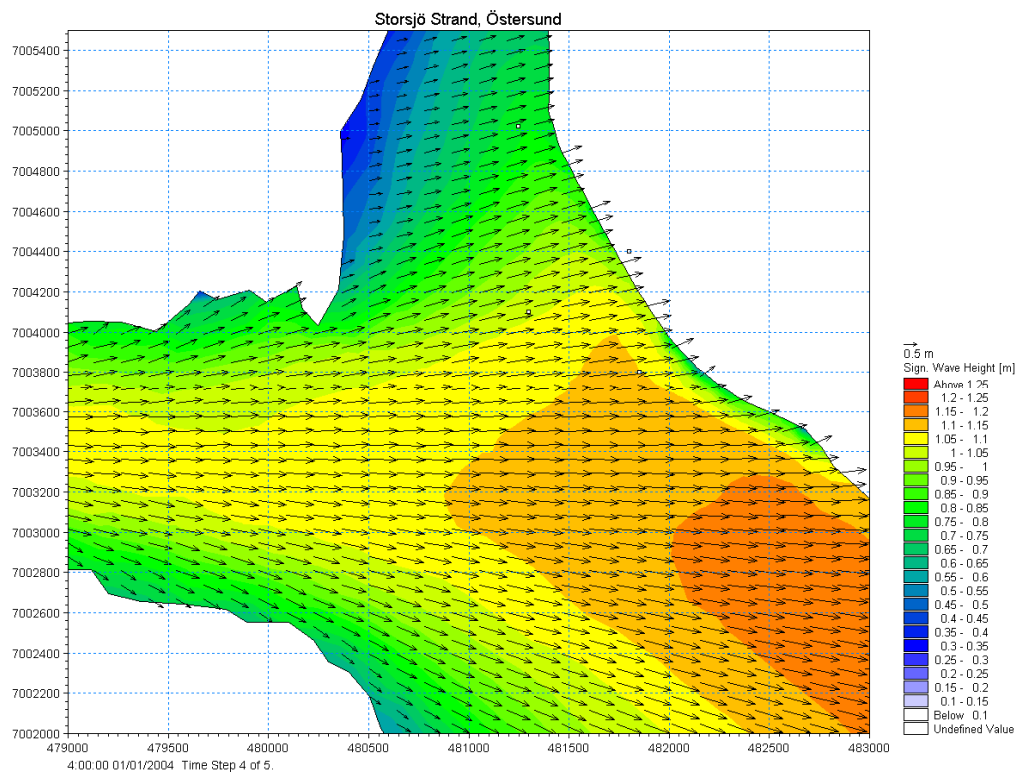


## Vågförhållanden vid Storsjö Strand, Östersund



## Vågförhållanden vid Storsjö Strand, Östersund

September 2007

Agern Allé 5  
DK-2970 Hørsholm  
Denmark

Tel: +45 4516 9200  
Fax: +45 4516 9292  
dhi@dhigroup.com  
www.dhigroup.com

|   |                     |   |          |                         |          |
|---|---------------------|---|----------|-------------------------|----------|
| Beställare  |                     | Beställarens kontaktperson  |          |                         |          |
| Östersunds kommun   |                     | Rolf Lundell  |          |                         |          |
| Projekt   |                     | Projektnr   |          |                         |          |
| Vågförhållanden vid Storsjö Strand, Östersund               |                     | 2692  |          |                         |          |
| Författare  |                     | Datum   |          |                         |          |
|   |                     | 20 September 2007   |          |                         |          |
| Christophe Chevalier<br>Fredrik Wettemark                   |                     | Godkänd av  |          |                         |          |
|   |                     | Jesper Fuchs<br>Projektchef, POT  |          |                         |          |
|   |                     |   |          |                         |          |
|   |                     |   |          |                         |          |
| 0   | Slutrapport, rev. 2 | CCH   | JUF      | JUF                     | 08.01.10 |
| Version   | Beskrivning         | Av  | Granskad | Attesterad              | Datum    |
| Nyckelord   |                     | Klassificering  |          |                         |          |
| Vindgenererade vågor<br>MIKE 21 SW<br>Storsjön<br>Östersund |                     | <input checked="" type="checkbox"/> Extern handling<br><input type="checkbox"/> Intern handling<br><input type="checkbox"/> Sekretess |          |                         |          |
| Distribution  |                     |   |          | Antal kopior            |          |
| Östersunds kommun   |                     |   |          | Rolf Lundell            |          |
| DHI:  |                     |   |          | JUF, CCH, JAO, FWE, OLI |          |
|   |                     |   |          | Pdf                     |          |



## **INNEHÅLL**

|       |                                       |   |
|-------|---------------------------------------|---|
| 1     | INLEDNING .....                       | 1 |
| 2     | VINDFÖRHÅLLANDEN.....                 | 2 |
| 3     | VÅGMODELLERING .....                  | 4 |
| 3.1   | Vågmodell.....                        | 4 |
| 3.2   | Resultat av vågsimuleringar .....     | 5 |
| 3.2.1 | Resultat utmed profiler .....         | 7 |
| 3.3   | Dimensionerande vågförhållanden ..... | 9 |
| 4     | FELKÄLLOR .....                       | 9 |

## 1 INLEDNING

Föreliggande rapport presenterar en bedömning av extrema vågförhållanden utmed Storsjö Strand i Östersund.

Våganalyserna har gjorts som ett led i kommunens arbete med den fördjupade översiktsplanen för området beläget mellan järnvägen och Storsjöstråket, benämnt Storsjö Strand. Anledningen är att säkerställa rätt höjd på den skydds konstruktion som anläggs utmed strandlinjen.

Området som beaktats i samband med simuleringarna ses i Fig. 1.1.



Fig 1.1. Den aktuella sträckan utmed Storsjö Strand är markerad på kartan med en grön linje.

Av figuren framgår att den aktuella strandsträckan utmed Storsjö Strand främst är exponerad för vågor ifrån väst. Väster om Storsjö Strand finns ett stort sammanhängande område med öppet vatten, genom Vallsundet, och ut mot det sk. Flaket. Sträckan på vilken vågorna byggs upp vid västliga vindar är ca 10 km lång.

Vågor från syd-sydost genereras också över en relativt lång sträcka och kan därför vara förhållandevis stora. Dessa har emellertid inte särskilt stor inverkan på den aktuella strandsträckan, då de rör sig parallellt med (eller t.o.m. bort ifrån) strandlinjen.

Vågor som når Storsjö Strand från övriga riktningar är mycket mindre, varför dessa inte har studerats vidare.

Syftet med studien har varit att kartlägga dimensionerande vågor och därför har uteslutande vågor som genereras av västliga vindar studerats.

Våganalyserna har genomförts med modellverktyget MIKE 21 SW, framtaget och utvecklat av DHI. Faktorer som tas hänsyn till vid modelleringen är strandlinjernas utformning, vattendjupet i området där vågorna genereras och vindförhållandena (hastighet och riktningar) i området.



## 2 VINDFÖRHÅLLANDEN

Den vinddata som använts har hämtats från SMHI's mