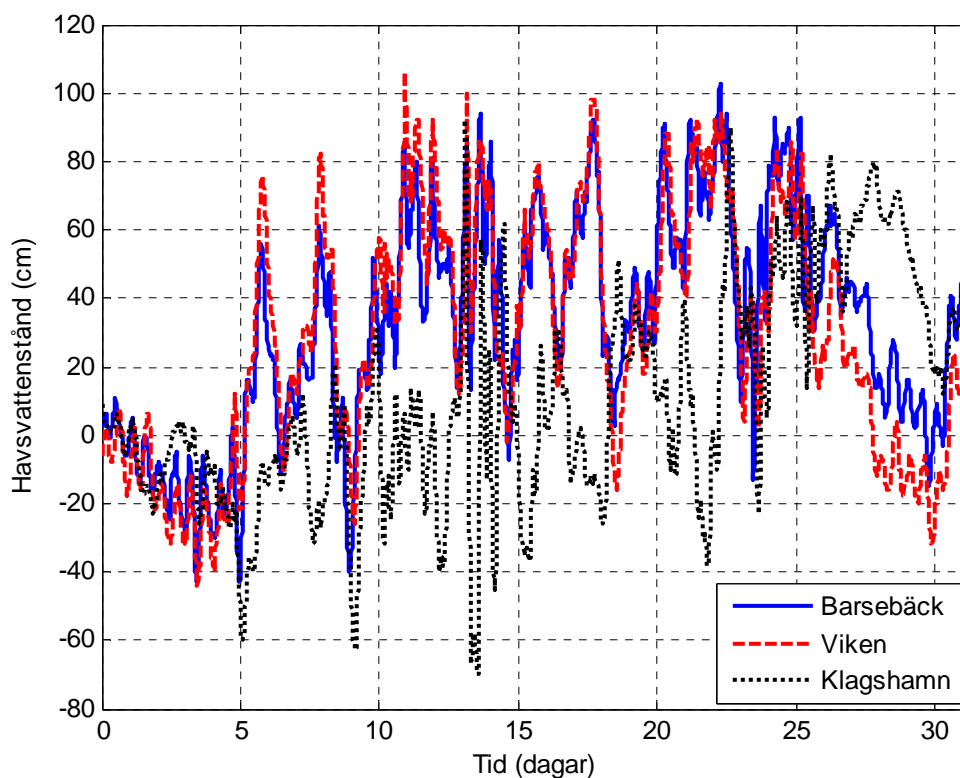
Figur 4-3 redovisar jämförelsen av havsvattennivåer vid Barsebäck, Viken och Klagshamn under januari månad 2002. Överlag verkar de tre mätstationerna följa samma fluktationsmönster gällande normalvattenstånd. Månens dragningskraft gör att det uppkommer två högvatten respektive lågvatten per dag. Det som är intressant är dock när det observeras extrema hög- eller lågvattenstånd. Barsebäck och Viken följer även här samma fluktationsmönster och vattennivåerna vid de båda stationerna uppgår till ungefär samma värden. Klagshamn har däremot en tendens att bete sig annorlunda vid dessa tillfällen. Klagshamn uppvisar ett maximalt värde för månaden på 128 cm den 1:e januari. Viken och Barsebäck har månatliga maxvärden som infaller på samma datum, 29:e januari. Deras vattennivåer uppgår där till 119 cm för Barsebäck samt 120 cm för Viken.

Vid denna tidpunkt är det en tydlig skillnad mellan Klagshamn och de två övriga lokalerna. Exempelvis uppträder lågvattenståndet i Klagshamn då det verkar vara högvattenstånd vid både Barsebäck och Viken.



**Figur 4-3 –Observerade havsvattenstånd under januari månad år 2002 från Barsebäck, Viken, och Klagshamn. Bearbetade värden från SMHI.**

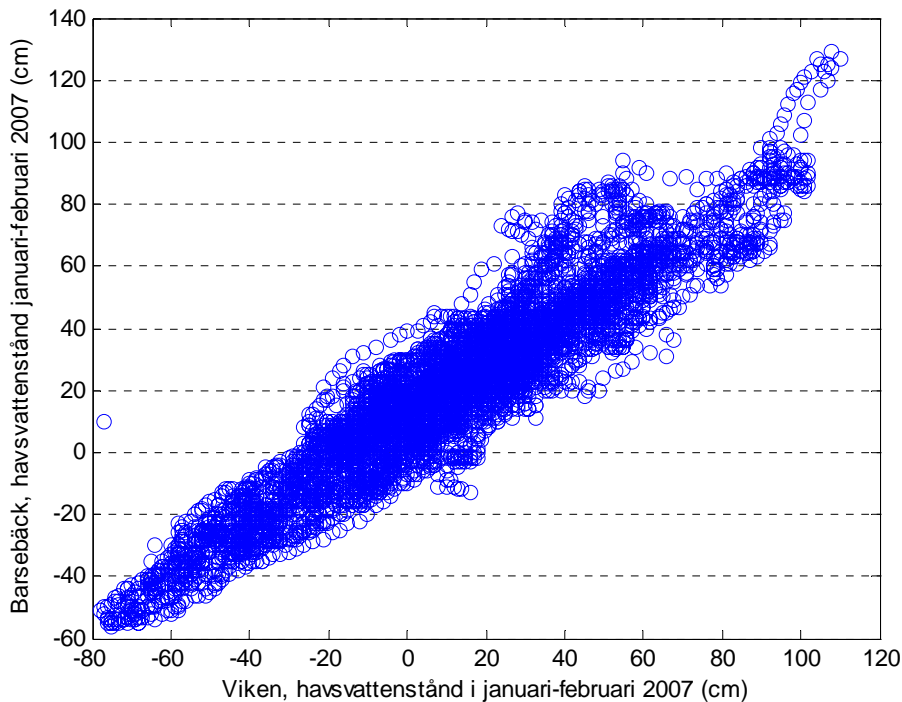
Havsvattenstånd under januari månad år 1993 åskådliggörs i Figur 4-4. Överlag är det höga värden på vattennivåerna under hela månaden och det är i denna figur tydligt att Klagshamn verkar följa ett annat fluktuationsmönster. Hög- och lågvattenstånd verkar där ej vara korrelerat till hög- respektive lågvattenstånd vid de två andra stationerna.



**Figur 4-4 –Observerade havsvattenstånd under januari månad år 1993 från Barsebäck, Viken, och Klagshamn. Bearbetade värden från SMHI**

Av resultatet av ovanstående analys att döma bör man kunna sluta sig till att det är Viken och Barsebäck som bäst följs åt. De uppvisar samma tendenser i fluktuationsmönster och verkar uppvisa ungefär samma nivåer i högvattenstånd, även om det i båda figurerna går att utläsa att Viken oftast ligger något högre än Barsebäck gällande de höga vattennivåerna. Detta resultat stämmer också överens med vad Länsstyrelsen (Åkesson *et al.*, 2008) anger. Analysen kan även ses som bevis på att havet söder om Öresundsbron betar sig annorlunda än havet norr om den samma, som nämndes i avsnitt 4.2.

För att ytterligare stärka hypotesen om att havsvattenstånd från Barsebäck korrelerar med de från Viken plottades mätserier från januari och februari år 2007 vid de båda lokalerna mot varandra. Resultatet är presenterat i Figur 4-5 och visar att det finns ett tydligt överensstämmande mellan de båda platsernas havsvattenstånd. Korrelationskoefficienten är uträknad till 0.9355 vilket säkerställer en korrelation mellan de två mätstationerna. Det kan alltså konstateras att de serier som är lämpligast att utföra vidare analyser av är Viken och Barsebäck. Serierna från de två stationerna uppvisar liknande fluktuation och amplitud i vattenstånd och bör vara representativa för havsvattenstånden i Landskrona som befinner sig mellan de två platserna. Då mätstationen i Landskrona är nedlagd kan det alltså rekommenderas att mätningar från Viken eller Barsebäck används för framtida prognoser i Landskrona.



**Figur 4-5 – Barsebäck mot Viken. Havsvattenstånd mätta med 10 minuters intervall i januari och februari år 2007. Bearbetade värden från SMHI.**

## 5 Havsnivåhöjning

### 5.1 Sammanfattning

Att havsvattennivån kommer att höjas i framtiden framstår som alltmer sannolikt, men att bedöma hur stor denna höjning kommer att bli är en stor utmaning. I detta kapitel diskuteras övergripande vad olika organisationers analyser har resulterat i, samt hur olika prognoser inför framtiden ser ut. Jämförelser görs med det som framkommit av de data som har använts i denna studie.

Trender i medelvattennivåer, samt i årsmaxima togs fram för dessa två stationer. Trenden i dygnsmedelvärden beräknades till 0,058 cm/år för Barsebäck, medan den för Viken beräknades till 0,17 cm/år. Detta värde ansågs dock vara något missvisande då dataserien för Viken var så kort. Istället har SMHI:s framräknade trend på 0,02 cm/år använts i vidare studier. Trenden när det kommer till årsmaxima ligger högre; 0,48 cm/år samt 0,30 cm/år för Barsebäck respektive Viken då data justerats för trenden hos medelvattentytan.

När det gäller framtiden har IPCC tagit fram ett intervall på hur mycket havet kommer att höjas fram till år 2100 på 0,18-0,59 m. Dessa värden tar dock ej hänsyn till landisars avsmältningstakt. Senare rön som inkluderar isavsmältningens dynamiken pekar på en global havsnivåhöjning med 0,8 m och kan därför vara bättre att använda i studierna. Dessutom gjordes ett tillägg på 0,2 meter baserat på förhållandena för Nordsjön. Detta innebär alltså en total höjning av havsytan i Östersjön med 1 m.

## **5.2 Mekanismer**

Det finns flera bidragande orsaker till att havsnivån ändras. En av de väsentliga orsakerna är att havsvatten expanderar då dess temperatur ökar s.k. termisk expansion (Rummukainen och Källén, 2009). Den andra signifikanta orsaken till havsnivåhöjningen är isavsmältningen. På senare år räknas avsmältning av glaciärer och landisar bidra till ca hälften av havsnivåhöjningen (Rummukainen och Källén, 2009).

Det hävdas att ändrad vattenanvändning och inlagring av vatten i reservoarer kan ge märkbara effekter på havsyttnivån vilket innebär att detta skulle kunna ha haft en hämmande effekt på den globala havsyttehöjningen (Rummukainen och Källén, 2009). Siffror finns som säger att denna effekt kan ha motsvarat havsyttesänkning med ca 3 cm de under de senaste 50 åren (Rummukainen och Källén, 2009).

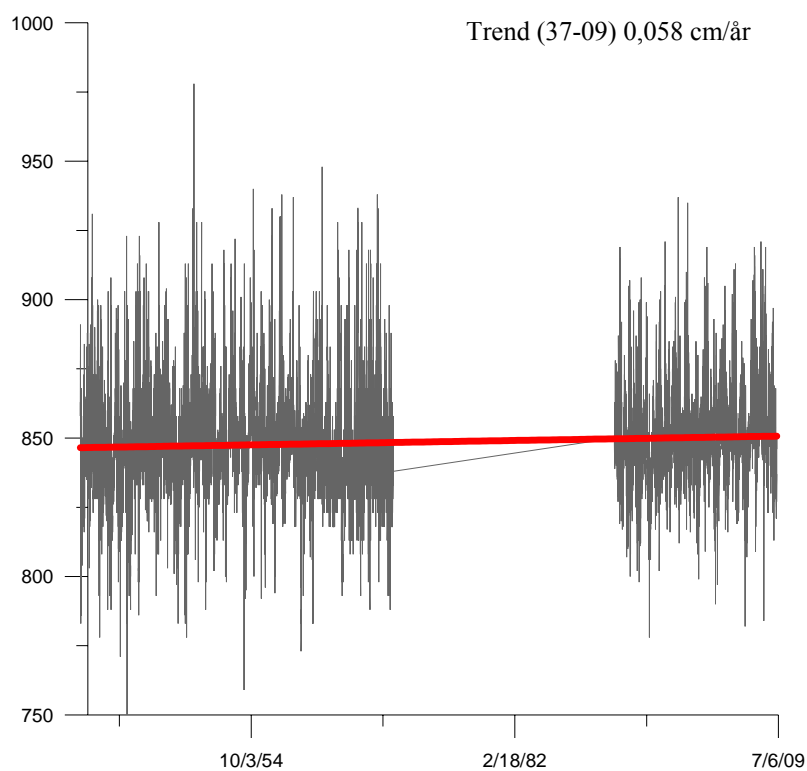
## **5.3 Tillbakablick**

Enligt IPCC:s Assessment Report 4 (AR4) har havsyttnivån höjts med ca 1,8 mm/år under perioden 1961-2003 samt ca 3,1 mm/år under 1993-2003 (Rummukainen och Källén, 2009). Detta innebär att havsyttnivåhöjningen har gått snabbare under de senare åren d.v.s. att havsnivåhöjningen kan ha ett accelererande förlopp.

Den termiska expansionen av havsvattnet beräknas stå för en fjärdedel av höjningen under den tidiga perioden men under den andra perioden kan denna faktor stå för så mycket som hälften av höjningen (Rummukainen och Källén, 2009).

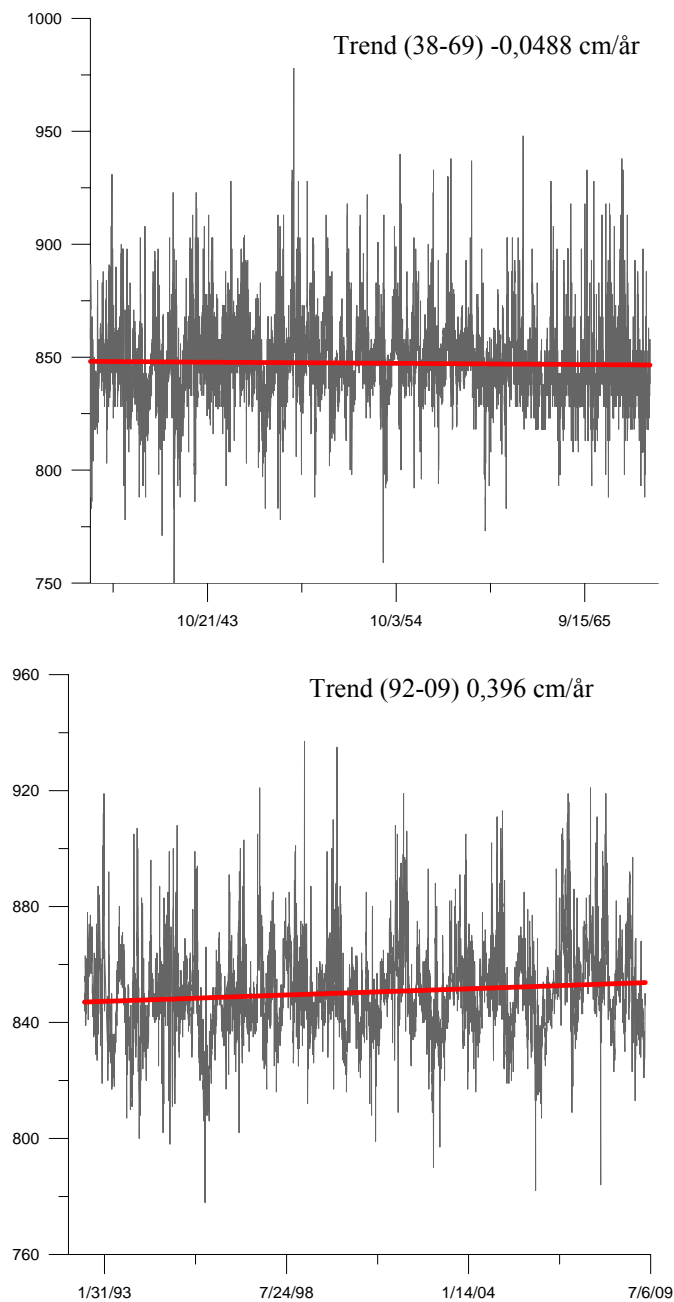
För de senaste åren 2004-2007 finns olika bedömningar som varierar mellan 1,5 – 2,7 mm/år (Rummukainen och Källén, 2009). Den totala globala havsnivåökningen under hela 1900-talet beräknas vara ca 0,17 m (IPCC, 2007).

Från de data som använts i denna studie har några olika trender framräknats. Beräkningar har gjorts för Barsebäck och Viken. Data från Barsebäck (1938-2009) innehåller en mycket stor tidslucka mellan 1969 och 1992 vilket innebär att det i praktiken är två separata tidsserier där en trend framräknades för hela serien men även för de båda separata serierna. Eftersom denna serie som helhet är så pass inkomplett riskerar den trend som framräknas för hela perioden 1938-2009 kanske att bli något missvisande. I Figur 5-1 visas data från Barsebäck samt den anpassade linjära trenden. I Figur 5-2 visas data för de båda tidsperioderna med respektive trendlinje. Dock är det i realiteten så att det finns kortare perioder då trenden kan se väldigt annorlunda ut jämfört med trenden för en längre tidsserie i helhet. Detta kommer sannolikt även att gälla i framtiden. Därför antas här att trenden som framräknas för hela perioden 1938-2009 för Barsebäck del vara ett representativt värde som kan användas för vidare analys.



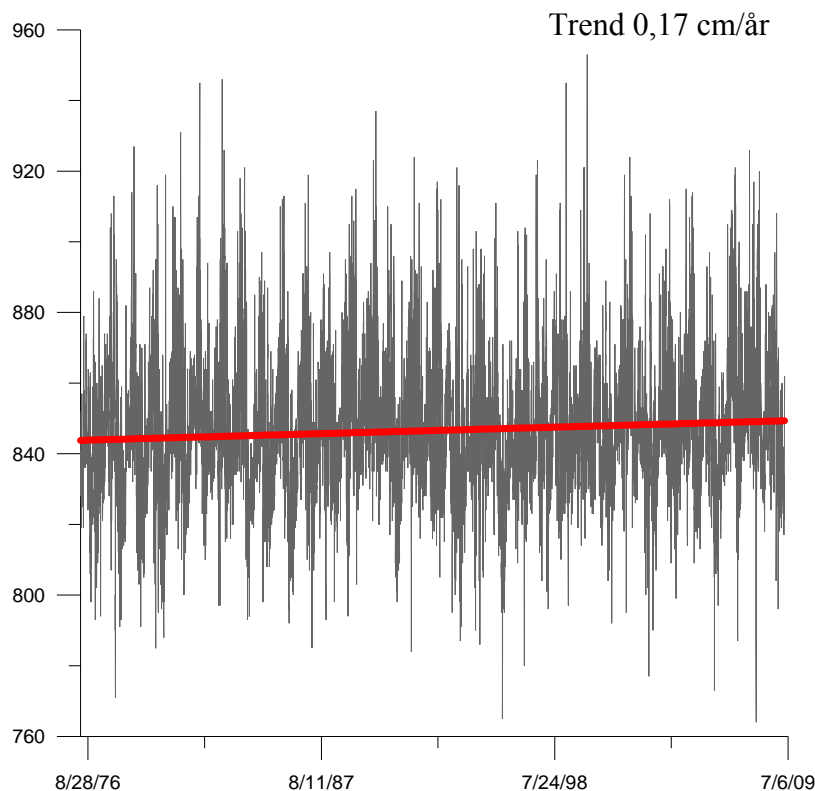
**Figur 5-1 – Dygnsmedelvärden av havsvattenstånd (cm) från Barsebäck (mareografens lokala höjdsystem) samt hela tidseriens trend (röd linje). Mareografens lokala höjdsystem ger 848 cm högre värden jämfört med RH70.**





**Figur 5-2 - Dygnsmedelvärden av havsvattenstånd (cm) från Barsebäck (mareografens lokala höjdsystem) samt trender för de två sammanhängande tidsperioder data är indelat i. Mareografens lokala höjdsystem ger 848 cm högre värden jämfört med RH70.**

För Viken är motsvarande framräknade trend för medelvattenytan 0,17 cm/år enligt Figur 5-3. Eftersom Vikens dataserier är relativt kort kan det betraktas som något tveksamt att ansätta att den framräknade trenden kan betraktas som en långsiktig trend. Ett exempel på att trender kan variera ganska mycket är Barsebäck's dataserie. Där visade det sig att de två olika trender som erhöles då de två tidsperioderna separerades, skiljde sig åt ganska markant. Därför är den framräknade trenden som kan utläsas ur Figur 5-3 kanske inte lämplig att använda exempelvis för att förutse medelvattenytan i framtiden.

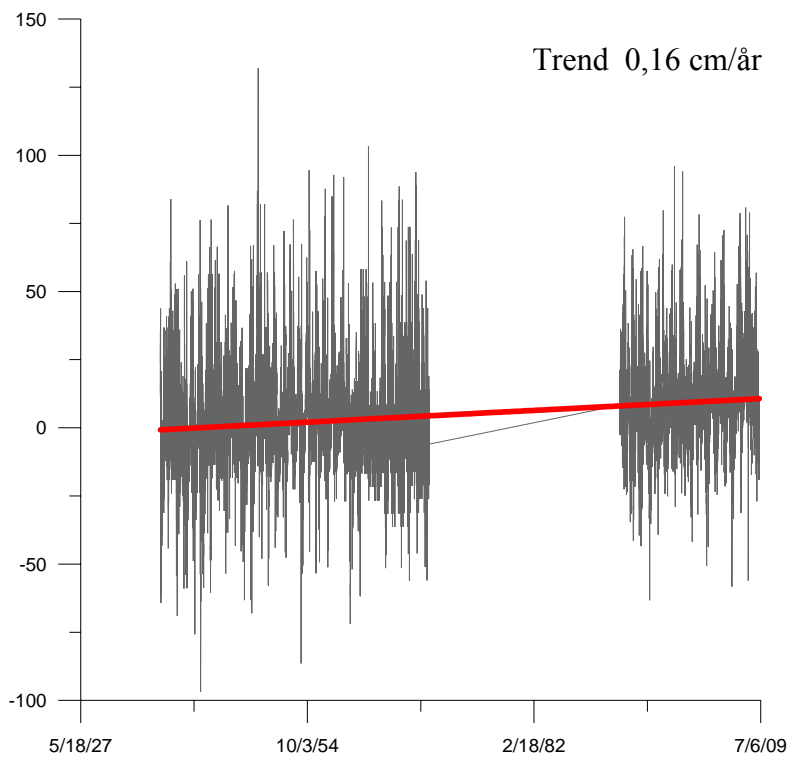


**Figur 5-3 – Dygnsmedelvärden av havsvattenstånd (cm) från Viken (mareografens lokala höjdsystem) samt anpassad trendlinje. Mareografens lokala höjdsystem ger 848,6 cm högre värden jämfört med RH70.**

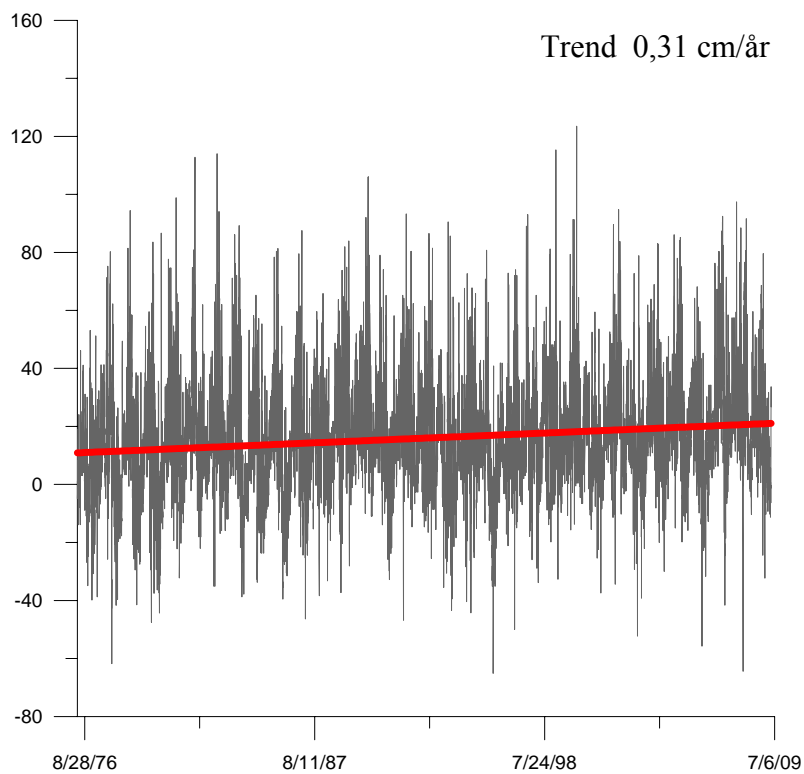
SMHI har genom att använda äldre data från andra stationer beräknat en långsiktig trend för Viken (Hammarklint, 2009). Det värde som då erhöles var 0,02 cm / år (SMHI II, 2009). Detta trendvärde är som synes betydligt lägre än det som framräknats här. Eftersom detta lägre värde baseras på en förlängd dataserie gjord av SMHI anses detta värde vara mer rimligt och kommer därför att användas för vidare analyser i denna studie.

För att kunna se hur mycket havsvattennivån har stigit i sig (absolut ökning), krävs att datan korrigeras för landhöjningen. I södra Sverige är landhöjningen mycket liten, men kan ändå vara märkbar i ett långt tidsperspektiv. För att denna korrektion skall vara möjligt krävs att det finns en närliggande GPS station som mäter den absoluta landhöjningen. Detta är inte alltid fallet. För Barsebäck har SMHI uppskattat landhöjningen till 0,1 cm/år. Dygnsmedelvärden från Barsebäck som är korrigerade för landhöjningen visas i Figur 5-4.

För Viken finns inget värde på landhöjningen angivet, därför gjordes en enkel uppskattning genom att interpolera mellan två andra stationer som har angivna landhöjningsvärden. Eftersom Barsebäcks värde är en uppskattning, valdes istället Klagshamn och Varberg där landhöjningen angivits till 0,1 respektive 0,2 cm/år (SMHI, 2009). Avståndet mellan dessa stationer och Viken uppskattades med hjälp av ett mättningsverktyg i Google Earth. En enkel interpolation mellan dessa stationer resulterade i att landhöjningen i Viken uppskattades till 0,14 cm / år. SMHI har tagit fram enkla ekvationer för justering av havsvattenstånd för den absoluta landhöjningen. Dessa inkluderar en konstant som är ett referensvärde för 1886. För Viken saknas även ett sådant värde och detta är inget som enkelt kan uppskattas. Dock spelar denna konstant ingen roll för själva trenden hos data, vilket är det som är av intresserade här. Därför är de absoluta värdena i Figur 5-5, som visar resultatet efter korrigeringen, inte av intresse utan endast förändringen över tiden skall utläsas ur denna figur.

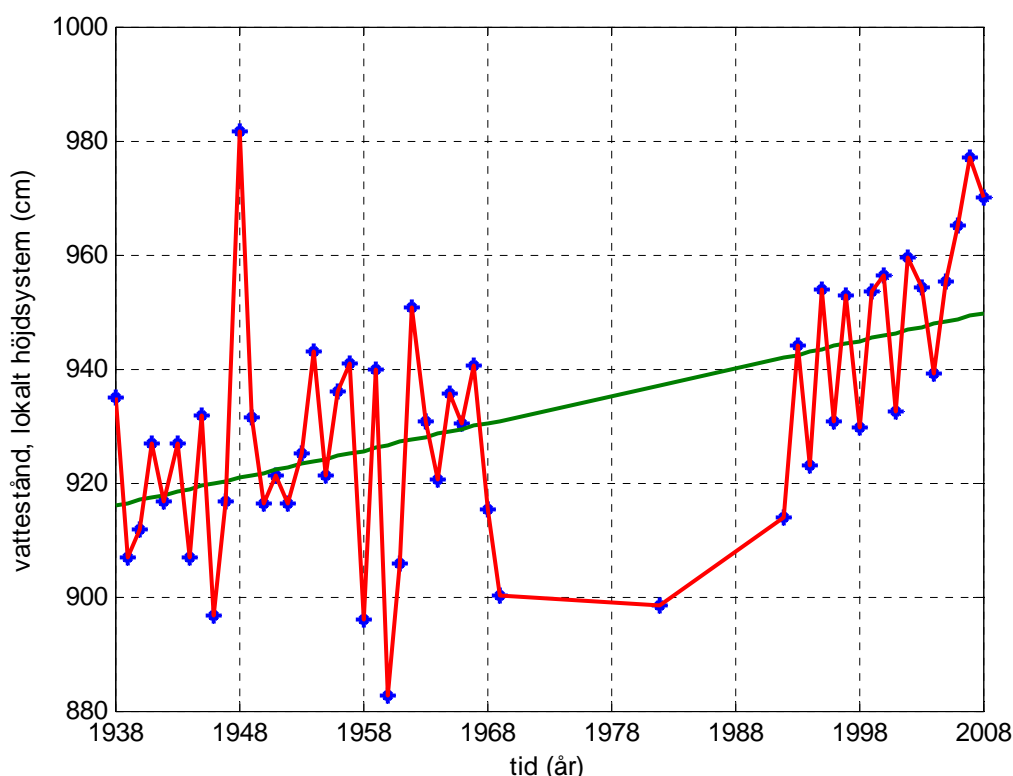


**Figur 5-4 – Dygnsmedelvärden av havsvattenstånd (cm) från Barsebäck korrigerade för landhöjningen samt en anpassad trendlinje.**



**Figur 5-5 –Dygnsmedelvärden av havsvattenstånd (cm) från Viken korrigerade för landhöjningen samt en anpassad trendlinje.**

Trenden när det gäller högvatten visade sig vara högre. För Barsebäcks del beräknades denna trend till 0,48 cm/år (Figur 5-6) då data justerats för trenden hos medelvattenytan (MVY). Data för Viken gav ett motsvarande trendvärde på 0,30 cm/år om SMHI:s medelvattentrend användes. Används den medelvattentrend som framräknats av i denna rapport fås värdet 0,15 cm/år.



**Figur 5-6 – Årliga maximala vattenstånd från Barsebäck (blå punkter) i mareografens lokala höjdsystem samt trendlinje. Vattennivåerna är justerade för trenden hos medelvattenytan. Luckor i dataserien finns mellan 1970-1981, samt 1983-1991. Mareografens lokala höjdsystem ger 848 cm högre värden jämfört med RH70.**

## 5.4 Framtid

Alla framtidsprognoser är behäftade med en stor osäkerhet, i synnerhet sådana som är kopplade till människors livsstil världen över och samhällsutvecklingen i stort. I IPCC: s fjärde rapport (AR4) 2007 ges ett intervall för en global havsytehöjning, 0,18-0,59 m, fram till 2095 (Rummukainen och Källén, 2009).

I AR4 finns vidare fyra grupper av framtidsscenarion där det alternativ som ur klimatsynpunkt ger sämst framtidsutsikter kallas A1F1 och representerar snabb ekonomisk tillväxt, stora investeringar i ny teknik och flitigt användande av fossila energikällor. Detta scenario ger alltså en global havsytehöjning på 0,59 m som nämnts ovan, men då tas ingen hänsyn till accelererad isavsmältning.

Vidare har det visat sig, enligt AR4, att medelvattenytan i Nordsjön kan komma att vara högre än de globala värden som angivits ovan. Det kan röra sig om en skillnad på så mycket som 0,2 m (Karlsson, 2007).

Den havsytehöjning som man inom IPCC kommit överens om inkluderar alltså inte en ökad avsmältningstakt hos landisar. Detta eftersom man vid rapportens publicerande ansåg att kunskapen inom detta komplexa område var alltför begränsad för att några bra uppskattningar skulle kunna göras (Pfeffer *et al*, 2008). Dock har det på senare tid gjorts modelleringar som ger uppskattningar av havsytehöjningen då även en accelererad isavsmältning inkluderas, Pfeffer *et al* (2008) anger att en mera rimlig uppskattning på den globala medelvattenyttehöjningen är ca 0,8 m. Vidare nämns att en höjning med så mycket som 2 m kan vara fysikaliskt möjlig, men endast i ett extremt fall om samtliga relevanta processer fortskrider med en extremt hög hastighet och drar åt samma håll. Detta scenario är därmed att betrakta som mindre sannolikt, men ändå inte omöjligt. Pfeffer *et al* (2008) konstaterar att en höjning på mer än 2 m är fysikaliskt orimlig. Genom att kombinera olika bidrag till medelvattenyttehöjningen på olika sätt kom Pfeffer *et al* (2008) fram till höjningar som låg inom intervallet 0,79 – 2 m. Detta ansågs vara en mer rimlig utgångspunkt inför framtida förbättringar av modellerberäkningar än det som presenteras i AR4.

I denna studie kommer främst en absolut MVY-ökning med 1 m att användas. Detta motsvarar de senaste rönen som pekar på en global MVY ökning med 0,8 m. Därefter görs ett tillägg med 0,2 m för Nordsjöns och Östersjöns förhållanden. Denna ökning av medelvattenytan påtalas bland annat i *Ny klimatvetenskap 2006-2009* (Rummukainen *et al.*, 2009), där senaste forskningen sedan AR4 sammanfattas.

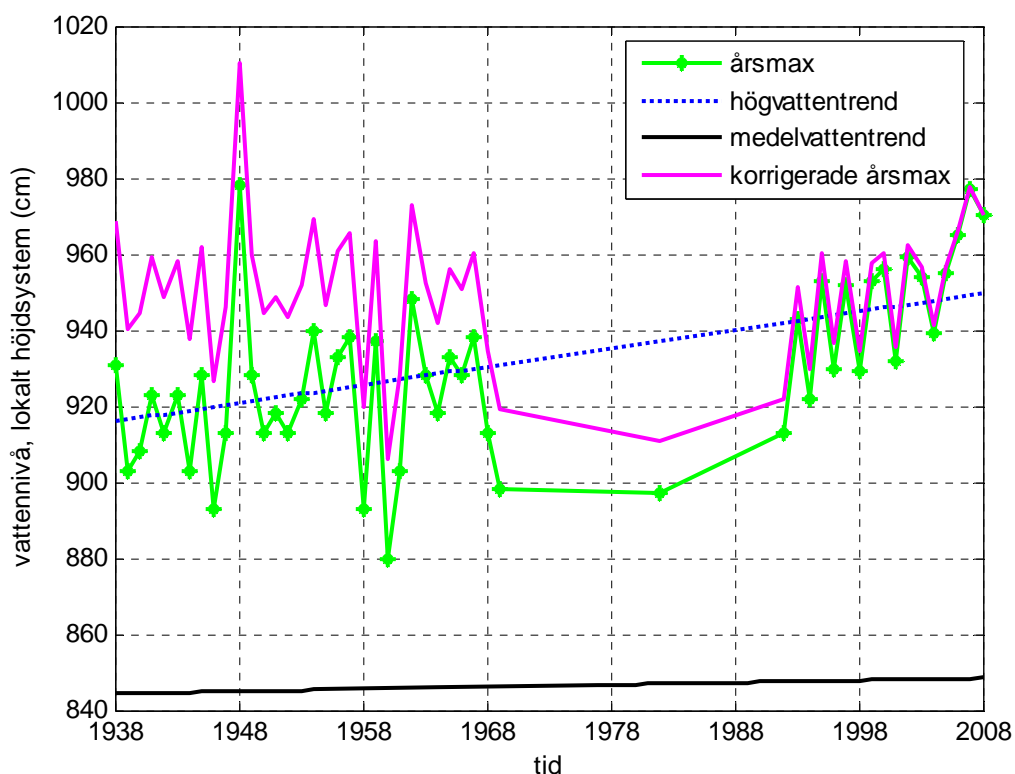
## 6 Frekvensanalys

### 6.1 Sammanfattning

Frekvensanalysen syftar till att få fram extremvattenstånd d.v.s. havsvattennivåer med en viss återkomsttid. Frekvensanalyser utfördes för både Viken och Barsebäck och kunde anpassas till lämpliga statistiska fördelningar. Sedan kunde havsvattennivåer med olika frekvens beräknas. Om ett intervall av havsnivåhöjning på 0,79-1 m togs i beaktande, visade det sig att havsnivåer med 10 års återkomsttid uppgick till 2,36-2,57 m samt 2,40-2,61 m för Viken respektive Barsebäck.

### 6.2 Metodik

Frekvensanalysen bygger på att alla värden som används i analysen är oberoende, därför är det nödvändigt att först ta bort trenden från data för att kunna genomföra analysen. Det finns två trender som data måste korrigeras för innan en frekvensanalys kan genomföras. Först tas trenden hos medelvattennivån fram och årsmaxima korrigeras för detta. Därefter undersöks trenden hos de korrigerade årsmaxima och data kan sedan korrigeras även för denna trend. Detta innebär att alla årsmaxima nuvärdesberäknas och blir därmed jämförbara. I Figur 6-1 illustreras hur denna korrektion har gått till.



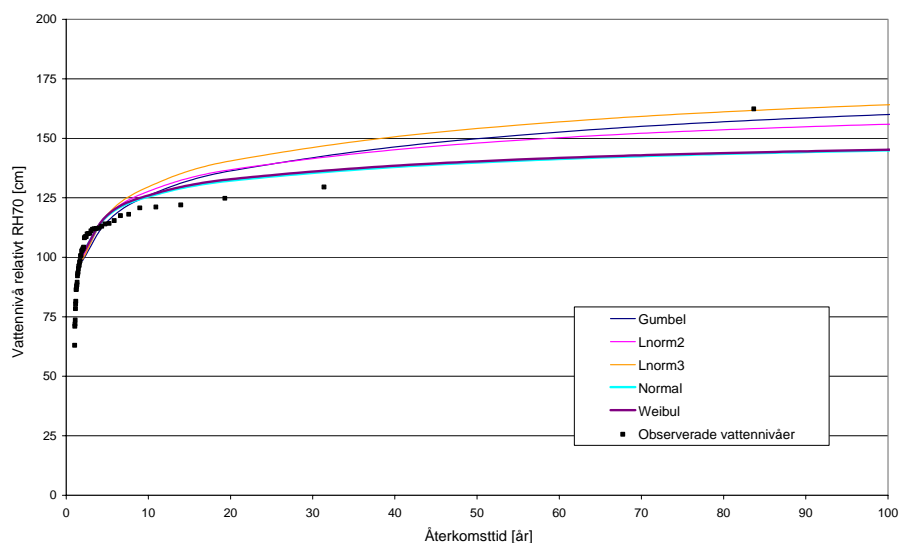
**Figur 6-1 – Uppmätta årsmax (cm) från Barsebäck (mareografens lokala höjdsystem), trendlinje för medelvattentytan trendlinje för årsmaxvärdena samt korrigerade (nuvärdesberäknade) årsmax. Mareografens lokala höjdsystem ger 848 cm högre värden jämfört med RH70.**

För att få fram framtida högvatten adderas även den ökning av medelvattentytan som prognoserna pekar på. I detta fall kommer en ökning av MVY med 79 cm samt 100 cm att

studeras. Det förstnämnda är IPCC högsta värde enligt AR4 (IPCC, 2007). Det sistnämnda baseras på det värde som framkommit då en accelererande isavsmältning inkluderats, med ett tillägg på 20 cm för Östersjön.

### 6.3 Analys

I Figur 6-2 kan ses att de korrigerade årsmaxvärdena från Barsebäck inte verkar stämma helt överens med någon av de uppritade anpassningarna. Av figuren att döma finns ett maxvärde som är betydligt högre än övriga och som har bidragit till att anpassningarna generellt ligger högre än majoriteten av punkterna. En åtgärd mot ett sådant problem skulle kunna vara att utesluta den extrempunkt som avviker kraftigt från övriga punkter för att få en bättre anpassning till data. Detta kan dock anses vara tveksamt då denna punkt visar på att verkligheten aldrig helt kan beskrivas med hjälp av anpassningar och modeller och bör därför tas i beaktande för vidare analys. En förklaring till denna punkts läge skulle kunna vara att det är ett högvatten med en väldigt hög återkomsttid som råkat inträffa under det relativt korta tidsfönster som analyseras här. Effekten av att utesluta punkten studerades, men resultatet avvek inte markant från det som visas här. En annan tanke är att denna extrempunkt skulle kunna vara ett resultat av bristande kvalitet hos mätningarna. Det kontrollerades om punkten avvek mycket från de uppmätta vattennivåer före och efter denna extrempunkt. För dessa tidiga år fanns ej tillgång till 10 minuters värden, därför kunde bara vattennivån dagen innan och dagen efter kontrolleras. Det visade sig att ett mycket högt vatten hade uppmätts även dagen innan, vilket tyder på att punkten inte är ett mätfel. Dessutom skall data från SMHI vara kontrollerat.



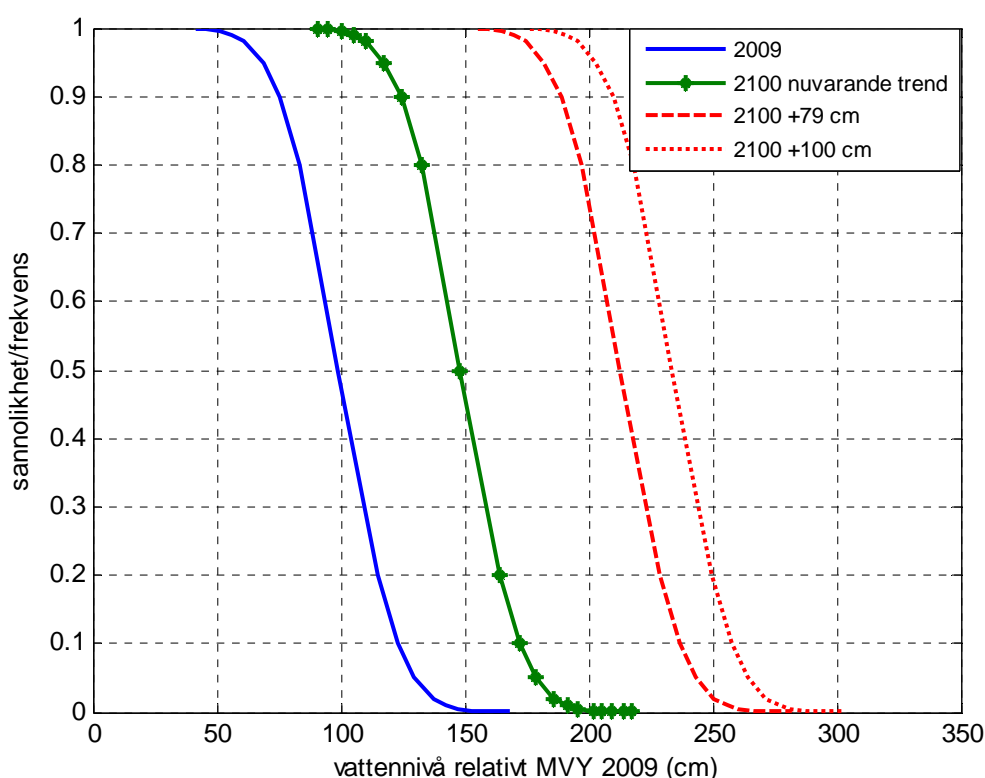
**Figur 6-2 - Uppmätta årliga maximum efter korrigering för Barsebäck samt uppritade anpassningar baserade på olika statistiska fördelningar.**

Eftersom mätdata inte sammanfaller särskilt väl med någon av anpassningarna är det dock svårt att avgöra vilken statistisk fördelning som skall representera Barsebäck. För att inte riskera att alltför grovt överskatta framtida högvatten anses normalfördelningen (som i figuren nästan sammanfaller med weibulfördelningen) vara representativ för Barsebäck vid vidare analys. I Tabell 6-1 visas vattenstånd för respektive återkomsttid då en normalfördelning väljs.

**Tabell 6-1 - Extremvattenstånd i Barsebäck (nutid) med olika återkomsttid under antagandet om en normalfördelning (RH70).**

Återkomsttid (år)	Frekvens (%)	Havsvattennivå (cm RH70)
2	50	102,2
5	20	117,8
10	10	126,0
20	5	132,7
50	2	140,3
100	1	145,4

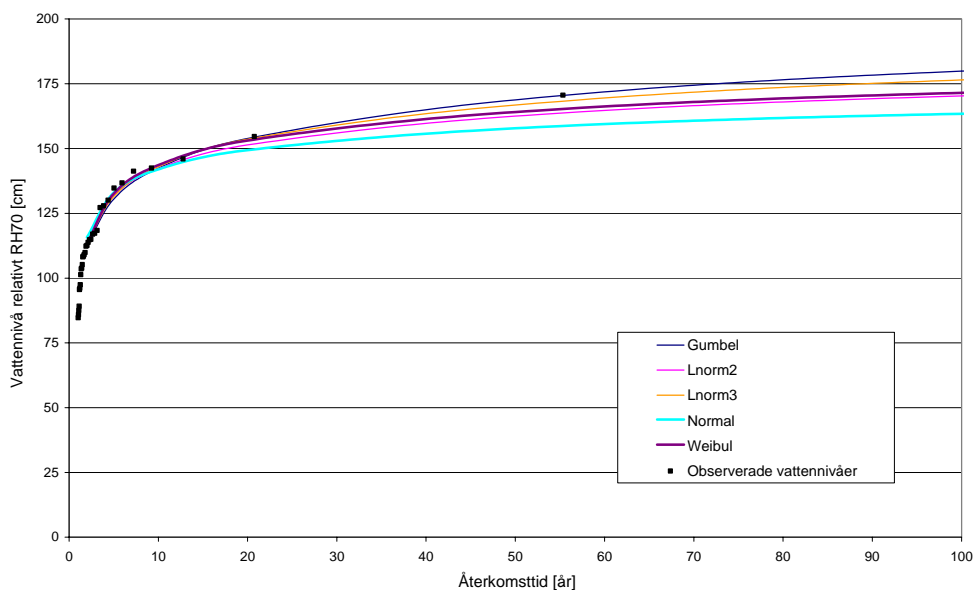
I Figur 6-3 ges sannolikheten för olika vattennivåer relativt dagens medelvattenyta. I denna figur finns kurvor där den ena representerar nutid (2009) och en annan ca 100 år framåt i tiden om endast trenderna hos befintliga data tas i beaktande. Ytterligare två kurvor som representerar olika framtidsscenario finns inkluderade i denna figur. De två röda linjerna motsvarar en total ökning av medelvattenytan (MVY) med 79 cm (det högsta utsläppsscenarioet från IPCC) samt det scenario där MVY totalt ökar med 100 cm.



**Figur 6-3 - Sannolikheten för olika vattennivåer i Barsebäck 2009 samt för ca år 2100 om endast dagens trender antas gälla samt med en ökning av MVY med 79 cm enligt IPCC:s högsta utsläppsscenario i AR4 och en ökning av MVY med 100 cm.**



När det gäller Viken är det lättare att välja en av de anpassade kurvorna som representativ för denna dataserie. I Figur 6-4 visas att Gumbelfördelningen är den som verkar stämma bäst överens med data. I Tabell 6-2 visas extremvattenstånd i Viken för nutida förhållanden.



**Figur 6-4 – Uppmätta årliga maximum för Viken samt uppritade anpassningar baserade på olika statistiska fördelningar.**

**Tabell 6-2 - Extremvattenstånd i Viken (nutid) med olika återkomsttid under antagandet om en Gumbel fördelning (RH70).**

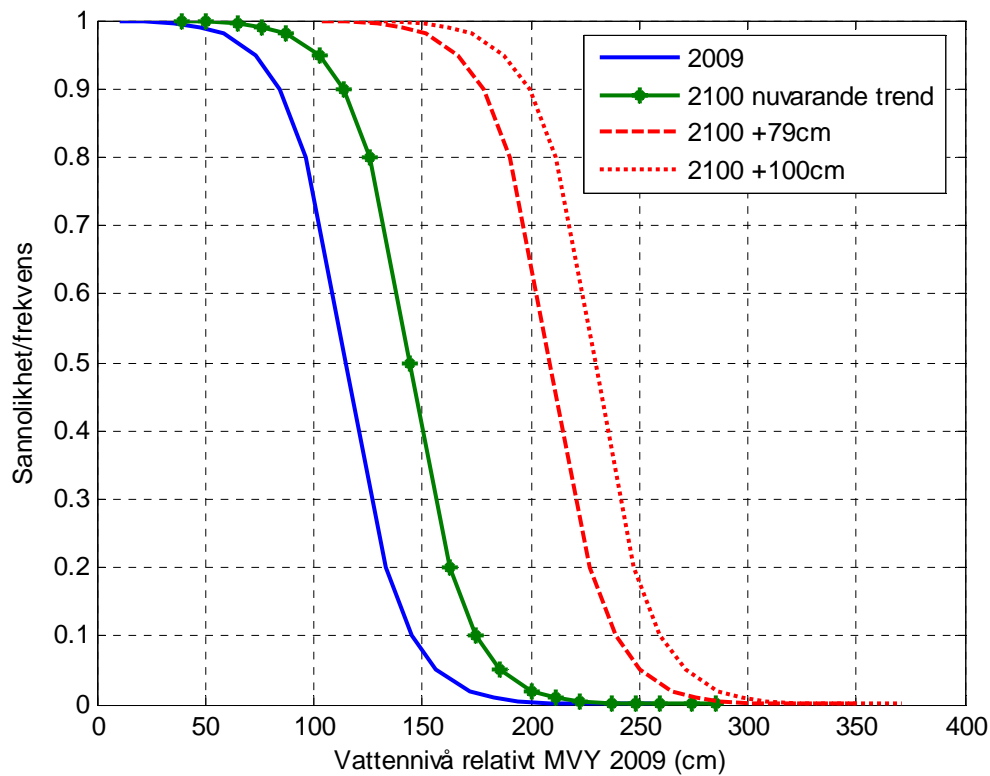
Återkomsttid (år)	Frekvens (%)	Havsvattennivå (cm RH70)
2	50	112,4
5	20	130,5
10	10	142,4
20	5	153,9
50	2	168,8
100	1	179,9
200	0,5	191

Data från Viken ger märkbart högre extremvattennivåer än data från Barsebäck, i förhållande till RH70. Detta kanske kan verka anmärkningsvärt med tanke på att stationerna är lokaliserade inte alltför långt ifrån varandra. Det skall tilläggas att medelvattenytan på de båda platserna skiljer sig något åt. I år ligger MVY i Barsebäck på nivån 3,18 cm relativt RH70. Motsvarande värde för Viken är -2,64 cm. Detta har beräknats med hjälp av enkla ekvationer och samband från SMHI.

Vattennivåer med olika frekvens relativt dagens medelvattenyta kan för Vikens del utläsas ur Figur 6-5.

Vid jämförelse av hur extremvattenstånden förväntas se ut i framtiden blir avvikelser mellan de båda stationerna något mindre. Den interpolerade landhöjningen för Viken är större än det

värde som angetts för Barsebäck, vilket dock ger en marginell effekt. Den främsta orsaken till detta är att trenderna är större för Barsebäck än Viken.



**Figur 6-5 - Sannolikheten för olika vattennivåer i Viken (från vänster till höger) 2009 (blå linje) samt för ca år 2100 (grön linje). Två olika framtidsscenarioer inkluderas, IPCC:s högsta utsläppsscenario samt det scenario som inorporerar accelererande isavsmältning.**

För Viken skulle ett högvatten med 10 års återkomsttid kunna uppgå till mellan 236-257 cm om de båda klimatförändringsscenarioerna tas i beaktande. Motsvarande värde för Barsebäck är ca 240-261 cm, se Tabell 6-3.

Tabell 6-3 – Högvattenstånd av olika återkomsttid (cm RH70) för Barsebäck och Viken.

Återkomsttid (år)	Barsebäck			Viken		
	Nutid (2009)	Ca år 2100, (MVY ökning 79 cm).	Ca år 2100, (MVY ökning 100 cm).	Nutid (2009)	Ca år 2100, (MVY ökning 79 cm).	Ca år 2100, (MVY ökning 100 cm).
2	102,2	215,8	236,8	112,4	206,1	227,1
5	117,8	231,4	252,4	130,5	224,2	245,2
10	126,0	239,6	260,6	142,4	236,1	257,1
20	132,7	246,3	267,3	153,9	247,6	268,6
50	140,3	253,9	274,9	168,8	262,5	283,5
100	145,4	259,0	280,0	179,9	273,6	294,6

#### 6.4 Osäkerhet

De prognosvärden för havsvattennivåer som kan hämtas från IPCC är för varje scenario ett intervall som motsvarar ett 5-95% konfidensintervall (IPCC, 2007). I figurerna ovan användes den övre gränsen för det högsta utsläppsscenarioet samt en medelvattenöknings som inkorporerar en accelererande avsmältning av landisar. IPCC:s värde är alltså den gräns under vilken 95% av alla värden för det högsta utsläppsscenarioet bör hamna. När det gäller en ökning av medelvattenytan med 1 m, är det något svårare att uttala sig om hur stor osäkerheten är. Pfeffer *et al* (2008) har undersökt några olika möjligheter då förändringar i isavsmältningstakten inkluderats, vilket nämnt tidigare, men det ges inga direkta konfidensintervall motsvarande IPCC:s. Generellt finns alltid en mycket stor osäkerhet när det gäller denna typ av prognoser, som diskuterats tidigare. Detta eftersom de scenarion som presenteras av IPCC bygger på antaganden om framtida livsstil, teknikutveckling och liknande saker som är mycket svåra att sätta om. Detta är sannolikt den största osäkerheten i denna analys.

De extremvattenstånd som frekvensanalysen resulterar i blir naturligtvis mer tillförlitliga desto fler värden analysen baseras på. Detta innebär att frekvensanalysen av Barsebäck's data skulle bli mer tillförlitlig än analysen av Vikens data. Dock passade inte Barsebäck's mätdata helt perfekt med någon av de statistiska fördelningarna, vilket medför att det naturligtvis finns en viss osäkerhet där.

## 7 Vindklimat

### 7.1 Sammanfattning

Mätstationen i Helsingborg har använts som underlag för analyserna. Serien som användes sträcker sig från 1976-1995 då det är under denna period som samtida vattenstånd från Viken kan tas ut. Frekvensen av höga vindhastigheter sammanfaller med vindar från sydvästlig till nordvästlig riktning, det vill säga de vindar som kommer från havet. Allra högst frekvens av starka vindar visade sig komma från riktningen 270°, rakt västerifrån.

Många modeller är framtagna i försök att förutspå ett framtida vindklimat. Ett exempel som bygger på IPCC:s näst högsta utsläppsscenario, är att vindstyrkan under vintermånader kommer att öka med sju till 13 procent fram till år 2100. Dock är osäkerheten mycket stor i denna, och liknande modeller och ingen kan sägas vara mer sannolik än någon annan.

### 7.2 Tillgängliga data

En dataserie från Helsingborg bestående av uppmätta vindhastigheter och vindriktningar har använts. Data från Helsingborg finns för perioden 1961-01-01 till 2009-04-30. Dock sträcker sig den period som används i denna studie endast fram till 1995-07-31, då mätstationen därefter flyttats ca 5 km från kusten. Detta medför att data efter denna tidpunkt ej längre blir representativ för de syften som denna studie har och har därför exkluderats från analysen.

Upplösningen på data är varierande. Under tidiga år har det gjorts mätningar 3 gånger per dygn med ett längre uppehåll mellan kl.18 och 06.00. Antalet mättillfällen per dygn har successivt utökats. På senare tid, från mitten av 90-talet och framåt, har mätningar gjorts var 3:e timme d.v.s. 8 gånger per dygn.

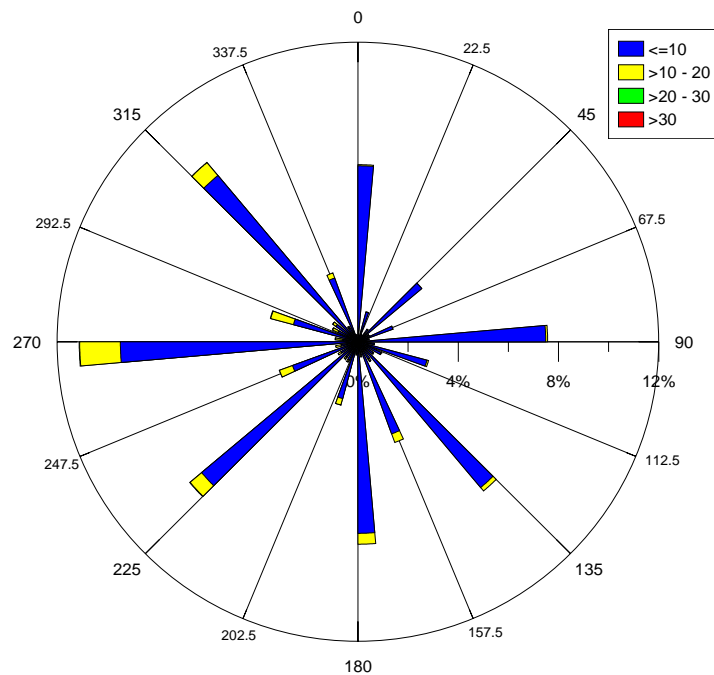
För att kunna använda vinddata för vidare beräkningar krävs att vindhastigheten refererar till 10 m höjd. Korrigering för detta är inte nödvändigt i detta fall då vindarna enligt SMHI uppmäts på 10 m höjd ovan mark.

Vindmätningstationen i Helsingborg var under perioden 1961-1995 lokaliserad precis vid havet vid Helsingborgs hamn. Detta medför att data är representativt vid beräkning av vågor. Stationen ligger i viss mån skyddad för ostliga vindar (SMHI kundtjänst I, 2009) vilket dock inte spelar någon roll i detta sammanhang då ostliga vindar inte genererar några vågor.

### 7.3 Analys

#### 7.3.1 Vindhastighet kontra vindriktning

Det är av stort intresse studera sambandet mellan vindhastigheter och vindriktning, med tanke på generering av vågor. Starka vindar ger större vågor som kan orsaka stora problem beroende på hur de infaller mot kusten. Figur 7-1 visar vindar uppmätta i Helsingborg sedan 1961. Figuren visar att högre vindhastigheter tenderar att sammanfalla med vindar från sydvästlig till nordvästlig riktning. Detta kan bland annat på att vindar som kommer från dessa riktningar kommer från havet och sådana vindar är som bekant starkare än vindar som kommer från landområden. Det är också så att vi lever i ett vindklimat som generellt domineras av vindar från dessa riktningar (Hanson, 2009). Den högsta frekvensen av starka vindar tycks sammanfalla med riktningen 270° d.v.s. rakt västerifrån.



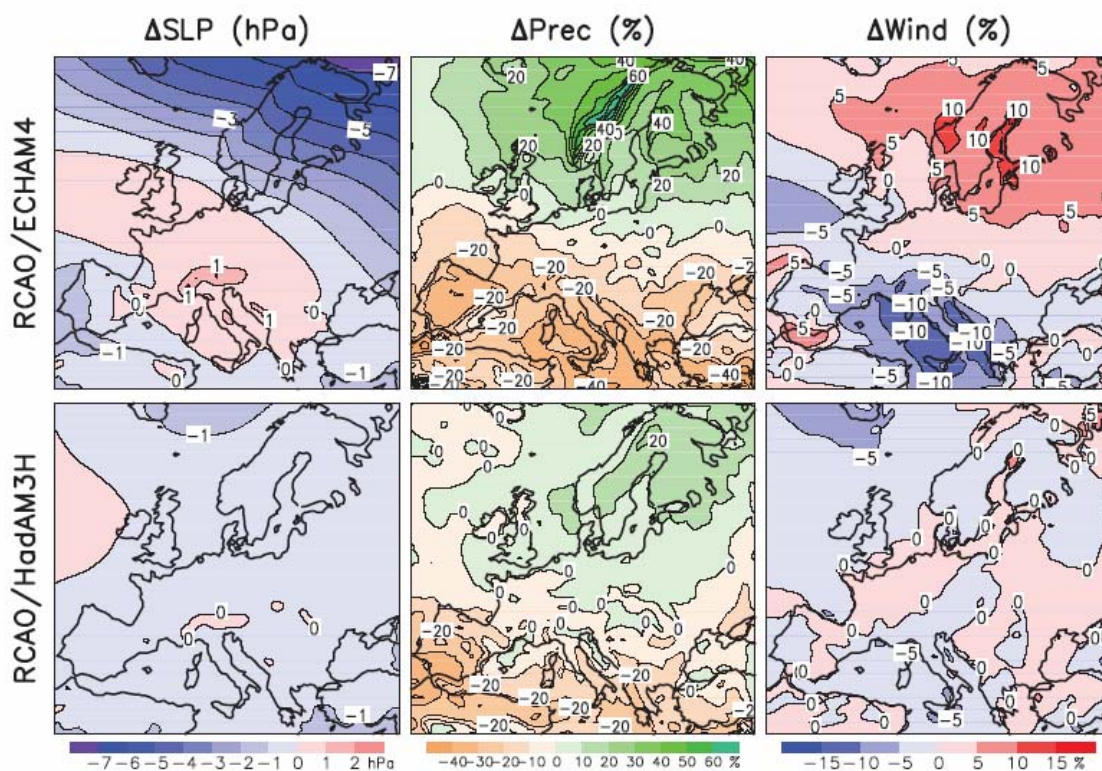
**Figur 7-1 – Relativ frekvens av vindhastigheter för respektive vindriktning för åren 1961-1995. De olika färgerna representerar vindhastighetsintervall i m/s.**

### 7.3.2 Prognoser för vindklimatet i framtiden

När det gäller prognoser för framtida vindhastigheter visar olika modeller på olika resultat. Gemensamt för många är dock att det verkar finnas en ökning av vindhastigheten i någon mån. Enligt den regionala atmosfärsmodellen RCA3-E kommer vindhastigheten att öka med 7-13 % under vintermånaderna om IPCC:s näst högsta utsläppsscenario A2 tas i beaktande (SOU 2007:60). Det finns dock andra modeller som istället visar på en minskning av vindhastigheten (SOU 2007:60). I Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU 2007:60) talas det också om en ökning av frekvensen av västliga vindar. Denna ökning har dock inte kvantifierats.

I AR4 från IPCC visas Figur 7-2, där en regional modell använts för att simulera förändringen av olika parametrar fram till 2071-2100. Två olika globala klimatprojektioner har använts som utgångspunkt. I denna figur kan således två olika utfall observeras, där de övre figurerna visar resultat då simulering görs under antagandet att tryckgradienten mellan nord och syd ökar (IPCC, 2007). Detta resulterar i en förändring av vindhastigheten med 5-10% i Skandinavien. Det är framförallt västliga vindar vintertid som förväntas öka i detta scenario (Rummukainen *et al.*, 2004). Om däremot denna tryckgradient inte förändras lika mycket fås liten eller ingen förändring alls i Skandinavien (Rummukainen *et al.*, 2004), vilket visas i de undre figurerna i Figur 7-2.

Inget av dessa scenarion anses vara mer sannolikt än det andra. Detta beror på att kunskapen om hur en global uppvärmning kommer påverka cirkulationsmönstret i norra Atlanten inte är tillräckligt stor (Rummukainen *et al.*, 2004).



**Figur 7-2 – Förändring av medeltryck över havet, nederbörd samt medelvindhastighet på 10 m höjd enligt två olika regionala simuleringar (IPCC, 2007).**

En analys av de data som SWECLIM (Swedish Regional Climate Modelling Programme) har producerat görs av Andersson (2001). Här diskuteras resultat som genererats genom att använda två olika globala modeller som utgångspunkt för den regionala modellen, varav det ena är samma som kan ses i Figur 7-2. Andersson (2001) kommer fram till att tryckgradienten från syd till norr kommer att öka. Dock skiljer sig resultaten åt beroende på vilken global modell som använts. För Sveriges del innebär den ena simuleringen att den geostrofiska vinden uppvisar en liten ökning med mindre än 0,2 m/s och år. Den andra simuleringen ger en minskning på 0,2 m/s och år. Det skall noteras att det endast är den geostrofiska vinden som diskuteras, vilket inte är detsamma som marknära vind. I enlighet med Rummukainen menar även Andersson att frekvensen av västliga vindar kommer att öka.

Byvindhastigheten förväntas öka något enligt Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU 2007:60). Endast en av de regionala modeller som diskuteras i ovan nämnda utredning har kunnat användas för att simulera framtida vindbyar. Denna modell pekar på en ökning av byvindhastigheterna. En ökning som i de sydvästra delarna av Götaland ligger i intervallet 1-2 m/s.

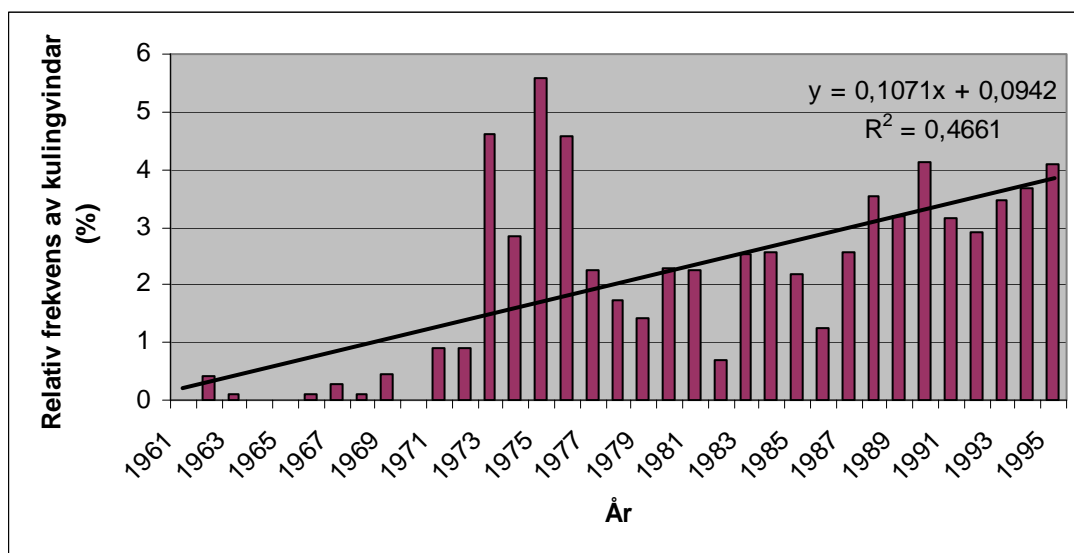
Frekvensen av stormar har inte ökat på senare tid enligt Klimat- och sårbarhetsutredningen (SOU 2007:60), då någon sådan trend inte kan påvisas. För att få en bild av hur frekvensen av höga vindhastigheter sett ut genom åren för de vinddata som används i denna studie, gjordes ett frekvensdiagram där den relativa frekvensen av kulingvindar (>13 m/s) sedan 1961 visas (Figur 7-3). I denna figur kan en trend skönjas, men  $R^2$ -värdet är lågt vilket låg tillförlitlighet hos trenden. Det är också anmärkningsvärt att frekvensen av kulingvindar är så låg under de tidiga åren av denna mätserie. Vissa år har inga kulingvindar uppmätts alls. Data så långt tillbaka i tiden kan vara något opålitliga (SMHI kundtjänst II, 2009). En anledning till den

markanta förändring som sker kring 1973 kan vara att mätutrustning bytts ut (SMHI kundtjänst II, 2009), kanske från äldre utrustning till en mer tekniskt förfinad.

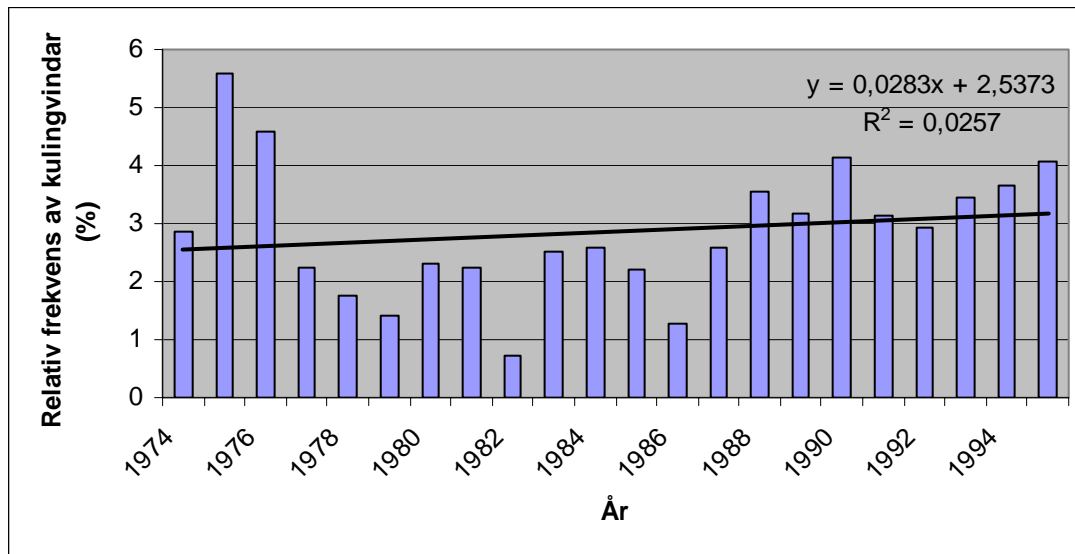
För vidare analys används endast vinddata från 1976 och framåt, eftersom simultana vattenstånd är nödvändiga för vissa av de beräkningar som senare skall presenteras. Eftersom inte vindarna innan detta datum används för vidare beräkningar görs ingen djupare utredning av varför frekvensen av kulingvindar är så anmärkningsvärt låg under de tidiga åren.

Enligt trenden som baseras på hela mätperioden så ökar den relativa frekvensen av kulingvindar med 0,11 procentenheter per år (Figur 7-3). Om de tidiga åren exkluderas på grund av tveksamheten kring riktigheten hos dessa värden fås istället en ökning av den relativa frekvensen med 0,03 procentenheter per år (Figur 7-4), dock är  $R^2$ -värdet i detta fall mycket lågt.

Då forskning inte pekar på en tydlig trend hos vinddata i dagsläget och mätserien som visas här är relativt kort och den tidiga perioden dessutom kanske inte är helt tillförlitlig, känns det tveksamt att anta att någon av de framräknade trenderna kan extrapoleras in i framtiden.



Figur 7-3 – Relativ frekvens av kulingvindar uppmätta i Helsingborg under perioden 1961-1995.



Figur 7-4 - Relativ frekvens av kulingvindar uppmätta i Helsingborg under perioden 1974-1995.



## 8 Vindar och havsvattenstånd

### 8.1 Sammanfattning

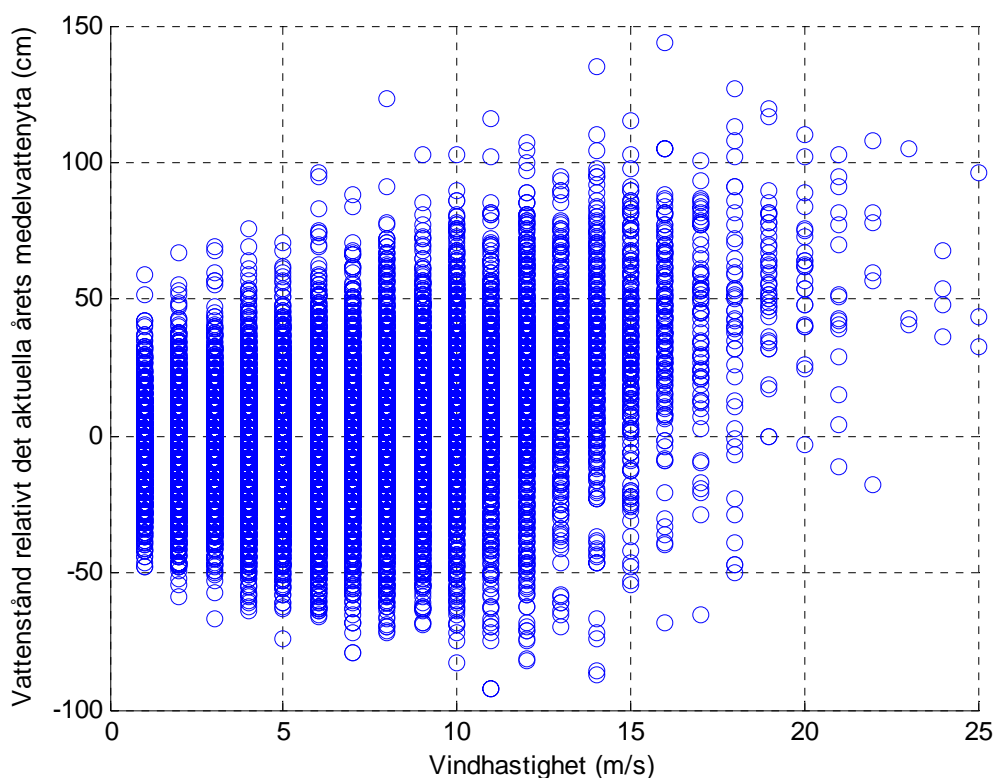
Eftersom höga vindhastigheter under rätt förutsättningar genererar höga vågor är det av intresse att studera om vindar och vattenstånd samvarierar på något sätt. Inget tydligt samband uppvisades mellan vindstyrka och höga havsnivåer då en korrelationskoefficient dem emellan beräknades. Däremot pekar undersökningarna på att höga havsvattenstånd uppkommer då vindarna blåser från sydväst till nord, vilket är riktningarna där starkast vindar förekommer.

### 8.2 Metodik

Vattenstånddata utgörs av uppmätta värden var 10:e minut, Därför har vattenståndsdata som tidsmässigt sammanfaller med mätvärden från vindserierna tagits fram för vidare analys.

### 8.3 Analys

I Figur 8-1 visas samtida värden på vindhastighet och havsvattennivåer. I Figur 8-2 finns motsvarande figur för vindriktning och havsvattennivåer.

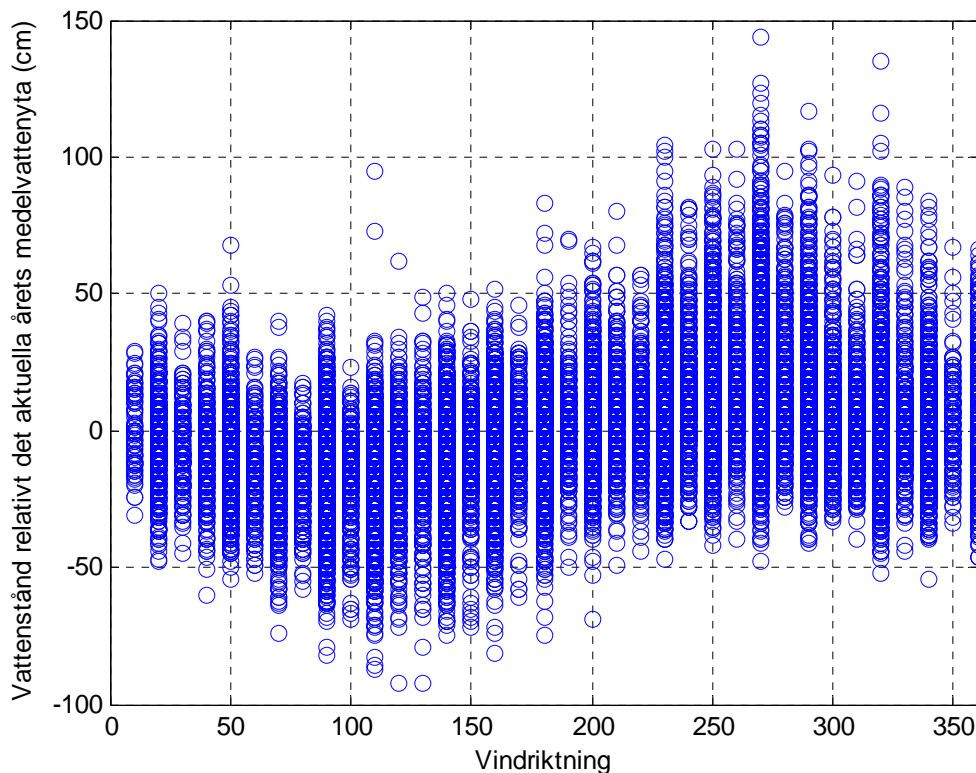


Figur 8-1 – Vindhastighet uppritad mot havsvattennivån relativt medelvattenytan för perioden 1976-1995.

Figur 8-1 kan tolkas på följande sätt. Vid svaga till friska vindar varierar vattennivåerna inom ett ganska brett spann. När vindhastigheten ökar blir spannet något smalare och ligger högre upp på y-axeln. Punkterna med samtidigt höga vattenstånd och höga vindhastigheter är av naturliga skäl betydligt färre än övriga eftersom dessa situationer inte inträffar så ofta, vilket

medför att det är svårt att dra några entydiga slutsatser utifrån denna figur. Dock är det ett sätt att visa på att starka vindar kan hänga samman med högre vattennivåer.

Korrelationskoefficienten för vindhastigheter och vattenstånd beräknades till 0,36 då samtliga vindar och vattennivåer jämfördes. Då endast vindhastigheter över 8 m/s inkluderades i beräkningen erhöles en korrelationskoefficient på 0,38. Dessa värden pekar alltså inte på något tydligt samband mellan vindar och vattenstånd.



**Figur 8-2 – Vindriktning och simultant havsvattenstånd relativt det aktuella årets medelvattenyta för perioden 1976-1995.**

I Figur 8-2 kan ses att intervallet inom vilket havsvattennivåerna rör sig är förskjutet uppåt för vindriktningar mellan ca 230° och 320°, vilket innebär sydvästliga till nordvästliga riktningar. Alltså pekar data på att en högre vattennivå kan väntas då vindarna blåser från sydväst till nord.

## 9 Vågor

### 9.1 Sammanfattning

Vågklimatet är av intresse bland annat för att kunna beräkna uppspolning. Information om vågklimatet är också nödvändigt för att kunna studera sedimenttransporten. För att kunna göra beräkningar på uppspolning räcker ofta information om vågklimatet på djupt vatten. Analys av sedimenttransport kräver däremot information om brytande vågor d.v.s. brytande våghöjder samt vid vilken vinkel vågbrytningen äger rum i förhållande till stranden och på vilket djup.

Vågklimatet beräknades för olika delområden som kommunens kuststräcka delades in i. Vågor på djupt vatten beräknades med hjälp av en metod som tar hänsyn till föregående våg. Jämförelse gjordes mellan denna metod och en metod som ej inkluderar hänsyn till föregående vågförhållanden. Skillnaden visade sig vara ganska liten då jämförelse gjordes på basis av frekvensen av olika våghöjder och perioder. Dock valdes ändå metoden som tar hänsyn till de förhållanden som råder innan varje ny våghöjd beräknas, då denna metod anses representera verkligheten bättre. Maximal våghöjden på djupt vatten uppgick till 2,78 m för det delområde som uppvisade störst maximal våghöjd. Dock avvek inte den maximala våghöjden särskilt mycket mellan områdena, då alla uppvisade maximala våghöjder strax över 2,5 m.

Vågklimatet på grunt vatten beräknades och resulterade i brytande våghöjder, brytdjup samt infallsvinkel vid vågbrott. Det som beräknades är förhållanden vid vågens första brytpunkt. Det största djupet vid vågbrott var drygt 3 m.

Det kunde inte påvisas någon tydlig samvarians mellan våghöjder och vattenstånd. En svag korrelation mellan högre vågor och högre vattenstånd kunde dock noteras.

### 9.2 Tillgängliga data

Vindar uppmätta i Helsingborg under perioden 1976-1995 användes.

### 9.3 Metodik

#### 9.3.1 Djupt vatten

För att kunna beräkna våghöjder krävs information om hur lång sträcka som våggenererande vindar från olika riktningar färdas över öppet vatten, s.k. stryklängder. Eftersom studien omfattat en hel kommuns kuststräcka innebär detta att det finns vissa variationer i stryklängden beroende på vilken del av kuststräckan som avses. Av detta skäl delades kuststräckan in i sex delar där varje del ansågs representera en likartad uppsättning av stryklängder. Indelningen visas i Figur 9-1 och de uppskattade stryklängderna i Tabell 9-1 samt Tabell 9-2. Ett visuellt exempel på stryklängsindelning för ett delområde återfinns i Appendix VI.

Eftersom beräkningarna här görs med avseende på djupvattenförhållanden, uppskattades det avstånd från kustlinjen där djupvattenförhållanden antas börja råda. Det djup som här betraktas som djupt vatten är 10 m. Avstånd från kusten till denna punkt uppskattades för respektive område med hjälp av sjökort (Eniro, 2009).



Figur 9-1 – Indelning av kommunen i områden med likartade stryklängder (Google Earth, 2009).

Tabell 9-1 – Stryklängder för respektive riktning, baserat på områdesindelningen i Figur 9-1.

A		B1		B2	
Riktning	Stryklängd (km)	Riktning	Stryklängd (km)	Riktning	Stryklängd (km)
187°-203°	18,7	167°-181°	24,5	187°-220°	18,5
204°-225°	22,3	182°-192°	16,4	221°-269°	13,4
226°-274°	16,9	193°-210°	21,3	270°-299°	4
		211°-225°	17,7	300°-319°	15,6
		226°-242°	14,4		

Tabell 9-2 - Stryklängder för respektive riktning, baserat på områdesindelningen i Figur 9-1.

C		D1		D2	
Riktning	Stryklängd (km)	Riktning	Stryklängd (km)	Riktning	Stryklängd (km)
209°-225°	18,1	193°-221°	24,9	187°-197°	31,0
226°-242°	15,4	222°-263°	4,0	198°-209°	23,5
243°-280°	2,3	264°-299°	13,8	210°-254°	5,4
281°-324°	14,4			255°-307°	13,4

Vid beräkning av våghöjder på djupt vatten utifrån vinddata finns det olika tillvägagångssätt. Ett alternativ är att utifrån varje uppmätt vindhastighet och varaktighet beräkna en våghöjd som denna vind skulle ge upphov till utan att ta hänsyn till hur förhållandena såg ut innan denna vindhastighet rådde. I denna studie har resultatet från en sådan beräkning jämförts med resultatet från en beräkning där hänsyn tas till föregående våg vid beräkning av varje ny våghöjd d.v.s. ackumulering av vågenergi inkluderas i beräkningsmodellen.

Då hänsyn tas till föregående våg används en formel där våghöjden växer eller avtar enligt en exponentiell funktion. Denna metod fungerar således för både växande och avtagande vågor. Metoden bygger på att en våg växer/avtar mot ett visst jämviktsläge som beräknas för varje nytt tidssteg. Detta är en vidareutveckling av den metod som presenteras i *Shore Protection Manual* (USACE, 1984) där hänsyn ej tas till ackumulation respektive avklingning.

På grund av Landskronas läge är stryklängderna oftast ganska korta vilket gör att ackumulation av vågenergi inte torde ha särskilt stor betydelse för vågklimatet. Man kan säga att Östersjön, i synnerhet Öresund, generellt har ganska kort "minne" (Hanson, 2009). Jämförelsen mellan de två metoderna görs ändå för att få en uppfattning om hur stor skillnaden i resultat de båda metoderna ger upphov till.

För att kunna beräkna vågklimatet krävs att de uppmätta vindhastigheterna justeras och konverteras till effektiv vindhastighet enligt ekvation 9.1. Den effektiva vindhastigheten tar hänsyn till att det råder ett icke-linjärt förhållande mellan vindhastighet och den kraft som vinden utövar på vattenytan (USACE, 1984).

Justering görs också för det faktum att vattnets temperatur och luftens temperatur ofta avviker. Eftersom det i detta fall inte finns någon kännedom om hur stor denna temperaturskillnad är används en standardfaktor på 1,1 (USACE, 1984).

$$u_A = 0,71 \cdot (u * 1,1)^{1,23} \quad (9.1)$$

där

$u$  = Uppmätt vindhastighet på 10 m höjd (m/s).

$u_A$  = Effektiv vindhastighet (m/s).

Ekvation 9.2-9.4 beskriver våghöjd, period samt den tid det tar för vindarna att få inverkan på hela stryklängden. Detta innebär att om vindens varaktighet är större än  $t$ , råder *stryklängdsbegränsade* förhållanden. Om varaktigheten skulle vara mindre råder *varaktighetsbegränsade* förhållanden. Den översta gränsen nås då *fullt utvecklad sjö* råder,

vilket beskrivs av ekvation 9.5- 9.7. Fullt utvecklade sjö innebär den maximala våghöjd som i praktiken har uppnåtts. Alla dessa ekvationer är angivna enligt *Shore Protection Manual* (USACE, 1984).

*Stryklängdsbegränsade förhållanden*

$$H_{m_0} = 5,112 \cdot 10^{-4} u_A F^{1/2} \quad (9.2)$$

$$T_m = 6,238 \cdot 10^{-2} (u_A F)^{1/3} \quad (9.3)$$

$$t = 32,15 \left( \frac{F^2}{u_A} \right)^{1/3} \quad (9.4)$$

*Fullt utvecklade sjö*

$$H_{m_0} = 2,482 \cdot 10^{-2} u_A^2 \quad (9.5)$$

$$t = 7,296 \cdot 10^3 u_A \quad (9.6)$$

$$T_m = 8,30 \cdot 10^{-1} u_A \quad (9.7)$$

där

$H_{m_0}$  = Signifikant våghöjd på djupt vatten (m).

$T_m$  = Signifikant period på djupt vatten (s).

$t$  = Tid som krävs för att vindarna skall få inverkan på hela stryklängden alternativt den tid som krävs för att uppnå fullt utvecklade sjö (s).

$F$  = Stryklängd (m).

Av Hanson och Larson (2008) ges en differentialekvation för hur våghöjden utvecklas med tiden då hänsyn tas till föregående våg.

$$\frac{dH}{dt} = k(H_{eq} - H) \quad (9.8)$$

Vidare ges också lösningen till denna ekvation.

$$H = H_{eq} - (H_{eq} - H_{in}) \exp\left(-\lambda \frac{t}{t_{eq}}\right) \quad (9.9)$$

där

$H_{eq}$  = Våghöjd vid jämviktsförhållanden d.v.s. då gränsen för stryklängdsbegränsade förhållanden har nåtts (m).

$H$  = Våghöjd (m).

$t_{eq}$  = Tid som krävs för att vindarna skall få inverkan på hela stryklängden (s).

$t$  = Vindens varaktighet (s).

$\lambda$  = Empirisk koefficient som har bestämts till 2,17.

De beräknade våghöjderna och perioderna motsvarar den signifikanta våghöjden respektive perioden. Detta innebär att det är medelvärdet av de 1/3 av vågorna som är störst. Detta är ett frekvent använt begrepp och sägs härstamma från att de signifikanta vågorna ungefär motsvarar de vågor som upplevs vid visuella observationer av havet.

Hänsyn togs till att vindarna inte är uppmätta kontinuerligt d.v.s. att tidsintervallet mellan de olika vindarna och därmed den antagna varaktigheten varierar mellan 3 timmar och 12 timmar. Detta eftersom ett längre uppehåll görs under natten för mätningar som gjorts under den tidigare delen av mätperioden.

Våghöjder och perioder kan alltså beräknas direkt ur ekvation 9.2 – 9.3, utan hänsyn till förgående vågförhållanden. Ett annat alternativ är alltså att använda ekvation 9.9, där vågorna växer/avtar mot de jämviktsförhållanden som varje vind korresponderar mot. Det innebär att om förgående våg är högre än de jämviktsförhållanden som nuvarande vind ger upphov till, blir vågen något högre än jämviktsvåghöjden. Om föregående våg istället är mindre kommer nuvarande våg att bli något mindre än jämviktsvåghöjden.

### 9.3.2 Grunt vatten - brytande vågor

Då vågor rullar in mot grundare vatten kommer de till slut till en punkt då de blir för branta för att fortsatt kunna vara stabila. En våghöjd på djupt vatten begränsas av ett maximalt förhållande mellan våghöjd och våglängd (USACE, 1984).

Det begränsande förhållande uppnås då vattenpartiklarnas hastighet är ekvivalent med vågens utbredningshastighet, och i samma ögonblick som detta förhållande överskrids börjar vågen bryta (USACE, 1984). När en våg bryter frigörs en del av dess energi. Denna energi skapar turbulens i vattnet, vilken i sin tur är kapabel till att förflytta sand (Hanson och Larson, 1992). I många modeller för beräkning av sedimenttransport är det därför av betydelse att ha kunskap om brytande vågors egenskaper. De beräknade brytande våghöjderna kommer senare att användas för beräkningar av kustparallell sedimenttransport.

Utifrån vindriktning och kustlinjens orientering vid de olika områdena, kan vinklar för de infallande vågorna på djupt vatten erhållas.

Våghöjder ( $H_b$ ), djup ( $h_b$ ) och vinklar ( $\theta_b$ ) för de brytande vågorna i Landskrona har beräknats genom att följa ekvationerna i Larson *et al* (u.å.). Index  $b$  indikerar att det är egenskaper för de brytande vågorna.

$$H_b = 0.78 \cdot h_b \quad (9.10)$$

där

$H_b$  = våghöjden för den brytande vågen

$h_b$  = djupet vid vilket vågen bryter

Eftersom vågor då de rullar inåt grundare vatten, ändrar egenskaper på grund av refraction utgår beräkningarna i den förenklade modellen av Hanson och Larson (1992) från Snells lag, ekvation 9.11. Index  $m$  indikerar egenskaper för vågor vid godtyckligt djup, i detta fall ett djup på 10 m.

$$\frac{\sin \theta_m}{C_m} = \frac{\sin \theta_b}{C_b} \quad (9.11)$$

där

$C_x$  = vågornas hastighet vid respektive djup  
och

$\theta_x$  = infallsvinkeln för vågorna vid de olika djupen

Snells lag kombineras sedan med uttrycket för energiflödets bevarande:

$$H_m^2 \cdot C_{g,m} \cdot \cos \theta_m = H_b^2 \cdot C_{g,b} \cdot \cos \theta_b \quad (9.12)$$

där

$H_x$  = våghöjden vid utgångsdjupet respektive brytpunkten

och

$C_{g,x}$  = grupp hastigheten för vågorna vid utgångsdjupet respektive brytpunkten

Kombinationen av 9.11 och 9.12 och med antagandet att vågenskaper för grunt vatten gäller vid brytpunkten ger:

$$H_m^2 \cdot C_{g,m} \cdot \cos \theta_m = \gamma^2 \cdot h_b^2 \cdot \sqrt{g \cdot h_b} \cdot \cos \left( \arcsin \left( \sin \theta_m \cdot \frac{C_b}{C_m} \right) \right) \quad (9.13)$$

där

$\gamma$  = förhållandet  $H_b/h_b$

Utförligare beskrivning för att lösa ekvation 9.13 och erhålla brytande våghöjder, djup och vinklar, återfinns i Appendix I.

## 9.4 Analys

### 9.4.1 Djupt vatten

Vid jämförelse av de båda metoderna att beräkna våghöjder framkommer att en mindre avvikelse finns enligt Figur 9-2 och Figur 9-3, som visar beräknade våghöjder samt perioder för område B2.

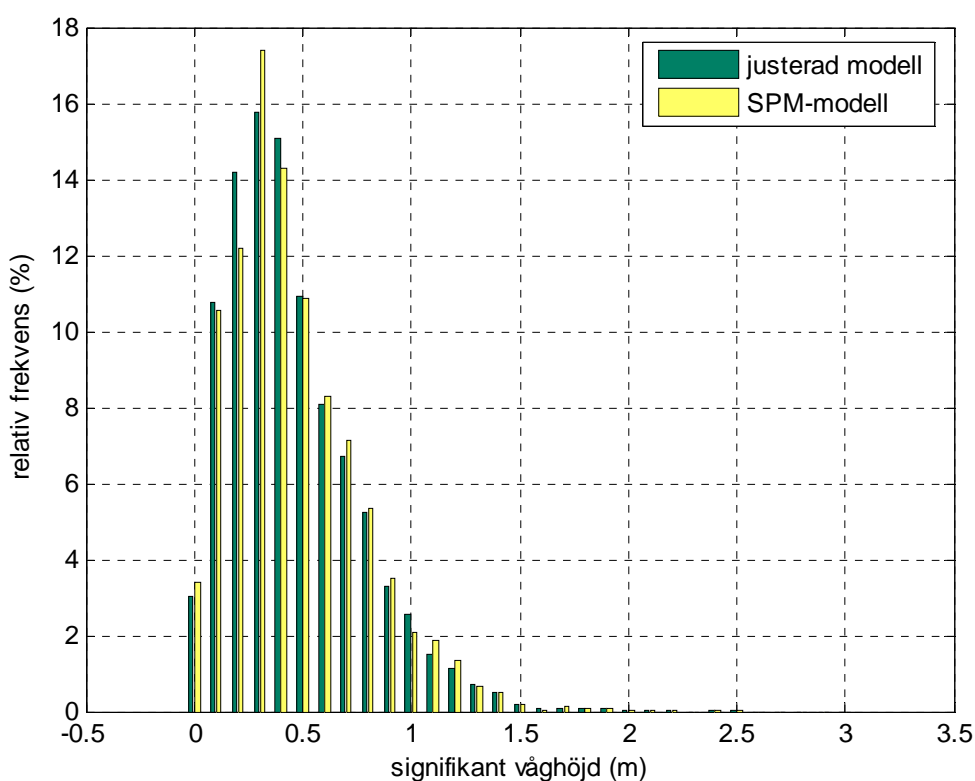
Det som kan utläsas ur Figur 9-2 är att metoden som tar hänsyn till föregående våg genererar något fler av de små vågorna och något färre av de större, men i något fall för vågor kring 1 m, blir frekvensen högre med denna metod. Intuitivt borde metoden generera fler av de allra högsta vågorna än vad metoden utan ackumulation och avklingning gör. Detta kan dock inte



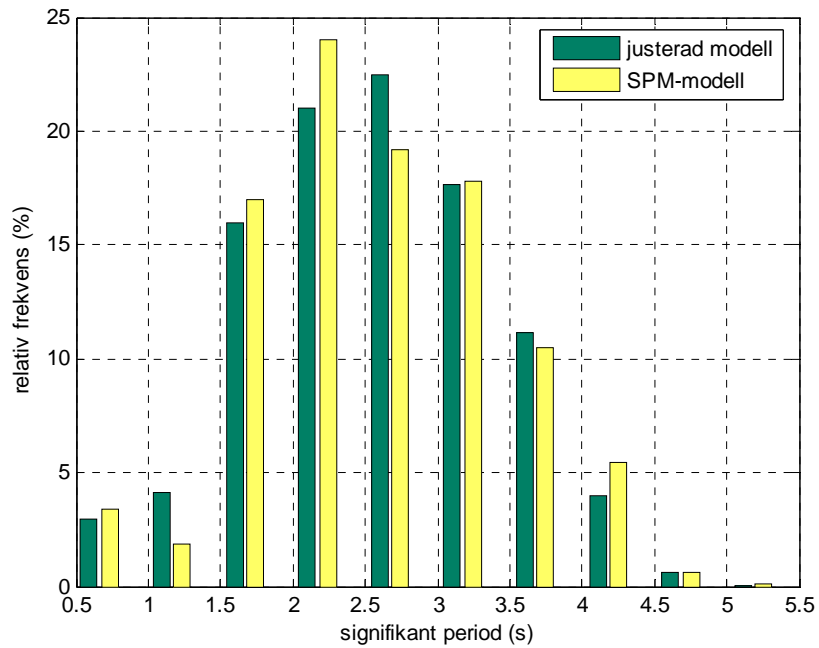
ses tydligt i figuren. Dock är skillnaden ganska liten, i synnerhet för de högre vågorna. Detta indikerar att beroendet av föregående vågförhållanden inte är så stort för de vågor som genereras i Öresund. Detta med anledning av de relativt korta stryklängderna som har nämnts tidigare. En anledning till att frekvensen av mindre vågor kan större är att metoden tar hänsyn till att vågor växer respektive avtar successivt, och inte alltid hinner nå jämviktsläget. Avvikelsen mellan metoderna blir något större för de beräknade perioderna, vilket kan ses i Figur 9-3, men är fortfarande inte av betydande storlek.

Även om jämförelsen visar att avvikelsen mellan resultatet från de två metoderna inte är stor, kommer resultatet från den metod som tar hänsyn till föregående våg att användas för vidare analys. Detta eftersom denna metod förväntas representera verkligheten bättre.

I Tabell 9-3 redovisas de beräknade max-, medel- och medianvärdena för våghöjderna för respektive område.



**Figur 9-2 - Frekvens (i % under hela tidsperioden 1976-1995) av våghöjder för område B2 beräknade med metoden som inkluderar ackumulation/avklingning av vågenergi (justerad modell) och beräknade med den enklare metoden (SPM modell).**



**Figur 9-3 – Frekvens (i % under hela tidsperioden 1976-1995) av beräknade perioder för område B2 då ackumulering/avklingning av vågenergi inkluderas (justerad modell) respektive ej inkluderas (SPM modell).**

**Tabell 9-3 – Max-, medel- och medianvärden för beräknade signifikanta våghöjder för respektive område.**

Område	Maximal signifikant våghöjd (m)	Medelvärde (m)	Median (m)
A	2,78	0,60	0,56
B1	2,57	0,51	0,45
B2	2,51	0,46	0,41
C	2,65	0,41	0,34
D1	2,71	0,49	0,42
D2	2,65	0,50	0,43

### 9.4.2 Brytande vågor

Brytande våghöjder beräknades för alla delar av Landskronas kuststräcka i syfte att kunna beräkna kustparallell sedimenttransport, se kapitel 12.

I Tabell 9-4 åskådliggörs resultaten av beräkningarna för de olika områdena.

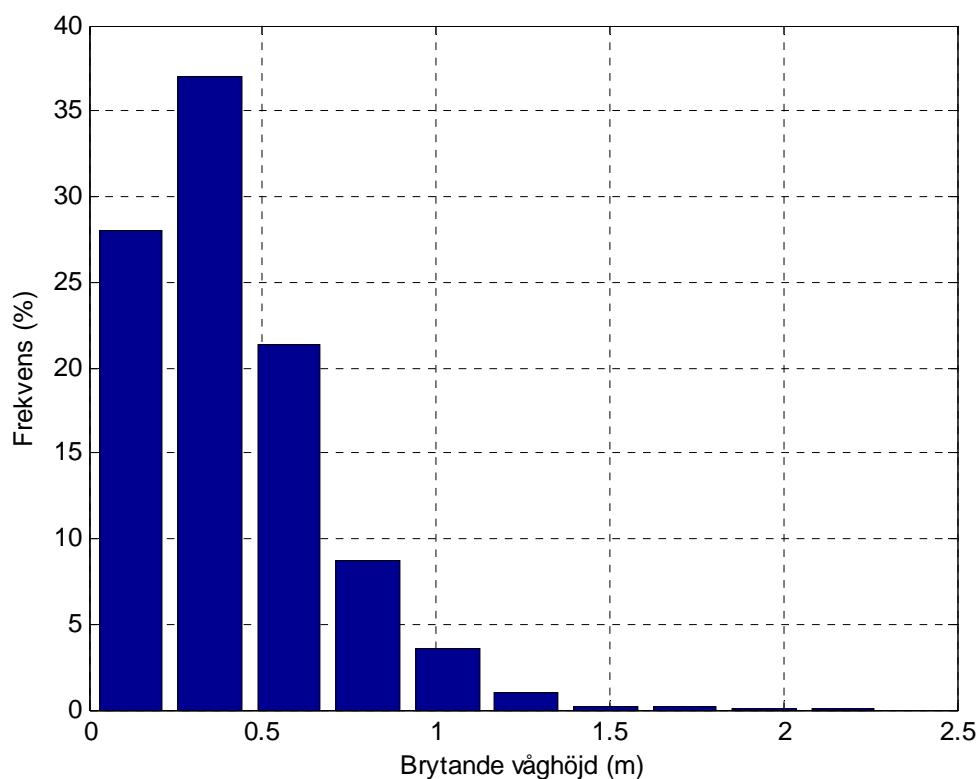
Tabell 9-4 – Brytande våghöjder och brytande vågdjup för samtliga områden.

Lokal	Maxhöjd (m)	Genomsnittlig höjd (m)	Maxdjup (m)
A	2,6	0,57	3,3
B1	2,4	0,42	3,1
B2	2,3	0,41	2,9
C	2,4	0,37	3,1
D1	2,5	0,44	3,2
D2	2,3	0,45	2,9

De högsta våghöjderna för brytande vågor uppkommer vid område A, där beräkningarna resulterade i maxvärden på 2,6 meter. Vågorna bryter då vid ett djup av 3,3 meter. De lägsta våghöjderna visade sig vid område B2 och D2 (Figur 9-1), där de är 2,3 meter som maximalt, vid ett djup av 2,9 meter.

Dessa värden visade sig var något lägre än uträknade våghöjder för brytande vågor i Ystad, enligt Egermayer och Dahlerus (2005). Detta beror på att stryklängderna i Landskrona är kortare än de i Ystad, vilket genererar lägre vågor.

I Figur 9-4 åskådliggörs frekvensen i procent för olika brytande våghöjder vid område B2.

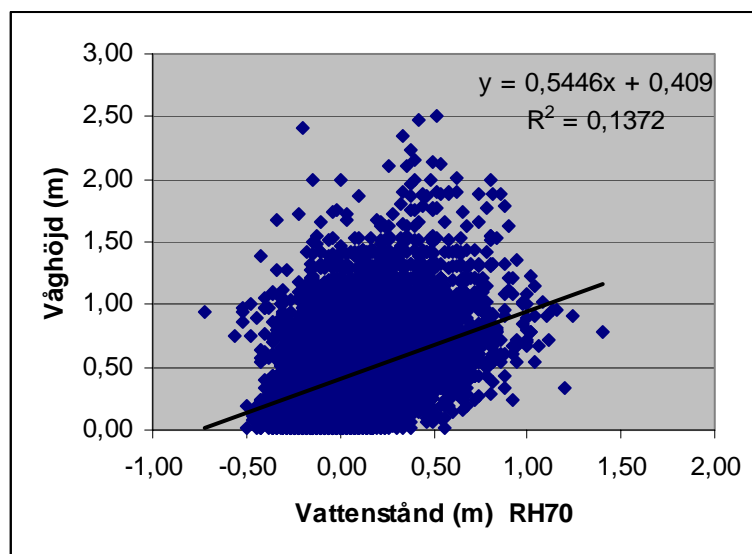


Figur 9-4 – Frekvens (i % under hela tidsperioden 1976-1995) av olika brytande våghöjder vid område B2.

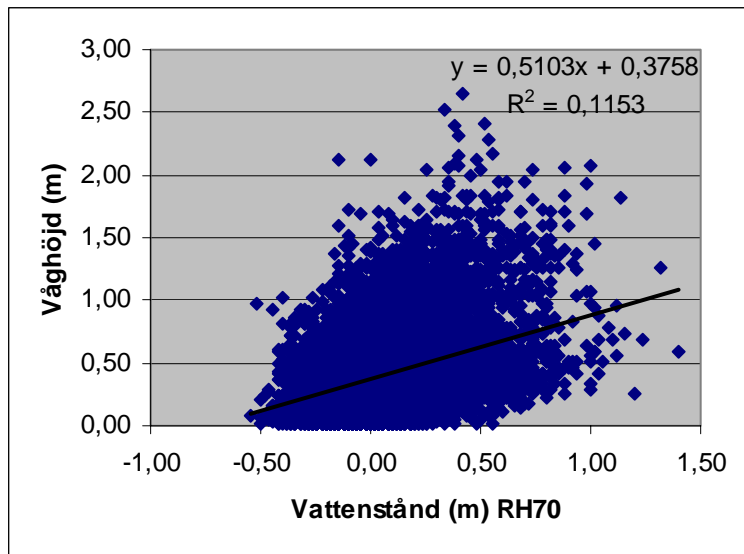
De brytande våghöjderna verkar följa en log-normalfördelning. Det är tydligt att det är mycket låga förekomster av de högsta vågorna. Däremot är det relativt hög frekvens för mycket låga våghöjder.

### 9.4.3 Vågor kontra vattenstånd

Eftersom vågorna ger upphov till uppspolning och även sedimenttransport, är det av intresse av studera hur vågor och vattenstånd varierar. Höga vattenstånd kombinerat med höga vågor ger naturligtvis större uppspolning och större risk för erosion av dyner. Vindarnas och vågornas samvarians har studerats i tidigare kapitel och det är rimligt att anta att vågor och vattenstånd varierar på ungefär samma sätt. Dock varierar stryklängderna mellan områden, vilket medför att en stark vind inte nödvändigtvis behöver ge upphov till en hög våg. Vågorna på djupt vatten och vattenståndens samvarians studerades för område B2 och C och visas i Figur 9-5 respektive Figur 9-6. Det finns inte något uppenbart samband, möjligen kan en svag trend noteras. Den beräknade trenden resulterade i den linje som också visas i figurerna. Korrelationskoefficienten beräknades för båda fallen och resultatet blev 0,37 respektive 0,34 för område B2 respektive C. Alltså ungefär samma korrelation som för vindar och vattenstånd. I figurerna kan ses att de riktigt höga vågorna inte verkar sammanfalla med de allra högsta vattenstånden. Det är dock mycket tveksamt om en så svag korrelation som beräknats här kan påstås peka på att det finns ett samband.  $R^2$  värdet som visas i figurerna är i båda fallen mycket lågt, vilket visar på att det är ytterst tveksamt att tala om ett samband eller en trend mellan dessa båda variabler.



Figur 9-5 – Våghöjd uppritat mot vattenstånd för område B2, samt en anpassad trendlinje.



Figur 9-6 - Våghöjd uppritat mot vattenstånd för område C, samt en anpassad trendlinje.

## 10 Uppspolning

### 10.1 Sammanfattning

Då vågorna närmar sig grundare vatten kommer de att bryta och ge upphov till både en uppspolningseffekt och en lokal höjning av vattenytan. Båda dessa effekter brukar normalt sett vara inkluderade vid beräkning av uppspolning, som avser den nivå vattnet når relativt en opåverkad, stilla vattenyta (Hanson och Larson, 2008).

Uppspolning beräknades för perioden 1976-1995 samt för framtidsscenarioen där en ökning av medelvattenytan samt en ökning av vindhastigheten under vintermånaderna inkluderades. Vindhastigheten under vintermånaderna ökades med 7 % respektive 13 % enligt Klimat- och sårbarhetsutredningen (2007). Framtida uppspolning med oförändrade vindförhållanden beräknades också eftersom det finns en stor osäkerhet när det gäller hur framtida vindklimat kommer att se ut. Flera modeller genererar olika resultat, varav några visar på oförändrade vindförhållanden.

Uppspolningen beräknades för de områden som ansågs vara mest sårbara d.v.s. där det finns mycket bebyggelse nära kusten eller andra värden som exempelvis en golfbana. Det visade sig att överspölningsproblematiken torde vara störst vid område B2. Hur stort problemet är i dagsläget beror naturligtvis på hur lågt stenskoningen ligger. På de ställen där stenskoningen ligger relativt högt, vilket innebär ca 1,5 m i förhållande till RH70 sker överspölning av stenskoningen med en total varaktighet som i medeltal är 4 dygn per år. Om stenskoningen ligger så lågt som på 1,1 m höjd sker överspölning med en total varaktighet på 15 dygn per år.

Område C, där bland annat golfbanan är lokaliserad, visade sig vara mindre utsatt. Överspölningen av erosionsbrantens övre kant sker här med den totala varaktigheten på endast ett dygn per år i medeltal.

Ålabodarna, lokaliserat vid det som definierats som område D1, bör inte ha några större problem med uppspolning i dagsläget, såvida inte väldigt extrema förhållanden råder. Infrastruktur och byggnader ligger på en relativt hög höjd, oftast över 2 m. Detta medför att överspölning av denna höjd endast skett vid ett mycket litet antal tillfällen (7 timmar) under den totala 19 år långa period som tagits i beaktande.

En förhållandevis stor ökning av årsmaxima hos uppspolningen har kunnat påvisas. Ökningen på 2 cm/år kan jämföras med trenden hos årliga högvatten som för Viken framräknats till respektive 0,32 cm/år.

Uppspolningen påverkas inte kraftigt av själva ökningen av vindhastigheten under vintermånaderna. Uppspolningen i medeltal påverkas marginellt emedan den maximala uppspolningen påverkas mest. En ökning på ca 0,2 m noterades hos den maximala uppspolningen då vindhastigheten ökats med 13 % under vintermånaderna. Däremot gör naturligtvis den ganska rejäla ökningen av medelvattenytan att uppspolningen förändras markant i detta framtida scenario. En dramatisk ökning av frekvensen av extrema uppspolningshöjder kunde iakttas.

## 10.2 Tillgänglig data

Simultana vattenståndsdata och vågdata är nödvändiga för att genomföra denna analys. Våghöjder som beräknats enligt kapitel 9 har använts och samtida vattenstånd har extraherats ur vattenståndsdata. Vindar från Helsingborg samt vattenstånd från Viken har använts från perioden 1976-1995.

## 10.3 Metodik

### 10.3.1 Hunt's formel

Det finns olika metoder att beräkna uppspolningen. En av de vanliga metoderna är den formel som presenterades av Hunt 1959 eller olika varianter av denna. Formeln brukar vanligen presenteras på följande sätt (Hanson och Larson, 2008):

$$\frac{R}{H_0} = \frac{\tan \beta}{\sqrt{H_0/L_0}} \quad (10.1)$$

där

$R$  = Uppspolning relativt den opåverkade vattenytan.

$H_0$  = Våghöjd på djupt vatten.

$L_0$  = Våglängd på djupt vatten.

$\beta$  = Strandplanets lutning.

Det finns varianter där det används andra ingångsparametrar. Exempelvis Hedges och Mase (2004) anger att våghöjden vid kustnära vågförhållanden skall användas. Men enligt Larson och Hanson (2008) har den ovan angivna formeln genererat värden som stämt väl överens med observerade data.

Det har diskuterats vilken lutning som är lämpligast att använda. Hunts' formel i dess ursprungliga form är avsedd att användas med strandplanets lutning (Kriebel and Mayer, 1994). Dock har Kriebel och Mayer (1994) visat att denna lutning tenderar att överskatta uppspolningen. Författarna visar att en viktad lutning baserad på strandplanet samt undervattensprofilen ut till vågornas brytpunkt vore det bästa att använda. Enligt Hanson och Larson (2008) tydde jämförelser med fältobservationer dock på att den mest representativa lutningen att använda i detta sammanhang är lutningen på strandplanet. De menar i motsats till Mayer och Kriebel (1994) att användandet av en viktad lutning kunde underskatta uppspolningen. I en studie av stranderosion i Bjärred gjord av Brännlund och Svensson (2005) drogs samma slutsats. Dels ansågs det svårt att bestämma hur stor del av undervattensprofilen som skulle inkluderas i den viktade lutningen, dels resulterade ett viktat värde i alltför små värden på uppspolningen.

Då det både är enklare och i ovan nämnda sammanhang visat sig vara mer korrekt, väljs här strandplanet som den representativa lutningen att använda vid beräkning av uppspolningen. Lutningen på strandplanet har beräknats på några olika platser utmed Landskrona kommuns kustlinje utifrån uppmätta kustprofiler, vilka visas i Figur 10-5, Figur 10-6 och Figur 10-7. De använda värdena på strandplanets lutning anges i Tabell 10-1. För område B2 användes lutningen på själva stenskoningen.

**Tabell 10-1 –Lutning som används vid beräkning av uppspolningen.**

Område	Lutning
B2	13°
C	8,4°
D1	8°

Då vågorna inte alltid infaller vinkelrät mot kusten kommer den uppspolning som dessa ger upphov till att bli något mindre. Hänsyn kan tas till vågens infallsvinkel genom att modifiera våghöjden enligt följande ekvation (Hanson och Larson, 2008):

$$H'_0 = H_0(\cos \alpha_0)^{1/2} \quad (10.2)$$

där

$H'_0$  = Modifierad våghöjd.

$\alpha_0$  = Vågens infallsvinkel med avseende på kustlinjen.

### 10.3.2 Framtida uppspolning

Det som valdes att användas i simuleringen av framtida uppspolningshöjder var scenariet att vindstyrkan ökar med sju till 13 procent under vintermånaderna. Detta gäller IPCC:s näst högsta utsläppsscenario fram till år 2100 (SOU 2007:60). I analysen antogs vintermånaderna vara november, december och januari.

Tre stycken simuleringar utfördes för att beräkna framtida uppspolning under olika framtida förhållanden.:

- S0 – endast höjning av medelvattenytan tas i beaktande. En medelvattenyttehöjning med 1 m fram till 2100 användes och korrigering gjordes för landhöjning med 1 mm/år.
- S1 – höjning av medelvattenytan, samt en ökning av vintermånadernas vindstyrkor med 7 procent.
- S2 – höjning av medelvattenytan, samt en ökning av vintermånadernas vindstyrkor med 13 procent.

Beräkningarna för uppspolning utfördes för samma områden som nutida uppspolning har beräknats för, det vill säga område B2, C samt D1

Även frekvensanalyser för respektive scenario utfördes för att erhålla uppspolningshöjder med olika återkomsttid.



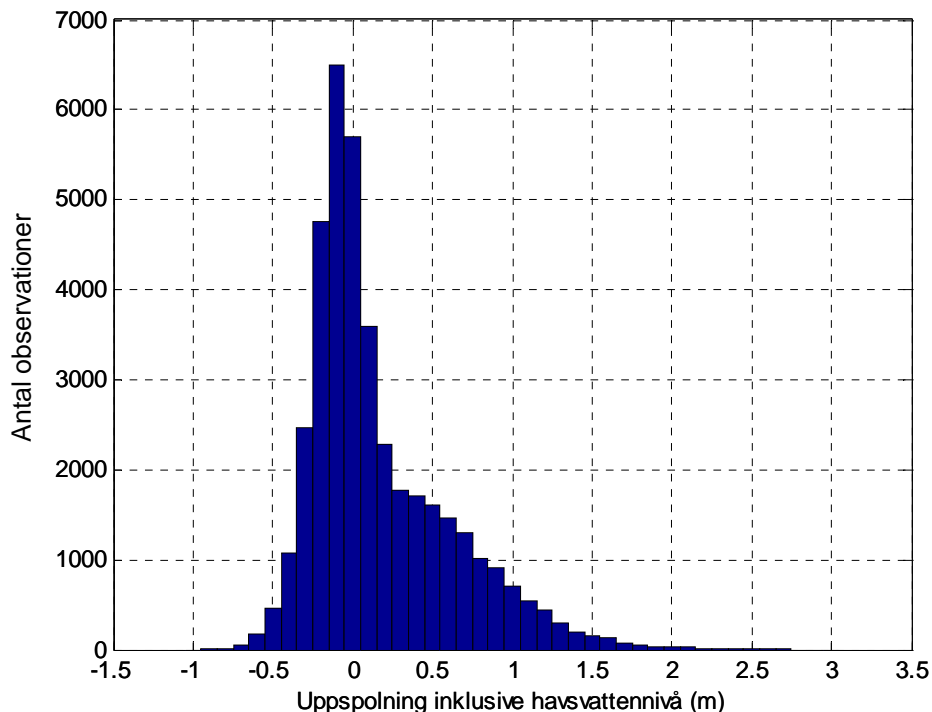
## 10.4 Analys

### 10.4.1 Nutid

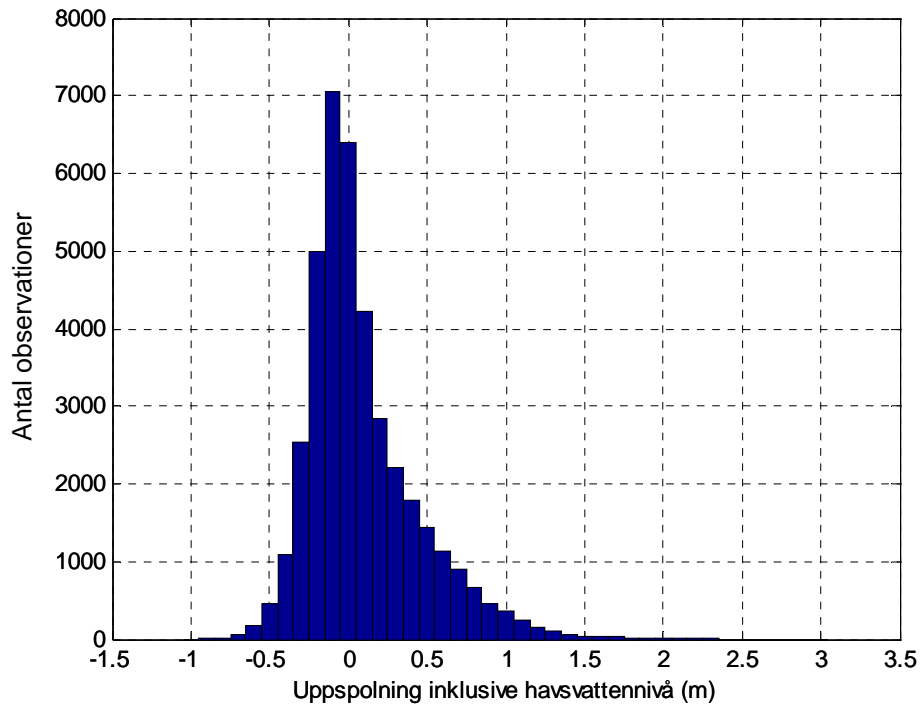
Uppspolning har beräknats för perioden 1976-1995. Denna period bedöms som representativ för nutida förhållanden då medelvattenytan har förändrats marginellt sedan denna tid och ingen säkerställd trend finns hos vinddata. Dock finns det en trend hos de årliga högsta uppspolningsvärdena som är högre än trenden hos vattenstånden. Detta diskuteras längre fram i detta kapitel.

Då område B2 är en region med mycket bebyggelse längs kuststräckan är denna av stort intresse när det gäller uppspolning. Vidare finns det även bebyggelse nära kusten vid Ålabodarna (område D). Dock är denna region inte fullt lika låglänt som nere vid Landskrona stad. En golfbana är belägen på det som klassificerats som område C. Detta kan också vara ett område där uppspolning torde vara problematiskt, om det förekommer.

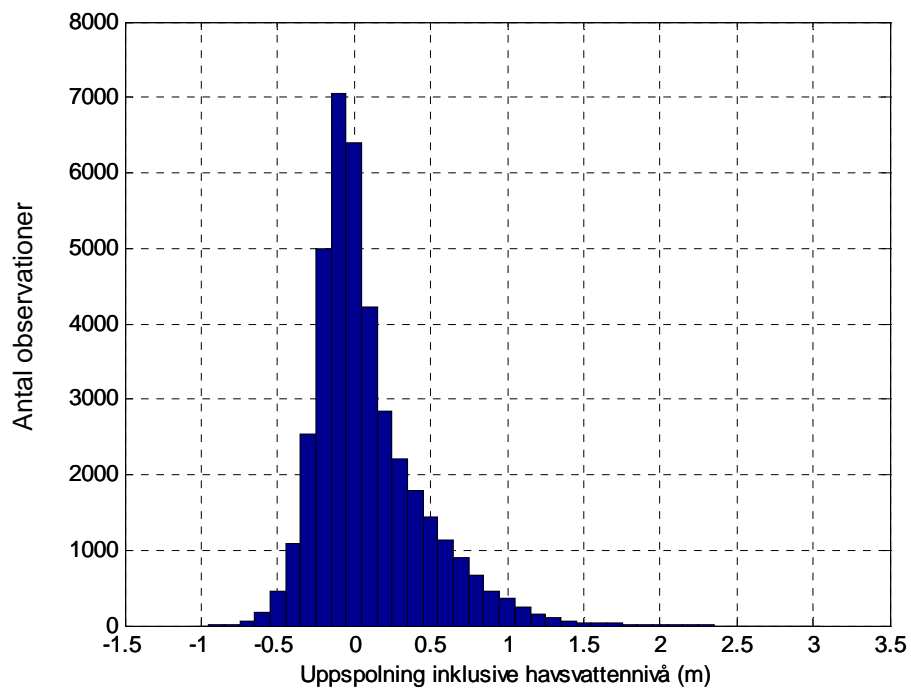
Den framräknade uppspolningen för område B2 visas i Figur 10-1. I denna figur är havsvattennivån inkluderad, vilket medför att även negativa uppspolningsvärden kan utläsas. Detta beror på att det exempelvis finns tillfällen med lågt vattenstånd och små eller inga vågor. Den högsta nivån som uppspolningen når på detta område är ca 2,75 m, relaterat till RH70. Som jämförelse kan anges att årets (2009) medelvattenyta i Viken är -0,026 m relaterat till RH70. Motsvarande histogram för område C visas i Figur 10-2 och område D1 i Figur 10-3. Maximala uppspolningsvärden samt medelvärden presenteras i Tabell 10-2.



Figur 10-1 - Uppspolningshöjder på den stenskodda delen av strandvägens kustlinje område B2, inklusive havsvattennivån i RH70 (13 grader).



**Figur 10-2 - Uppspolningshöjder för område C, inklusive havsvattennivån i RH70. Strandplanets lutning är satt till 8,4°.**



**Figur 10-3 - Uppspolningshöjder för område D1 inklusive havsvattennivån i RH70. Strandplanets lutning är satt till 8°.**

Tabell 10-2 – Max- och medelvärden för beräknade uppspolningshöjder för område B2, C samt D.

	Område B2	Område D1	Område C
<b>Maximal uppspolningshöjd exklusive vattenyta (m)</b>	2,30	1,56	1,51
<b>Maximal uppspolningshöjd inklusive vattenyta (m)</b>	2,75	2,32	2,30
<b>Medelvärde inklusive vattenyta (m)</b>	0,16	0,08	0,10

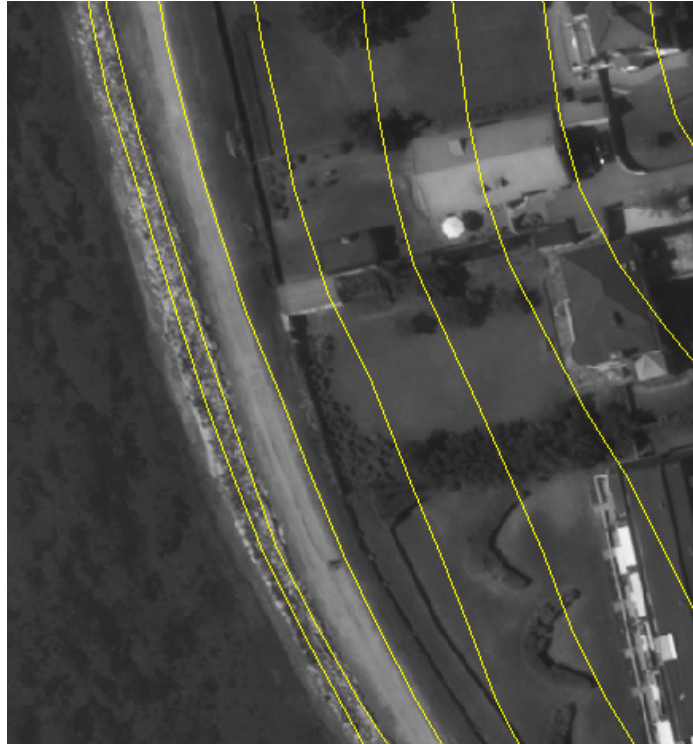
Anledningen till att område B2 får större värden på uppspolningshöjderna än område C och D1 är framförallt att lutningen som används i beräkningarna är större. Våghöjderna skiljer sig inte markant åt.

I övre delen av Figur 10-5 visas en inmätt kustprofil belägen ungefär vid strandvägens centrala del, där mycket bebyggelse är lokaliserad nära kusten. Denna sträcka är belagd med stenskonung som vid den punkt där inmätningen gjordes sträcker sig upp till 1,36 m. Enligt höjdkurvorna befinner sig tomterna i detta område på ca 2 m höjd.

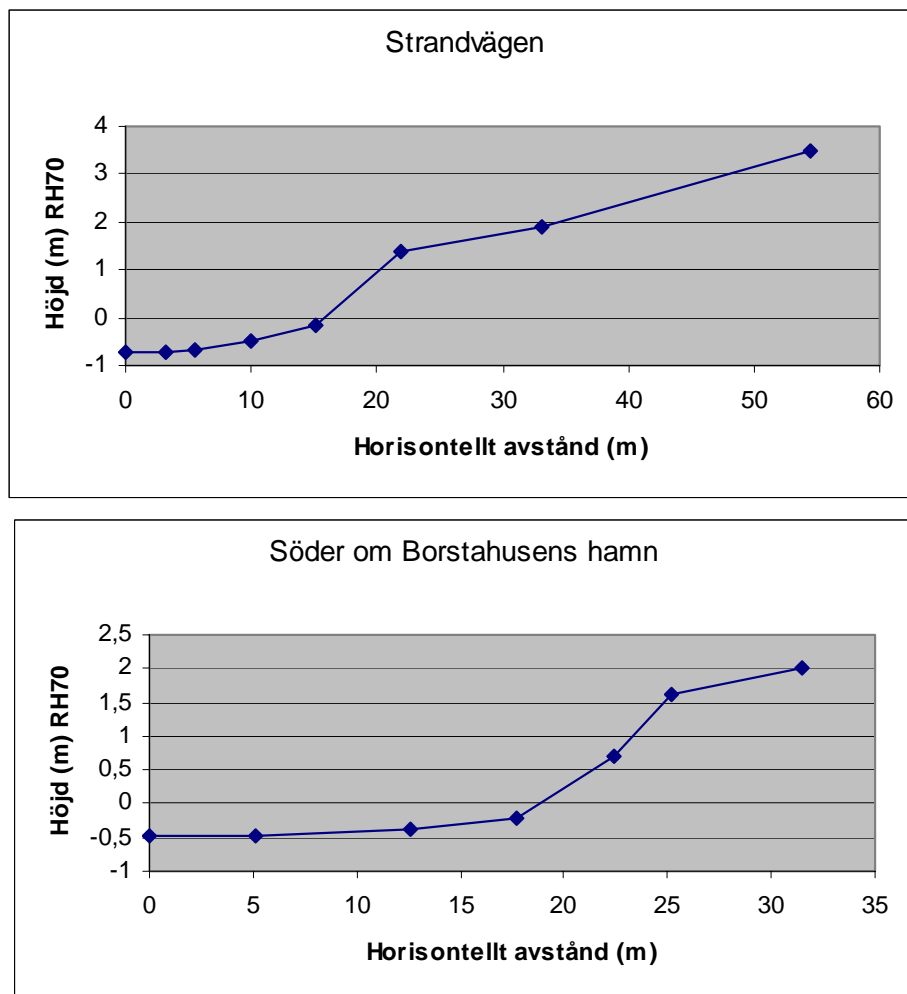
Nedre delen av Figur 10-5 visar en profil söder om Borstahusens hamn. Strax söder om denna punkt finns också mycket bebyggelse lokaliserad, dessutom på ganska låg höjd att döma av höjdkurvorna. Dessa flacka områden har bebyggelse som ligger på höjder mellan 1,5 och 2 m. Uppspolning torde alltså vara ett ännu större problem här än vid strandvägen.

Den mest frekventa uppspolningen ligger ganska lågt, under 0,5 m, vilket inte bör vara ett problem för bebyggelsen i området. Det som är intressant här är att studera när stenskonungen överspolas. Då denna uppspolningshöjd överstigs kommer lutningsförhållanden att ändras kraftigt. Det är därför svårt att, genom denna beräkningsmetod uttala sig om när uppspolningen kommer nå tomterna och husen, eftersom det är svårt att uppskatta hur långt vattnet når då stenskonungen överspolats.

Söder om Borstahusens hamn befinner sig stenskonungens övre kant på höjden 1,6 m emedan motsvarande punkt befinner sig på höjden 1,36 m vid strandvägens centrala delar som nämnts tidigare. Dock verkar andra delar av stenskonungen befinna sig betydligt lägre då höjdkurvorna betraktas. I Figur 10-4 visas en del av stenskonungen utmed strandvägen där skonungen övre kant ligger mellan ca 0,6 och 1,1 m relaterat till RH70. Här finns naturligtvis en större osäkerhet än då detaljerade inmätningar görs. Vid jämförelse mellan de inmätta profilerna vid de ovan nämnda två lokalerna och höjdkurvorna finns det en avvikelse som är svår att kvantifiera då punkterna inte sammanfaller exakt med höjdkurvorna. Dock verkar det som att höjdkurvorna generellt underskattar den faktiska höjden i dessa kustnära delar. Detta pekar alltså på att det finns en viss osäkerhet kring hur högt stenskonungen övre kant är belägen mellan de punkter där inmätningar gjordes. Dock har det framkommit uppgifter om att stenskonungen inte fick byggas högre än 1,2 m och den har sannolikt sjunkit ner något med tiden på något ställe (Knutsson, 2009). Detta stämmer alltså inte helt överens med de inmätningar som gjordes på plats.



**Figur 10-4 – Område öster om Strandvägen där stenskoningen övre kant enligt höjdkurvorna verkar uppgå till strax över 0,6 m. Höjdkurvor med 0,5 m ekvidistans är utritade. Kurvan längst till vänster har värdet 0 relaterat till kommunens höjdsystem S68 vilket motsvarar ca 0,07 relaterat till RH70.**



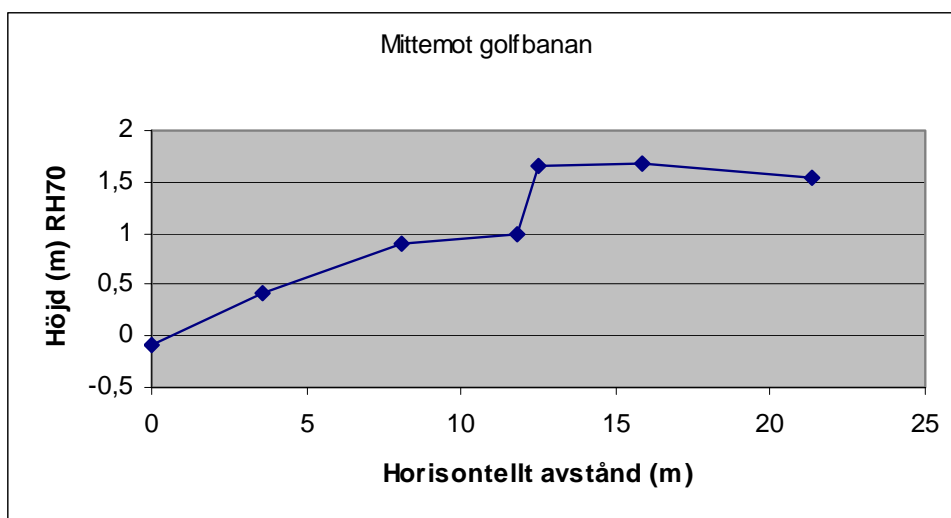
**Figur 10-5 – Inmätta profiler på område B2.**

I Tabell 10 3 visas den totala varaktigheten för olika uppspolningshöjder under hela den period som legat till grund för dessa beräkningar d.v.s. 1976-1995 för område B2. Den kritiska höjden för området vid strandvägen och Borstahusen ligger alltså som nämnts tidigare på ungefär 1,4-1,6 m där inmätningar gjorts. Däremellan kan stenskoningen alltså ligga lägre, sannolikt så lågt som kring 1 m. Uppspolningshöjden 1,1 m överstigs 6942 timmar under perioden 19760423 - 19950731 d.v.s. ca 19 år. Detta motsvarar ungefär 15 dygns total varaktighet uppdelat på 91 tillfällen per år. Höjden 1,5 m överskrids endast 1740 timmar under hela perioden vilket motsvarar endast 4 dygns total varaktighet i denna beräkning, uppdelat på 24 tillfällen per år. Men det är alltså inte omöjligt att stenskoningen på vissa ställen ligger lägre än dessa höjder.

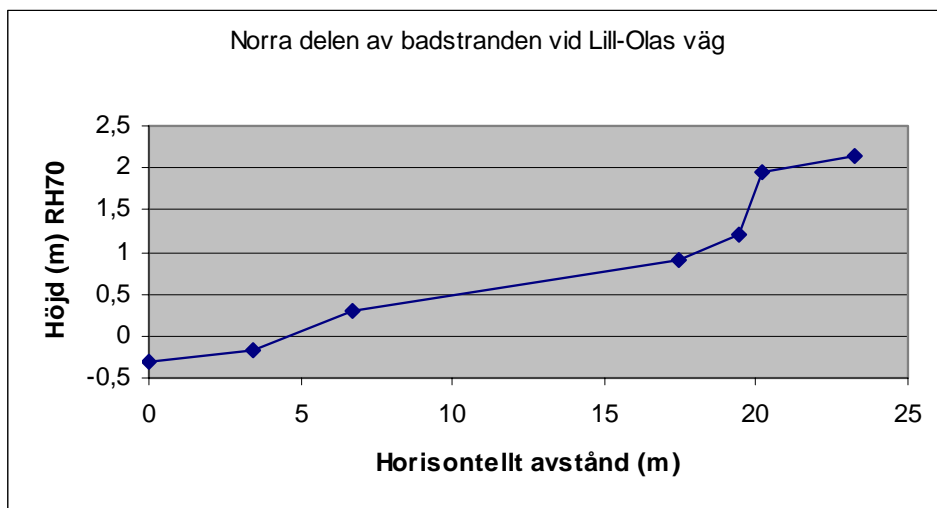
Tabell 10-3 – Frekvens (antal tillfällen) och total varaktighet för uppspolningshöjder under perioden 1976-1995 för de stenskodda delarna av området vid strandvägen (13 graders lutning).

Frekvens (tillfällen)	Antal timmar	Uppspolningshöjd relativt RH70 (m)
3	18	> 2,7
8	33	> 2,5
24	99	> 2,3
49	201	> 2,1
107	402	> 1,9
221	861	> 1,7
451	1740	> 1,5
869	3462	> 1,3
1729	6942	> 1,1
3155	12732	> 0,9
5253	21348	> 0,7
8165	33171	> 0,5
15339	47457	> 0,3

Det händer också i realiteten att gång- och cykelvägen utmed Strandvägen överspolas. Under vinterhalvåret är det inte ovanligt att tång spolats upp över cykelvägen så att denna måste rensas. Detta sker regelbundet då extra starka vindar förkommer (Björnsing, 2009).



Figur 10-6 – Inmätt profil mitt emot golfbanan, område C.



Figur 10-7 - Inmätt profil vid badstranden mittemot Lill-Olas väg, område C.

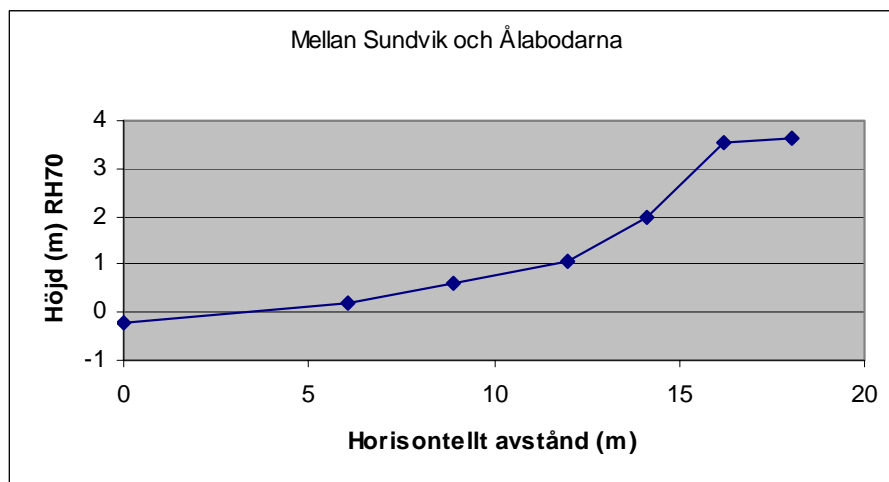
För området vid golfbanan och badstranden vid Lill-Olas väg verkar överspolning inte vara ett så stort problem i dagsläget enligt beräkningarna. Inmätningen på platsen visar att den lilla erosionsbrantens övre kant befinner sig på höjden 1,66 m vid golfbanan (Figur 10-6) och ca 2 m vid badstranden (Figur 10-7). Enligt Tabell 10-4 skulle uppspolningen vid golfbanan ha överstigit 1,7 m vid endast ca 5 tillfällen per år motsvarande ungefär ett dygns varaktighet per år.

Dock kommer erosion av branten att kunna uppstå då uppspolningen överstiger höjden för erosionsbrantens nedre kant, vilket vid badstranden är 1,2 m och mittemot golfbanan 1 m. 1,2 m överstigs i genomsnitt 22 – 43 gånger per år med en total varaktighet mellan 4 och 8 dygn per år. 1 m överskrids 43 – 86 gånger per år med en total varaktighet mellan 8 och 15 dygn per år.

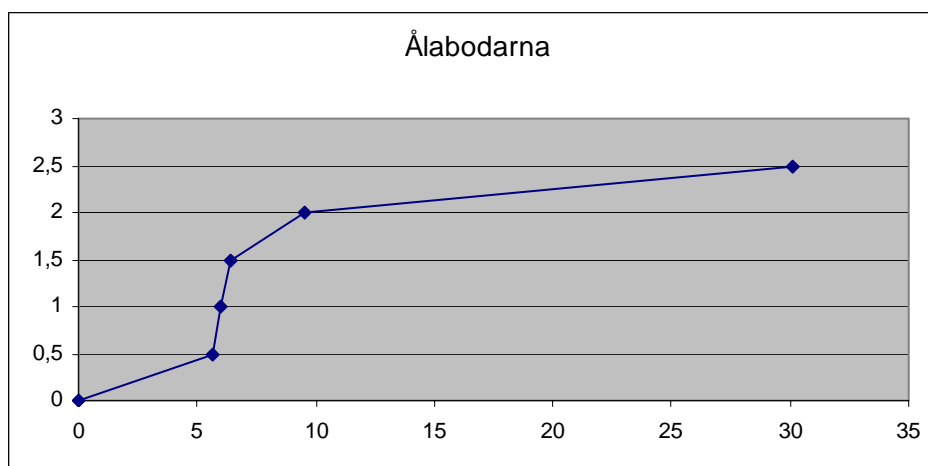
Tabell 10-4 – Frekvens (antal tillfällen) och total varaktighet för uppspolningshöjder under perioden 1976-1995 för område C.

Frekvens (tillfällen)	Antal timmar	Uppspolningshöjd relativt RH70 (m)
2	6	> 2,5
4	12	> 2,3
16	66	> 2,1
45	180	> 1,9
104	447	> 1,7
212	888	> 1,5
412	1794	> 1,3
814	3486	> 1,1
1631	6828	> 0,9
3157	13017	> 0,7
5782	23862	> 0,5
15334	40947	> 0,3

Vid Ålabodarna ligger bebyggelse och infrastruktur högre än vid strandvägen. Figur 10-8 visar en schematisk profil för en plats mellan Ålabodarna och Sundvik som kan anses vara representativ för området. Ovan denna profil löper vägen mellan Ålabodarna och Sundvik. Enligt figuren ligger vägen högt och uppspolning torde inte vara något problem överhuvudtaget i dagsläget.



Figur 10-8 – Inmätt profil vid vägen mellan Ålabodarna och Sundvik.



Figur 10-9 – Schematisk profil vid Ålabodarna. Uppskattad utifrån höjdkurvor.

Vid själva byn har inte någon detaljerad inmätning gjorts, dock kan höjdkurvorna ge information om ungefär hur en profil skulle kunna se ut. Här kan ses att det kan bli problematiskt om uppspolningen skulle överstiga 2 m, vilket är den ungefärliga höjd vid vilken tomterna här börjar (Figur 10-9). Detta sker enligt beräkningarna dock inte särskilt ofta. Under hela den 19 år långa perioden har höjden 2,1 m endast överstigits under 7 timmar (Tabell 10-5).

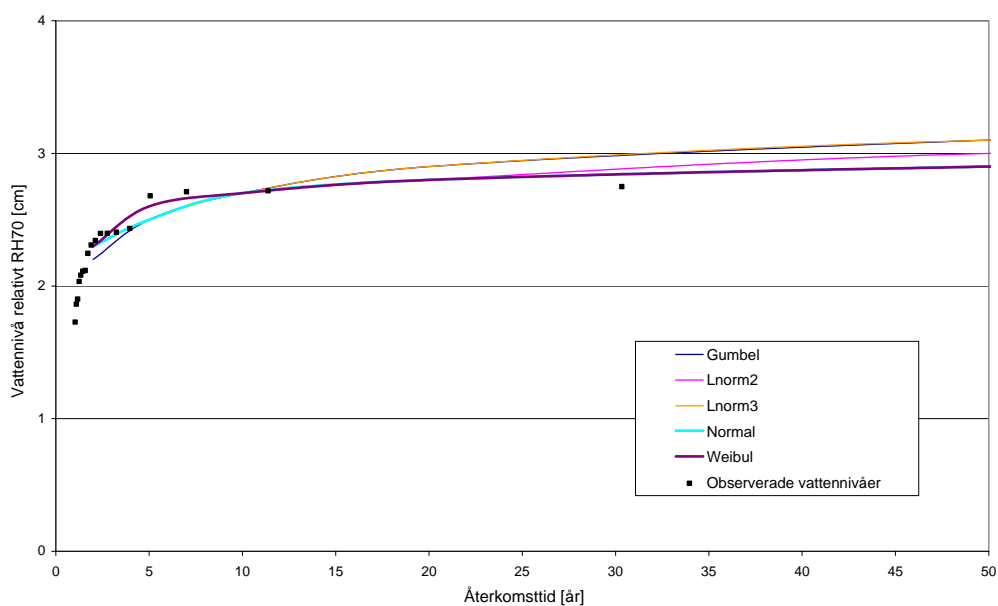


**Tabell 10-5 – Frekvens (antal tillfällen) och total varaktighet för uppspolningshöjder under perioden 1976-1995 för område D.**

<b>Frekvens (tillfällen)</b>	<b>Antal timmar</b>	<b>Uppspolningshöjd relativt RH70 (m)</b>
1	12	> 2,3
7	39	> 2,1
18	90	> 1,9
42	180	> 1,7
104	438	> 1,5
253	1092	> 1,3
568	2469	> 1,1
1282	5430	> 0,9
2614	10776	> 0,7
4931	20544	> 0,5
13260	36321	> 0,3

För att få en bild av med vilken frekvens olika uppspolningshöjder kan förväntas görs en frekvensanalys av dessa. I Figur 10-10 visas årsmaxima för den beräknade uppspolningen samt anpassade fördelningsfunktioner. När man gör frekvensanalyser skall normalt sett en korrigering göras för eventuella trender hos data. Den trend som framkom hos data i detta fall visade sig vara 2 cm/år, vilket är en hög trend i förhållande till exempelvis trenden hos vattenstånden. För Viken, vars vattenstånd har använts i dessa uppspolningsberäkningar, var den totala trenden hos årsmaxima 0,32 cm/år. Trenden hos uppspolningen baseras på endast 18 år, vilket är en för kort period i dessa sammanhang. Denna trend skulle exempelvis kunna bero på en kortsiktig ökning av vindhastigheten under de analyserade åren. Eftersom trenden visade sig vara så hög förefaller det vanskligt att anta att denna trend gäller i ett 100 års perspektiv. Därför bortses från denna trend vid vidare analys av data.

Vid närmare granskning av Figur 10-10 kan det konstateras att de beräknade uppspolningsvärdena inte passar särskilt bra med någon av de anpassade fördelningsfunktionerna. Weibulfördelningen och normalfördelningen som här producerar samma värden är de fördelningar som verkar passa bäst.



**Figur 10-10 – Årsmaxima från beräknad uppspolning för perioden 1977-1994 samt anpassade fördelningsfunktioner.**

Då uppspolningen överstiger stenskoningsens höjd, kan det bli problem med att vattnet eroderar marken bakom stenskoningen. Detta beror naturligtvis på vilken typ av material som finns bakom stenskoningen. Vid fältstudier i området har det dock inte funnits några tecken på att detta är ett problem i dagsläget.

## 10.4.2 Framtid

Som tidigare diskuterats kommer det att ske en ökning av medelvattenytan med upp mot en meter. Om detta vore den enda faktor som påverkade uppspolningshöjden, skulle nivåerna av uppspolningen alltså öka i storlek med en 90 cm, då landhöjningen tagits hänsyn till. Dock finns det ytterligare en faktor som spelar in när det gäller uppspolningshöjder; våghöjderna. Dessa beror som tidigare nämnts av vindklimatet. I tidigare kapitel diskuteras hur vindarna kan komma att förändras med tiden och det finns många olika scenarier, alla med stora osäkerheter. Detta stycke syftar till att undersöka hur känslig uppspolningen är för förändringar i vindklimat och vilka nivåer av uppspolning, samt varaktighet av denna, som Landskrona kan vänta sig i framtiden.

I Tabell 10-6 redovisas de maximala och genomsnittliga uppspolningshöjderna som uppkommer då vintervindarnas hastigheter ökas med 7 respektive 13 procent. Även resultatet för en framtida uppspolning då vindarnas hastighet ej ökar redovisas för att uppskatta känsligheten för förändringar i vindklimatet. Då vindarnas hastighet antas vara konstant är den framtida uppspolningen alltså ekvivalent med en höjning av den nutida uppspolningen med 0,9 m.

**Tabell 10-6 – Maximala och genomsnittliga uppspolningshöjder vid en höjning av medelvattenytan på en meter samt då detta kombineras med en ökad vindhastighet för område B2, C och D.**

	<b>B2</b>	<b>C</b>	<b>D1</b>
<b>Maximal uppspolning, S0. inklusive vattenyta (m)</b>	3,7	3,2	3,2
<b>Genomsnittlig uppspolning, S0. inklusive vattenyta (m)</b>	1,1	1,0	1,0
<b>Maximal uppspolning, S1. inklusive vattenyta (m)</b>	3,8	3,3	3,3
<b>Genomsnittlig uppspolning, S1. inklusive vattenyta (m)</b>	1,1	1,0	1,0
<b>Maximal uppspolning, S2. inklusive vattenyta (m)</b>	3,9	3,4	3,4
<b>Genomsnittlig uppspolning, S2. inklusive vattenyta (m)</b>	1,1	1,0	1,0

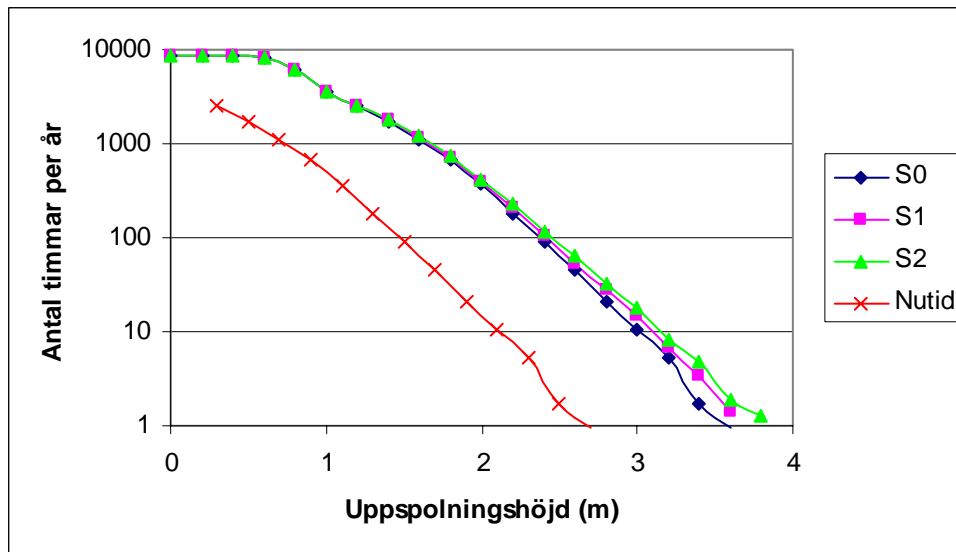
Då enbart en höjd vattennivå tas i beaktande, når uppspolningen ett maximalt värde av ca 3,7 meter vid område B2. När sedan en ökning av vindhastigheter med sju procent adderas till simuleringen, ökar uppspolningen med 14 centimeter. Detta innebär en procentuell ökning på nästan 4 procent. En 13-procentig ökning av vindhastigheten medför en uppspolning på nära 4 meter, 27 centimeter högre och en procentuell ökning på drygt sju procent jämfört med situationen utan ökad vindhastighet.

För de övriga två områdena gäller samma mönster och av simuleringarna att döma kan man sluta sig till att systemet är relativt okänsligt för ökning i vindhastighet. Att det trots allt sker en förändring av uppspolningen fast det är relativt lite som har ändrats, endast vindstyrkor under tre vintermånader, är dock värt att understryka. Det är till största del den maximala uppspolningen som kommer att påverkas av den ökade vindstyrkan. Den genomsnittliga nivån av uppspolningen ligger någorlunda konstant i alla simuleringar.

Tabell 10-7 redovisar totala antalet timmar under 19-årsperioden som uppspolningen överstiger olika nivåer vid område B2, och Figur 10-11 visar antalet timmar per år som uppspolningen överstiger dessa nivåer.

**Tabell 10-7 – Antal timmar under hela perioden (19 år) som uppspolningen överstiger olika nivåer, vid område B2 för tre olika framtidsscenarion.**

<b>Nivå (m)</b>	<b>Varaktighet, S0 (tim)</b>	<b>Varaktighet, S1 (tim)</b>	<b>Varaktighet, S2 (tim)</b>
>3,8	0	0	24
>3,6	18	27	36
>3,4	33	66	90
>3,2	99	129	159
>3,0	201	282	345
>2,8	402	540	621
>2,6	867	1008	1203
>2,4	1743	1959	2220
>2,2	3465	3975	4476
>2,0	6969	7437	8022
>1,8	12756	13479	14100
>1,6	21381	21999	22605
>1,4	33207	33690	34116
>1,2	47508	47856	48048
>1,0	67917	68019	68094
>0,8	113922	113940	113946
>0,6	155685	155685	155685
>0,4	165951	165951	165951
>0,2	167787	167787	167787
>0,0	167952	167952	167952



**Figur 10-11 – Antal timmar per år som uppspolningen överstiger olika höjder vid område B2. Resultat för nutid samt scenarierna S0 , S1, samt S2.**

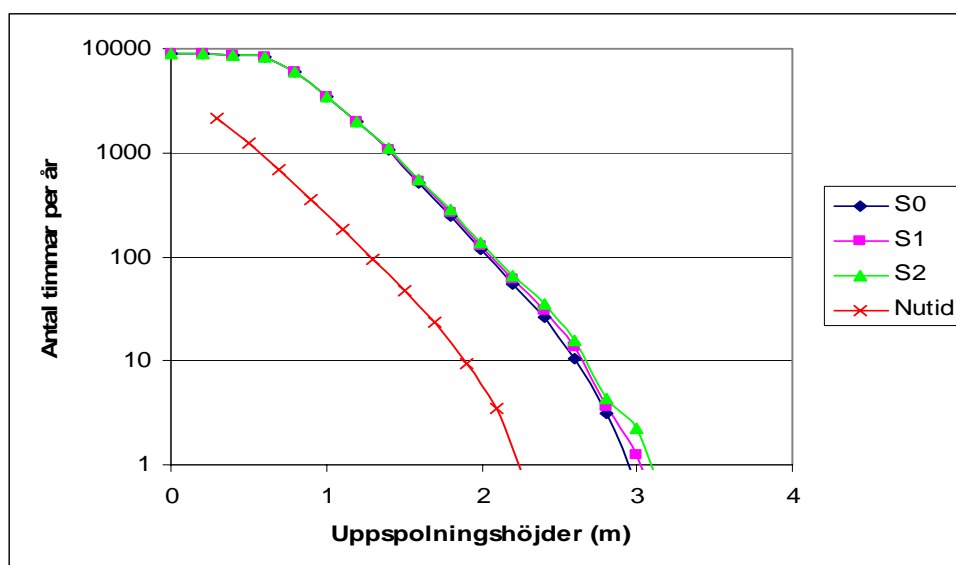
Tabellen redovisar totala antalet timmar per år under hela den analyserade perioden, det vill säga under 19 år. Kurvorna för S1 och S2 sammanfaller ungefär, medan kurvan för S0 ligger konstant lägre än de båda. Eftersom det är en logaritmisk skala på x-axeln kan dock värden för kurvor som tycks sammanfalla skiljas åt ganska rejält. Uppmätta stenskoningar ligger på 1.4-1.6 meters höjd. Nivåer över 1.4 meter nås under över 70 dagar för alla framtida scenarier.

Särskilt vid strandvägen ligger bebyggelsen oerhört nära kustlinjen. Redan idag går vattnet långt upp över cykelvägen. Då stenskoningarna spolas över kommer vattenmassor att röra sig inåt land och kan orsaka svåra översvämningar.

Eftersom område B2 är belagt med stenskonig, kommer strandprofilen inte att förändras enligt Bruuns regel om kustlinjeflyttning. Här antas alltså att profilen ligger kvar på samma ställe och med samma egenskaper som för nutida förhållanden. Stenskoningen kan ju dock tänkas ha sjunkit ihop något under åren om ingen förstärkning av denna görs. Dock är det tänkbart att stenskoningen kan riskera att rasa om den framföriggande stranden eroderar.

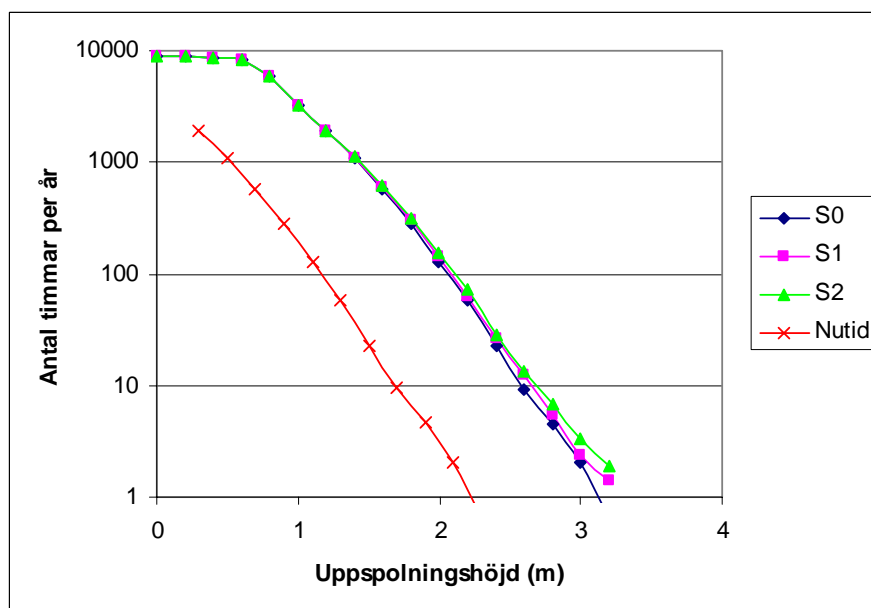
För de andra två områdena kan, enligt Bruuns regel, profilen att flyttas inåt och uppåt. Detta diskuteras mer utförligt i kapitel 12. Beroende på vilken av de diskuterade teorierna i detta kapitel man antar kommer att vara bäst representativ för framtida förhållanden kommer alltså uppspolningen att nå över dynerna i olika stor utsträckning. Resonemanget som redovisas här gäller för om profilen förändras enligt teori nummer 2, det vill säga att dynen inte byggs på utan ligger på samma höjd som i dagsläget.

I Figur 10-12 åskådliggörs antalet timmar som uppspolningen vid område C överstiger olika nivåer. De olika scenarierna följs åt relativt bra, S2 ligger dock marginellt högre än S0 och S1. Som tidigare nämnts är den kritiska höjden vid golfbana inom detta område knappt 1.7 m. Uppspolningen överskrider nivåer på 1.6 nära 555 timmar per år, dvs. drygt 23 dygn om året (för S2). Detta resultat kan jämföras med situationen i dagsläget, då denna höjd endast överskrids med en varaktighet av ett dygn om året. Om profilen skulle flyttas uppåt och bakåt enligt profil nummer 1 (se kapitel 12), skulle detta betyda att den kritiska höjden ligger på 2.7 meter. Den kommer då att spolas över 2.2 samt 2.6 dagar per år för S1 respektive S2.



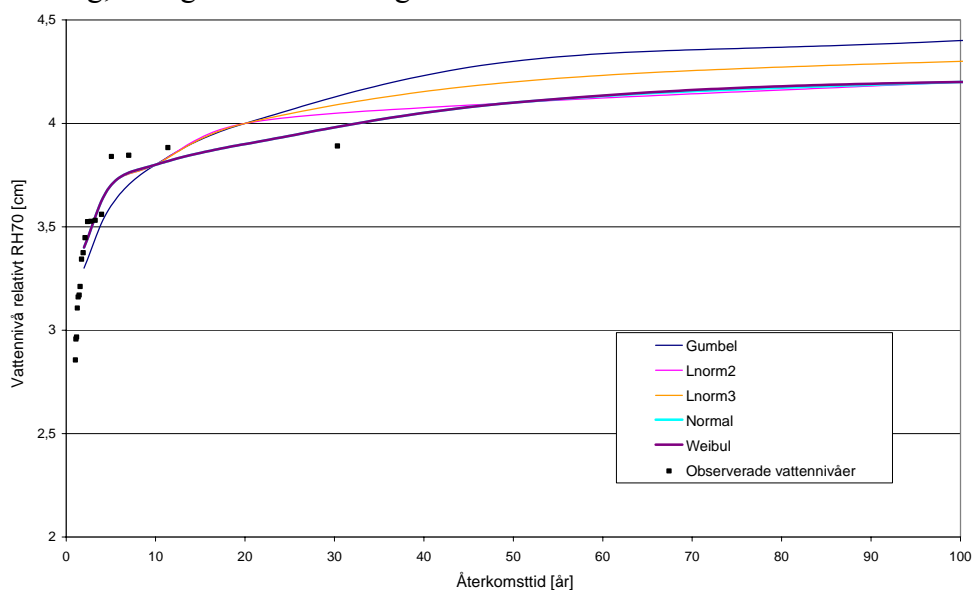
**Figur 10-12 - Antal timmar per år som uppspolningen överstiger olika höjder vid område C. Resultat för nutid samt scenarierna S0, S1, samt S2.**

Antalet timmar per år som uppspolningen överskrider olika nivåer vid område D1 redovisas i Figur 10-13. Även här ligger S2 endast marginellt högre än S0 och S1. den kritiska höjden vid själva Ålabodarna vid område D2 ligger på 2 meter. Denna nivå spolas över ca 155 timmar om året (vid S2), vilket innebär 6.5 dagar årligen om profilen flyttas inåt och uppåt men behåller höjden på klittret enligt framtida profil nr 2 (se kapitel 12). I dagsläget spolas denna nivå över ca 7 timmar under en period av 19 år. Vid vägen mellan Ålabodarna och Sundvik är den kritiska höjden något högre, 3.5 meter. Enligt figuren når uppspolningen aldrig denna nivå.

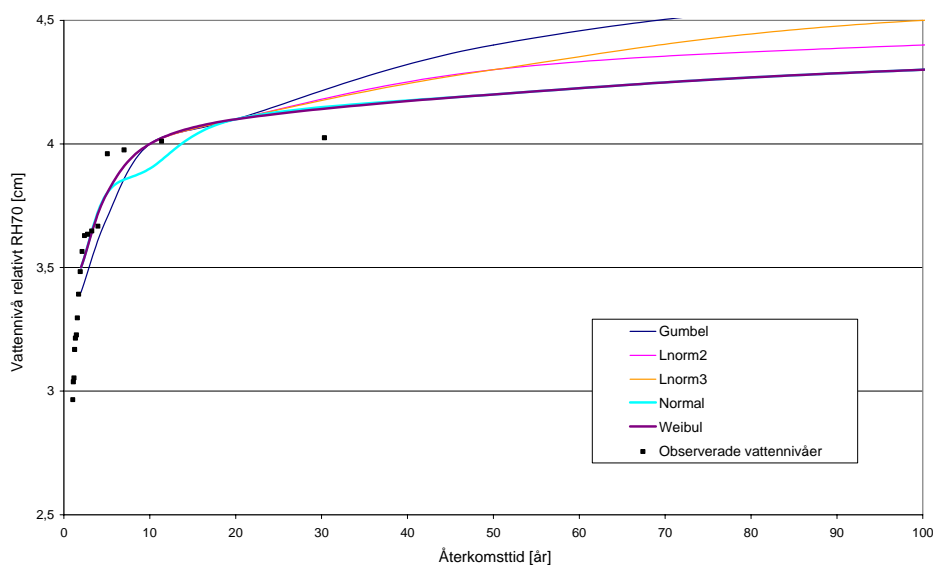


**Figur 10-13 - Antal timmar per år som uppspolningen överstiger olika höjder vid område D1. Resultat för nutid samt scenarierna S0, S1, samt S2.**

För område B2 utfördes även frekvensanalyser för de två framtidssituationerna med ökad vindhastighet. De årliga maximala uppspolningsnivåerna kunde anpassas till en weibulfördelning, se Figur 10-14 och Figur 10-15.



**Figur 10-14 – Årsmaxima för beräknad framtida uppspolning, samt anpassade fördelningsfunktioner för scenariot S1.**



**Figur 10-15 - Årsmaxima för beräknad framtida uppspolning, samt anpassade fördelningsfunktioner för scenariot S2.**

I Tabell 10-8 redovisas hur höga nivåer som kan vara att vänta för olika återkomsttider i framtiden. Det skall noteras att dessa siffror är mycket osäkra eftersom data inte passade särskilt väl med den anpassade funktionerna. Avvikelsen blir stor för högre återkomsttider, därför har återkomsttiden 100 år utelämnats i tabellen. Det skall nämnas att dessa uppspolningsvärden inte visar på den absoluta höjd vattnet kommer nå upp till eftersom stenskoningen inte uppgår till mer än 1,3 – 1,5 m. Detta innebär att det är svårt att säga vad som händer då denna höjd har överskridits. Dock kan Tabell 10-8 och Figur 10-16 ge en indikation om hur mycket frekvensen av extrema händelser kommer att öka och desto högre

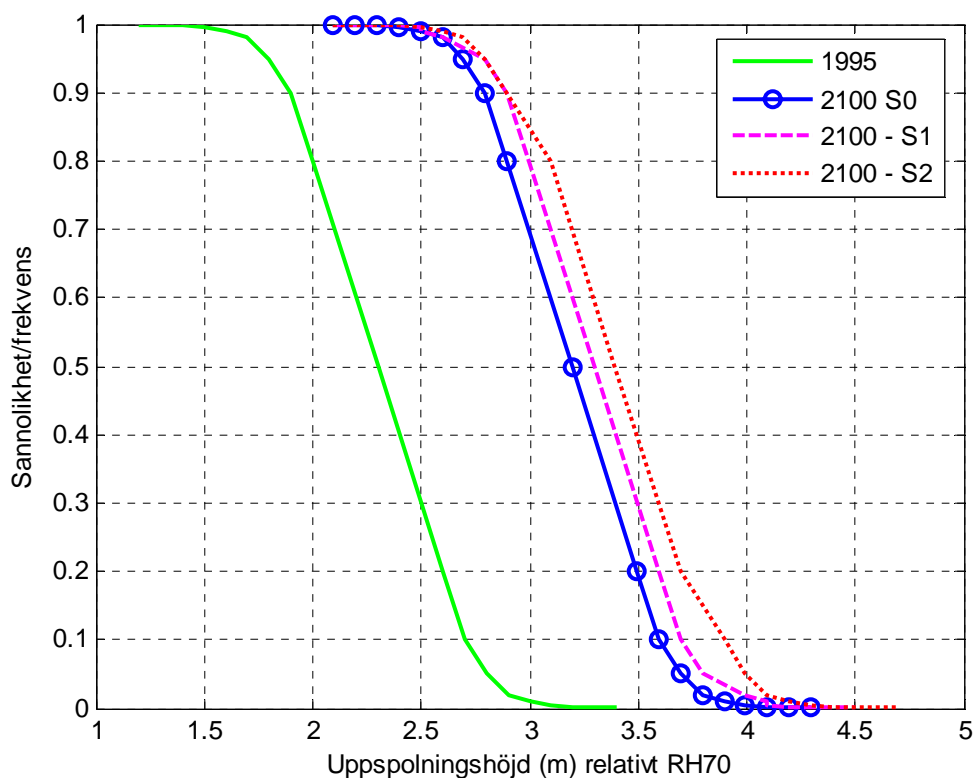
uppspolningshöjder som kan utläsas desto större volymer vatten kommer att spolas över stenskoningen.

**Tabell 10-8 - Framtida uppspolningsnivåer med olika återkomsttid för de två klimatscenarioerna för område B2.**

Återkomsttid (år)	Uppspolning, Nutid	Uppspolning, S0 (m)	Uppspolning, S1 (m)	Uppspolning, S2 (m)
2	2,3	3,2	3,3	3,4
5	2,6	3,5	3,6	3,7
10	2,7	3,6	3,7	3,9
20	2,8	3,7	3,8	4,0
50	2,9	3,8	4,0	4,1

Det framgår ur tabellen att en uppspolning som återkommer vartannat år uppgår till 3.3 och 3.4 meter för scenario S1 respektive scenario S2. Det är ingen större skillnad i de olika nivåerna beroende på om vindhastigheterna ökas med sju eller 13 procent. Detta antyder återigen att systemet inte är så känsligt för ökning av styrkan av vintervindar.

I Figur 10-16 kan noteras att en händelse som under nutida förhållanden har frekvensen 0,1 d.v.s. sannolikhet att inträffa vart 10:e år, förekommer med en nästan årlig frekvens i framtida scenarion. Dock är osäkerheten mycket stor för så låga frekvenser, eftersom analysen är baserad på relativt få värden.



**Figur 10-16 – Sannolikhet för olika uppspolningsnivåer, för S0, S1 samt S2.**



Simuleringarna i detta kapitel baseras endast på en av modellerna för hur vindklimatet kan förändras. Dessa simuleringar kan ehuru ge en fingervisning om vilka situationer Landskrona kan vänta sig i framtiden. Stenskonungarna som är placerade utmed strandvägen, ligger sannolikt till stor del under vatten då medelvattenytan höjs med en meter. Vid område B2 mättes skoningarna in till att ligga på en höjd av ca 1.4-1.6 meter, så vid en höjning med en meter läggs de inte helt under vatten. Om höjningen skulle uppgå till högre värden finns det dock en överhängande risk att hela skoningen läggs under vatten och vid beräkningar av uppspolning bör man då använda sig av lutningen av bakomliggande område.

Beräkningar av uppspolningsnivåer med olika återkomsttider visade sig vara relativt oberoende en förändring av vindklimatet. De kritiska höjderna spolas över något oftare då vindstyrkorna ändras, men till största delen beror överspolningen av den höjda medelvattenytan.

# 11 Flygbildsanalys

## 11.1 Sammanfattning

Stora delar av bebyggelse och infrastruktur i Skåne är belägen vid kusten. Kuststräckan är drygt 50 mil lång och mer än hälften av den är utsatt för kraftig exploatering av fysiska miljöer (Åkesson *et al.*, 2008). Förutom bostäder och vägar ligger även stora industrier och betydelsefulla naturreservat nära havet (Åkesson *et al.*, 2008). Landskrona kommun utgör inget undantag. För att kunna sätta in resurser vid rätt områden är det viktigt att ha god kännedom om kustlinjen och hur den har förändrats över åren. Då kan problemområden identifieras och informationen om en kustlinjes dynamiska processer kan också vara en viktig del i planering för nybyggnationer. I detta kapitel analyseras Landskrona kommuns kustlinje med hjälp av historiska flygbilder.

I Figur 11-1 visas en flygbild över hela kommunens kuststräcka där de olika platser som omnämns i detta kapitel är markerade.

De norra delarna av kommunen verkar vara de som har störst problem med erosion. Kritiska områden som kan pekas ut är norr om Borstahusens hamn, vid campingen samt kusten vid golfbanan. Även söder om Ålabodarna ned mot Sundvik finns tecken på erosion genom tiderna. Den södra delen av kommunen är något svårare att uttala sig om, då denna del av kusten upplevdes som svår att analysera. Detta på grund av att det på äldre flygbilder var mycket svårt skilja på land och hav i dessa långgrunda områden.

Generellt verkar inte förändringstakten skilja sig åt markant mellan olika tidsperioder. Det verkar dock som att den årliga förändringen under perioden 1940 till 1984 är något lägre än under senare år.

Eftersom denna analys är mycket överskådlig och förändringen ibland kan variera kraftigt mellan olika punkter, bör det poängteras att denna analys inte bör användas som beslutsunderlag för exempelvis åtgärder eller konstruktioner vid en viss lokal. I ett sådant fall rekommenderas att en mer detaljerad granskning först görs av det specifika område som är av intresse.



Figur 11-1 – Översikt över kommunens kuststräcka och de olika platser som omnämns i analysen.

## 11.2 Tillgängliga data

Fem stycken historiska flygbilder över Landskrona kommun har använts i analysen. Bilderna är tagna åren 1940, 1962, 1984, 2004 samt 2008. De exakta datumen för fotograferingarna saknas. De analyserade flygbilderna är alla georefererade till systemet SWEREF 99 13 30.

## 11.3 Metodik

Syftet med analysen är att erhålla kunskap om hur Landskronas kustprofil har förändrats genom åren med tanke på erosion. Under studien bör kritiska områden för erosion kunna identifieras och ytterligare undersökas. I de fem flygbilderna har respektive vegetationslinje identifierats och digitaliserats med hjälp av programmet ArcMap. Att en vegetationslinje var att föredra framför en analys av kustlinjen beror på att den är mer tillförlitlig när det kommer till att studera en långsiktig förändring. Gränsen mellan hav och strand är mer diffus då havsytan fluktuerar med tiden, stora skillnader i nivåer uppvisas exempelvis mellan sommar

och vinter, och även från dag till dag. Eftersom tidpunkterna då bilderna är tagna saknas, ansågs det lämpligare att studera vegetationslinjer. Gränsen mellan strand och växtlighet flyttar sig inåt där erosionen har verkat. Efter digitalisering av de fem vegetationslinjerna användes GIS-applikationen DSAS (Digital Shoreline Analysis System) för att erhålla en kvantifiering av hur kustlinjen har förändrats över åren. Förenklat går metoden ut på att det utifrån en referenslinje, som ritades innanför vegetationslinjerna, kastades vinkelräta transekter. Avståndet mellan transekterna valdes i detta fall till 100 m. Dessa korsar de utritade vegetationslinjerna och verkar som underlag för beräkningarna. Punkter skapades sedan utifrån koordinaterna för varje transekts början för att lättare visualisera resultaten. Av de resultat som programmet genererar har fokus lagts på kustlinjens nettoförändring som anger differensen mellan den äldsta och den yngsta linjen. En negativ differens indikerar således att vegetationslinjen har förflyttats inåt landet och påvisar eventuella problem med erosion.

Först studeras hela perioden 1940 – 2008. För att få en uppfattning om hur kustlinjens förändringstakt har sett ut över tiden, gjordes det även analyser av perioderna 1940-1984, 1984 – 2004 samt 2004-2008 var för sig.

### **11.4 Perioden 1940-2008**

Initialt studerades kustlinjens förändring över tiden 1940-2008, d.v.s. det tidsspänn över vilket det finns flygbilder tillgängliga. Resultatet från denna analys visualiseras i Figur 11-2 och Figur 11-3. Resultatet från analysen av denna period såväl som de kortare perioder som kommer diskuteras senare, visar en ganska stor geografisk spridning i de områden som verkar vara utsatta för erosion. Det som visas i Figur 11-2 och Figur 11-3 är kustlinjens nettoförändring för den norra respektive södra delen av kommunens kustlinje under den angivna perioden. Slutsatser från detta resultat bör dras med en viss försiktighet då det finns en del felkällor och osäkerheter, vilket diskuteras mer i detalj senare.

I de norra delarna av kommunen finns några sträckor där analysen visar på vad som skulle kunna vara erosion. Kustlinjens tillbakadragning överstiger sällan ca 12 m. I något enstaka fall kan större värden än så observeras, men då rör det sig om antropogena orsaker som exempelvis införandet av en väg ned till stranden. En sträcka som uppvisar relativt stor reträtt av kustlinjen är lokaliserad strax norr om Borstahusens hamn, utmed golfbanan. Även norr om campingen, utmed badstranden vid Lill-Olas väg och omedelbart norr om Borstahusens hamn visar analysen på en reträtt av kustlinjen. Detta stämmer till viss del överens med observationerna i fält där tydliga tecken på erosion fanns vid campingen samt några mindre tydliga indikationer vid badplatsen utmed Lill-Olas väg. Utmed golfbanan är det möjligt att det pågår fortlöpande erosion också i dagsläget även om de indikationer som fältbesöken givit inte är fullt lika tydliga som i några av de ovan nämnda fallen. Denna analys spänner dock över en relativt stor tidsrymd och en reträtt av kustlinjen på denna plats kan ha ägt rum längre tillbaka under andra förhållanden och är kanske inte synlig idag.

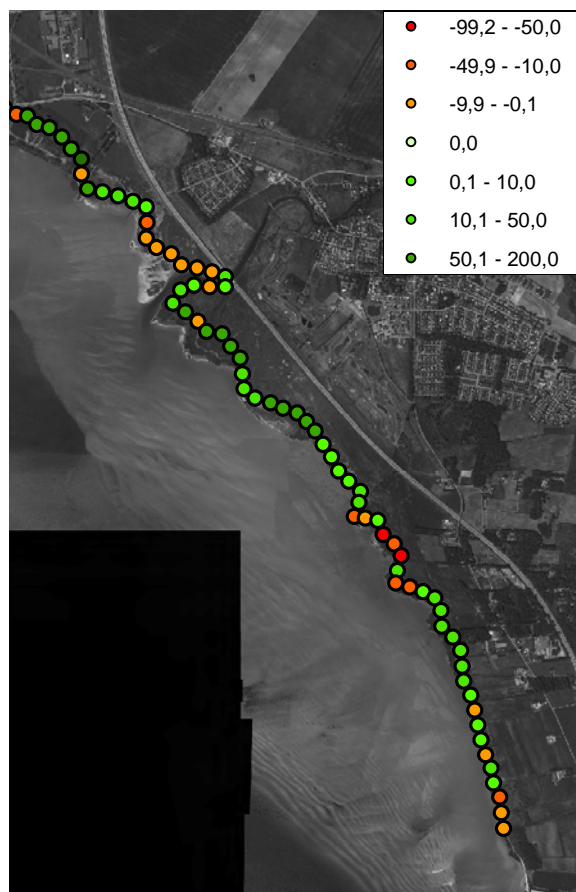
Norr om Ålabodarna finns ett par kortare sträckor som uppvisar en reträtt av kustlinjen vilken uppgår till ca 9 m. Söder om Ålabodarna finns en längre sammanhängande sträcka där kustlinjen dragit sig tillbaka upp till 6,5 m. I denna region finns dock stenskonung idag som bör förhindra erosionen, dock är det oklart hur gammal denna stenskonung är.

Utmed den mer tätbebyggda delen av Landskrona visade inte analysen på någon erosion utan snarare tvärtom d.v.s. att kustlinjen ligger längre ut idag än tidigare. Detta beror naturligtvis på att mycket har hänt sedan 40-talet och Landskrona har expanderat.

Söder om själva staden finns tre sträckor där en tillbakadragning av kustlinjen kan noteras, dels vid Saxån samt ytterligare längre söderut vid den norra respektive södra delen av Saxtorpsskogen. Denna sträcka är något mer svårtillgänglig, och inga fältobservationer har gjorts i de sydligaste delarna av kommunen. Värdena som framkom genom analysen är mer varierande söder om Landskrona än för resterande del av kommunen. Detta beror sannolikt på att denna del är ganska svår att analysera genom flygbildstolkning, vilket diskuteras längre fram då osäkerheter tas upp.



Figur 11-2 – Total förändring (m) av Landskronas norra kustlinje under perioden 1940-2008.



**Figur 11-3 – Total förändring (m) av Landskronas södra kustlinje under perioden 1940-2008.**

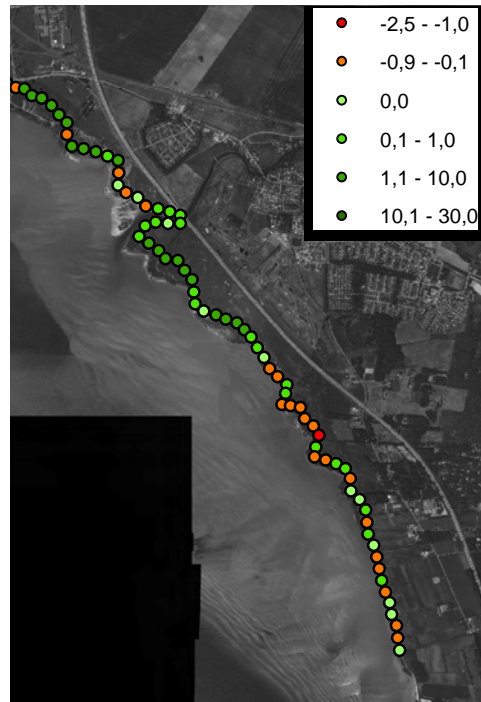
### **11.5 Perioden 1940-1984**

Analysen för perioden 1940-1984 (Figur 11-4) uppvisar stora likheter med första analysen (1940-2008) avseende lokaliseringen av erosionsutsatta områden. Även här tyder det på att området norr om campingen samt utmed golfbanan utsatta för erosion. Även söder om Ålabodarna visar analysen på en reträtt av kustlinjen.

Den södra delen av kommunen visar här på en reträtt av kustlinjen på längre sträckor än vid analysen av hela perioden 1940-2008 (Figur 11-5).



Figur 11-4 - Årlig förändring (m/år) av Landskronas norra kustlinje över perioden 1940-1984.



Figur 11-5 - Årlig förändring (m/år) av Landskronas södra kustlinje över perioden 1940-1984.

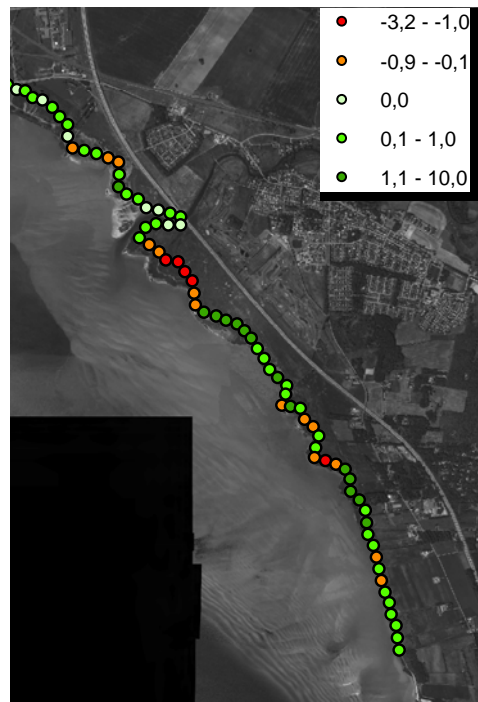
### 11.6 Perioden 1984 – 2004

Resultaten av den beräknade kustlinjeförändringen redovisas i Figur 11-6. Den norra delen av kuststräckan uppvisar ganska blandade resultat. Vissa spridda punkter uppvisar erosion från Ålabodarna ned till norr om Hildesborg. En något längre sträcka norr om golfbanan uppvisar en erosion. Kusten utanför själva golfbanan verkar under denna period inte ha dragit sig tillbaka. Däremot uppvisar kuststräckan utmed den nuvarande badstranden vid Lill-Olas väg värden som tyder på erosion. Norr om Borstahusens hamn har kustlinjen även dragit sig tillbaka på en kortare sträcka. Utanför campingen har det lagts ut landutfyllnadsmassor, vilket gör att det är en positiv förändring av kustlinjen här. Hela sträckan mellan Borstahusens hamn och Lindshamnen karakteriseras av en positiv kustlinjeförflyttning, med undantaget omedelbart söder om Borstahusen där havet verkar ha transporterat bort sand. Söder om Lindshamnen är det dock återigen indikation på erosionsproblem.





Figur 11-6 – Årlig förändring (m/år) av Landskronas norra kustlinje under perioden 1984-2004.



**Figur 11-7 - Årlig förändring (m/år) av Landskronas södra kustlinje under perioden 1984-2004.**

De södra delarna av kommunen karaktäriseras här av värden som tyder på tillväxt av kustlinjen (Figur 11-7). Vid analysen av dessa två historiska kustlinjer verkar det som att det är dynamiken i ett landskap snarare än feltransformeringar som har gett upphov till misstänksamma landförflyttningar.

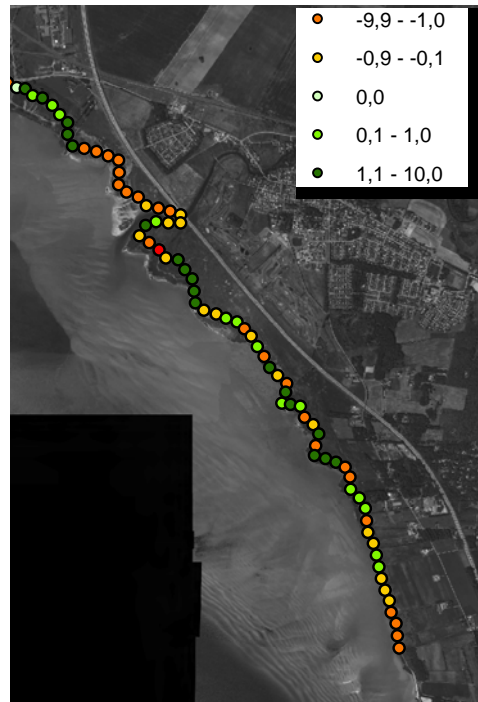
De mest kritiska områdena gällande kusterosion som identifieras vid denna analys är kuststräckan norr om stadskärnan och upp mot kommungränsen.

### **11.7 Perioden 2004 – 2008**

Under de fyra åren mellan 2004 och 2008 uppvisar betydligt fler sträckor en reträtt av kustlinjen än vid analysen av föregående tidsperioder (Figur 11-8 och Figur 11-9). Dock förefaller det som att ungefär samma sträckor som vid föregående analys är erosionutsatta. Dock verkar variationen i kustlinjens årliga förändring vara större på sina ställen. Sträckan mellan Rustningshamn och Hildesborg uppvisar en reträtt av kustlinjen, dock finns det en ganska stor spridning mellan olika punkter på denna sträcka när det gäller storleken på denna förändring. Här finns även här vissa inslag på en positiv förändring. Sträckan vid golfbanan samt sträckan norr om Borstahusens hamn uppvisar återigen tecken på erosion. I de södra delarna kan en bakåtflyttning av kustlinjen noteras bland annat vid Saxå-deltat (Figur 11-9). Spridda punkter längs med den södra delen av kommunens kustlinje uppvisar också en reträtt av kustlinjen. De enstaka punkter som uppvisar erosion bör det sannolikt inte läggas alltför stor vikt vid, eftersom det förefaller osannolikt att erosionen skulle förkomma så utspritt mellan punkter där en tillväxt av kustlinjen sker. Kuststräckan norr om stadskärnan kan alltså återigen pekas ut som mest kritisk.



Figur 11-8 – Årlig förändring (m/år) av Landskronas norra kustlinje under perioden 2004-2008.



Figur 11-9 - Årlig förändring (m/år) av Landskronas södra kustlinje under perioden 2004-2008.

### 11.8 Osäkerhet

Det finns en rad potentiella felkällor vid en analys som denna. Flygbildernas upplösning är av varierande grad. För de äldre bilderna fanns ingen information att tillgå om upplösningen. Eftersom det rimligtvis bör vara bilderna med den sämsta upplösningen som styr osäkerheten i resultatet, är det därför svårt att kvantifiera detta. Upplösningen på de senaste flygbilderna d.v.s. från 2004 och 2008 var 0,5x0,5 m respektive 0,25x0,25 m. Osäkerheten hos analysen av perioden 2004-2008 borde därför vara mindre än osäkerheten hos de övriga analyserna.

Ytterligare en osäkerhetskälla är det faktum att flygbilderna från 1940, 1962 samt 1984 har transformerats mellan olika referenssystem. Då analysen genomfördes var alla flygbilder i referenssystemet SWEREF 99 13,30. Vilket referenssystem de äldre bilderna har sitt ursprung i har författarna ingen kännedom om. Dock sker det vid all transformation mellan referenssystem en viss förvrängning av det som transformeras. Detta eftersom det inte finns ett perfekt samband mellan de olika systemen. Vid transformation mellan RT90 och SWEREF99 fås ett fel som i medeltal är 0,07 m och maximalt uppgår till ca 0,2 m (Lantmäteriet, 2009).

På äldre bilder är det svårt att avgöra vad som är land och vad som är hav då grunda bottenar kan lysa igenom och försvåra analysen. Kombinerat med det faktum att alla flygbilder från 1940-2004 är svartvita medför detta att det kan vara svårt att avgöra vad som är vegetation och inte vid visuell bedömning av flygbilderna.

## 12 Erosion

### 12.1 Sammanfattning

Med hjälp av Bruuns regel har beräkningar på hur kustlinjen kommer att retirera till följd av en höjd medelvattenyta utförts. Tumregeln är att en höjning på en centimeter påverkar kustlinjen en meter inåt land. Fem områden längs med Landskronas kusträcka undersöktes. Resultaten visade att tumregeln stämde bra för alla områdena utom för Sundvik, där reträtten var betydligt lägre, endast ca 50 meter. Detta för att lutningen var markant större vid denna plats. Den största reträtten av kusten uppgick till drygt 110 meter vid badstranden mellan golfbanan och campingen.

Vinkelrät sedimenttransport är den form av erosion som uppstår vid kraftiga tillfälliga stormar, och som har stor betydelse i ett kortsiktigt perspektiv. Beräkningar av denna utfördes för fem områden; Badstranden, Campingen, golfbanan, skogen och Borstahuset, och gav varierande resultat. Mängden eroderad volym per breddmeter visade sig ligga inom intervallet 0,04-0,41 m<sup>3</sup>/m i genomsnitt för nutida förhållanden, och mellan 0,05-0,54 m<sup>3</sup>/m i genomsnitt för framtida förhållanden, med en ökad vindstyrka av vindar vintertid med 13 %. Detta innebär en procentuell ökning av erosion inom intervallet 13-32 %. Värst utsatt när det gäller den vinkelräta sedimenttransporten visade sig området vid campingen vara.

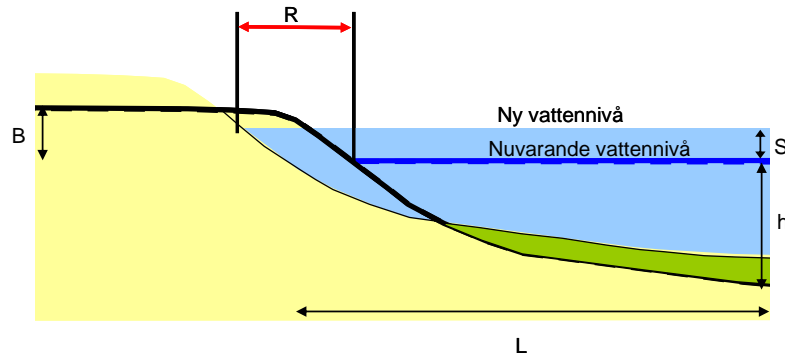
I ett långsiktigt perspektiv är det den så kallade kustparallella sedimenttransporten som är av betydelse. Denna beräknades för de områden som kuststräckan initialt delades in i. Vid alla områden utom för B2 tydde resultaten på en transport i sydlig riktning. Starkast vindar uppträder västerifrån, som i detta fall innebär en transport söderut. Att transporten vid B2 går i nordlig riktning beror på att området skyddas av Ven för nordvästliga vindar. Den högsta genomsnittliga transporten sker vid område B1, där den uppgår till ett värde av 63 936 m<sup>3</sup> per år i nutida förhållanden. Framtida transport (inkluderat ökade vindar vintertid med 13 %) ökar vid detta område med 25%.

### 12.2 Tillbakadragande av kustlinjen till följd av en höjd medelvattenyta

För att få en uppfattning om hur en förhöjd havsnivå till följd av global uppvärmning kommer att förändra kustlinjen kan den så kallade Bruuns regel användas. Den härstammar från 1960-talet och har sedan dess använts flitigt men också blivit rejält omtvistad. Det är en två-dimensionell modell som förenklat bygger på att en strandprofil befinner sig i jämvikt, alltså att vid en höjning av vattenytan sker det också en höjning av bottenprofilen (Hanson o Larson 1993). Det innebär alltså att sand som eroderar i de övre delarna av stranden kommer att transporteras ut och lägga sig i de nedre delarna av strandprofilen (Andrew *et al*, 2004), principen visualiseras i Figur 12-1. Då blir nettotransporten av sand i det studerade området lika med noll och systemet befinner sig i jämvikt. Bruuns regel är ett bevis på att en liten höjning av medelvattenytan kan ge signifikanta reträtter av kustlinjer. En tumregel är ofta att en höjning av medelvattenytan med 1 cm får kusten att erodera 1 meter (EuroSION, 2004). Analysen för Landskrona i denna studie riktar först och främst in sig på att undersöka hur långt vattnet kommer att nå inåt land vid en höjd medelvattenyta av 1 meter.

## 12.2.1 Metodik

Bruuns regel är ej applicerbar på klippkuster eller där stenskoningar och dylikt är utplacerat, utan endast där vågor förmår erodera strandprofiler. Vid fem platser utmed Landskronas kustlinje har Bruuns regel applicerats. Den exakta lokaliseringen av dessa platser kan ses i Appendix V.



Figur 12-1 – Illustration över erosions- och ackumulationsberäkningar med Bruuns regel (Hanson, 2009).

Bruuns regel ser ut som följer:

$$R = \frac{L \cdot S}{B + h} \quad (12.1)$$

där  $R$  = den horisontella utbredningen av kusterosion,  $h$  = det maximala djupet där utbyte av sediment sker,  $B$  = höjden av sanddynen,  $L$  = det horisontella avståndet mellan  $B$  och  $h$ , och  $S$  = ökningen av medelvattenytan

Ett värde på  $h$  sattes till 6 meter för båda lokalerna. Med hjälp av sjökort kunde då värdet på parametern  $L$  erhållas.  $B$  uppskattades vid mätning under fältstudien och  $S$  sattes till 0,91 meter. Detta baserat på 1 meter absolut höjning av medelvattenytan, men inkluderat en landhöjning med 1 mm per år under 91 år, vilket alltså ger en relativ ökning på ca 91 cm. Värderna på alla parametrar i ekvationen för respektive område redovisas i Tabell 12-1.

Tabell 12-1 – Värderna av parametrarna i Bruuns regel för de fem lokalerna.

	S(m)	H(m)	L (m)	B (m)
<b>Sundvik</b>	0,91	6	513,5	3,5
<b>Campingen</b>	0,91	6	1018	3,3
<b>Skogen</b>	0,91	6	882	1,8
<b>Golfbanan</b>	0,91	6	904	1,7
<b>Badstranden</b>	0,91	6	972	2

Dynerna vid både Sundvik och Campingen uppgår till över tre meter medan dynen vid Badstranden endast ligger på 2 meters höjd. Det horisontella avståndet mellan  $B$  och  $h$  skiljer sig inte så mycket mellan Campingen och Badstranden. Det är dock betydligt kortare för området utanför Sundvik. Det korta avståndet i kombination med den högsta dynen, kan tänkas bli utsatt för minst påverkan av havsnivåhöjningen.

## 12.2.2 Analys

### 12.2.2.1 Tillbakadragande av kustlinjen

I Tabell 12-2 redovisas resultaten från beräkningarna med hjälp av Bruuns regel.

**Tabell 12-2 – Resultat av beräkningarna, sträckan inåt land som läggs under vatten vid en höjning av medelvattenytan med 0,91 meter.**

	<b>R (m)</b>
<b>Sundvik</b>	49,2
<b>Campingen</b>	99,6
<b>Skogen</b>	102,9
<b>Golfbanan</b>	106,8
<b>Badstranden</b>	110,6

I tabellen kan man utläsa att kustlinjen vid Badstranden som kommer att dras tillbaka mest vid en höjning av havets medelvattenyta med en meter. Drygt 110 meter kommer att läggas under vatten. Att det är störst påverkan vid detta område beror på att de uppmätta dynerna vid Badstranden är lägre än vid de andra lokalerna och det är en flackare del av kuststräckan.

Nära 100 meter inåt land kommer att läggas under vatten vid campingen om havsnivån höjs med en meter fram till 2100. Detta skulle alltså innebära att kustnära infrastruktur och byggnader kommer att stöta på problem om inga åtgärder utförs i området. Vid Sundvik uppgår kustlinjens tillbakadragande till ca 50 meter. Tillbakadragandet är inte lika stort här eftersom det är en brantare kuststräcka. Vid alla områden utom vid Sundvik verkar det som att antagandet om att 1 cm havsnivåhöjning resulterar i 1 meters horisontell reträtt stämmer relativt bra.

Som tidigare nämnts är denna regel ej applicerbar på områden som är belagda med stenskonung. Det är också svårt att veta hur reträtten i realiteten kommer att se ut då bakomliggande områden kan hindra profilen att flyttas som det är tänkt enligt Bruuns regel.

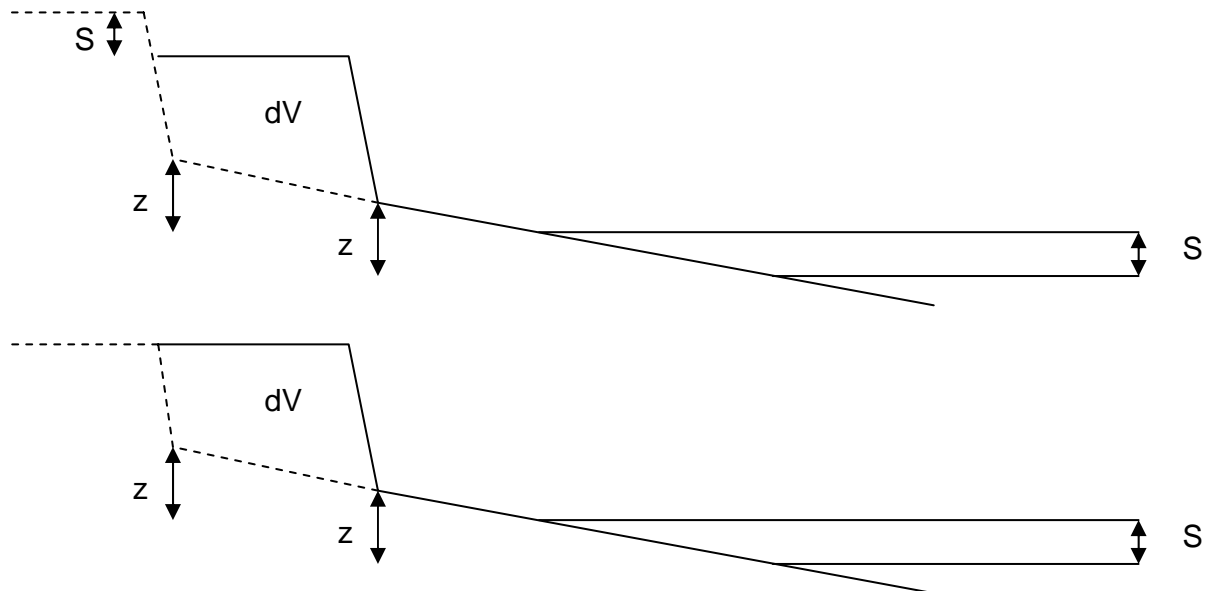
### 12.2.2.2 Framtida profiler

När det kommer till utseendet av den framtida profilen presenteras här två modeller för hur den kommer att se ut.

1. Vid en höjd medelvattenyta, kommer profilen som flyttas inåt och uppåt enligt Bruuns regel, att bibehålla alla egenskaper. Det innebär att strandplanets lutning hålls konstant, liksom klitterfotens höjd samt dynens höjd ovan klitterfoten. Inte heller dynens volym förändras. För att detta ska ske krävs tillförsel av sand till dynen, utav vindar. Att sand transporteras till dynens ovansida sker ständigt men i olika omfattning och det är inte säkert att en lika hög dyn kan byggas upp, vilket leder till modell nr 2:
2. Strandplanets lutning samt klitterfotens höjd hålls konstanta. Däremot minskar höjden ovan klitterfoten. Istället hålls den nutida höjden av dynen

konstant. Detta innebär att dynens volym minskar. I många fall kan denna modell dock innebära att dynen helt försvinner, eftersom de redan i dagsläget är så låga på många av de studerade områdena i Landskrona

I Figur 12-2 visualiseras de båda beskrivna modellerna i en schematisk skiss över en något förenklad profil.  $dV$  representerar här den volym som försvinner från strandens övre partier (dynen) och som kommer att transporteras och läggas i de mer kustnära partierna.  $S$  representerar havsnivåhöjningen, och  $z$  är klitterfotens höjd.



Figur 12-2 – Schematisk skiss över profil 1, där klittret byggs på (övre) samt profil 2, där ingen påbyggnad sker (undre).

### 12.3 Vinkelrät sedimenttransport – nuvarande situation

Kuststräckans utveckling över tiden har beskrivits i kapitel 11, där en del områden som tenderar att vara erosionsutsatta har pekats ut. Detta var en analys med ett längre tidsperspektiv. Genom att helt enkelt observera hur kusten ser ut idag, kan slutsatser dras om vilka områden som verkar vara kritiska, kanske framförallt i ett kortare tidsperspektiv. Områden som eroderar till följd av kraftiga stormar och därmed utsätts för sedimenttransport vinkelrät mot kusten är ofta lätta att identifiera i fält. Nedan följer en kort beskrivning av det som framkommit vid fältstudier i området.

Norr om Borstahusens hamn finns en kortare sträcka utan stenskonung. Här finns antydningar till erosion, då en mindre erosionsbrant kan noteras (Figur 12-3). Branten är inte så hög, men ändå ganska tydlig och visas i nedre delen av Figur 12-3. Uppgifter antyder att stranden drar sig tillbaka ganska kraftigt på många ställen. Enligt Ragnar Björnsing som arbetar med stränderna och observerar dessa kontinuerligt har stränderna förflyttat sig bakåt flera meter under senare år (Björnsing, 2009).

Mitt emot campingen finns markanta erosionsbranter som är betydligt högre (Figur 12-4). Här observerades den tydligaste och högsta erosionsbranten.



Även strax norr om campingen, söder om badstranden vid Lill-Olas väg, finns tecken på erosion (Figur 12-5). Här har gång- och cykelvägen flyttats inåt på grund av fortskridande erosion (Björnsing, 2009).

Strax norrut, vid badstranden mittemot Lill-Olas väg, finns också tecken på erosion på sina ställen. En mindre brant kan iaktas i Figur 12-6.

Vid golfbanan har det i kapitel 11 visat sig att kustlinjen verkar ha dragit sig tillbaka. Här syns inga markanta tecken på erosion som i en del av de ovan nämnda fallen, men i Figur 12-7 visas att mycket tång har spolats upp vid vegetationskanten. Vid denna kant kunde en viss höjdskillnad också noteras, vilket skulle kunna vara en mindre erosionsbrant. Det faktum att tång spolats upp här visar på att vattnet når vegetationslinjen och därmed har möjlighet att gräva sig inåt.

Områdena norr om golfbanan och Hildesborg karaktäriseras av klintkust där fältobservationer dock inte gjorts. Däremot har det framkommit att klintkusten rasar och ibland försvinner stora sjök (Molin, 2009).

I de norra delarna av kommunen, mellan Ålabodarna och Sundvik finns stenskonning på större delen av sträckan, vilket diskuterats tidigare. På något ställe har stenskonningen raserats till viss del och tecken på erosion kan skönjas i Figur 12-8.



**Figur 12-3 – Oskyddad strandremsa norr om Borstahusens hamn.**



**Figur 12-4 – Erosionsbrant vid Campingen.**



**Figur 12-5 – Erosionsbrant mellan campingen och Lill-Olas väg.**



**Figur 12-6 – Erosionsbrant vid badstranden mitt emot Lill-Olas väg.**



**Figur 12-7 – Vegetationskanten mitt emot golfbanan.**



**Figur 12-8 – Område mellan Ålabodarna och Sundvik där stenskoningen till viss del rasat och tecken på erosion kan skönjas.**

## **12.4 Vinkelrät sedimenttransport - beräkningar**

Vinkelrät sedimenttransport beskriver transporten av sand i ett kortsiktigt perspektiv och är mycket säsongsbetonad. Under vintern eroderar stranden medan den under sommaren byggs upp igen och i ett långsiktigt perspektiv kan den vinkelräta transporten oftast försummas (Hanson och Larson, 1992). Den är dock viktig att undersöka för att kunna utreda hur mycket skada enskilda extrema väderhändelser gör på en strandlinje.

Då vågor rullar in mot stränder kan de komma att påverka stranddynor. Dessa dynor utgör ett skydd för stränderna och om de skadas blir strandprofilen mycket hotad av extrema vattenstånd och stormar (Hanson och Larson, 2004). Då dynerna försvinner eller skadas skapas tillfällen för översvämningar och erosion av bakomliggande områden (Åkesson *et al.*, 2008). Många modeller har tidigare utvecklats och använts för att beräkna den erosion av dynor som uppstår då de träffas av vågor. Modellerna är oftast antingen baserade på jämviktsprofiler eller vågpåverkan. De modeller som utgår ifrån principen om jämvikt, grundar sig på teorin om att strandprofilen hela tiden strävar efter att befinna sig i jämvikt. Denna jämvikt bestäms av våg- och vattennivåförhållanden vilka påverkar dynerna. Den andra sortens modell baseras på att uppskatta den mängd sediment som transporteras från dynerna på grund av vågornas inverkan. I detta kapitel undersöks den vinkelräta transporten på ett antal lokaler vid Landskronas kust, med hjälp av den analytiska modell baserad på vågpåverkan, som är utvecklad av Larson *et al* (2004).

### **12.4.1 Metodik**

Beräkningarna syftar till att uppskatta sedimenttransporten som uppkommer vid enskilda stormar i Landskrona kommun. Den vinkelräta sedimenttransporten beräknades för fem områden med uppmätta profiler utmed Landskronas kuststräcka som idag uppvisar tecken på erosion.

Detta görs med hjälp av modellen för erosion av dyner på grund av vågpåverkan som är framtagen av Larson *et al* (2004).

Eroderade volymer,  $dV$ , över tiden,  $dt$ , beskrivs enligt:

$$\frac{dV}{dt} = -4C_s \frac{(R - z_0)^2}{T} \quad (12.2)$$

där  $C_s$  = transportkoefficient,  $R$  = uppspolningshöjd,  $T$  = period och  $z_0$  = erosionsbrantens höjd vid dess fot

Ovanstående samband gäller då variationen hos  $z_0$  kan försummas, vilket är fallet vid liten tillbakaryckning av dynerna (Larson *et al*, 2004).  $C_s$  kan beräknas genom en empiriskt framtagen ekvation. Dock tenderar denna att överskatta värdet på  $C_s$ . Då det finns flygbilder att tillgå från Landskrona, är dessa att rekommendera för att bestämma  $C_s$ .

Värden på hur mycket som har eroderat per år togs fram för perioderna 1940-1984 och 1984-2004 utifrån tidigare diskuterade flygbildsanalyser. För perioden 1976-1995 togs ett värde på eroderad volym per breddmeter sedan fram. Ett värde på  $C_s$  kunde därefter kalibreras fram utifrån ekvation 12.2.

I Tabell 12-3 redovisas resultaten av de framkalibrerade värdena på  $C_s$ , samt värden på  $z_0$  för respektive område.

**Tabell 12-3 –  $C_s$  – samt  $z_0$  värden för de fem områdena.**

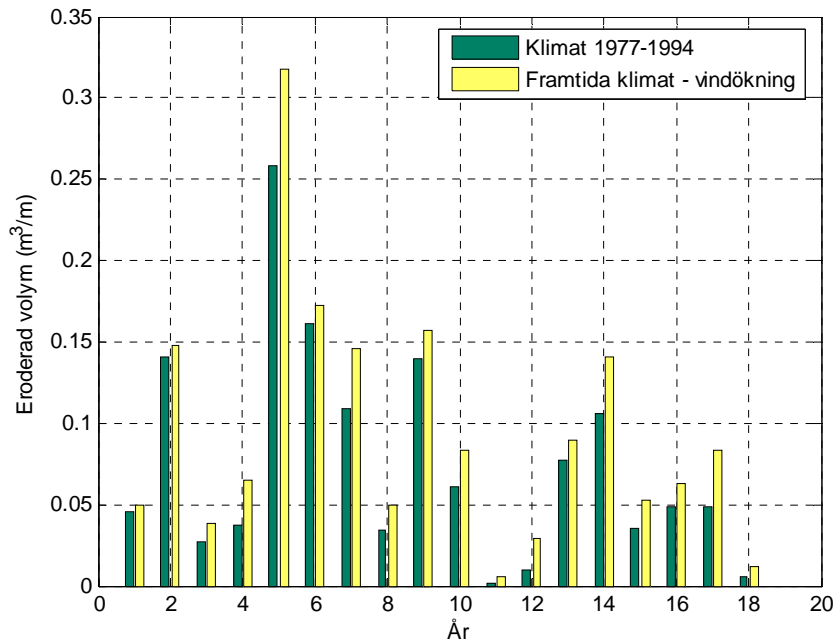
	<b>1 Norr om Borstahusens hamn</b>	<b>2 Campingen</b>	<b>3 Skogen</b>	<b>4 Badstranden innan golfbanan</b>	<b>5 Golfbanan</b>
$C_s$	$1,48 \cdot 10^{-5}$	$0,89 \cdot 10^{-5}$	$5,65 \cdot 10^{-6}$	$1,05 \cdot 10^{-5}$	$6,62 \cdot 10^{-7}$
$z_0$ (m)	0,944	1,174	1,028	1,242	1,033

Som framgår i tabellen är transportkoefficientens värden i vissa fall ganska små, vilket påverkar den eroderade volymen på så sätt att den blir mindre. Enligt Larson *et al.* (2004) ligger värden på transportkoefficienten som baseras på fältdata mellan  $3 \cdot 10^{-5}$  och  $2 \cdot 10^{-3}$ . Dock är det naturligtvis många andra faktorer som har inverkan på den eroderade volymen. Golfbanan uppvisar det minsta värdet,  $6,62 \cdot 10^{-7}$  medan stranden norr om Borstahusens hamn visade sig ha den största transportkoefficienten,  $1,48 \cdot 10^{-5}$ .

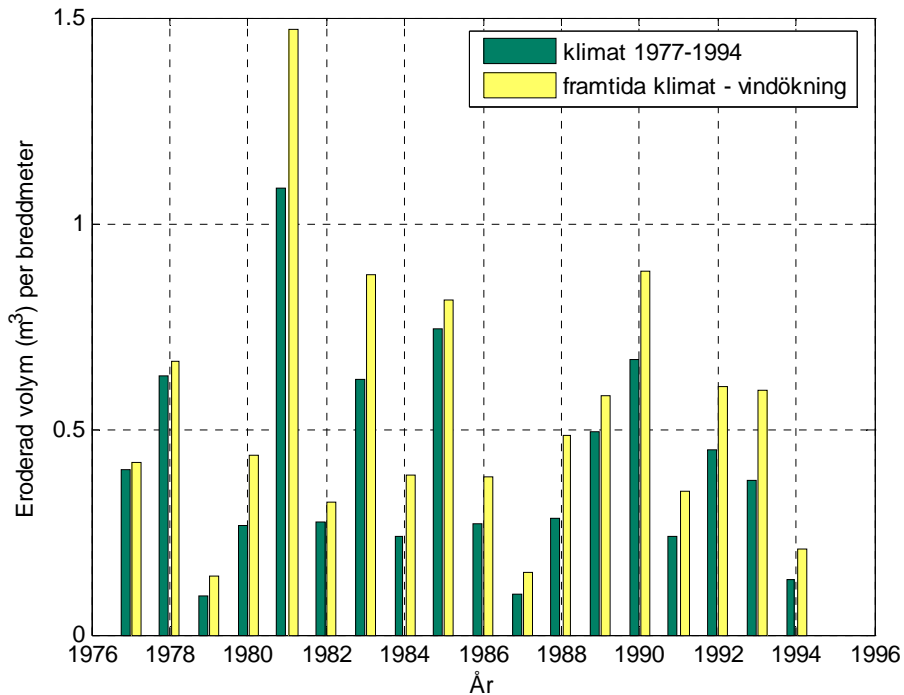
Uppspolningshöjderna som används för dessa beräkningar är de uppspolningar för respektive delområde av kuststräckan som erhöles i kapitel 10. Beräkningar för eroderad volym utfördes dels för nutida förhållanden, dels för framtida förhållanden då vindar vintertid ökar i styrka med 13%. Om ingen ökning av vindstyrka skulle ske, kommer den eroderade volymen i framtiden att vara ekvivalent med volymen som eroderar i dagsläget, förutsatt att erosionsbrantens fot ligger på ungefär samma läge i förhållande till medelvattenytan som idag. Detta antagande bygger på den tidigare omnämnda Bruuns regel.

## 12.4.2 Analys

I Figur 12-9 åskådliggörs resultaten av erosionssimuleringen för område 3 – skogen. De gröna staplarna representerar nutid medan de gula staplarna representerar situationen i framtiden. För några av åren är det en signifikant skillnad i eroderad volym mellan nutida och framtida förhållanden, särskilt vid det som i figuren kallas för år 5, vilket svarar mot år 1981. För resten av perioden är skillnaden i eroderad volym marginell, men ändå existerande. Vid skogen har erosion redan gjort att man har varit tvungen att lägga om cykelvägen. Denna ligger nu några meter längre inåt land.



Figur 12-9 – Eroderad volym per breddmeter vid skogen för nutida samt framtida förhållanden.

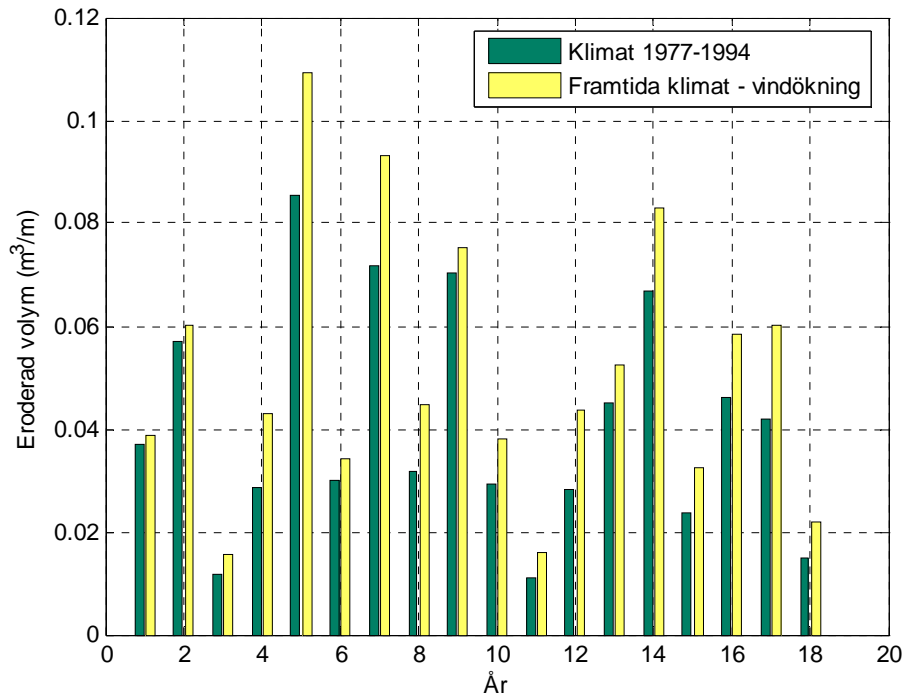


**Figur 12-10 - Eroderad volym per breddmeter vid campingen för nutida samt framtida förhållanden**

I Figur 12-10 visas erosionen för det område som uppvisade störst eroderad volym per breddmeter, området utanför campingen. Den eroderade volymen per breddmeter uppgår som mest till ca strax över 1,0 m<sup>3</sup>/ (m·år) för nutida förhållanden, samt strax under 1,5 m<sup>3</sup>/ (m·år) för det framtida scenariot. Detta område var det som uppvisade störst lutning på strandplanet, vilket resulterar i större uppspolning och mer erosion. Till skillnad från vissa andra områden, exempelvis norr om Borstahusens hamn, visar beräkningarna på märkbar erosion under samtliga år.

Figur 12-11 presenterar resultaten för simuleringarna vid område 5 – golfbanan. Som väntat handlar det om små eroderade volymer per breddmeter vid detta område då det lägsta värdet för transportkoefficienten återfinns för denna lokal. Transportkoefficienten var den minsta av alla fem och den eroderade volymen uppgår som max upp till 0,09 m<sup>3</sup>/ (m·år) för nutida förhållanden och 0,11 m<sup>3</sup>/ (m·år) för framtida förhållanden





**Figur 12-11 – Eroderad volym per breddmeter vid golfbanan för nutida samt framtida förhållanden.**

Beräkningsresultat för samtliga områden presenteras i Tabell 12-4 och figurer över nutida och framtida transport för samtliga områden återfinns i Appendix II. För att få något att relatera till kan en jämförelse göras med vad som framkommit i liknande studier av andra områden. I Bjärred gjordes beräkningar av den eroderade volymen till följd av sedimenttransport vinkelrät mot stranden på en kortare sträcka. Medelvärdet per breddmeter och år var  $0,28 \text{ m}^3$  under perioden 1985 – 2003 (Brännlund och Svensson, 2005). Detta stämmer alltså ganska väl överens med det som framkommit i beräkningarna ovan. Bjärreds läge är också jämförbart med Landskronas och båda platserna bör ha ganska likartade vågklimat. I Ystad visade det sig att den vinkelräta transporten var betydligt större.  $1,48 - 6,16 \text{ m}^3/(\text{m}\cdot\text{år})$  beräknades genom att titta på förändringen av inmätta strandprofiler (Dahlerus och Egermayer, 2005). Dessa författare kommer också fram till att klitterfotens höjd i förhållande till medelvattenytan har en kraftig inverkan på hur stor erosionen blir. I Ystad råder dock ett vågklimat som avviker ganska mycket från det i Öresund, då det är betydligt större ytor med öppet vatten utanför kusten.

Tabell 12-4 – Erosion per breddmeter för respektive område för nutida förhållanden och ett framtidsscenario.

Lokal	1977 – 1994		Framtidsscenario	
	Medelvärde (m <sup>3</sup> /m)	Maximum (m <sup>3</sup> /m)	Medelvärde (m <sup>3</sup> /m)	Maximum (m <sup>3</sup> /m)
Borstahusen	0,16	0,64	0,18 (+ 13 %)	0,74 (+ 16 %)
Campingen	0,41	1,09	0,54 (+32 %)	1,47 (+ 35 %)
Skogsparti	0,07	0,26	0,09 (+ 29%)	0,32 (+23 %)
Badstranden	0,25	0,79	0,33 (+ 32 %)	1,09 (+ 38 %)
Golfbanan	0,04	0,09	0,05 (+ 25 %)	0,11 (+22 %)

Det visade sig att den procentuella ökningen av den eroderade volymen kan bli ganska stor i förhållande till hur mycket vindhastigheten har ökat (13 % under 3 månader).

Erosionsbenägenheten beror också på vilken typ av material det rör sig om och hur lätteroderat detta är. I Tabell 12-5 visas karakteristika för jordprov tagna från själva erosionsbranten vid de olika lokalerna. Förhållandet D<sub>60</sub>/D<sub>10</sub> ger en bild av hur sorterad jorden ifråga är, kornfördelningskurvor för de olika lokalerna återfinns i Appendix IV.. Ett högt värde på kvoten indikerar en jord med stor spridning i kornstorleken emedan ett lågt värde innebär en mer homogen sammansättning. Enligt denna princip är alltså jorden vid golfbanan mycket väl sorterad medan en mer osorterad karaktär uppträder i jorden vid Borstahusen. Enligt SGI (2007), är väl sorterade jordarter mer erosionsbenägna. Detta skulle i så fall innebära att största värden på eroderad volym skulle uppnås vid golfbanan. Som tidigare nämnts är detta dock området med minst vinkelrät sedimenttransport enligt beräkningarna.

Tabell 12-5 – Karakteristika hos jordprover tagna från erosionsbranten vid respektive lokal.

Lokal	D <sub>60</sub> / D <sub>10</sub>
Borstahusen	6
Campingen	3,1
Skogen	3,6
Badstranden	2,2
Golfbanan	1,7

### 12.4.3 Osäkerhet

Beräkningarna i detta kapitel är starkt beroende av vilket värde på transport koefficienten ( $C_s$ ) som används. De koefficientvärden som användes i dessa beräkningar togs fram genom att kalibrera mot de värden på kustlinjeförändringen som framkommit vid flygbildsanalysen. I flygbildsanalysen finns en del osäkerheter som fortplantar sig in i beräkningarna i detta kapitel. Eftersom upplösningen på de äldre flygbilderna som användes vid analysen ej är känd är det svårt att exakt kvantifiera osäkerheten. Nedan ges en översikt av hur stor osäkerheten skulle kunna vara under antagandet att upplösningen på flygbilderna är 0,5x0,5 m samt att transformationsfelet hos de äldre flygbilderna är 0,2 m, vilket skall vara det maximala felet vid transformation från systemet RT90 till SWEREF 99 (Lantmäteriet, 2009). Upplösningen hos de äldre flygbilderna är sannolikt betydligt lägre än 0,5x0,5 m då detta uppgavs vara upplösningen hos flygbilden 2004 (Kasslid, 2009), men då inga exakta värden finns att tillgå används den upplösning som det finns kännedom om.

I Tabell 12-6 ges ett exempel på vilket intervall transport koefficienten kan ligga inom för två områden, mitt emot campingen respektive badstranden vid Lill-Olas väg. Här antas att felet hos kustlinjeförändringen från 1940 och 1984 maximalt är 1,4 m, vilket förutsätter att transformationsfelet och felet relaterat till upplösningen drar åt samma håll för båda kustlinjerna. Motsvarande värde för kustlinjeförändringen från 1984 till 2004 antas vara 1,2 m. Anledningen till att detta fel blir mindre är att flygbilden från 2004 antas vara otransformerad. För badstrandens del varierar transportkoefficientens värde med +/- 15%. Vid campingen varierar transportkoefficienten med +/- 33 %. Eftersom kustlinjen vid badstranden har dragit sig tillbaka mer kommer felet på 1,4 respektive 1,2 m inte att utgöra lika stor del av den totala kustlinjeförändringen som vid campingen. Detta medför att transportkoefficientens relativa variation blir mindre vid badstranden än vid campingen.

Slutsatsen som kan dras utifrån detta resonemang är, att desto mindre kustlinjeförändring som iakttagits, desto större osäkerhet finns hos den transportkoefficient som framräknats och därmed en större osäkerhet i den beräknade sedimenttransporten. Osäkerheten hos den beräknade eroderade volymen är lika stor som osäkerheten hos transportkoefficienten.

Tabell 12-6 – Övre respektive undre gränser för transportkoefficienter för ett par områden som valts som exempel.

	<b>Badstrand</b>	<b>Camping</b>
<b>Undre gräns</b>	$0,89 \cdot 10^{-5}$	$0,58 \cdot 10^{-5}$
<b>Medelvärde</b>	$1,05 \cdot 10^{-5}$	$0,89 \cdot 10^{-5}$
<b>Övre gräns</b>	$1,21 \cdot 10^{-5}$	$1,17 \cdot 10^{-5}$

Vidare finns en ganska stor osäkerhet kopplad till den framtida erosionen, då det i tidigare studier har visat sig att klitterfotens höjd har en avgörande inverkan på erosionen (Dahlerus och Egermayer, 2005). Beräkningarna för framtidsscenariot ovan baseras på antagandet att klitterfotens höjd anpassar sig efter medelvattenytökningen och att förhållandet mellan klitterfoten och medelvatteytan därmed bibehålls även i framtiden. En lite avvikelse mellan verkligheten och detta antagande skulle dock kunna ge ganska stora utslag i beräkningsresultaten för den framtida erosionen.

## 12.5 Kustparallell sedimenttransport

I tidigare kapitel har diskuterats hur stormar och kraftiga oväder kan orsaka snabba förändringar av kusten i form av sedimenttransport vinkelrät mot kusten. Långsammare och mer långsiktiga förändringar står den kustparallella sedimenttransporten i allmänhet för. I detta kapitel genomförs beräkningar för att uppskatta den potentiella kustparallella sedimenttransporten för ett antal år. En inblick i hur transporten skulle kunna förändras i framtiden ges också.

### 12.5.1 Metodik

Det finns ett flertal olika skrifter som behandlar olika metoder att beräkna kustparallell sedimenttransport. I denna studie har en metod beskriven av Komar (1998) använts. Utgångspunkten för beräkningarna är brytande våghöjder samt vid vilket djup och vid vilken vinkel i förhållande till stranden som vågorna bryter. Detta har framräknats och diskuterats i kapitel 9. Då vågor bryter frigörs en del av den energi som finns i vågen. Denna energi ger upphov till att sediment rörs upp från botten och kan transporteras iväg. Själva transporten är en följd av de strömmar som de brytande vågorna också ger upphov till.

Den beräkningsprocedur som använts här utgår från följande formler (Komar, 1998):

$$Q_l = \frac{K}{(\rho_s - \rho) \cdot (1 - a) \cdot g} P_l \quad (12.3)$$

$$P_l = (EC_g)_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (12.4)$$

$$E = \frac{\rho g H_b^2}{8} \quad (12.4)$$

$$nC = C_g = \sqrt{gh_b} \quad (12.5)$$

där  $Q_l$  = Kustparallell sedimenttransport,  $P_l$  = Kustparallell komponent av vågenergi,  $E$  = Vågenergi,  $C_g$  = Hastighet för en grupp vågor,  $h_b$  = Djup vid vilket vågorna bryter,  $H_b$  = Våghöjd för de brytande vågorna,  $g$  = Tyngdaccelerationen,  $\alpha_b$  = Vinkel mellan brytande vågfront och bottenkontur,  $\rho_s$  = Densitet hos havssanden ( $2650 \text{ kg/m}^3$ ),  $\rho$  = Densitet hos havsvatten ( $1020 \text{ kg/m}^3$ ),  $a$  = Sandens porositet (0,4) och  $K$  = Kalibreringskoefficient.

Enligt Komar (1998) är ett lämpligt värde på kalibreringskoefficienten 0,3 om signifikanta våghöjder används som indata i beräkningarna. Allmängiltiga värden på densiteten och porositeten hos sand användes.

Beräkningarna gjordes för de 6 olika punkter som representerar de olika delområden som kuststräckan delats in i. Detta innebär att de värden som räknas fram speglar transporten förbi dessa punkter. Det skall poängteras att det endast är den potentiella transporten som framräknas här. Det är den transport som skulle äga rum om tillgången till transporterbart material var obegränsad (Hanson och Larson, 1993). Så är inte alltid fallet, vilket medför att den verkliga transporten ofta är mindre.

De värden som dessa beräkningar ger upphov till gör alltså inte anspråk på att vara några verkliga värden på transporten. De ger heller ingen information om vad som händer på några exakta platser. Det som erhålls är istället erosionspotentialen samt en indikation på om ackumulation eller erosion kan förväntas någonstans på sträckan mellan de ovan nämnda punkter som används som utgångsläge i beräkningarna.

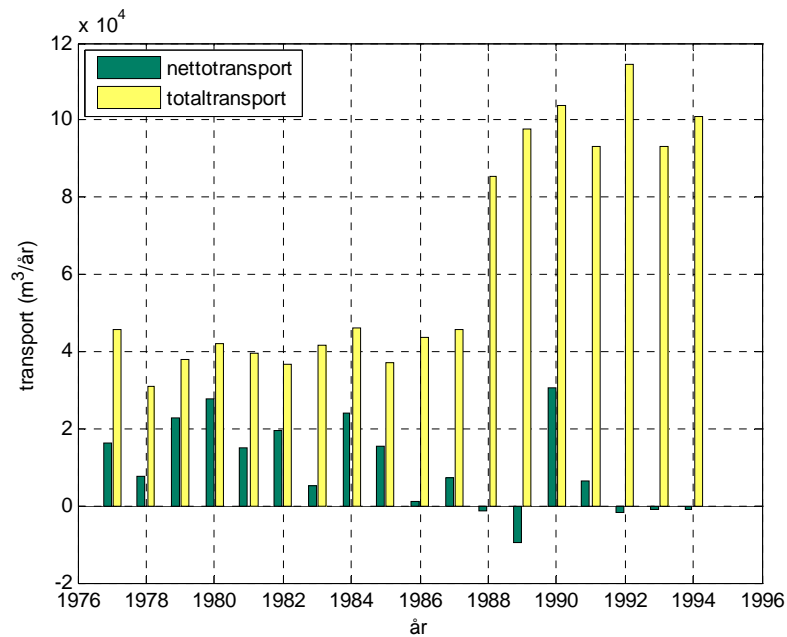
### 12.5.2 Analys – nuvarande situation

Den beräknade potentiella transporten går övervägande mot söder utom för område B2 (Figur 12-16 och Figur 12-12). Transportriktningen beror på den vinkel vågorna har i förhållande till kustlinjen då de bryter. Denna vinkel beror i sin tur på den infallsvinkel som vågorna har på djupt vatten. Vindriktningen och därmed även riktningen hos vågorna på djupt vatten domineras av vindar från sydväst till nordväst, med en något starkare dominans för vindar som kommer rakt västerifrån. Eftersom kustlinjen oftast är orienterad i en svagt nordvästlig riktning, innebär detta att vågor som kommer rakt västerifrån kommer att ge upphov till en transport riktad söderut.

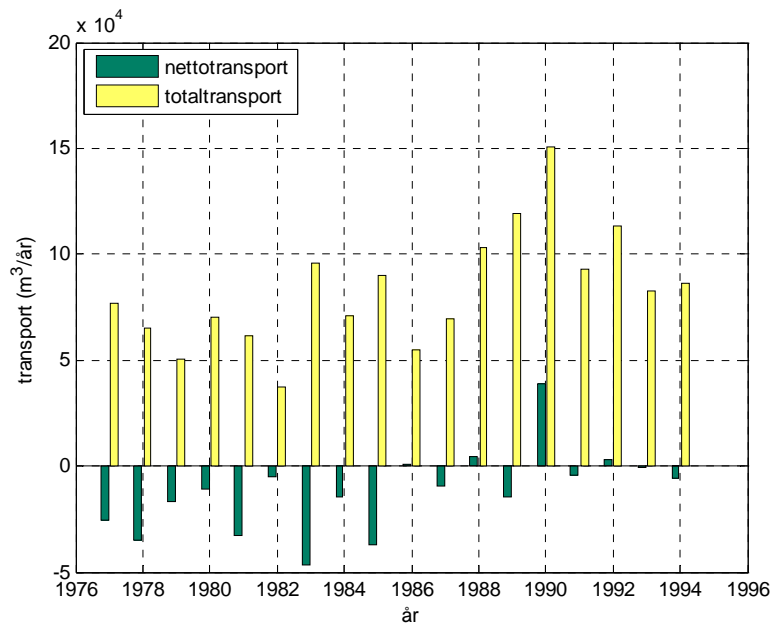
Område B2, som har en dominerande transportriktning mot norr, ligger i lä för nordvästliga vindar på grund av Vens läge. Område D1 och D2 ligger istället i lä för sydvästliga vindar till viss del, vilket kan vara en anledning till att nettotransporten går söderut vid dessa områden. Område C ligger skyddat för vindar som kommer rakt västerifrån, samt är troligen något mer exponerat för nordliga vindar. Detta bland annat på grund av batymetrin vid Landskrona stad som gör att vågorna sannolikt böjs av in mot kusten innan de når område C. Viss hänsyn togs till detta vid framtagandet av stryklängderna för detta område.

Figurer som visar den beräknade potentiella netto- och totaltransporten varje år för samtliga områden presenteras i Appendix III. I Figur 12-12 och Figur 12-13 visas sedimenttransporten för område B2 och C. Här kan ses att nettotransporten för område B2 är positiv alla år med undantag för 1989, 1992, 1993 och 1994. De sista åren är nettotransporten betydligt mindre än tidigare år. Bruttotransporten är däremot betydligt större under senare år vid detta område. Detta är ett exempel på att den totala sedimenttransporten kan vara betydande utan att det sker någon markant nettoförflyttning av sediment. Under åren 1977 – 1985, tyder dessa figurer på att det kan ha skett en ackumulation av sediment någonstans mellan dessa punkter. Under de senare åren har nettotransporten vid båda dessa områden varit mycket liten och därför pekar resultaten inte på att det skulle ha ägt rum någon nämnvärd ackumulation eller erosion. Det bör återigen poängteras att det endast handlar om potentiell transport, vilket förutsätter att tillgången på eroderbart material är obegränsad. Denna tillgång är svår att uttala sig om, i synnerhet tillbaka i tiden. Även om beräkningarna antyder att det kan ha skett någon typ av ackumulation mellan 1977 – 1985, finns inga tydliga bekräftelser på detta i flygbilderna. Flygbilden från 1984 uppvisar ingen stor avvikelse från hur det ser ut idag i regionen mellan område B2 och C. Den ungefärliga punkt som skiljer område B2 och C åt, är Borstahusens hamn. Om en viss transportriktning är förhärskande kan detta ofta observeras vid hamnar och dylika hinder då sediment ackumuleras på den sida mot vilken transportriktningen går och erosion äger rum på motstående sida. I detta fall är det svårt att se någon tydlig skillnad mellan den norra och den södra sidan av Borstahusens hamn. Det har konstaterats att erosion pågår på den norra sidan, men denna erosion skulle mycket väl kunna vara orsakad av stormar såväl som kustparallell transport. På den södra sidan om hamnen tyder tidigare analyser på en tillväxt av kustlinje d.v.s. landutfyllnad har gjorts. Därför är det svårt att säga om detta är en zon med ackumulation eller erosion. Eftersom hamnens inlopp behöver rensas med jämna mellanrum (Knutsson, 2009) tyder detta på att det finns en transport som går norröver. Detta

behöver dock inte innebära att nettotransporten går norröver, endast att norrgående transport äger rum överhuvudtaget.



Figur 12-12 – Potentiell kustparallell sedimenttransport för område B2.

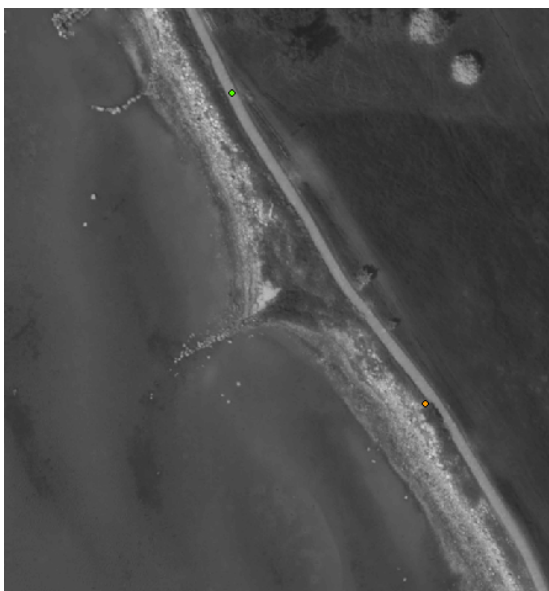


Figur 12-13 - Potentiell kustparallell sedimenttransport för område C.

För den övriga delen av kuststräckan visar flygbilderna heller inga tydliga tecken på zoner med erosion eller ackumulation. Svaga tecken på ackumulation kan skönjas söder om Sundvik (Figur 12-14) samt norr om Golfbanan (Figur 12-15). Dessa tecken pekar alltså på södergående transport.



**Figur 12-14 – Stenhövd söder om Sundvik där en viss ackumulation kan skönjas på den norra sidan av hövden.**



**Figur 12-15 – Stenhövd norr om golfbanan där svaga tecken på ackumulation kan noteras på den norra sidan av hövden.**

I övrigt visar inte resultaten från dessa beräkningar några tydliga tecken på att det skulle ske erosion eller ackumulation någonstans till följd av kustparallell transport. Beräknade värden på sedimenttransporten anges i Tabell 12-7.

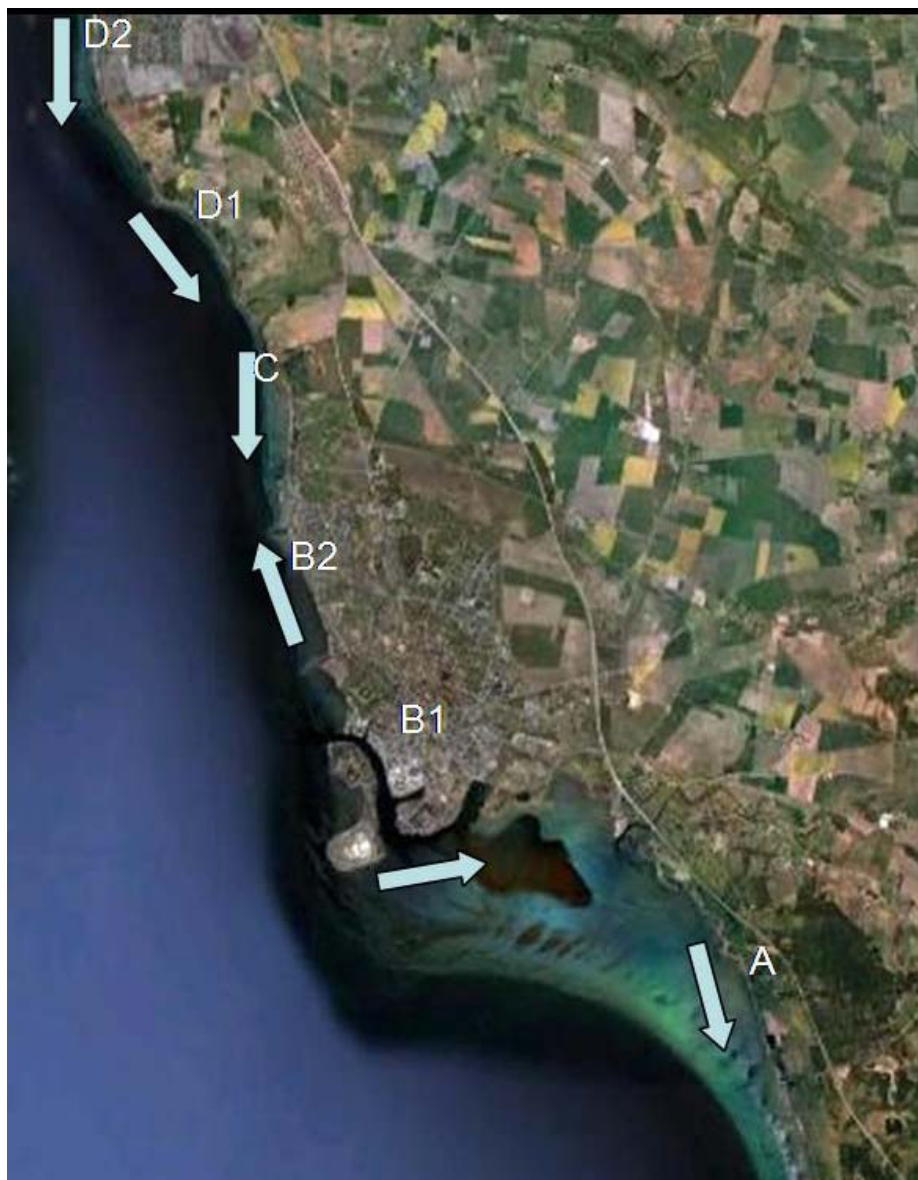
Det bör nämnas att de transporterade volymer som dessa beräkningar gett upphov till är mycket höga vissa år, med tanke på att det är i Öresund som transporten äger rum. Kuster som vetter ut mot öppet hav kan ge värden på sedimenttransport som är mycket höga, men i detta fall borde värdena rimligtvis vara något lägre än vad som framkommit. Framförallt område B1 utmärker sig när det gäller nettotransporten. Värden över  $100\,000\text{ m}^3/\text{år}$  är egentligen inte helt rimligt för denna region. Sedimenttransporten beror bland annat på de brytande vågornas höjd och infallsvinkel, vilket nämnts tidigare. Vid en närmare granskning visade det sig att de brytande vågorna ofta har en ganska stor infallsvinkel, uppemot  $30^\circ$ . Här avses alltså den vinkel som vågfronten har i förhållande till kustlinjen. Till följd av refraktion minskar vågornas infallsvinkel efterhand som de rör sig över grundare vatten. Vågornas infallsvinkel

bör således vara ganska liten då de närmar sig kusten. Detta gäller framförallt för små vågor som bryter på ett mindre djup och därmed hinner böja av mer än de stora vågor som bryter på lite djupare vatten. Det är alltså rimligt att de större vågorna har en större infallsvinkel vid vågbrott. Det är också dessa större vågor som kommer att ge upphov till den största sedimenttransporten då de bryter, eftersom dessa innehåller mer energi.

**Tabell 12-7 – Kustparallell sedimenttransport för respektive område. Negativa transportvärden indikerar södergående transport.**

	<b>A</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>
<b>Maximal absolut nettotransport (m<sup>3</sup>)</b>	48 400	116 840	30 517	46 662	85 480	73 687
<b>Medelvärde av nettotransporten (inklusive tecken) (m<sup>3</sup>)</b>	-13 564	-63 936	10 253	-11 755	-47 668	-40 358
<b>Maximal totaltransport (m<sup>3</sup>)</b>	170 270	116 840	114 630	150 450	151 140	145 660





Figur 12-16 – Dominerande transportriktningar för den kustparallella sedimenttransporten.

### 12.5.3 Analys - framtida kustparallell sedimenttransport

De ökade vindstyrkorna har visat sig ha en viss effekt på både uppspolningen och den vinkelräta sedimenttransporten. Detta stycke är därför tillägnat konsekvenserna av ökade vindstyrkor gällande den kustparallella sedimenttransporten

Data som har använts i simuleringarna är egenskaper för brytande vågor då vindstyrkan har ökat med 13% under tre vintermånader. Om ingen ökning av vindstyrkan sker, kommer transporten att te sig likadant som i nuläget.

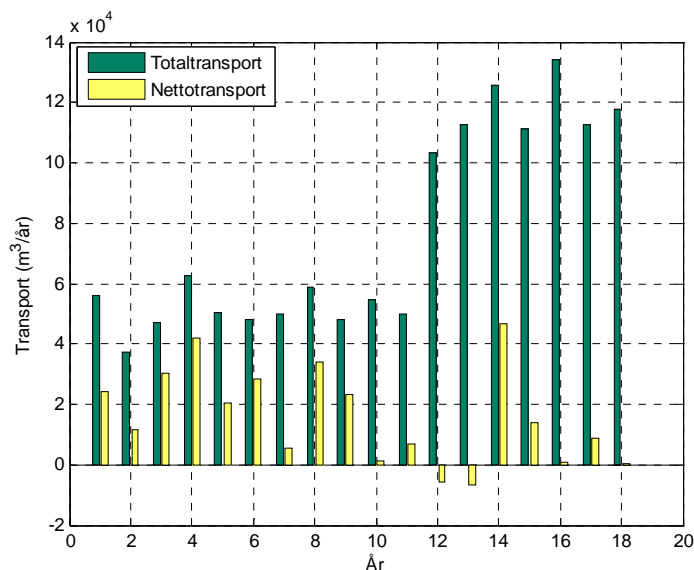
Tabell 12-8 redovisar de framtida genomsnittliga nettotransporterna vid respektive område. Precis som för nutida förhållande uppvisar alla lokaler negativ transport, det vill säga transport i sydlig riktning. Område B2 utgör dock det enda undantaget och uppvisar en positiv

transport. Störst benägenhet för kustparallell erosion uppvisas vid område B1, där den genomsnittliga nettotransporten uppgår till så mycket som 80 000 m<sup>3</sup>.

Tabell 12-8 – Genomsnittlig och maximal nettotransport för framtida kustparallell sedimenttransport

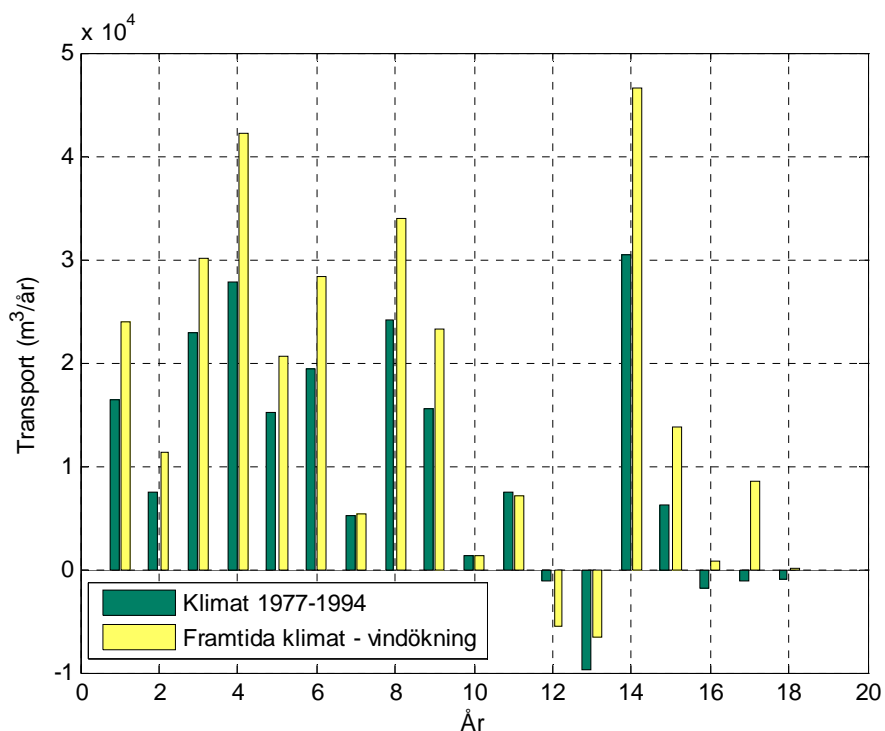
	A	B1	B2	C	D1	D2
<b>Genomsnittlig nettotransport (inklusive tecken) (m<sup>3</sup>)</b>	- 15 000	- 80 000	16 000	- 9 000	- 54 000	- 45 000
<b>Maximal absolut nettotransport (m<sup>3</sup>)</b>	66 000	150 000	47 000	67 000	110 000	87 000

Resultaten av simuleringarna för framtida brutto- och nettotransport vid område B2 redovisas i Figur 12-17.



Figur 12-17 – Potentiell kustparallell sedimenttransport för område B2 under en period av 18 år, framtida förhållanden

I Figur 12-18 åskådliggörs nettotransporten vid område B2 för nutida respektive framtida förhållanden. Det är tydligt att det kommer att transporteras mer sediment i framtiden, om teorin om ökad vindstyrka under vintern antas gälla.



Figur 12-18 – Nettotransport under en period av 18 år för nutida respektive framtida förhållanden, vid område B2.

Den procentuella ökningen av maxvärden och medelvärden av nettotransporten redovisas i Tabell 12-9. Vid område B2 uppvisas den största procentuella ökningen, 55 % för den genomsnittliga nettotransporten samt 53 % för den maximala transporten. Att just B2 uppvisar en sådan drastisk ökning i framtiden, beror antagligen på att de ökade vindarna kommer från sådana riktningar där stryklängden hos B2 är mycket stor. Stora förändringar hos områdena överlag tyder på att höga vindar uppkommer under just vintermånaderna. Område A har den minsta ökningen på 9 % för den genomsnittliga nettotransporten.

Tabell 12-9 – Procentuella förändringar av genomsnittlig samt maximal nettotransport.

	A	B1	B2	C	D1	D2
<b>Förändring av genomsnittlig transport (%)</b>	9	25	55	-24	14	11
<b>Förändring av maximal transport (%)</b>	36	25	53	44	29	18

## 13 Översvämningsmodellering

### 13.1 Sammanfattning

Landskrona kommun är topografiskt mycket varierande, där vissa områden ligger på uppemot 100 m över havet emedan de mer låglänta delarna befinner sig på endast någon meter över nuvarande havsnivå och är mycket flacka. Dessa områden är redan idag under vissa perioder utsatta för översvämning vid högt vattenstånd. I detta kapitel analyseras översvämning vid olika vattenstånd med hjälp av en höjdmmodell som tagits fram för detta syfte.

De framtida extrema högvattensituationerna som simulerats här kommer orsaka stora problem i kommunen. Skillnaden mellan de effekter ett högvatten med 10 års återkomsttid orsakar jämfört med ett högvatten med 100 års återkomsttid är inte så stor. Ett 100 års högvatten är en mycket extrem händelse, emedan ett 10 års högvatten är betydligt mer frekvent. Att ett högvatten med 10 gånger större frekvens ser ut att skapa ungefär lika stora problem som ett 100 års högvatten, är alltså oroväckande. Elförsörjningen kommer till stor del att slås ut under ett extremt högvatten, då ca 39 % av nätstationerna och ca 27 % av kabelstationerna hamnar under vatten vid ett 100 års högvatten. VA – nätet kommer också att drabbas. Ca 20 pumpstationer för avloppsvatten kan komma att översvämmas, samt ca 4 pumpstationer för dagvatten vid ett simulerat framtida 100 års högvatten.

Störst är problemen i den södra delen av staden och i synnerhet för industriområdet. Även Häljarp är ett stort problemområde.

### 13.2 Tillgängliga data

Höjdkurvor framtagna av Landskrona kommun medelst fotogrammetri, med en ekvidistans på 0,5 m användes. Dessa kurvor täcker hela kommunen inklusive Ven. Höjderna refererar till kommunens lokala höjdsystem S68 som avviker från det nationella höjdsystemet RH70 med 68 mm,  $S68 = RH70 - 68\text{mm}$ , (Andersson, 2009).

### 13.3 Metodik

En digital höjdmmodell kan göras på flera sätt. Vanligen används höjdpunkter och en kontinuerlig yta interpoleras utifrån dessa med hjälp av lämplig metod. Med höjdkurvor som utgångspunkt blir möjligheterna betydligt färre. Problemet ligger i att det finns en stor skillnad i tätheten hos höjddata. Det finns en oändlig mängd data längs med höjdkurvan men ett ganska stort avstånd mellan data vinkelrät mot kurvan (K Larsson, 2009). Detta begränsar valet av interpolationsmetoder. Det finns dock en vanligt förekommande interpolationsmetod som kan hantera höjdkurvor på ett bra sätt, utvecklad av Michael Hutchinson 1988 (ESRI, 2009). En funktion som bygger på denna metod finns att använda i ArcView®. Metoden försöker skapa hydrologiskt korrekta ytor utifrån den givna höjdinformationen (ESRI, 2009). Metoden är baserad på det faktum att vatten är den primära kraften som formar landskapets form. En yta skapas som på bästa sätt skall representera ett naturligt landskap med dess dalar och höjder (ESRI, 2009). En av fördelarna med denna metod är att låga punkter i höjdmodellen som inte är naturliga skall tas bort automatiskt då metoden är anpassad att endast inkludera sänkor som är rimliga ur ett hydrologiskt perspektiv (Hutchinson, 1989).

Utifrån de höjdkurvor som fungerar som indata i interpolationen fås ett raster d.v.s. ett rutnät med valfri upplösning där varje cell tilldelas ett höjdvärde. En upplösning på 2 m valdes,

vilket bör anses som fullt tillräckligt i dessa sammanhang med tanke på att upplösningen på indata inte är så hög. I branta områden skulle det kunna vara motiverat med en högre upplösning på rastret då höjden kan ändra sig mycket på en kort sträcka. De områden som är mest intressanta i detta fall är av naturliga skäl de mer flacka regionerna av kommunen, därför anses det inte nödvändigt att ha en högre upplösning än den som här angivits.

De havsvattennivåer som här använts är högvatten med 10 respektive 100 års återkomsttid från Barsebäck samt även medelvattenytans läge idag och i framtiden.

**Tabell 13-1 –Vattennivåer som har använts i översvänningsanalysen.**

	<b>Vattennivå (m) relativt RH70</b>
Medelvattenyta – 2009	0,032
Medelvattenyta – framtid	0,94
100 års högvatten – 2009	1,45
10 års högvatten – framtid	2,61
100 års högvatten – framtid	2,80

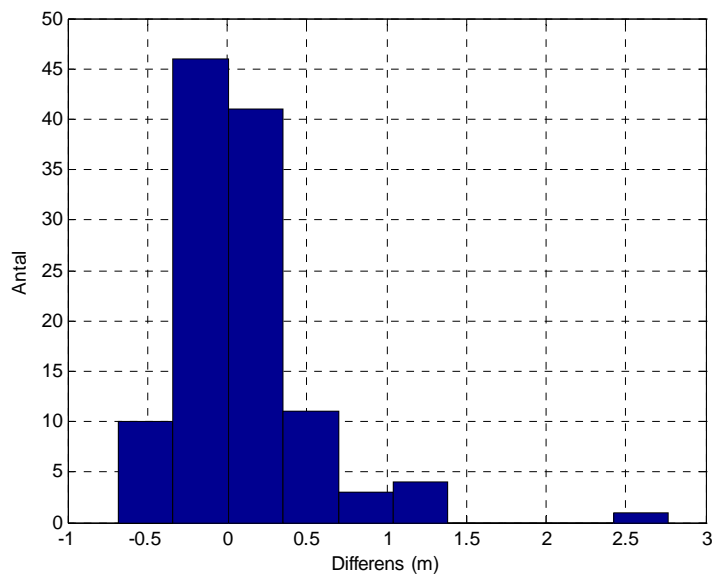
## **13.4 Analys**

### **13.4.1 Validering av digital höjdmodell**

För att simuleringar av översvämningar inte ska ge missvisande resultat är det viktigt att validera den digitala höjdmodellen för att undersöka om interpolationen har utförts korrekt. Detta gjordes genom att jämföra modellen med inmätta referenspunkter som erhöles från kommunen. Ca 160 höjdpunkter utgjorde grunden för jämförelsen. Höjdpunkterna är angivna med en noggrannhet av 2,5 cm (Nordell, 2009).

Den genomsnittliga differensen mellan referenspunkterna och den digitala höjdmodellen visade sig vara 0,094 m, vilket innebär att det finns ett genomsnittligt fel i modellen på 9.4 centimeter. Standardavvikelsen beräknades till 0,44 och ger ett mått på spridningen runt medelvärdet, i detta fall är det önskvärt med ett lågt värde på standardavvikelsen.

I Figur 13-1 visualiseras frekvens av skillnaderna mellan referenspunkterna och den interpolerade höjdmodellen. Det är högst frekvens kring värdet 0, vilket innebär en god interpolation. Vid en punkt visade det sig dock att skillnaden uppgick till över 2,5 meter, vilket innebär att höjdmodellen där är missvisande. Referenspunkten i detta fall uppgick till över 5 meter. En förklaring till denna stora skillnad är att referenspunkten kan ha varit tagen vid en lokal extremhöjd som inte är uppfångad av höjdkurvorna, vilka interpoleringen utgick från. Detta höga värde bidrar även till ett något högre genomsnittligt fel. Då beräkning av genomsnittlig skillnad utförs utan denna punkt, blir resultatet 0,07 m. standardavvikelsen visar sig i detta fall vara 0,36.



**Figur 13-1 – Frekvens av skillnaden mellan fixpunkter och den digitala höjdmodellen.**

Även om det genomsnittliga felet är relativt lågt, ska man ändå ha i åtanke att det vid vissa lokaler kan skilja på upp till nära 1,5 meter, vilket är ett ganska stort fel. Överlag anses dock interpoleringen vara god, och den digitala höjdmodellen bör vara representativ och tjäna sitt syfte i denna studie.

### 13.4.2 Översvämmade områden

I Figur 13-2, Figur 13-3 och Figur 13-4 visualiseras resultatet av simuleringen för en vattennivå med 100 års återkomsttid i dagsläget. Analys av simuleringen visar på en del problemområden. Från kommungränsen i norr och söderut ner till Ålabodarna läggs hela stranden under vatten och på vissa områden sträcker sig vattnet in i vegetationen. På några lokaler läggs även bitar av vägen under vatten. Vatten kommer även att gå upp till vissa av de hus som är belägna mycket nära kusten. Vid Ålabodarna läggs hela hamnen under vatten. Annars är det stenskoningar och stranden som översvämmas, en liten bit av vägen täcks också med vatten strax norr om Sundvik. Från Sundvik och söderut mot Hildesborg håller sig vattnet något sänkt konsekvent runt vegetationslinjen. Söder om Hildesborg når nivåerna över gång- och cykelvägen för att sedan där golfbanan tar vid sträcka sig en bra bit in på denna. Vid golfbanans slut når vattnet inte längre upp till cykelvägen men badstranden vid Lill-Olas väg läggs helt under vatten. Även bryggor, vågbrytare samt hela Borstahusens hamn översvämmas. De lågt belägna husen och tomterna vid Strandvägens norra ände kommer att översvämmas, och så även cykelvägen längs hela sträckan, med några få undantag.

Lindshamn, viss bebyggelse i dess närhet, samt hela området precis söder om hamnen översvämmas. Förutom att hamnarna samt enstaka punkter i industriområdet drabbas av den höga vattennivån, klarar sig stadskärnan utan större problem. Reningsverket klarar sig och så även tippen. Sjukhuset ligger en bit in i staden och löper därmed ingen risk att utsättas för översvämning. Strax söder om själva staden verkar det vara ett mindre vattendrag där vattennivån höjer sig uppströms. Dock sträcker sig nivåerna inte långt utanför diket.

Hela deltaområdet vid Saxån kommer att hamna under vatten. De höga vattennivåerna verkar som ett dämme och tvingar upp nivåerna även i ån. Detta får som konsekvens att områden längs med Saxån drabbas. När det gäller områdena öster om motorvägen är denna

modellering något bristfällig. Denna översvämningsmodell inkluderar inte det faktum att den höjda vattenytan kommer fungera som ett dämme för Saxåns flöde, heller inte att motorvägen kommer att fungera som en vall mot den höjda havsvattenytan. Det är därför svårt att säga vad som händer på den östra sidan om motorvägen. Då havsvattnet dämmer upp Saxån så att dess utflöde under motorvägen är mycket begränsat eller i princip stoppat, kommer varaktigheten av den förhöjda havsvattenytan samt till marginell del flödet i Saxån vid den aktuella tidpunkten ha betydelse för hur stora delar öster om motorvägen som kommer att översvämmas. Dock är det sannolikt att varaktigheten av ett högvatten av den storlek som här diskuteras kommer att vara relativt lång. Detta innebär att det är sannolikt att även de delar som ligger öster om motorvägen kommer att drabbas av en översvämning på samma sätt som resterande del av kommunen. Det är ändå viktigt att ha i åtanke att denna figur endast visar de delar som ligger under den aktuella havsvattennivån. Enligt denna modell kommer mer än halva koloniområdet i Axeltofta att läggas under vatten och även vissa bostadsområden i Häljarp. Motorvägen klarar sig dock undan dagens 100-årsnivå. Längst i söder drabbas vissa områden av åkermarken.

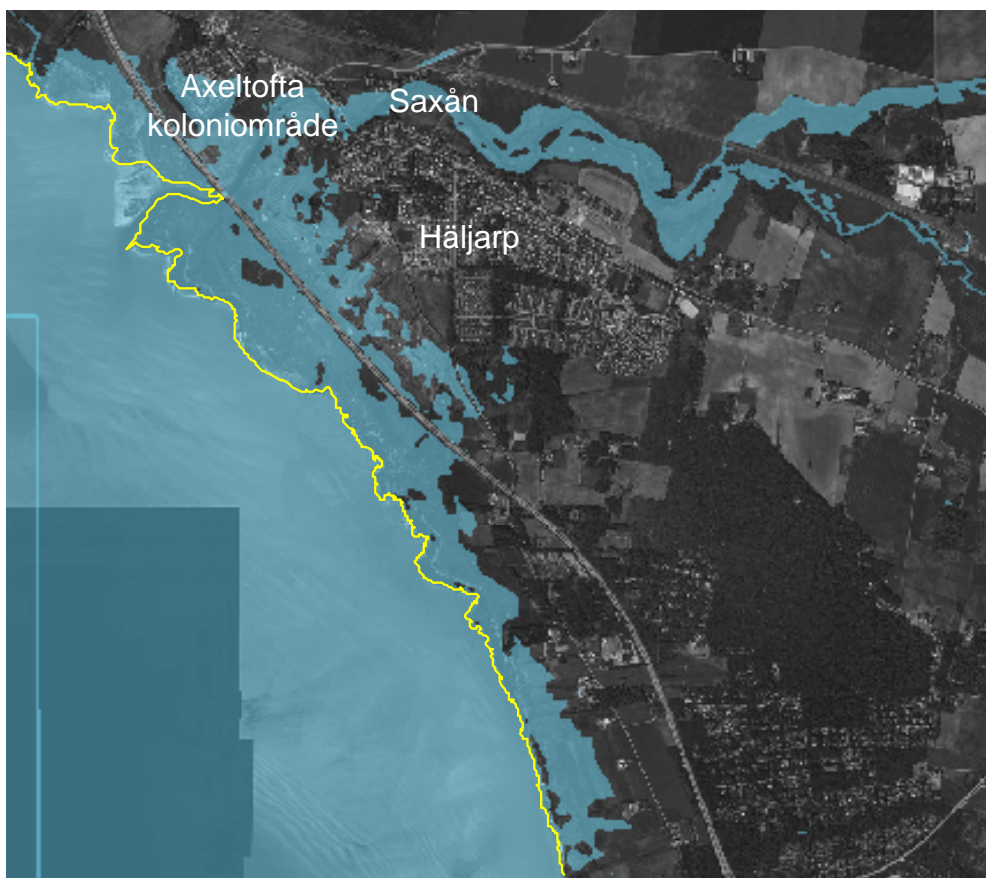


**Figur 13-2 – Översvämningssimulering av nutida 100-års vattenstånd i de norra delarna av kommunen. Kustlinjens ungefärliga nuvarande läge är markerat med en linje.**





**Figur 13-3 – Översvämningssimulering av nutida 100-års vattenstånd i de centrala delarna av kommunen. Kustlinjens ungefärliga nuvarande läge är markerat med en linje.**



**Figur 13-4 - Översvämningssimulering av nutida 100-års vattenstånd i de södra delarna av kommunen. Kustlinjens ungefärliga nuvarande läge är markerat med en linje.**

Figur 13-5, Figur 13-6 och Figur 13-7 presenterar hur det skulle se ut med ett 100-års vattenstånd i Landskrona vid slutet av detta sekel. Simuleringen baserades på en medelvattenyttehöjning med 1 m på 100 år som korrigerades för landhöjning.

I de norra delarna av kommunen finns vissa mycket branta partier där den ökade vattennivån inte har möjlighet att orsaka någon översvämning. Dessa delar är oftast heller inte bebyggda. Däremot bör det högre vattenståndet orsaka en del ras- och erosionsproblem vid branterna. Dock dyker det upp betydligt större problem vid de bebyggda delarna. Vid Fortuna strand når vattnet över vägen och på många ställen upp till husen. Vid Ålabodarna hamnar hela hamnen under vatten och vattnet sträcker sig upp över vägen och tomterna vid själva byn. Söder om Ålabodarna når vattnet upp över vägen längs med nästan hela sträckan ned mot Sundvik. Hela Sundviks hamn läggs under vatten och även några tomter som är belägna nära hamnen. Lite längre söderut hamnar Rustningshamn under vatten. Söder om Hildesborg sträcker sig vattnet upp över gång- och cykelvägen in på golfbanan, där ett större parti hamnar under vatten. Vid badstranden söder om golfbanan sträcker sig vattnet in i det skogsparti som är beläget norr om badstranden. Vid campingen klarar sig vägen, men största delen av de kustnära grönytorna läggs under vatten. Norr om Borstahusens hamn, svämmas vägen och ett flertal bostäder över. Detta gäller för hela strandvägen ned mot Lindshamn.

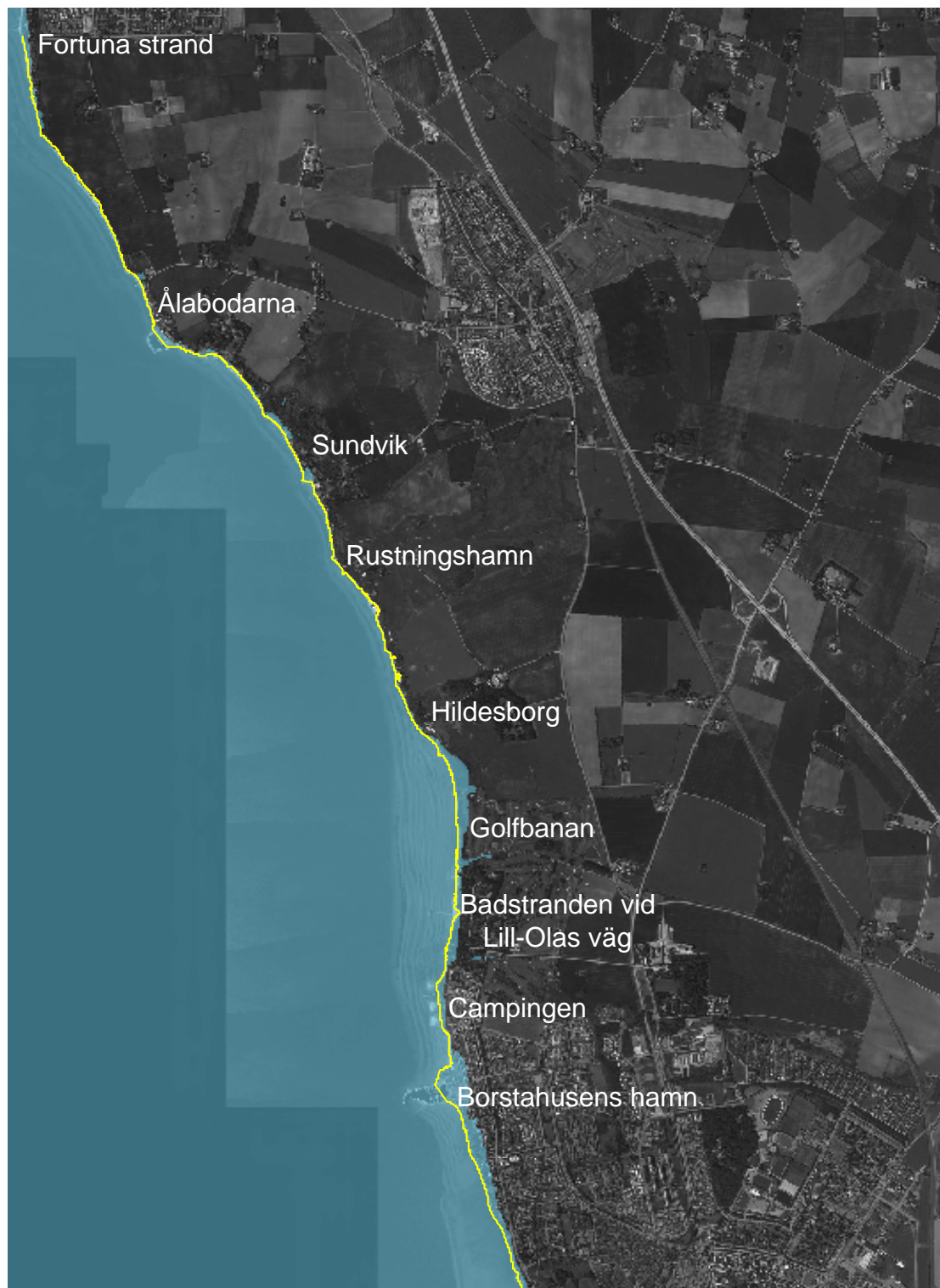
Vid Lindshamn sträcker sig vattnet mycket långt upp och många av de villor som ligger i trakten kring Lindshamn kommer att ha helt eller delvis översvämmade tomter. När man

sedan kommer till centrum av staden, med början söder om Citadellet, kan noteras att en betydande del av hela staden läggs under vatten.

Hela industriområdet i den södra delen av Landskrona stad läggs under vatten, och så även stora delar av reningsverket vilket innebär svåra konsekvenser för hanteringen av spillvatten. Landskronas Lasarett verkar klara sig undan nivåerna men eftersom stora delar av stadens vägar läggs under vatten så är transporter till och från sjukhuset hotade. Även brandstationen klarar sig precis undan översvämningen, men återigen kan vattenfyllda vägar innebära problem. Österleden översvämmas till stor del vilket kommer att påverka framkomligheten kraftigt.

Motorvägen omedelbart söder om staden tycks dock ligga på tillräckligt hög nivå för att klara sig undan vattnet med undantaget en sträcka längre söderut som översvämmas. Enligt denna figur drabbas hela koloniområdet i Axeltofta och vattnet letar sig även upp en bit in i Häljarp. Längst söderut mot kommungränsen kommer de kustnära åkrarna att svämmas över.

Ett 100 års vattenstånd är en extrem händelse, därför kan det vara av intresse att jämföra med något som är lite mer frekvent förekommande. Skillnaden mellan ett högvatten med återkomsttiden 100 år och ett med återkomsttiden 10 år är för Barsebäcks del inte så stor. Skillnaden är drygt 20 cm vilket är en nästintill försumbar skillnad i detta översvämningssammanhang. Den översvämning som ett 10 års högvatten resulterar i kan ses i Figur 13-8, Figur 13-9 och Figur 13-10.



**Figur 13-5 – Översvämningssimulering av framtida 100-års vattenstånd i de norra delarna av kommunen. Kustlinjens nuvarande läge är markerat med en linje.**



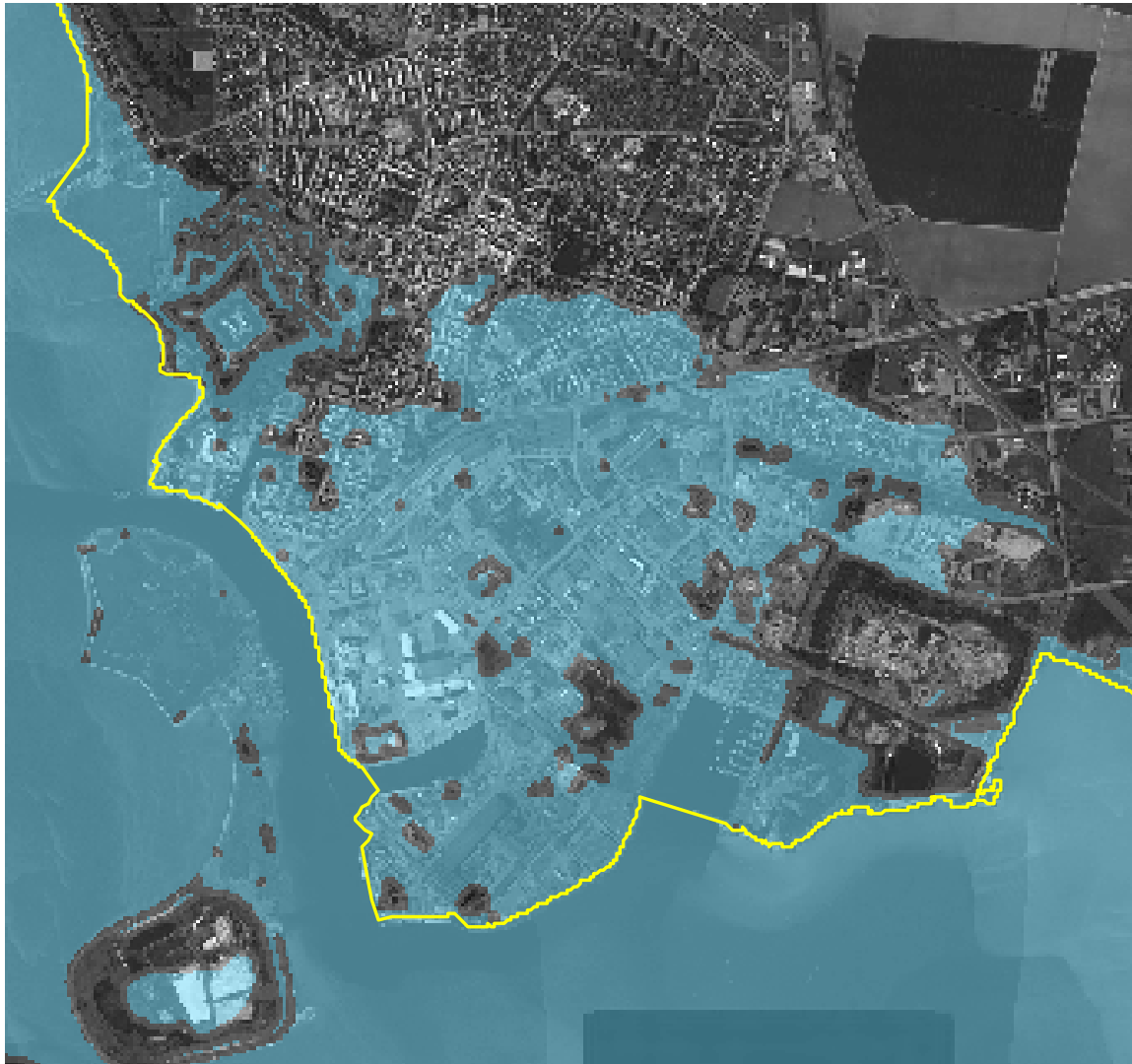
**Figur 13-6 – Översvämningssimulering av framtida 100-års vattenstånd i de centrala delarna av kommunen. Kustlinjens nuvarande läge är markerat med en linje.**



Figur 13-7 - Översvämningssimulering av framtida 100-års vattenstånd i de södra delarna av kommunen.



**Figur 13-8 - Översvämningssimulering av framtida 10-års vattenstånd i de norra delarna av kommunen.**



**Figur 13-9 - Översvämningssimulering av framtida 10-års vattenstånd i de centrala delarna av kommunen.**





**Figur 13-10 - Översvämningssimulering av framtida 10-års vattenstånd i de södra delarna av kommunen.**

Den yta som kommer att läggas under vatten i de framtidsscenario som presenteras här, anges i Tabell 13-2. Värdena i denna tabell refererar till läget hos dagens medelvattenyta.

**Tabell 13-2 – Yta som kommer att läggas under vatten vid olika vattenstånd i framtidsscenario, jämfört med medelvattentytans läge 2009.**

Medelvattentyta ca 2100	132 ha
10 års vattenstånd ca 2100	952 ha
100 års vattenstånd ca 2100	1035 ha

### 13.4.3 Konsekvenser

Vid en översvämning kan många olika samhällsfunktioner slås ut, exempelvis sjukvård och räddningstjänst. Tekniska system som spelar särdeles centrala roller i samhället är viktigt att inkorporera i en översvämningssanalys av detta slag. Exempel på sådana system är el-, dricksvatten-, avloppsvatten och även dagvattennätet. En permanent höjning av havsyttnivån orsakar problem för avlopps- och dagvattennätet då det naturliga självfallet kan minska eller försvinna helt.

Föregående stycke visade på vilka delar av kommunen som kan komma att drabbas av översvämningar. Detta stycke behandlar konsekvenserna av höga vattenstånd och översvämningar i en stad, generellt, och med specifika konsekvenser för Landskrona.

#### Vägar

Då vägar mer frekvent utsätts för översvämningar får det, rimligtvis, konsekvenser för trafiken och åtkomligheten. Det innebär också att behovet av underhållning av vägnätet ökar och därmed kostnaderna för detta (SOU 2007:60). Ofta förekommande höga vattennivåer, och erosion, kan även leda till att vägar helt riskerar att försvinna och därmed måste läggas om. I Landskrona har detta inträffat vid en delsträcka av gång- och cykelvägen norr om campingen som nödgades flyttas några meter inåt land. Vid 100-årsnivåer i framtiden kommer innerstaden att drabbas och vägarna där blir kraftigt utsatta för tryck från vattnet, vilket kan orsaka skador på konstruktionen och att trafiken inte kan fortgå som önskat. Som tidigare nämnts innebär detta problem för exempelvis räddningstjänst.

#### Elnät

Översvämningar leder ofta till att mer vatten än brukligt tränger ner i marken. Om elledningar ligger nedgrävda i utsatta område, kan detta innebära stora problem för distributionen av el. Inträngning av vatten i kablarnas isolering, innebär förkortad livslängd och även att felfrekvensen stiger. Andra problem som uppstår då vatten tar sig ner i marken är att kablarna blir mer känsliga för åska, samt att korrosionsrisker på metallstolpar ökar (Sårbarhetsutredningen). Om översvämningarna får som konsekvens att marken är vattenmättad under längre tidsperioder, kan detta ge upphov till sättningsskador på stolpar.

Känsliga punkter i elnätet i Landskrona har lagts in i översvämningssmodellen. Inmatande stationer är naturligtvis av central betydelse. I Landskrona finns 3 stycken fördelningsstationer som är centrala punkter i hela kommunens elsystem, där strömmen transformeras ned samt ytterligare 125 nätstationer (Bengtsson, 2009).

Det finns även ett stort antal kabelskåp där stora problem kan uppstå vid en översvämning om många av dessa skulle hamna under vatten. Om ett enskilt kabelskåp slås ut påverkas inte så många kunder. Detta eftersom det finns ett stort antal kabelskåp och omkopplingar kan göras som löser problemet om något enstaka kabelskåp slås ut (Bengtsson, 2009). Dock blir det problematiskt då många kabelskåp slås ut på en gång, då det blir svårt att koppla om på ett sådant sätt så att det hela fungerar. I Landskrona finns 1216 stycken kabelskåp som har kombinerats med översvämningsscenario.

Problem med översvämning av dessa känsliga punkter torde i dagsläget inte vara så stora. Ett högvatten med 100 års återkomsttid idag skulle lägga ca 10 kabelskåp under vatten. Ingen av nätstationerna verkar riskera att hamna under vatten vid detta högvatten.

Två av fördelningsstationer hamnar under vattenytan vid både 10 och 100 års framtida högvatten (östra och centrala fördelningsstationen). Det finns betydligt flera nätstationer, ca 125 stycken, där strömmen transformeras ned från högspänning till lågspänning (Bengtsson, 2009). Antalet kunder som drabbas om en nätstation slås ut kan uppskattas till 720 (Bengtsson, 2009). Av dessa stationer kommer 45 (36 %) hamna under vatten vid ett 10 års framtida högvatten och 49 (39 %) översvämmas vid ett 100 års högvatten. Här kan inte tumregeln om att 720 kunder drabbas per utslagen nätstation antas gälla, eftersom detta skulle innebära att antalet drabbade kunder överstiger det totala antalet kunder i Landskrona stad, vilket är ca 18 000 (Bengtsson, 2009). Det är därför svårt att uppskatta hur många som kommer drabbas men med tanke på att är mer än en tredjedel av stationerna som slås ut, bör det röra sig om en betydande andel av det totala antalet kunder. De översvämmade stationerna är lokaliserade i de södra delarna av Landskrona stad och flertalet återfinns på industriområdet. Utanför själva staden finns inga översvämmade stationer.

Av kabelskåpen kommer 298 (25 %) att översvämmas vid ett 10 års högvatten och 333 (27 %) vid ett 100 års högvatten. Detta är alltså ett betydande antal. Dessa utsatta kabelskåp är lokaliserade främst i den södra delen av Landskrona d.v.s. industriområdet, samt i viss utsträckning norr om Österleden och även kring Citadellet. Några utsatta kabelskåp kan också noteras vid Borstahusens hamn. Ett enskilt kabelskåp som översvämmas kan också noteras vid motorvägen, strax norr om Saxån.

De svaga punkter som här nämnts kan alltså orsaka stora problem i kommunen långt utanför de områden som drabbas av en direkt översvämning. Hur stora områden som kommer drabbas exakt är svårt att säga då det kräver detaljerad kunskap om hur många kunder som är beroende av respektive punkt samt vart dessa kunder är lokaliserade.

### **Vattenledningssystemet - Dricksvatten**

Rent vatten och en fungerande distribution av detta är en nödvändighet för att ett samhälle ska kunna fungera. Om detta störs kan det få allvarliga och kostsamma konsekvenser. Då havsnivån höjs, kan exempelvis kustnära vattentäkter utsättas för saltinträngning (SOU 2007:60) vilket rubbar balansen i vattnet och gör det otjänligt som dricksvatten. Risk för annan kontaminering av vattentäkter, såsom att kemiska föreningar eller biologiska smittämnen hamnar i vattentäkter ökar också vid översvämningar. Erosion och ras kan också påverka ledningsnätet negativt och innebära att ledningar förstörs eller måste läggas om (SOU 2007:60).

Enskilda brunnar löper stor risk att kontamineras vid översvämningar, vattnet i sådana brunnar genomgår heller inte utförliga och regelbundna kontroller av kvaliteten av dricksvattnet, vilket innebär att kontaminering av vattnet kanske inte upptäcks i tid. I Landskrona handlar det om ca 1000 hushåll som får sitt vatten via en privat brunn.

Dricksvattnet distribueras med hjälp av tryckstegringsstationer som trycksätter vattnet. I Landskrona kommun finns 8 stycken, där även vattentornet är inkluderat. Landskronas tryckstegringsstationer ligger i allmänhet på marknivå eller strax under denna (Persson, 2009). Om en tryckstegringsstation hamnar under vatten torde det bli problematiskt då elektroniken kan slås ut. I Landskrona finns dock inga tryckstegringsstationer, förutom vattentornet, som ligger på så låglänta marker att de riskerar att översvämmas vid ett framtida 100 års vattenstånd. Vattentornet borde heller inte påverkas även om dess markyta ligger under vatten.

### **Vattenledningssystemet - Dag- och spillvatten**

Då en stad översvämmas kommer en del av vattnet att söka sig ned i dagvattensystemet via gatubrunnar. Detta ökar således belastningen på ledningarna. Dessutom är inte hela Landskronas ledningsnät ombyggt till separat dagvatten- och avloppsvattensystem, utan det existerar fortfarande kombinerade dagvatten- och avloppsrör. Ökade vattenvolymer i dessa ledningar har då som konsekvens att reningsverket får ta emot mycket höga flöden och reningsprocesserna kommer då att minska i effektivitet. Sannolikt kommer en del av avloppsvatten att avledas genom bräddning. För mycket vatten i det kombinerade systemet kommer leda till översvämning vid exempelvis gatubrunnar, med avloppsvatten på gatorna som följd.

Vissa avloppspumpstationer riskerar att hamna under vatten. Detta kan ge upphov till flera problem. Det finns torruppställning och våtuppställning när det gäller pumpar. Även de pumpar som befinner sig i torruppställning kan dock vara dränkbara, vilket ofta är fallet då detta ökar säkerheten om pumpen temporärt skulle översvämmas (Lidström, 2009). Men om pumpstationen skulle översvämmas av havsvatten uppstår sannolikt problem ändå. De obegränsade vattenvolymer som då kommer att leta sig in i pumpstationen, kommer antingen leda till att själva pumpsumpen (där avloppsvattnet kommer in) fylls med vatten och en lokal översvämning av avloppsvatten uppstår kring pumpstationen. Oftast finns en ventil mellan pumpsumpen och de inkommande avloppsrören, som gör att vatten inte kan leta sig uppåt i systemet (Lidström, 2009). Dock blir det naturligtvis stopp i systemet då denna ventil stängs och detta kan leda till problem eller i värsta fall översvämning av avloppsvatten hos uppströms användare i systemet. Detta är naturligtvis ett ännu större problem då avloppssystemet är kombinerat med dagvatten.

Ett högvatten med 100 års återkomsttid idag skulle sannolikt inte sätta några avloppspumpstationer under vatten att döma av de översvämningssimuleringar som gjorts här.

Vid ett framtida 100 års vattenstånd kommer ca 20-22 av Landskronas pumpstationer för avloppsvatten att översvämmas. Detta kan alltså få konsekvenser även för de delar som inte drabbas av en direkt översvämning av havsvatten, men som ändå är kopplade till en översvämmad avloppspumpstation.

När det gäller pumpstationer för dagvatten, finns totalt 12 stycken i kommunen, varav 2 stycken i själva Landskrona stad ser ut att översvämmas vid ett framtida 100 års vattenstånd samt ytterligare 2 ligger under vattennivån på den östra sidan av motorvägen.

### **Bebyggelse**

Bostadshus och annan bebyggelse kryper hela tiden närmre kusten och vattnet.

Inte bara kustnära byggnader, utan även bebyggelse inne i staden löper uppenbar risk att översvämmas vid höga vattennivåer i framtiden.

Idag finns en gräns som anger att nybyggnation skall ske på minst 3 m höjd i Landskrona kommun (Bergström, 2009). Häljarp utgör dock ett undantag från denna regel (Bergström, 2009). Här krävs en bedömning från fall till fall, med tanke på att Saxån ligger så pass nära.

Länsstyrelsen ger en rekommendation på hur en säkerhetsnivå grovt kan beräknas både med avseende på översvämning, förhöjd grundvattenyta samt erosion. Problematiken kring erosion har dock behandlats i kapitel 12 och berörs därför ej här. När det gäller säkerhetsnivå med tanke på översvämning så anges att ett framtida 100 års högvatten enligt SMHI:s prognoser

skall tas i beaktande och därefter skall tillräckligt utrymme för grundläggning adderas (Åkesson *et al.*, 2008). I denna studie det dock framkommit att de beräknade framtida högvattnen generellt ligger högre än SMHI:s prognoser, vilket beror på val av metodik för framräknandet av 100 års högvatten.

När det gäller en höjd grundvattenyta krävs lite mer information för att en säkerhetsnivå skall kunna anges. Det krävs kännedom om dagens grundvattenyta. Därefter antas att den framtida grundvattenytan kommer öka lika mycket som havets medelvattenyta (Åkesson *et al.*, 2008). Detta gäller naturligtvis bara i kustnära områden och inte alltför långt in på land. Geologin spelar naturligtvis roll för hur långt inåt land en ökning av medelvattenytan kommer att kunna påverka grundvattenytan. Enligt länsstyrelsens rekommendationer bör 0,5 m adderas utöver den ökning som medelvattenytan ger upphov till. Detta för att kompensera för att det finns en rad osäkerheter, bland annat att nederbördsförhållanden kan komma att förändras i framtiden (Åkesson *et al.*, 2008).

#### **13.4.4 Havsyttehöjningens effekter på Lundåkrabukten**

Som nämnts tidigare är Lundåkrabukten idag ett mycket värdefullt område på många sätt. Vid en höjning av havsytan skulle dess långgrunda karaktär kunna gå förlorad och en biologiskt viktigt miljö kan gå om intet. Eftersom det finns infrastruktur och bebyggelse som måste skyddas, kan inte vattnet tillåtas sträcka sig så långt inåt land som den flacka topografin annars skulle tillåta. Enligt höjdmodellen ligger motorvägen på en relativt hög höjd, men verkar ändå riskera att översvämmas på något enskilt ställe vid ett extremt högvatten. Om detta skulle bli fallet i realiteten finns det två alternativ att ta i beaktande, antingen att motorvägen kommer att vallas in eller att den kommer att flyttas. I det förstnämnda fallet medför detta att den naturliga stranden riskerar att försvinna och det minsta djupet kommer att bli det som råder vid vallens fot. Vid beaktandet av dagens medelvattenyta i Barsebäck samt en medelvattenyttehöjning på 1 m och hänsyn tas till en fortsatt landhöjning, ger detta att den framtida medelvattenytan kommer att befinna sig ungefär på en nivå som visas i Figur 13-11. I denna figur verkar det som att vattenytan endast på vissa ställen kommer att söka sig upp till motorvägens kant. Höjdmodellen verkar i detta fall inte helt fånga den naturliga ytans topografi, då det finns några mindre områden som enligt figuren inte ligger under vatten, men som i realiteten förmodligen kommer att göra det. Motorvägens fot verkar befinna sig på höjder omkring 1-2 m. Om det antas att en vall byggs relativt nära motorvägen och att höjden vid foten på denna vall är ungefär samma som vid foten på motorvägen, innebär detta att djupet vid vallens kant inte kommer att vara särdeles stort då inte högvattensituationer råder. I många fall kommer alltså vattnet inte att nå upp till motorvägen. Detta pekar på att de grunda bottarna kan komma att helt enkelt förflyttas uppåt. Dock kommer övergången mellan hav och land att bli ganska abrupt, då motorvägen befinner sig där den gör. Det gränsland som idag utgör hemvist för många speciella växt- och fågelarter kommer sannolikt till viss del att försvinna. De södra delarna av kommunen, där medelvattenytan inte sträcker sig ända upp till motorvägen kommer sannolikt att få en fuktigare karaktär och dessutom utsättas för översvämnningar betydligt oftare. Detta område omfattar idag en del jordbruksmark. Denna region kunde kanske annars ha potential att härbärgera den biologiskt intressanta miljö som går förlorad vid Saxåns mynning.

Om motorvägen skall vallas in är det av essentiell betydelse att en dylik vall konstrueras på rätt sätt för att Lundåkrabukten skall kunna bibehålla sin långgrunda karaktär och batymetrin inte skall påverkas nämnvärt. Då en vall introduceras finns det alltid en risk att vågornas energi ger upphov till att material vid vallens fot grävs bort. Därför är det viktigt att vallen byggs på ett sådant sätt att reflektion av vågornas energi minimeras.



**Figur 13-11 – Medelvattytans läge i framtiden i de södra delarna av kommunen.**

## 14 Åtgärder och rekommendationer

Utförda beräkningar och simuleringar i denna rapport pekar på att förändringar i klimatet kan komma att påverka Landskrona i allra högsta grad. Konsekvenser av såväl förändrat vindklimat som vågklimat och förändringar i vattennivåer har påvisats och kan innebära stora problem för inte bara kustnära områden, utan även delar av stadskärnan. För att försöka minimera konsekvenserna kommer det att krävas en del åtgärder av kommunen.

Det så kallade MESSINA-projektet är ett samarbete mellan en mängd olika europeiska länder som jobbar med värderingar av kustzoner. I rapporten som sammanställdes 2006 går att läsa att målet med projektet är att ”maximera nyttan av framtida investeringar i kustförvaltning och att öka den allmänna medvetenheten om behovet att förvalta kustzoner på ett effektivt och hållbart sätt.” (MESSINA, 2006). Ett första steg som föreslås enligt MESSINA är att utföra en så kallad riskanalys. I en riskanalys belyses sannolikheten för att en händelse ska inträffa, samt konsekvenserna av denna händelse.

$$\text{Risk} = \text{sannolikheten för skada} \cdot \text{samhällsekonomisk förlust om skadan inträffar}$$

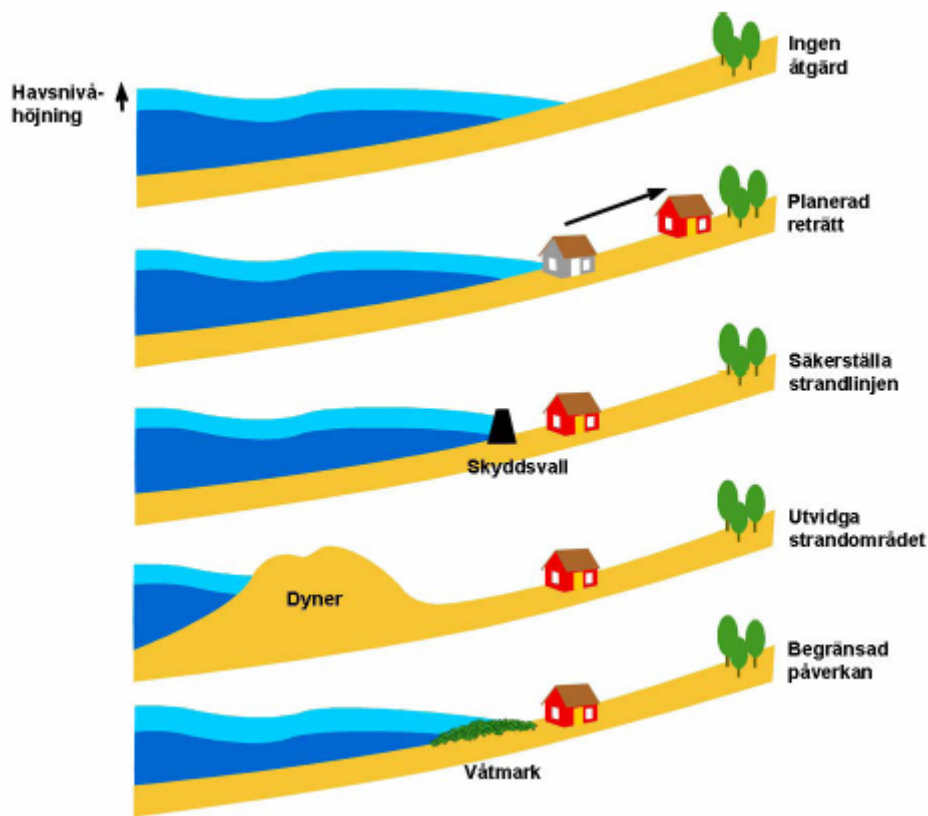
En samhällsekonomisk analys är ett påföljande steg i processen för en hållbar hantering av kuststräckan. Många olika metoder att utföra en sådan analys finns att tillgå. I stora drag innebär analyserna att man grundligt går igenom konsekvenserna som uppkommer av erosion och/eller översvämning och försöker uppskatta vilka kostnader detta skulle innebära för kommunen. Detta gäller dels konkreta kostnader som vid förstörelse av byggnader eller omläggning av vägar, el- och vattenledningar. Sedan tillkommer kostnader som inte är lika lätta att bedöma och utvärdera, nämligen de abstrakta kostnader som uppkommer då exempelvis vackra naturområden försvinner. Detta kan även gå under benämningen att man beräknar alternativkostnaden, det vill säga kostnaden för om inga åtgärder skulle genomföras. De sammanlagda kostnaderna för skador till följd av erosion och översvämning jämförs sedan med de kostnader och konsekvenser som skulle krävas för att ta till olika åtgärder, i de flesta fall att uppföra kustskydd som exempelvis vallar och vågbrytare. Med den samhällsekonomiska analysen som grund kan sedan lämpligast åtgärd väljas.

Enligt MESSINA-rapporten är det också väldigt viktigt att engagera alla sorters intressenter och se till så att det finns en fungerande kommunikation mellan olika sektorer. Att lösa problem med kustområden är en mycket komplex process som kräver att man arbetar över gränserna, både kunskapsmässigt och rent geografiskt. Erosion och översvämningar tar inte hänsyn till exempelvis kommungränser, därför är det av betydelse att kustnära kommuner för dialoger och samarbetar under arbetets gång.

Olika strategier för att hantera problem med erosion har utarbetats. Dessa kan delas in i fem stycken olika kategorier, vilka beskrivs nedan och visualiseras i Figur 14-1.

- Ingen åtgärd – Inga kustskydd upprättas och inga investeringar görs för att förhindra fortsatt erosion.
- Planerad reträtt – kustnära bebyggelse flyttare längre från strandlinjen. Kustskydd upprättas en bit inåt land.
- Säkerställa strandlinjen – behålla nuvarande strandlinje

- Utvidga strandområdet – kustskydd anläggs utanför befintliga kustskydd för att låta strandområdet expandera.
- Begränsad påverkan – viss erosion tillåts, under kontrollerade former.



Figur 14-1 – Illustration över de fem olika strategierna för att hantera problem med erosion och översvämningar. Uppifrån och ned: ingen åtgärd, planerad reträtt, säkerställa strandlinjen, utvidga strandområdet, begränsad påverkan (MESSINA, 2006).

### 14.1 Problemområden – sammanfattning

När det gäller erosion har den norra delen av kommunen utpekats som ett problemområde. Det handlar alltså om områden norr om Borstahusens hamn, där regionen vid campingen, badstranden, golfbanan samt söder om Ålabodarna uppvisat erosion som kan bli problematisk.

När det gäller översvämningar i framtiden är i princip hela kuststräckan mer eller mindre utsatt. De södra delarna av kommunen är mycket flacka och översvämningsbenägna, men heller inte bebyggda i nära anslutning till vattnet på samma sätt som de norra delarna. En stor del av staden är så låglänt att den riskerar att hamna under vatten, och även den mer högre belägna delarna i norr har bebyggelse och infrastruktur som kan komma att hamna under vatten.

Uppspolningen är mest problematisk där lutningen vid vattenbrynet är brant och bebyggelse ligger nära kusten, vilket är fallet vid strandvägen och uppemot Borstahusens hamn.



## **14.2 Erosion – funktionaliteten hos befintliga erosionskydd**

De vågbrytare som konstruerades för några år sedan verkar fungera ganska väl. På flygbilder är det synligt att det har ansamlats sediment bakom vågbrytarna och därmed har området blivit grundare. Vid sidan av dessa vågbrytare finns områden där det finns antydningar till erosion. Där vågbrytarna är lokaliserade finns också stenskonning, vilket gör det svårt att säga om det är vågbrytarens förtjänst att det inte sker någon märkbar erosion, eller om det kanske hade varit tillräckligt att endast ha stenskonning. De stenskodda områdena verkar i övrigt klara sig bra från erosion. Vid strandvägen ser stenskonningen ut att vara i relativt god kondition, och gör sannolikt stor nytta. Vid Ålabodarna finns också omfattande stenskonning som överlag ser ut att vara hel och funktionell, även om någon plats där stenskonningen rasat har kunnat observeras. Det faktum att det ligger stora stenar i vattnet som sannolikt härrör från stenskonningen i dessa norra delar, skulle kunna vara ett tecken på att fel stenstorlek valts. Dock kan dessa stenar också ha sitt ursprung långt tillbaka i tiden och det är därför svårt att med säkerhet säga om stenskonningen borde ha dimensionerats annorlunda. Den stenskonning som finns söder om Lindshamn verkar vara något underdimensionerad, då den till mycket stor del hamnar under vatten vid högre vattenstånd. Denna skoning är sannolikt mycket gammal och därför inte anpassad för dagens förhållanden.

De flesta kustnära strukturer orsakar någon typ av negativa sideffekter. Även de stenskoningar som finns i Landskrona kan orsaka erosionsproblem på andra delar av kuststräckan där det inte finns någon stenskonning. Erosionen sker då där stenskonningen slutar och i samma riktning som den förhärskande kustparallella transporten.

## **14.3 Förslag till åtgärder längs Landskronas kuststräcka**

Med ovanstående åtgärder i åtanke, diskuteras i följande stycke åtgärder som kan tänkas vara lämpliga för Landskrona.

Vid exempelvis klintkusterna och vid delar av kuststräckan som inte är belamrad med bebyggelse kan metoden 'ingen åtgärd' fungera. Vid andra delar av kuststräckan, där exempelvis bostadshus ligger mycket kustnära, som vid Strandvägen kan införandet av vallar, det vill säga att säkerställa kustlinjen, vara ett alternativ för att undvika de största problemen med som framtida havsnivåhöjningar kan föra med sig. Vallarna som byggs kan dessutom tjäna som trevliga promenad- och cykelstråk vid vattnet och utgöra rekreationsområden Figur 14-2.



**Figur 14-2 – Exempel på skyddsvall (Gustafsson, *et al.*, 2008)**

Eftersom kostnaden för att skydda ett område måste vara mindre än områdets värde för att åtgärden skall vara ekonomiskt försvarbar, är det svårt att utan mer detaljerade beräkningar säga vad som skall göras vart. Vid exempelvis golfbanan kan det vara ett alternativ att helt enkelt flytta denna till en annan plats. Det kan också vara så att översvämningar på detta område i viss mån kan tolereras, beroende på hur stora skador det kommer att orsaka på själva golfbanan.

Byggandet av vallar är mycket beroende av tillgång på utrymme. Då exempelvis bebyggelse vid strandvägen ligger mycket nära kustlinjen finns inte mycket area över till att uppföra en vall på. Detta innebär att det kan krävas utfyllnad av land så att vallar kan byggas ordentligt. Om det handlar om enskilda hus som drabbas finns alternativet att använda sig av temporära vallar som sätts upp av markägaren för att skydda egendomen mot översvämning.

Vid själva kärnan av staden finns inte mycket yta att använda sig av. Ett alternativ i det området, vore därför att uppföra murar längs med centrum. Vid hamnarnas utlopp kan barriärer byggas, som stängs då höga vattenstånd är att vänta. Hamnarna utgör då utmärkta vattenreservoarer dit vatten som översvämmar staden kan pumpas. Murar är också ett alternativ när det gäller sträckan nedanför Ålabodarna.

Vid uppförande av kustskydd mot översvämning är det av betydelse att ha en god samverkan med grannkommunerna (Gustafsson *et al.*, 2008). Översvämningen följer inga kommungränser och om närliggande kommun inte har kustskydd riskerar Landskrona att översvämmas trots skapande av skyddsvallar eller dylikt i den egna kommunen.

Vid de delar av kuststräckan som badstränderna finns, kan det vara en lämplig åtgärda att lägga dit ytterligare sand efterhand. Denna metod kallas för strandfodring och går ut på att erosionen fortgår, men endast på den ditlagda sanden, och profilen kan hållas fortsatt stabil. Olika metoder för att tillämpa strandfodringsprincipen finns att använda sig av, beroende på kornsammansättning och var i kustzonen man önskar placera utfyllnaden (Hanson *et al.*, 2006). I till exempel Danmark är det kutym att fylla med 40% på stranden och 60% i vattenområdet och revlar. Det har visat sig vara mer ekonomiskt effektivt att fylla på med sand i de mer kustnära vattenområdena än direkt på stranden. Sanden som används för att fodra med kan tas från tre olika typer av områden; från land, från hamnar och liknande, och från djupt vatten (Hanson *et al.*, 2006). Genom detta mjuka kustskydd förhindras att erosionsproblemet flyttas till närliggande områden, eftersom erosionen tillåts att fortsätta. På detta sätt bibehåller man stränderna som kan fortsätta att tjäna som exempelvis turismattraktioner och rekreationsområden.

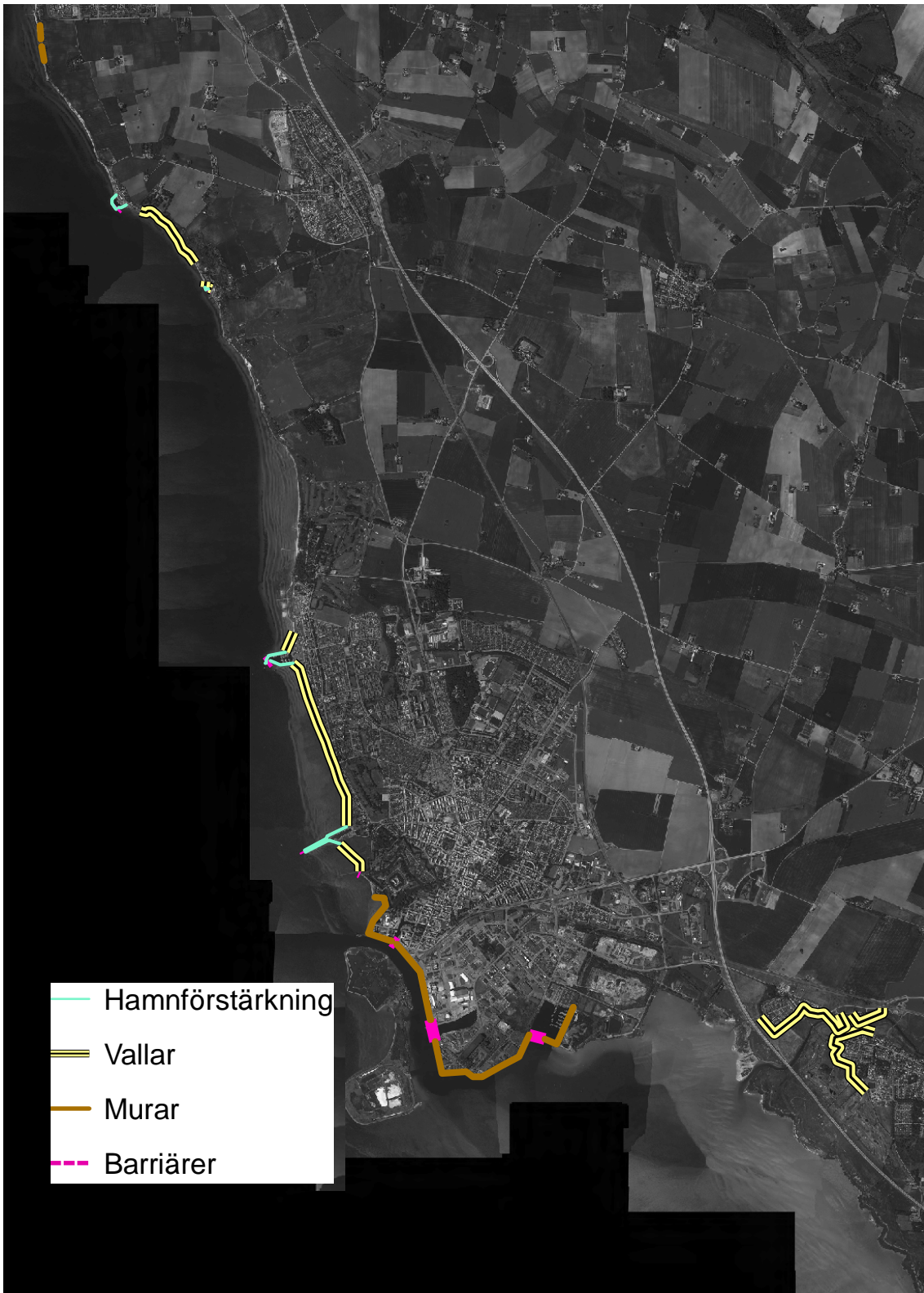
Eftersom det är praktiskt taget omöjligt att undvika all sorts översvämning, och eftersom det trots allt är ett naturligt fenomen som kanske bör tillåtas i viss grad, väger man dessa kostnader mot varandra och kan då identifiera vilka områden som är högst prioriterade att skaffa lösningar för.

Området kring Saxån löper stora risker att drabbas av översvämningar och har problem som kommer från två riktningar, dels ett högt vattenstånd inte sällan kombinerat med ett högt flöde i ån. Detta kan naturligtvis leda till mycket problematiska situationer. Havet kan dämna Saxån, men havsvatten kan också leta sig in på den östra sidan av motorvägen genom det utlopp som finns under motorvägen. Om motorvägen höjs och förstärks kan denna fungera som en barriär mot havsvattnet. Den svaga punkten blir då utloppet där Saxån rinner under motorvägen. Den vattenvolym som kommer att få problem att passera utloppet då havsvattenytan dämmer upp ån kan överslagsmässigt uppskattas till 432 000 m<sup>3</sup> om högvattnets varaktighet antas vara ca 4 timmar och en högvattenföring i Saxån är 30 m<sup>3</sup>/s, vilket är MHQ (medelvärde av varje års högsta vattenföring) vid Saxåns mynning i Öresund (SMHI III, 2009).

Det vore lämpligt om det uppströms fanns utspridda våtmarker eller liknande i anslutning till vattendraget, vilket skulle kunna ge en fördröjning och utjämning av flödet och därmed mindre problem nedströms under tiden som det extrema högvattnet pågår. En översvämning kommer naturligtvis att uppstå då utloppet dämmer upp av högvattnet, men kanske inte lika omfattande om flödet kan jämnas ut och fördröjas på något sätt. Detta är dock en komplex lösning som kräver omfattande modellering och som sannolikt kommer att bli dyr att anlägga. Våtmarker som har en flödesutjämnande funktion kommer att vara fördelaktigt även då inte de extrema vattenstånd som presenterats i denna rapport råder. Det förefaller rimligt att problemen nedströms kommer minska generellt, även vid mer måttliga högvatten eller höga flöden.

En annan möjlighet som sannolikt ändå krävs som komplement till det ovannämnda, är att valla in de delar av Häljarp som riskerar att översvämmas vid ett högvatten. En översvämning av åkermark, golfbanor och liknande kan tolereras, endast själva bebyggelsen behöver vallas in. Det rör sig alltså om de delar som ligger närmast vattendraget. En förhöjd grundvattenyta i området kommer naturligtvis att uppstå då medelvattenytan höjs permanent enligt de scenarion som läggs fram här. Koloniområdet i Axeltofta kommer också att få problem vid ett högvattenstånd. Den förhöjda grundvattenytan kommer också sannolikt att göra detta område fuktigare på en permanent basis då området redan idag har vissa problem då det råder högvatten (Nordell, 2009). Beroende på hur stora de permanenta problemen blir i framtiden, kan området antingen flyttas eller vallas in.

I Figur 14-3 visas en karta med inritade åtgärdsförslag vid de områden av kommunen som visat sig vara mest utsatt.



Figur 14-3 – Lokalisering av åtgärdsförslag.

## 15 Slutsatser och diskussion

Erosionsproblem har noterats längs med Landskronas kustlinje där en reträtt av kustlinjen har noterats framförallt i de norra delarna. Kustlinjens tillbakadragande uppgår söder om Ålabodarna till 6,5 m, vid golfbanan och närliggande badstrand har den största reträtten uppgått till ca 12 m under perioden 1940 - 2008. Även vid det skogsparti som sträcker sig ned mot campingen och området utanför denna har kustlinjen dragit sig tillbaka över dessa år. Dessa förändringar är dock inte dramatiska med tanke på den stora tidsrymd som de spänner över. Svaga indikationer i beräkningarna pekar på att erosionen kan ha ökat något under de senaste 20 åren. Tecken på en fortskridande erosion kan i nuläget identifieras i fält.

Erosionsberäkningarna visar på jämförelsevis små volymer som eroderas till följd av sandtransport vinkelrät mot kusten för vissa områden, men det finns en ganska stor spridning mellan lokalerna. Däremot är den potentiella kustparallella transport stor och en södergående nettotransport dominerar för de flesta områden. De erosionhindrande strukturer som idag används förefaller att fungera tillfredsställande.

En stundande klimatförändring kan komma att drastisk förändra kuststräckan. En medelvattenyttehöjning kan i sig leda till en stor reträtt av kustlinjen där den idag är oskyddad.

Problematiken kring uppspolning är idag inte överhängande stor, även om stenskoningen vid centrala bebyggda områden överspolas vid besvärliga väderförhållanden. Av fältobservationer att döma förefaller det dock som att uppspolningen på sina ställen ger upphov till ganska stor erosion i dagsläget, något som kan komma att förvärras märkbart i ett framtidsscenario. En eventuell ökning av vindstyrkan under en begränsad tid på året gav ett utslag i beräkningarna som inte var så stort i absoluta tal räknat när det gäller sedimenttransporten vinkelrät mot kusten, men ändå märkbart i synnerhet med tanke på den ändå ganska marginella förändring av vindstyrkan som gjordes. Den kustparallella transporten uppvisade en i vissa fall ganska kraftig procentuell ökning då vindstyrkan vintertid ändrades.

Översvämningsrisken är idag inte ett problem för själva Landskrona stad. Däremot är delar av Häljarp och koloniområdet i Axeltofta i riskzonen för ett 100 års vattenstånd idag.

Vid det kommande sekelskiftet kan dock ett 100 års vattenstånd orsaka mycket omfattande problem även för själva staden. Stora delar av staden läggs under vatten och centrala samhällsfunktioner slås ut. Lundåkrabuktens framtid är svår att sia om. Det förefaller som att de grunda bottnarna skulle kunna bibehållas, med skillnaden att de kommer förflyttas uppåt. Däremot försvinner stora delar av det fuktiga, flacka gränsland mellan hav och land som idag härbärgerar en rik flora och fauna. Området kommer därmed att till stor del förlora den speciella karaktär det har idag.

Det skall poängteras att denna rapport främst visar på möjliga scenarion i framtiden. Osäkerheten är mycket stor när det gäller en ökning av medelvattenytan. De prognoser som presenteras i denna rapport är jämförelsevis extrema relaterat till andra prognoser av framtida extremvattenstånd i dessa regioner. Dock används här en ökning av medelvattenytan som är resultatet av ganska nya rön och har därmed inte använts i några äldre studier. Denna ökning av medelvattenytan är alltså högre än vad som angetts i många tidigare rapporter, dock finns det rön som pekar på att en ännu större ökning är fysikaliskt möjlig.

De simulerade översvämningarna pekar på att åtgärder är nödvändiga för att undvika stora materiella skador i framtiden. Det mest rimliga är att bygga vallar, eller murar där utrymmet är begränsat för att skydda de mest låglänta områdena. För att undvika översvämningar vid så höga vattennivåer som framräknats i denna rapport, kommer avsevärda sträckor att behöva vallas in vilket innebär betydande kostnader. Dock är värdet på de områden som är utsatta för risker sannolikt mycket stort, vilket kan motivera ganska omfattande åtgärder.

### **15.1 Rekommendationer**

Eftersom det fortfarande finns stora osäkerheter hos alla framtidsscenario, är det mycket viktigt att kommunen håller sig uppdaterade när det gäller nya forskningsrön som framkommer kring den globala och regionala vattenståndsökningen. SMHI har en fungerande mareograf i Barsebäck som förhoppningsvis kommer att fortsätta att registrera vattenståndet i framtiden. Då denna station är närbelägen Landskrona är den mycket lämplig att basera framtidsprognoser på. Därför rekommenderas det att man i framtiden gör analyser av dessa vattenståndsdata för att studera eventuella förändringar hos trenden.

Det rekommenderas vidare att en mer detaljerad höjdmätning av kommunen görs för att kunna genomföra en mer förfinad översvämninganalys. Eftersom det är ett ganska flackt område så är en hög upplösning att rekommendera. Detta gäller i synnerhet för flacka områden, som Landskrona kommuns södra delar är ett exempel på. Vidare rekommenderas att höjddata lagras i punktform, då detta gör det möjligt att använda flera olika metoder vid konstruerandet av en digital höjdmodell. Då kan en utvärdering göras av vilken metod som är mest lämplig och en bättre modell på så sätt erhållas.

För att få en god överblick över hur kustlinjen fortsätter att utvecklas, rekommenderas att flygbilder över kommunen tas fram på regelbunden basis även i fortsättningen. Analysen av flygbilder är ett verktyg som är ganska trubbigt då analysen skall göras med hjälp av väldigt gamla flygbilder, men de bilder som är av nyaste datum utgör ett utmärkt verktyg för att detektera förändringar hos kustlinjen.

## 16 Referenser

### 16.1 Litteratur

- Adriellsson, Morhén och Daniel, 1981, *Beskrivning till Jordartskartan SGU Ae nr 16, jordartskartan Helsingborg SV*
- Andersson, A. 2001, *The wind climate of northwestern Europe in SWECLIM regional climate scenarios, Seminarieuppsatser Nr.80*, Natugerografiska institutionen, Lunds Universitet
- Andrew, J., Cooper, G., Pilkey, Orrin H., 2004 *Sea-level rise and shoreline retreat – time to abandon Bruun rule*, *Global and Planetary Change* 43, pp 157-171.
- Brännlund, I., Svensson, L. 2005, *Stranderosion i Bjärred, Lomma kommun*, Examensarbete, Avdelningen för Teknisk Vattenresurslära, Lunds Tekniska Högskola
- Dahlerus, C.J., Egeremayer, D. 2005, *Uppspolning och klittererosion längs Ystadkusten – Situationen idag och framtida scenarier*, Examensarbete, Avdelningen för Teknisk Vattenresurslära, Lunds Tekniska Högskola
- EuroSION, 2004 *Living with coastal erosion in Europe: Sand and space for sustainability - Guidance document for quick hazard assessment of coastal erosion and associated flooding.*
- Fallsvik, J., Hågeryd, A-C., Lind, B., Alexandersson, H., Edsgård, S., Löfling, P., Nordlander, H., Thunholm, B., 2007 *Översiktlig bedömning av jordrörelser vid förändrat klimat*, *Varia* 571, Statens Geotekniska Institut, Linköping.
- Gustafsson, S., Almström, B., Hanson, H., Krigström, P., Lilja, H., Wembe, G., Åkesson, M., 2008, *Havsnivåhöjning Malmö Stad – Scenario, aspekter, konsekvenser, strategier*, SWECO, Malmö
- Hanson, H., Larson, M. 1993, *Sandtransport och kustutvecklingen vid Skanör/Falsterbo*, *Institutionen för teknisk vattenresurslära*, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet
- Hanson, H., Larson, M. 2008, *Implications of extreme waves and water levels in the southern Baltic Sea*, *Journal of hydraulic Research* Vol. 46, Extra Issue 2, pp. 292-302
- Hanson, H., Larson, M., 1992, *Analys av klimatologiska och hydrografiska data för Ystadbukten*, institutionen för teknisk vattenresurslära, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet.
- Hanson, H., Larson, M., 2008, *Implications of extreme waves and water levels in the southern Baltic Sea*, *Journal of Hydraulic Research* Vol 46, Extra Issue 2 (2008) pp.292-302.
- Hanson, H., Rydell, B., Andersson, M., 2006, *Strandfodring – skydd av kuster mot erosion och översvämning*, Statens geotekniska institut, *Varia* 562.
- Hedges, T.S., Mase, H. 2004, *Modified Hunt's equation Incorporating Wave Setup*, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol. 130, Issue 3, pp. 109-113
- IPCC, 2007, *Summary for policymakers*, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental*

Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Karlsson, A. 2007, *Högvattenstånd vid Åhuskusten – Nu och i framtiden*, SMHI

Komar, P.D. 1998, *Beach processes and sedimentation*, College of Oceanic & Atmospheric Sciences, Oregon State University

Larson, M., Erikson, L., Hanson, H., 2004, *An analytical model to predict dune erosion due to wave impact*, Coastal Engineering 51 pp 675-696

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, pp. 2325-2339

Meier, M. 2006, *Baltic Sea climate in the late twenty-first century: a dynamical downscaling approach using two global models and two emission scenarios*, Climate Dynamics 27, pp. 39-68

MESSINA, 2006 *Värdering av kustområden – Vägledning för samhällsekonomiska analyser*, Statens geotekniska institut

Pfeffer, W.T., Harper, J.T., O'Neel, S. 2008, *Kinematic Constraints on Glacier Contributions to 21st-Century Sea-Level Rise*, Science 321

Rankka, K., Rankka W., 2003, *Mekanismer vid stranderosion*, Statens geotekniska institut, Varia 533

Ringberg, 1976, *Beskrivning till SGU Ae nr 27 Jordartskartan Malmö NV*

Rummukainen, M., Bergström, S., Persson, G., Rodhe, J., Tjernström, M. 2004, *The Swedish Regional Climate Modelling Programme, SWECLIM: A Review*, Ambio, Vol. 33, No. 4-5, pp. 176-182

Rummukainen, M., Källén, E. 2009, *Ny klimatvetenskap 2006-2009*, Kommissionen för hållbar utveckling

SGU serie Ae nr 16, 1974, *Jordartskartan Helsingborg SV*

SGU serie Ae nr 27, 1976, *Jordartskartan Malmö NV*

SMHI I, 2009, *Havsvattenstånd vid svenska kusten*, Faktablad nr 41.

SNA, 1992, *Sea and Coast*, National Atlas of Sweden, Almqvist & Wiksell International, Stockholm.

SOU 2007:60, *Klimat- och sårbarhetsutredningen, Sverige inför klimatförändringarna – hot och möjligheter*, Edita Sverige AB, Stockholm

USACE (US Army Corps of Engineers), 1984, *Shore Protection Manual*, Coastal Engineering Research Center, Department of the Army, Washington, USA



Zhang, K., Douglas, B., C., Leatherman S., P., 2004, *Global Warming and Coastal Erosion*, Climatic Change 64, pp 41-58, Kluwer Academic Publishers.

Åkesson, M., Kristensson, A., Mårtensson, A-L., Burelius, C., Persson, C., , 2008, *Stigande havsnivå – konsekvenser för fysisk planering*. Länsstyrelserapport 2008:5, Länsstyrelserna i Skåne och Blekinge län, Kristianstad.

## **16.2 Personlig kontakt**

Andersson, C, Landskrona kommun, avdelningschef TSB/MBK och GIS, 2009-10-05

Bengtsson, J. 2009, Landskrona kommun, driftcontroller, teknik- och stadsbyggnadsförvaltningen, email, 2009-11-30

Bergström, C. 2009, Landskrona kommun, planchef, teknik- och stadsbyggnadsförvaltningen, telefonsamtal, 2009-11-10

Björnsing, R. 2009, Landskrona kommun, strandförman, fritidsförvaltningen, personligt möte, 2009-10-21

Hammarklint, T. 2009, SMHI, email, 2009-10-05

Hanson, H. 2009, personligt möte, 2009-09-12, 2009-12-07

Jagenroth, C.G. 2009, Landskrona kommun, biträdande avdelningschef, teknik- och stadsbyggnadsförvaltningen, personligt möte, 2009-10-26

Kasslid, P. 2009, Landskrona kommun, GIS-utvecklare, teknik- och stadsbyggnadsförvaltningen, email, 2009-09-22

Knutsson, S. 2009, Landskrona kommun, enhetschef intrapenad, teknik- och stadsbyggnadsförvaltningen, personligt möte, 2009-10-26

Larson, K. 2009, Lunds Universitet, GIS-centrum, email, 2009-10-02

Lidström, V. 2009, Lunds Tekniska Högskola, personligt möte, 2009-12-04

Molin, M. 2009, Hildesborg, gårdsförman, telefonsamtal, 2009-10-26

Nordell, O. 2009, Landskrona kommun, kommunekolog, personligt möte, 2009-10-26 och mailkontakt, 2009-11-10

Persson, M. 2009, Landskrona kommun, karttekniker, teknik- och stadsbyggnadsförvaltningen, email, 2009-12-23

Sindeland, M. 2009, SMHI, telefonsamtal, 2009-09-04

SMHI kundtjänst I 2009, telefonsamtal med Gunnar, 2009-11-05

SMHI kundtjänst II 2009, telefonsamtal med John, 2009-11-12

Sundevall, C. 2009, Landskrona kommun, bibliotekarie, telefonsamtal, 2009-10-26

## 16.3 Internet

Eniro, 2009, *Kartor, Sjökort*, Tillgänglig: <http://kartor.eniro.se/> (2009-12-14)

ESRI, 2009, *Using the Topo to Raster tool*, Environmental Systems Research Institute, Inc. Tillgänglig: [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Using the Topo to Raster tool](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Using%20the%20Topo%20to%20Raster%20tool) (2009-12-16)

hitta.se, 2009, Tillgänglig:

<http://www.hitta.se/MapPage.aspx?SearchType=4&cx=1312549&cy=6196349&z=5&mapMode=map&toolbars=zoom%2Cbanner%2Ccontrols%2C> (2009-12-16)

Jansson, A. 2005 Länstyrelsen i Skåna län, Tillgänglig:

<http://www.lansstyrelsen.se/NR/rdonlyres/C05C1C22-35C2-4D97-8B60-1CDC359ECF21/0/saxjara.pdf> (2009-12-08)

Landskrona 2009, Tillgänglig <http://www.landskrona.se/start.htm> miljö-> dricksvatten (2009-12-10)

Lantmäteriet 2009, Tillgänglig

[http://www.lantmateriet.se/templates/LMW\\_Page.aspx?id=4211](http://www.lantmateriet.se/templates/LMW_Page.aspx?id=4211) (2009-12-10)

Lantmäteriet, 2009, *Enhetligt geodetiskt referenssystem Infoblad no 12 Transformation SWEREF 99 – RT90*, Tillgänglig:

[http://www.lantmateriet.se/upload/filer/kartor/geodesi\\_gps\\_och\\_detaljmatning/Nytt\\_referenssystem/Infoblad/info\\_blad-12.pdf](http://www.lantmateriet.se/upload/filer/kartor/geodesi_gps_och_detaljmatning/Nytt_referenssystem/Infoblad/info_blad-12.pdf) (2009-12-09)

LST, 2009, Länstyrelsen, Tillgänglig

[http://lansstyrelsen.se/skane/Om\\_Lanet/Naturguiden/Landskrona/4\\_Glumslovs\\_backar\\_med\\_Hilleshogs\\_dalar.htm](http://lansstyrelsen.se/skane/Om_Lanet/Naturguiden/Landskrona/4_Glumslovs_backar_med_Hilleshogs_dalar.htm) (2009-12-14)

NE (Nationalencyklopedin), 2009, Tillgänglig:

<http://www.ne.se.ludwig.lub.lu.se/lang/ramsarkonventionen> (2009-12-09)

Nummelin, L. 2008, *Din vik är värdefull*, Natur och Miljö Riksorganisationen för Miljövård Tillgänglig: [http://www.naturochmiljo.fi/files/Teman/nom\\_010109\\_dinvikarvardefull.pdf](http://www.naturochmiljo.fi/files/Teman/nom_010109_dinvikarvardefull.pdf) (2009-12-14)

Persson, J. 2009, Länstyrelsen i Skåne län, Tillgänglig:

[http://www.lst.se/skane/naturen\\_i\\_skane/Natur\\_och\\_vattenvard/Planeringsunderlag/Naturvard\\_sprogram/Landomrade/Landskrona/1\\_Ven/?wbc\\_purpose=Basic](http://www.lst.se/skane/naturen_i_skane/Natur_och_vattenvard/Planeringsunderlag/Naturvard_sprogram/Landomrade/Landskrona/1_Ven/?wbc_purpose=Basic) (2009-12-08)

SMHI III, 2009, *Flödesstatistik för Sveriges vattendrag*, Tillgänglig:

<http://www.smhi.se/klimatdata/hydrologi/vattenforing> (2009-12-08)

Svensson, M. 1998, *Lundåkrabukten – ett marint reservat?* Landskrona Kommun

Miljöförvaltningen Tillgänglig: <http://www2.landskrona.se/kommun/miljo/hav/lundakra.pdf> (2009-12-14)

## **16.4 Ej publicerat**

Larson, M., Le, H., Hanson, H., (u.å.), *A direct formula to compute wave height and angle at incipient breaking*. Avdelningen för Teknisk Vattenresurslära, Lunds Tekniska Högskola

## **16.5 Övrigt**

C-map Norway, 1996, *C-map World* (sjökort)

SMHI II, 2009, *mwreg\_2009*, Excelark, erhållen via email från Thomas Hammarklint, 2009-09-08

Google Earth, 2009

## Appendix I - Härledning för brytande vågor

Med utgångspunkt i

$$H_m^2 \cdot C_{g,m} \cdot \cos \theta_m = \gamma_b^2 \cdot h_b^2 \cdot \sqrt{g \cdot h_b} \cdot \cos \left( \arcsin \left( \sin \theta_m \cdot \frac{C_b}{C_m} \right) \right) \quad (\text{I.1})$$

införs parametern

$$\lambda = g \cdot \frac{h_b}{C_m^2} \quad (\text{I.2})$$

så att (I.1) kan skrivas

$$\lambda^{5/2} \left( \frac{C_m}{\sqrt{g \cdot H_m}} \right)^4 \cdot \frac{C_m}{C_{gm}} \cdot \frac{\gamma_b^2}{\cos \theta_m} \cdot \cos \left( \arcsin \left( \sin \theta_m \cdot \sqrt{\lambda} \right) \right) = 1 \quad (\text{I.3})$$

genom att sätta in parametern  $\alpha$  som är definierad som

$$\alpha = \left( \frac{C_m}{\sqrt{g \cdot H_m}} \right)^4 \cdot \frac{C_m}{C_{gm}} \cdot \gamma_b^2 \quad (\text{I.4})$$

i (I.3) och med hjälp av trigonometriska samband erhålls

$$\lambda^{5/2} \cdot \frac{\alpha}{\cos \theta_m} \sqrt{1 - \sin^2 \theta_m \cdot \lambda} = 1 \quad (\text{I.5})$$

om vinkeln för den brytande vågen antas var liten, närmar sig rot-termen 1 och en lösning till (I.5) fås av

$$\lambda_a = \left( \frac{\cos \theta_m}{\alpha} \right)^{2/5} \quad (\text{I.6})$$

där index a indikerar att det är en approximativ lösning. Ekvationen kan sedan omskrivas som

$$\left( \frac{\lambda}{\lambda_a} \right)^{5/2} \cdot \sqrt{1 - \varepsilon \frac{\lambda}{\lambda_a}} = 1 \quad (\text{I.7})$$

där

$$\varepsilon = \frac{\sin^2 \theta_m \cdot (\cos \theta_m)^{2/5}}{\alpha^{2/5}} = \sin^2 \theta_m \lambda_a \quad (\text{I.8})$$

(I.8) kan lösas för olika värden på  $\varepsilon$ , genom förhållandet  $\delta = \frac{\lambda}{\lambda_a}$

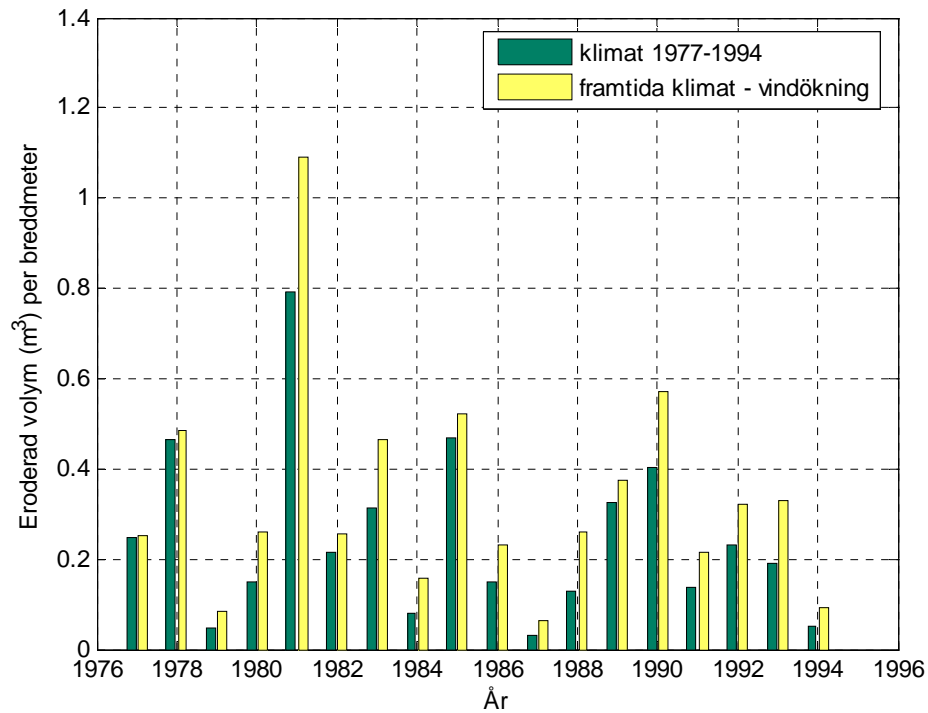
$\delta$  erhålls genom en approximativ lösning som resulterar i följande polynom

$$\delta_a = 1 + 0.1649 \cdot \varepsilon + 0.5948 \cdot \varepsilon^2 - 1.6787 \cdot \varepsilon^3 + 2.8573 \cdot \varepsilon^4 \quad 0 \leq \varepsilon \leq 0.5 \quad (\text{I.9})$$

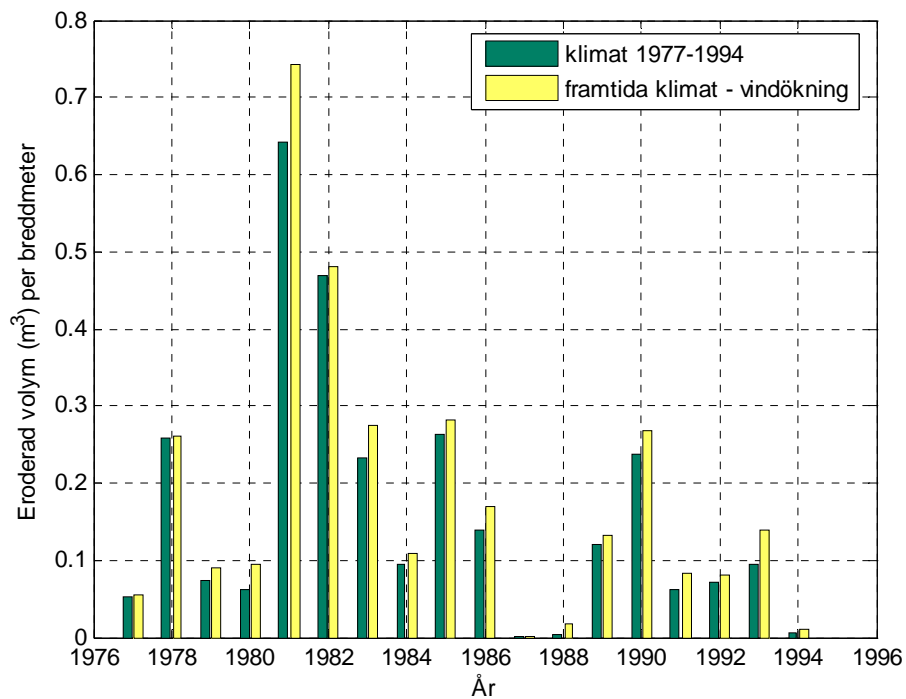
Uträkningen av egenskaper hos de brytande vågorna kan sedan göras i tre steg:

1. beräkna  $\lambda_a$  genom (I.6), där först  $\alpha$  erhålls genom (I.4)
2. korrigera  $\lambda_a$  genom att beräkna  $\lambda = \delta \cdot \lambda_a$ , där  $\delta$  fås av (I.9)
3. beräkna brytande djup och våghöjd från  $h_b = \frac{\lambda \cdot C_m^2}{g}$ , och vinkeln för den brytande vågen från  $\theta_b = \arcsin(\sin \theta_m \cdot \sqrt{\lambda})$

## Appendix II – Sedimenttransport vinkelrät mot kusten



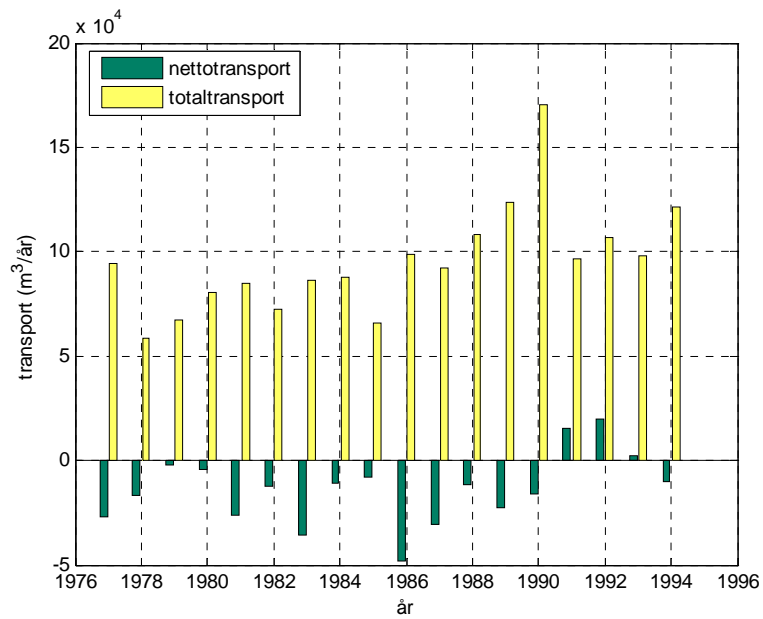
Figur AII-1 – Sedimenttransport vinkelrät mot kusten för nutida och framtida förhållanden vid badstranden mitt emot Lill-Olas väg.



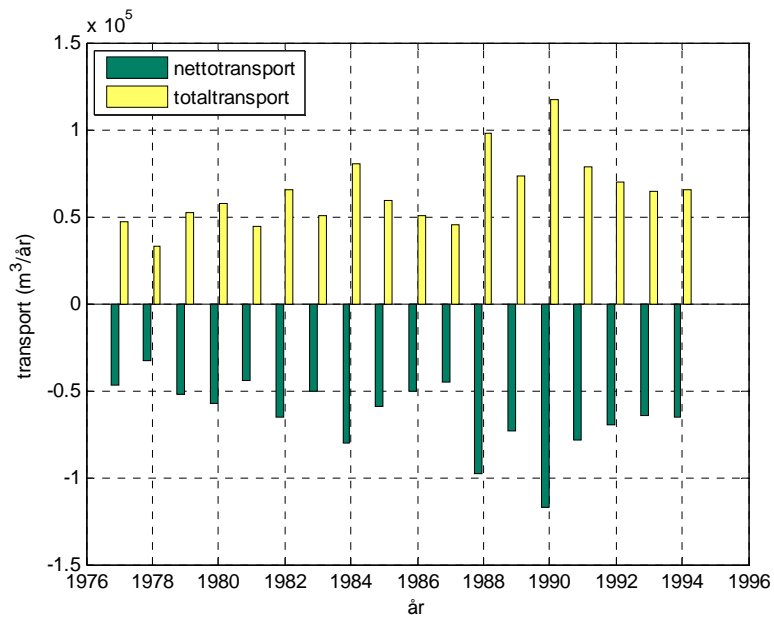
Figur AII-2 - Sedimenttransport vinkelrät mot kusten för nutida och framtida förhållanden vid stranden norr om Borstahusens hamn..

# Appendix III – Beräknad kustparallell transport

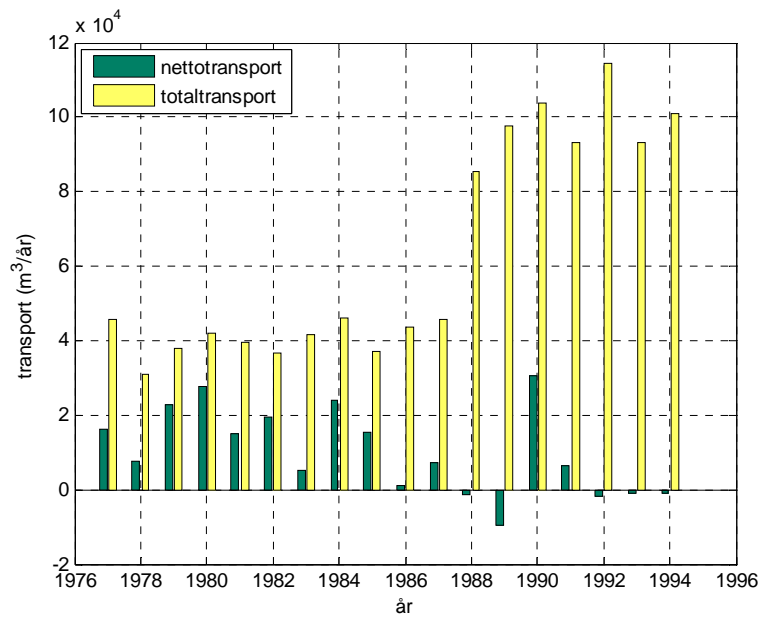
## Nutid



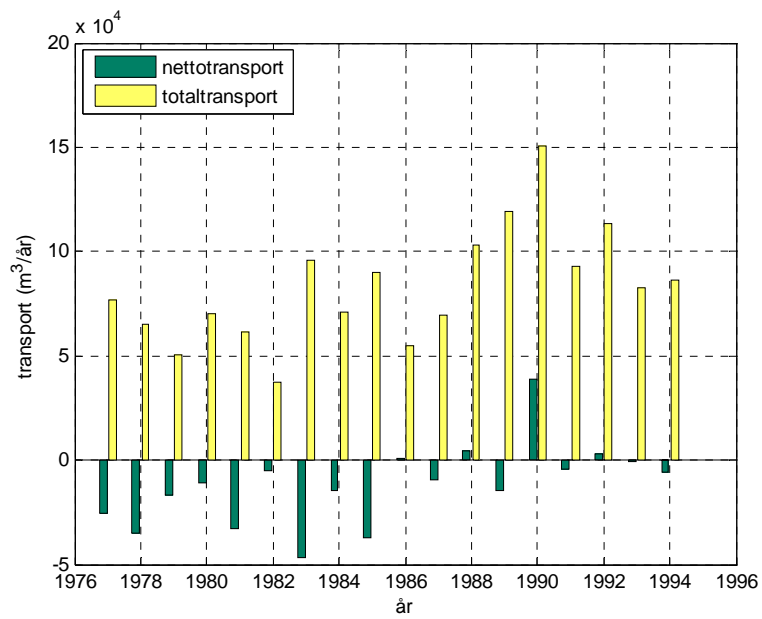
Figur AIII-1 – Kustparallell sedimenttransport för område A.



Figur AIII-2 - Kustparallell sedimenttransport för område B1.

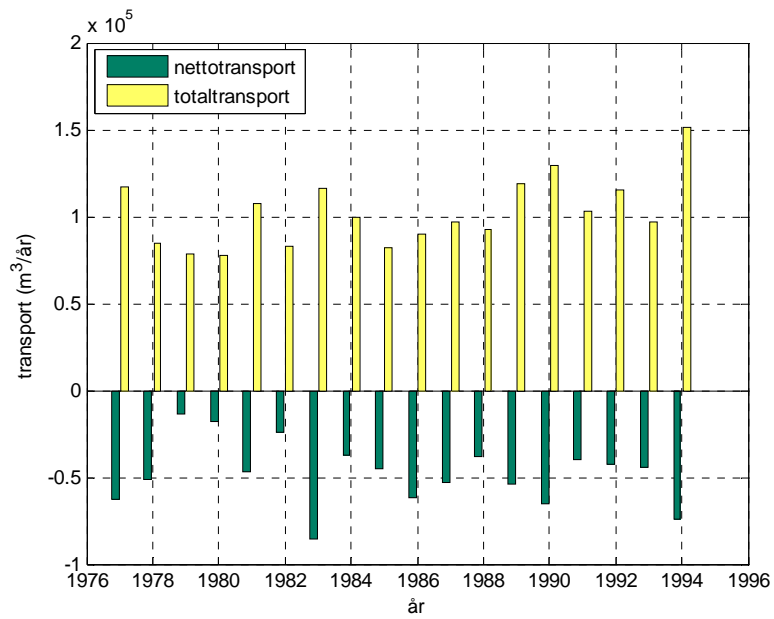


Figur AIII-3 - Kustparallell sedimenttransport för område B2.

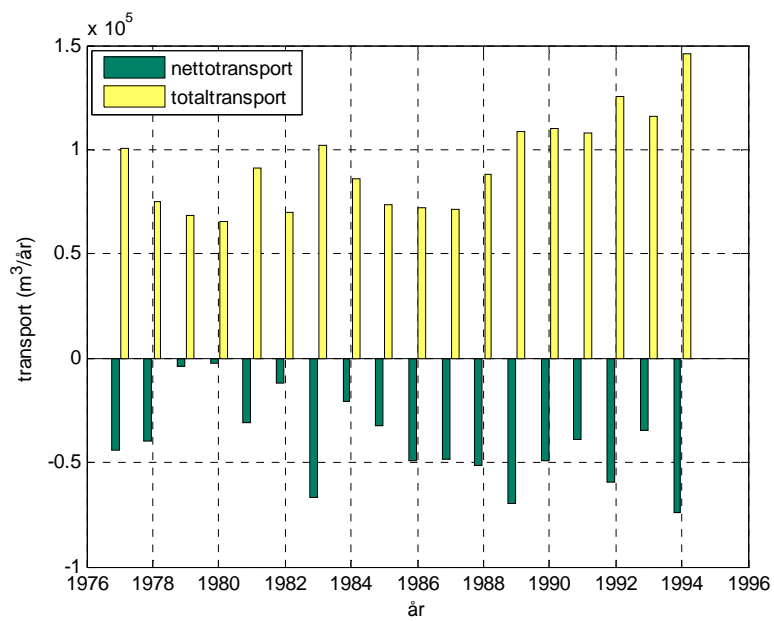


Figur AIII-4 - Kustparallell sedimenttransport för område C.



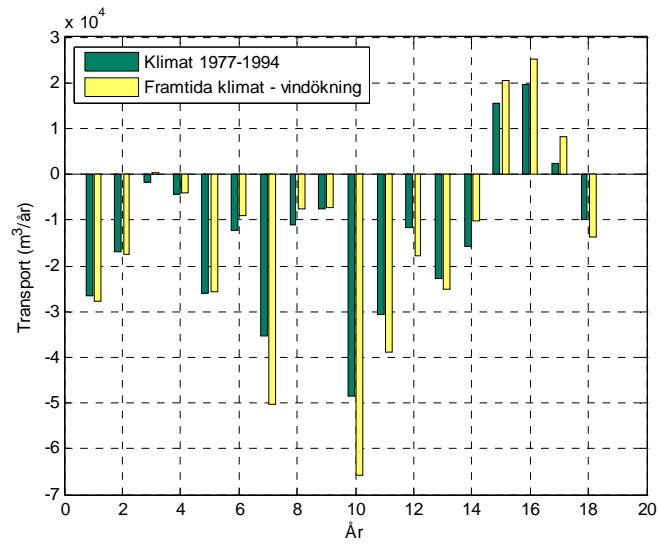


**Figur AIII-5 - Kustparallell sedimenttransport för område D1.**

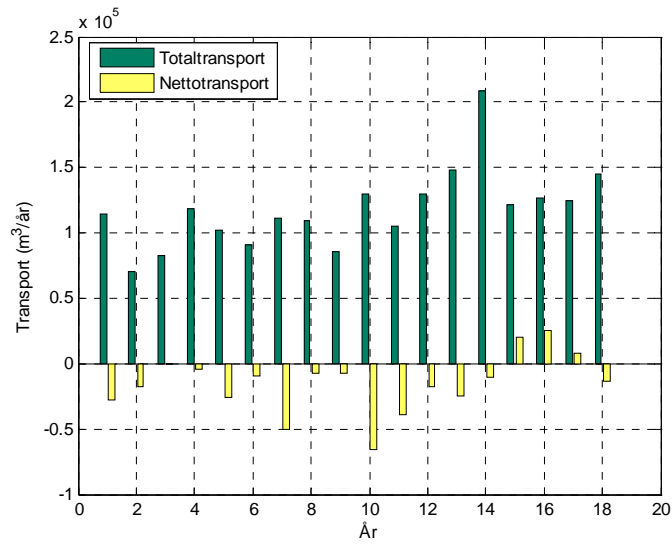


**Figur AIII-6 - Kustparallell sedimenttransport för område D2.**

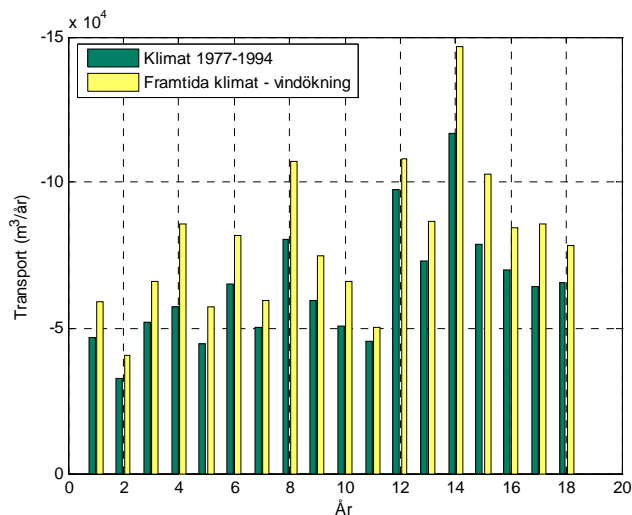
# Framtid



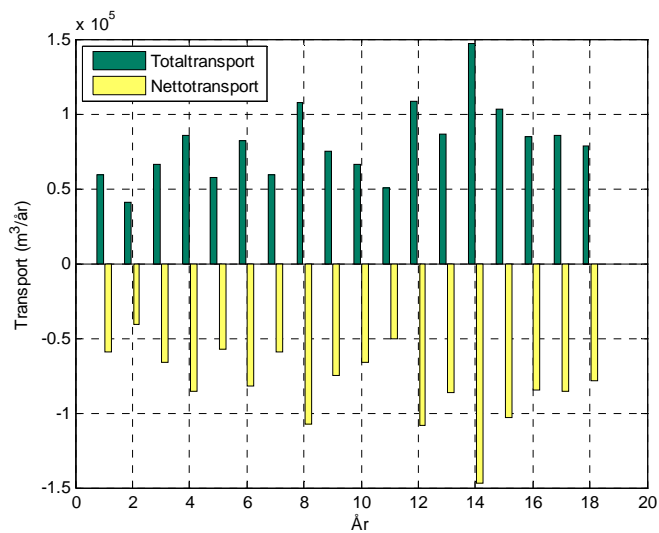
Figur AIII-7 – nettotransport, nutid och framtid, område A



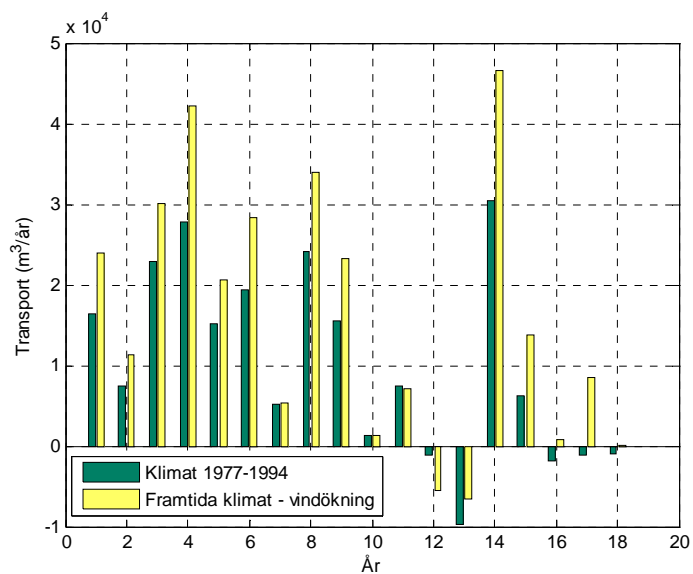
Figur AIII-8 – brutto och netto för område A



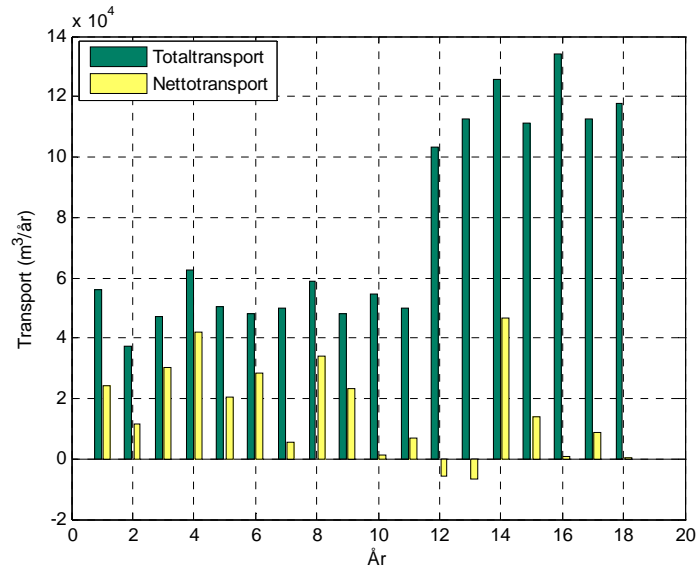
Figur AIII-9 – nettotransport vid område B1 nutid och framtid



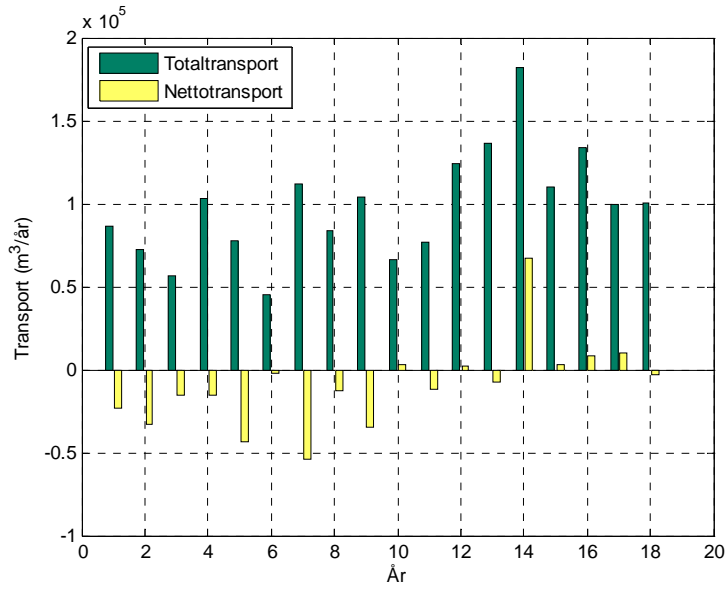
Figur AIII-10 – brutto och netto vid område B1, framtid



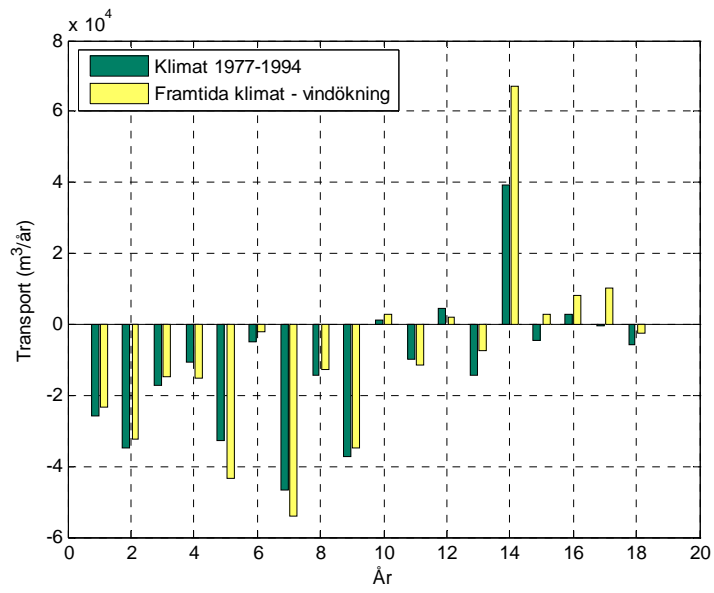
Figur AIII-11 – nettotransport, nutida respektive framtida, vid område B2



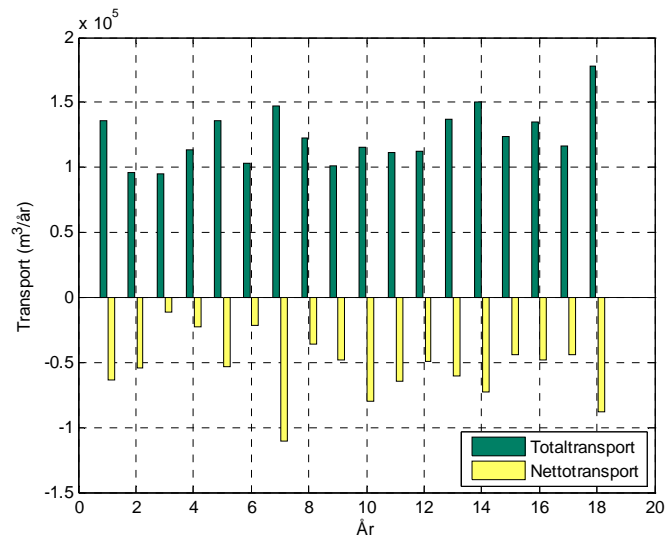
**Figur AIII-12– brutto- och nettotransport, framtiden för område B2**



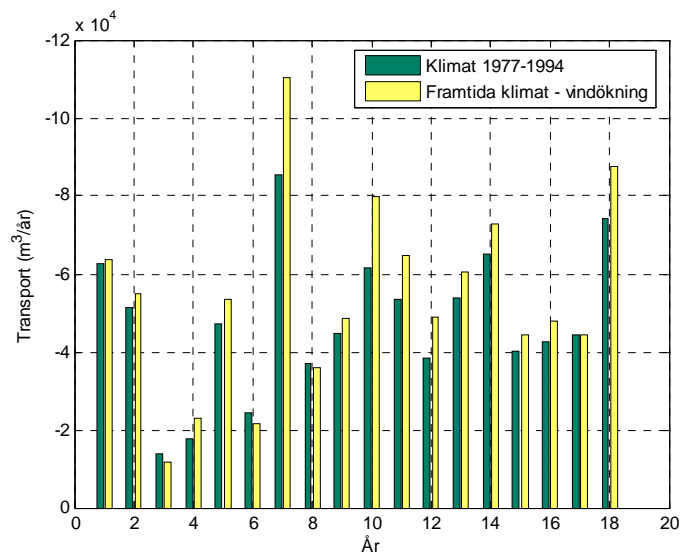
**Figur AIII-13 – brutto- och nettotransport, framtiden för område C**



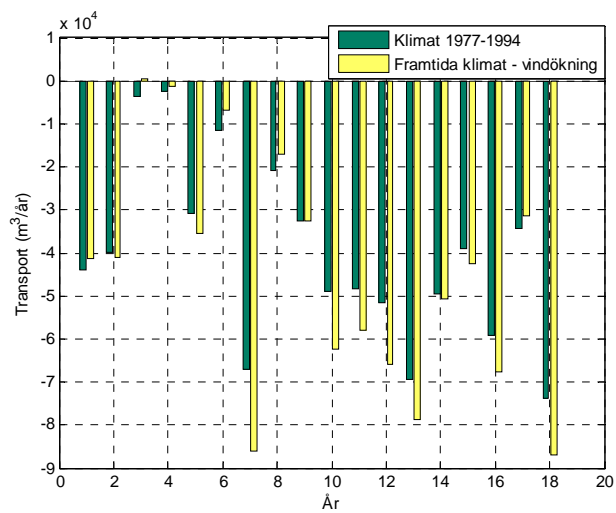
Figur AIII-14 – nettotransport, nutid och framtid, område C



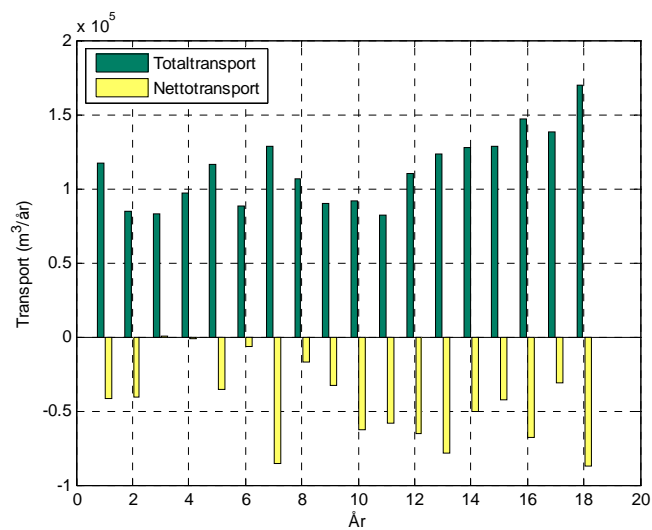
Figur AIII-15 –brutto- och nettotransport, framtid för område D1.



Figur AIII-16 – nettotransport, nutid och framtid område D1

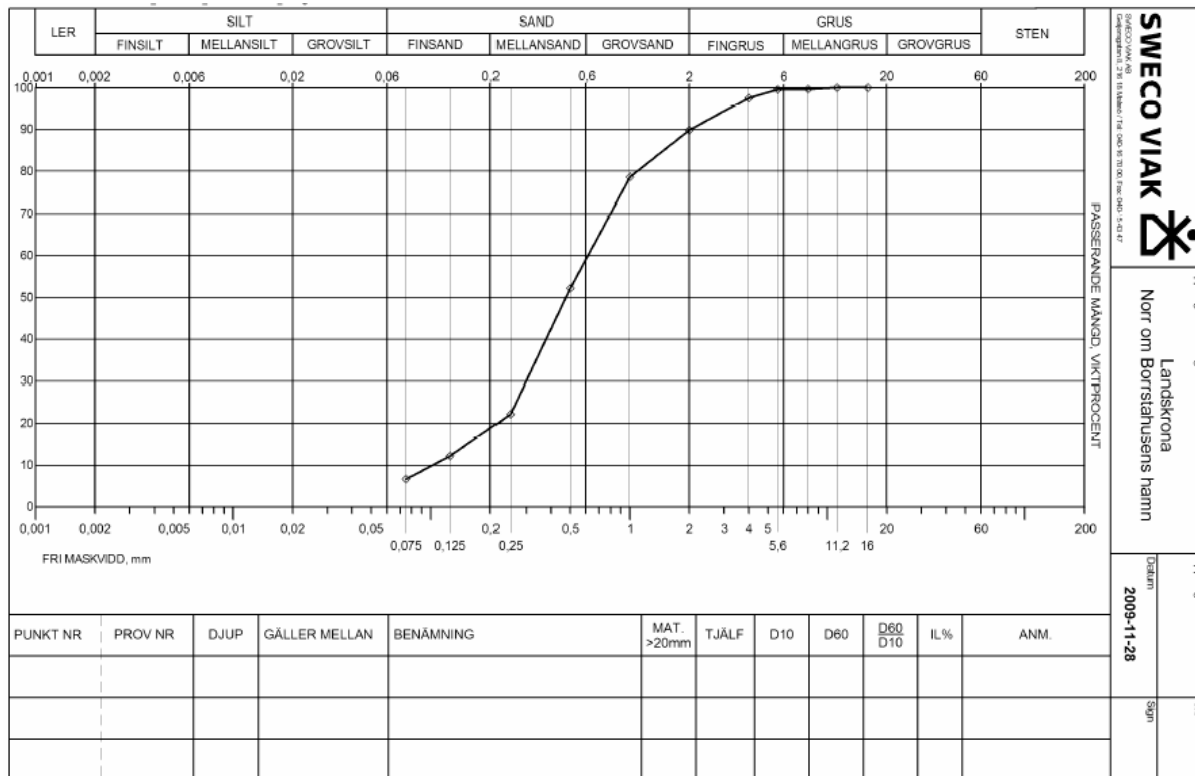


Figur AIII-17 – nettotransport, nutid och framtid område D2.

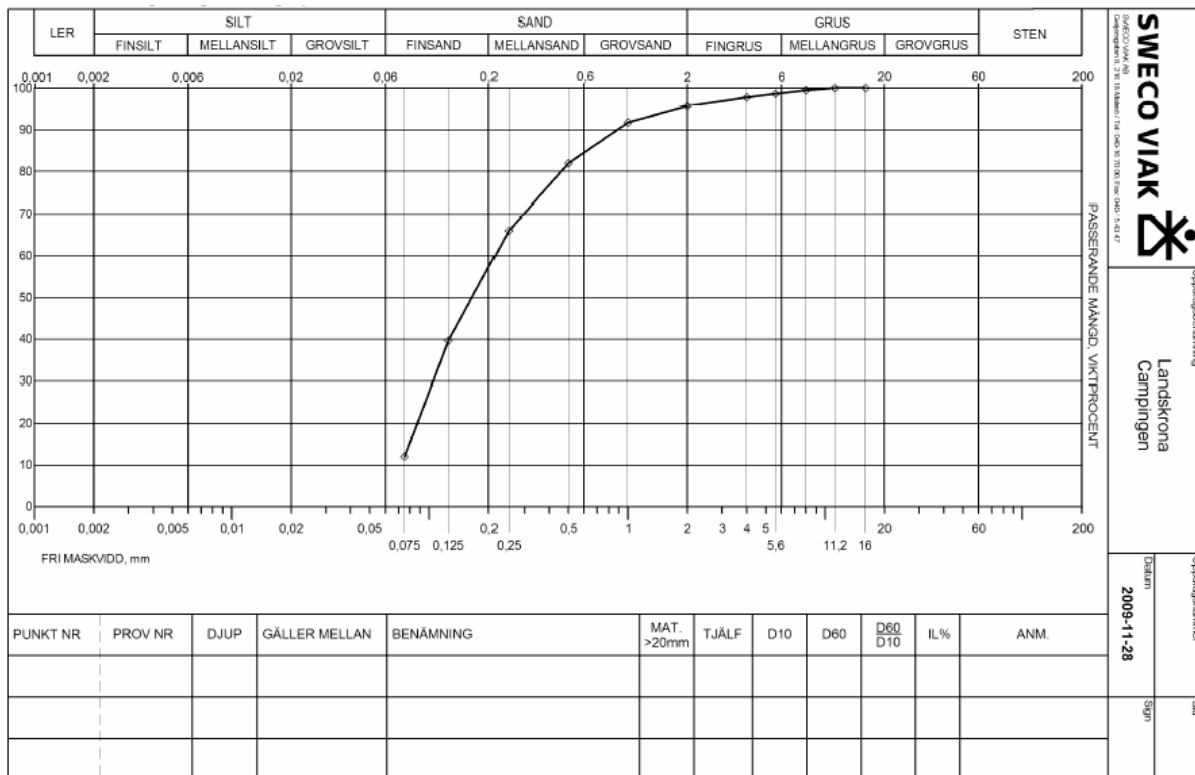


Figur AIII-18 – brutto netto framtid, område D2

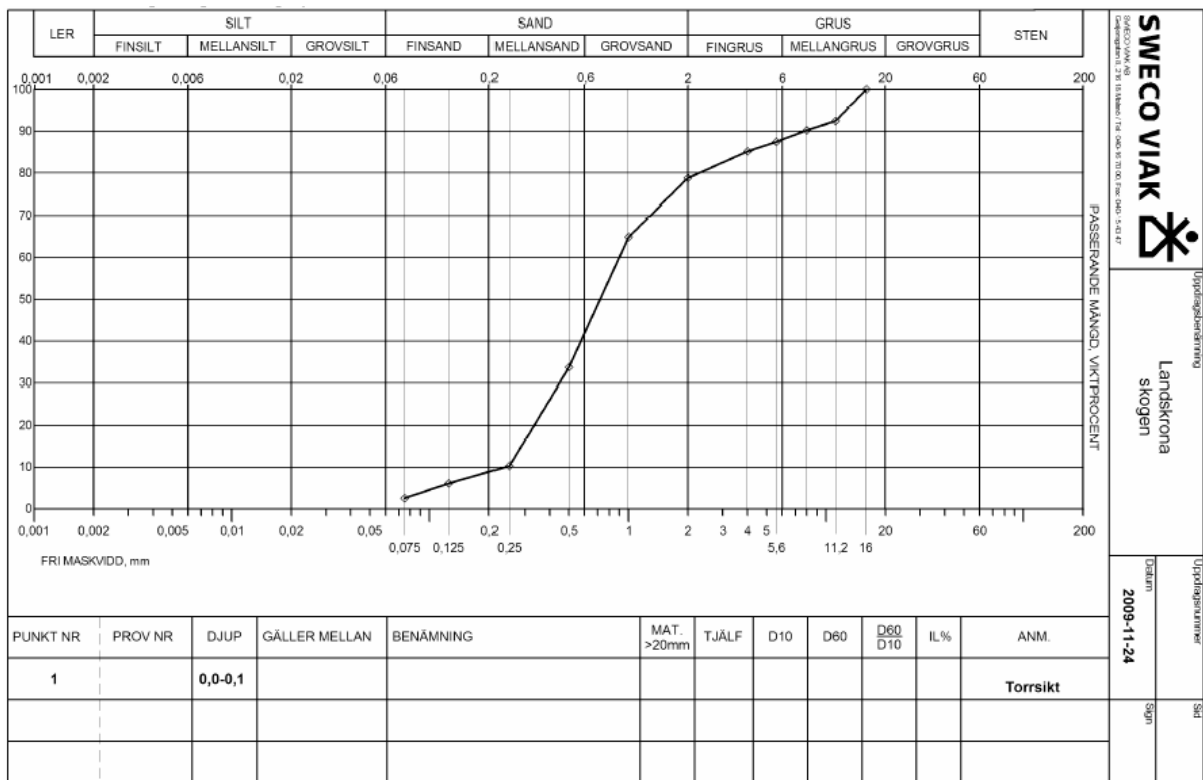
## Appendix IV – Kornfördelning



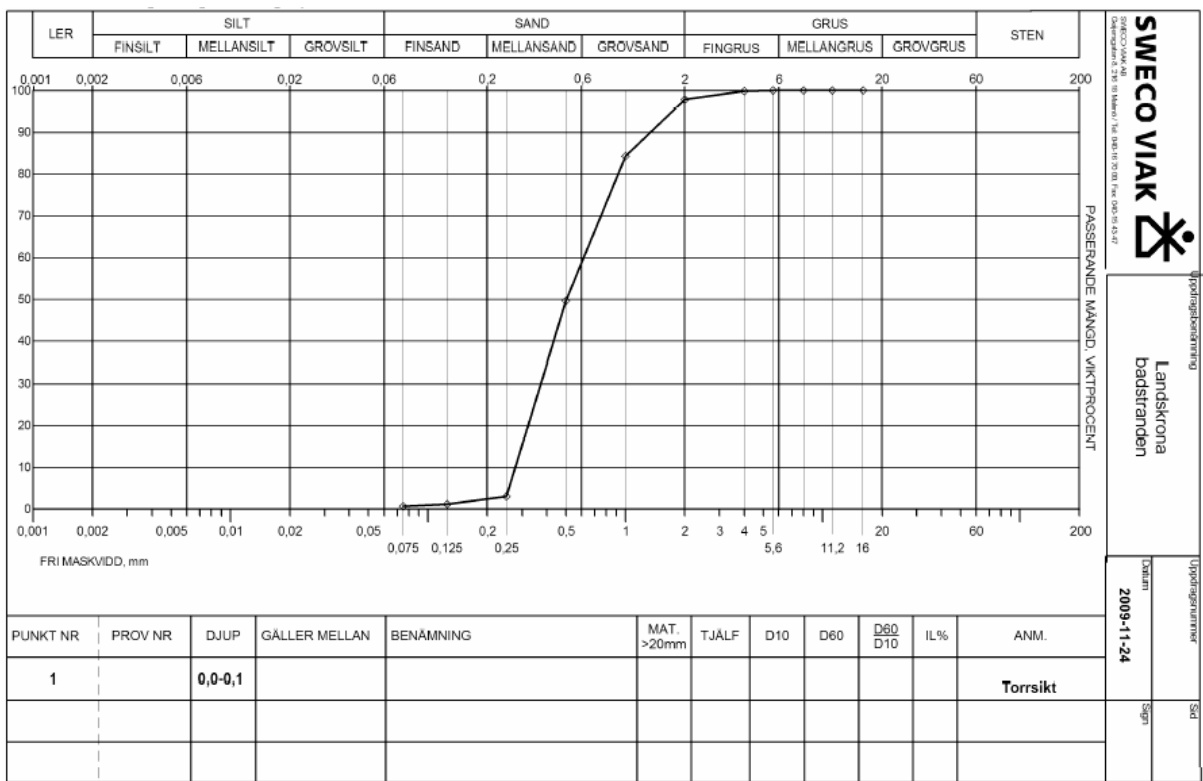
Figur AIV-1 - Kornfördelningskurva för jordprov från mätpunkt norr om Borstahusens hamn.



Figur AIV-2 – Kornfördelningskurva för jordprov från mätpunkt utanför campingen.

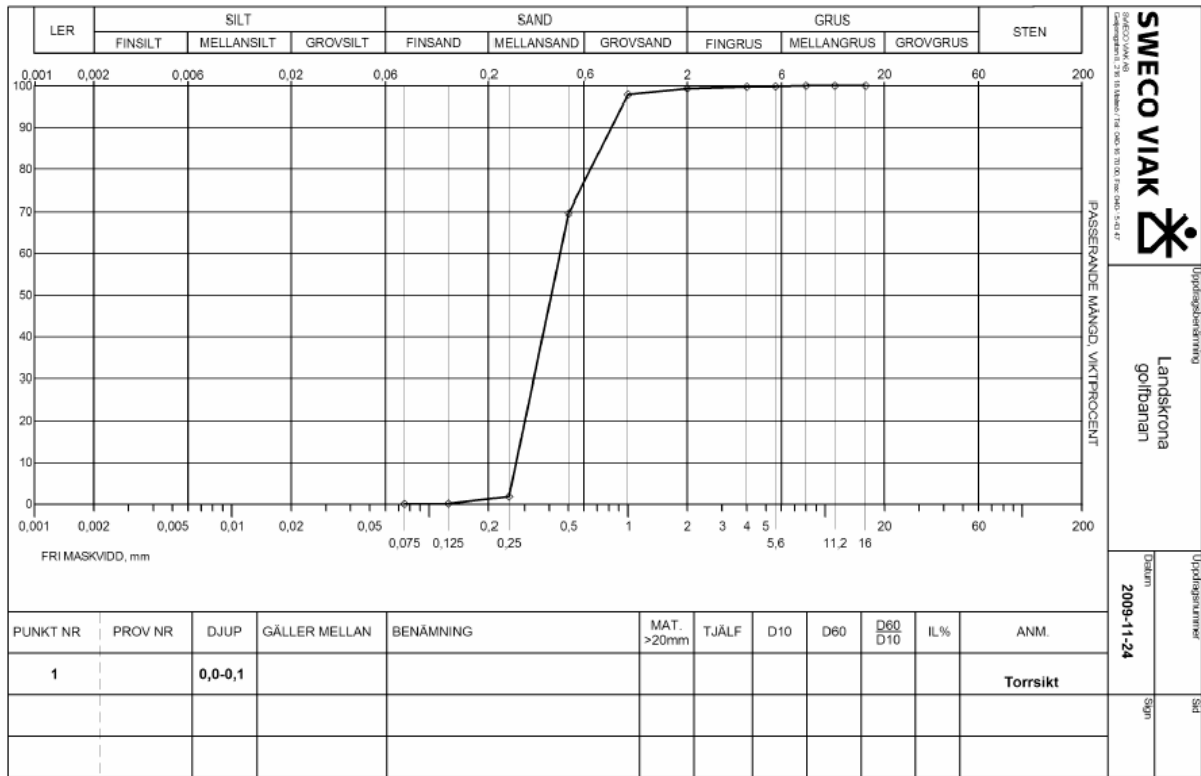


Figur AIV-3 - Kornfördelningskurva från mätpunkt vid skogparti mellan campingen och badstranden.

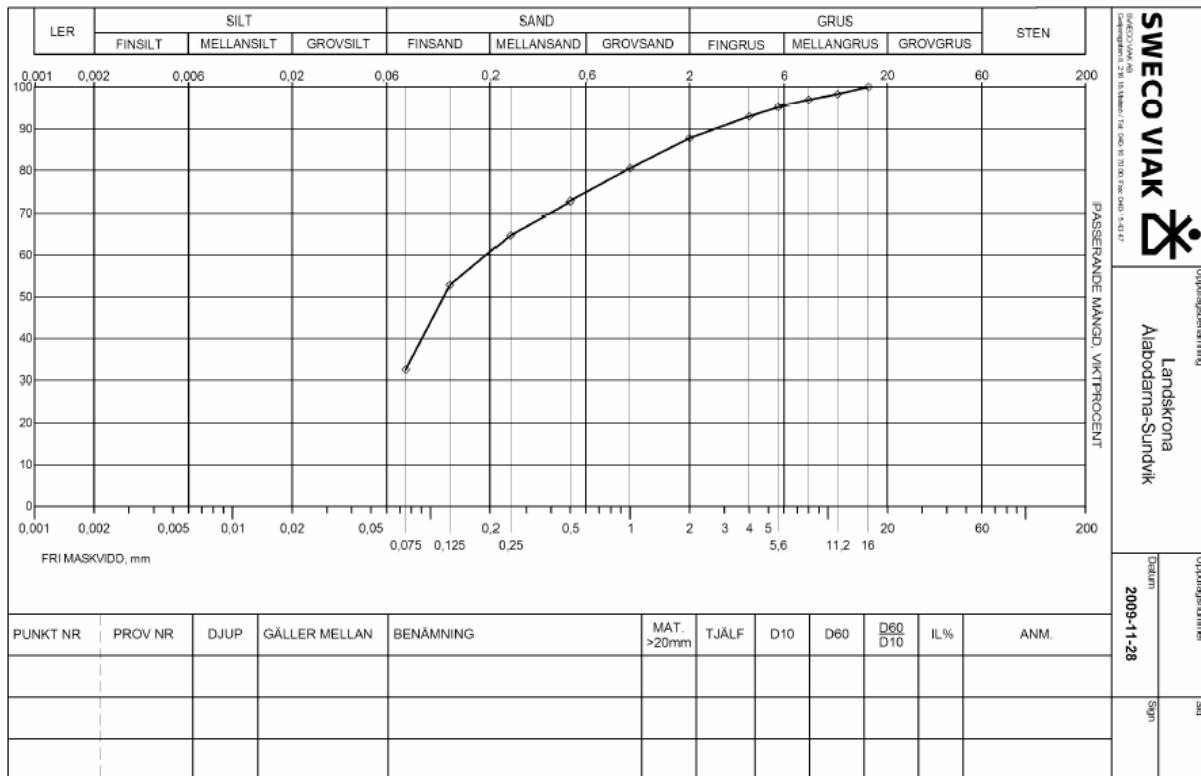


Figur AIV-4 – Kornfördelningskurva från mätpunkt vid badstranden mitt emot Lill-Olas väg.

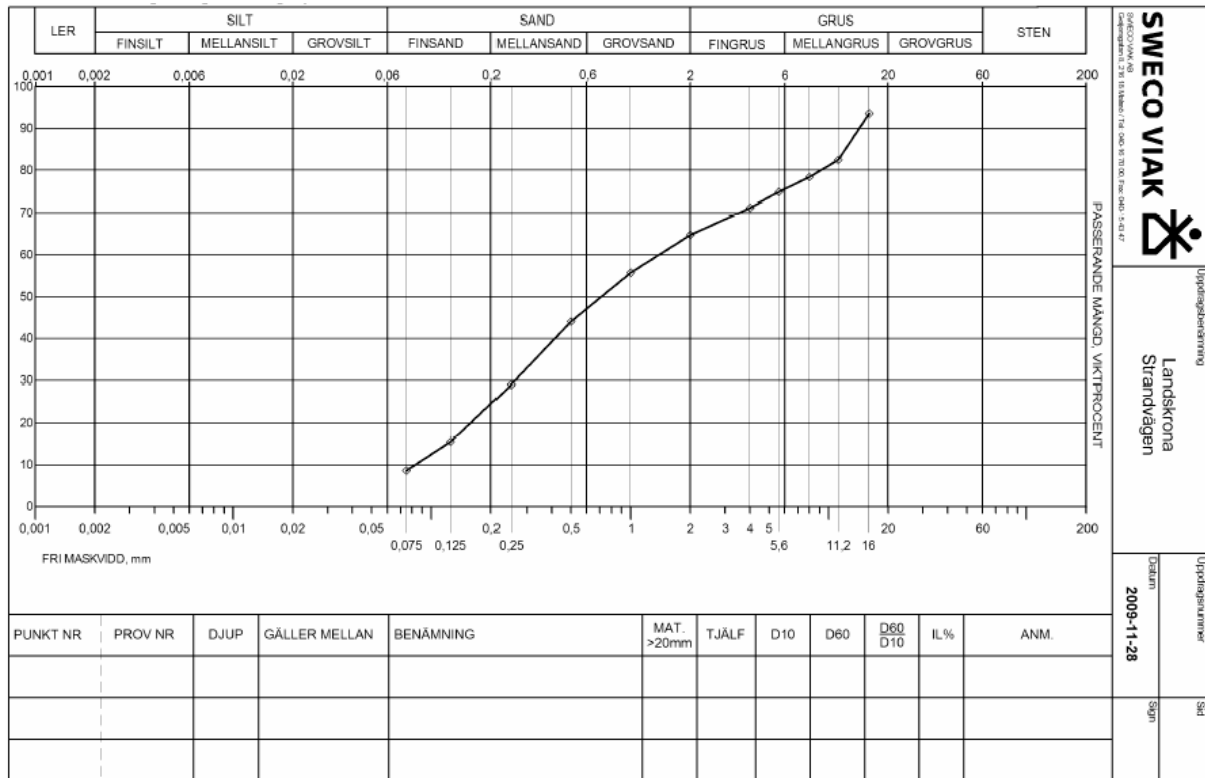




Figur AIV-5 – Kornfördelningskurva från mätpunkt vid den södra delen av golfbanan norr om Lill-Olas väg.



Figur AIV-6 – Kornfördelningskurva från mätpunkt på sträckan mellan Ålabodarna och Sundvik.

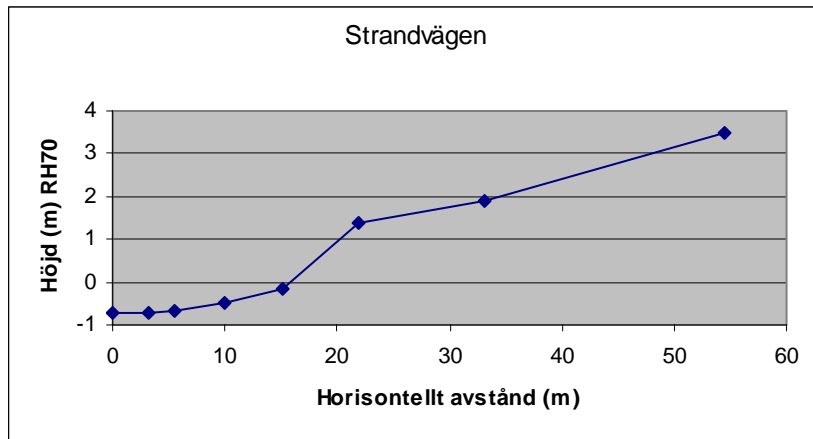


**Figur AIV-7 – Kornfördelningskurva från mätpunkt vid den södra delen av strandvägen.**

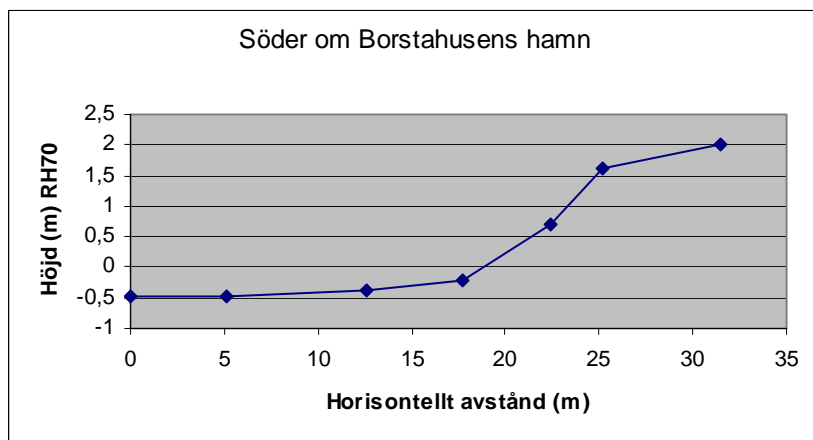
## Appendix V – Inmätta kustprofiler



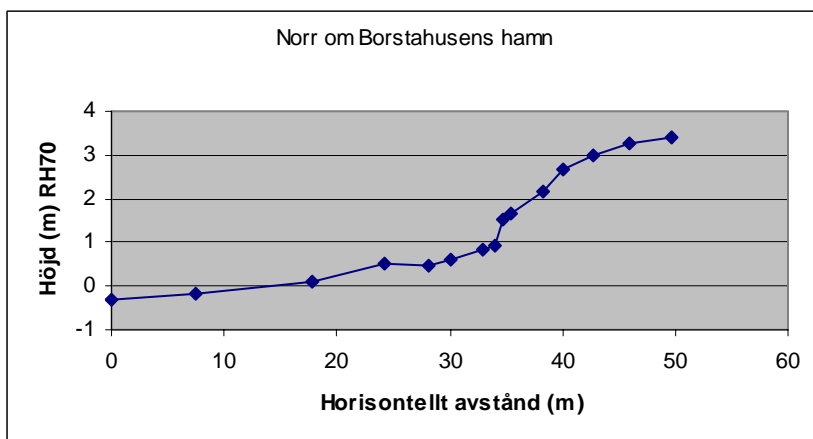
Figur AV-1 – Punkter där inmätning av kustprofiler har gjorts.



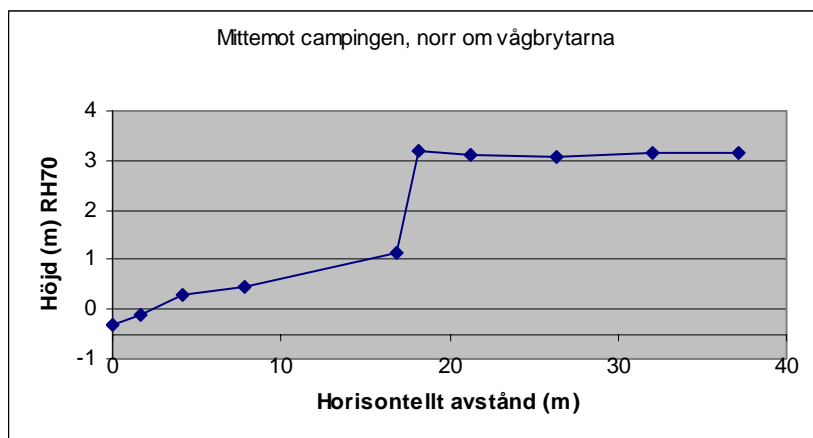
Figur AV-2 - Inmätt profil vid strandvägen.



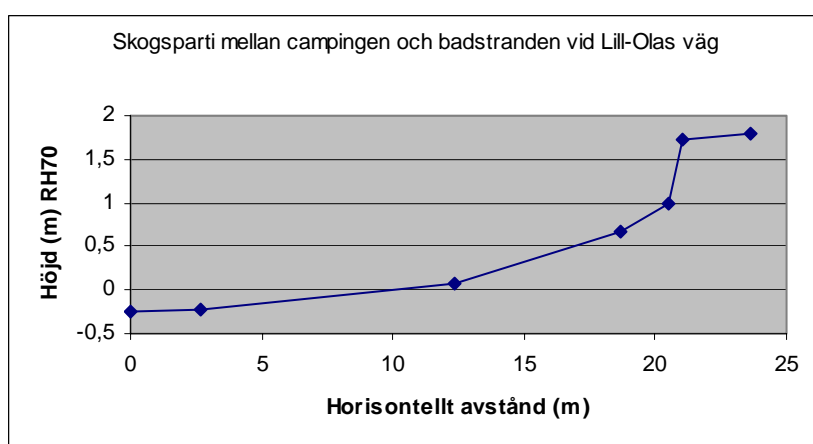
Figur AV-3 - Inmätt profil söder om Borstahusens hamn.



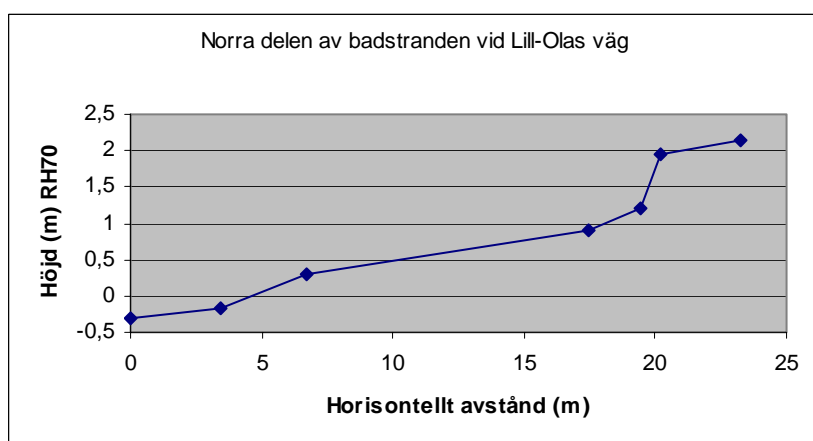
Figur AV-4 – Inmätt profil norr om Borstahusens hamn.



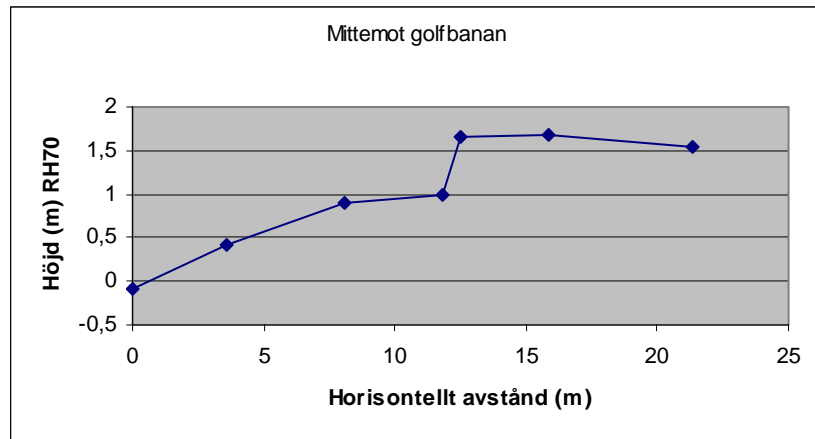
**Figur AV-5 - Inmätt profil mitt emot campingen, norr om vågbrytarna.**



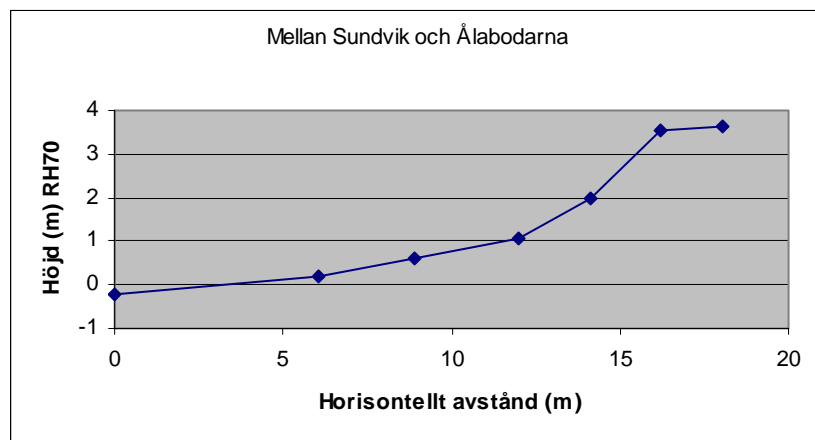
**Figur AV-6 Inmätt profil vid skogsparti mellan campingen och badstranden.**



**Figur AV-7 - Inmätt profil vid norra delen av badstranden vid Lill-Olas väg.**



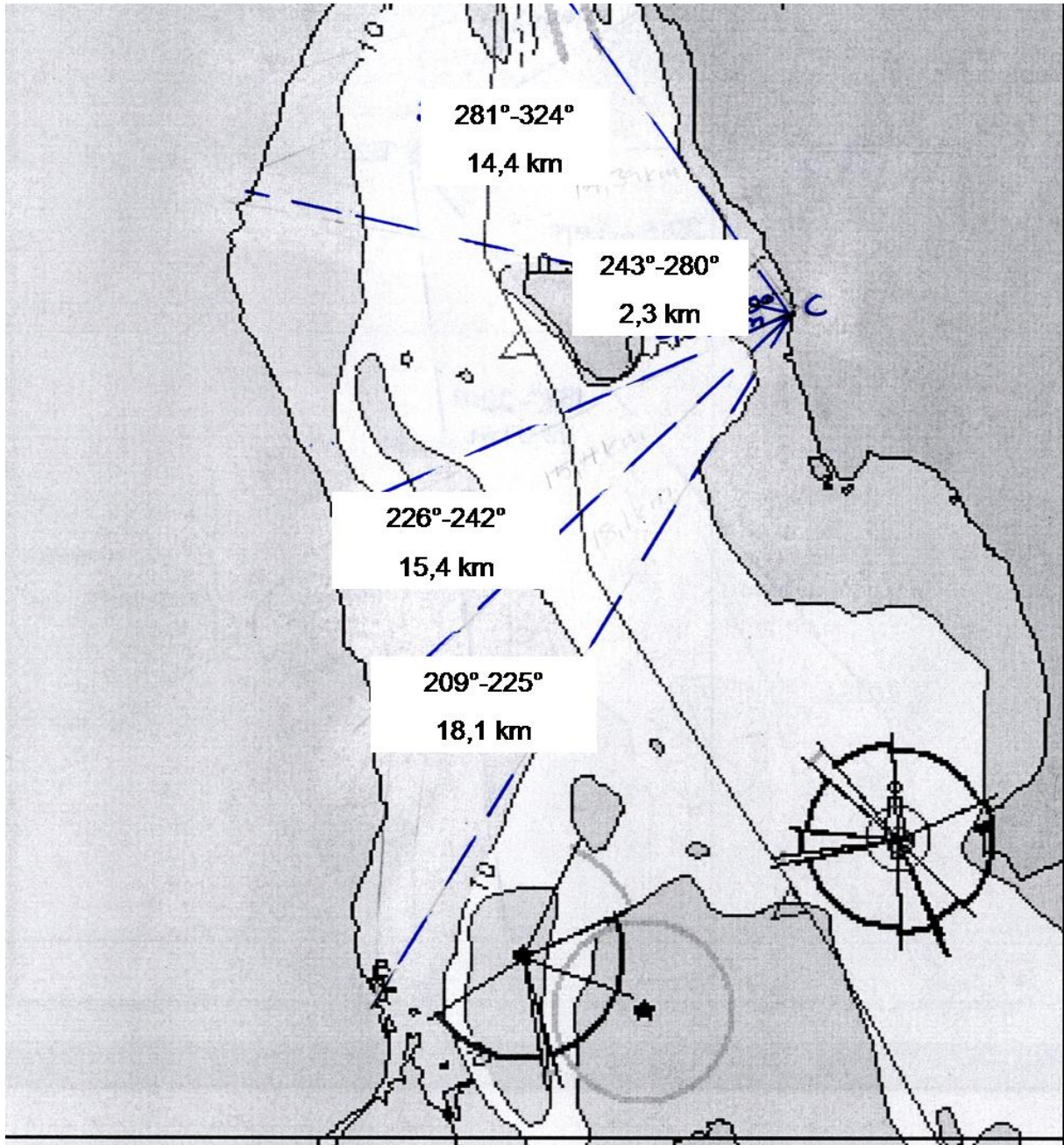
**Figur AV-8 - Inmätt profil mittmot golfbanan.**



**Figur AV-9 - Inmätt profil mellan Sundvik och Ålabodarna.**

## Appendix VI – Stryklängder

Nedan redovisas principiellt hur stryklängder tagits fram för ett område genom en schematisk skiss. Uppskattningen av själva stryklängden har dock gjorts med hjälp av mer exakta och detaljerade sjökort än det som visas nedan. Hänsyn har tagits till att sträckan med kustnära grunt vatten varierar. Riktningarna som ritats in nedan gör ej anspråk på att vara exakta utan figurerna skall endast visa på principen för hur stryklängderna tagits fram.



Figur AVI-1 - Stryklängder för respektive riktning för område C.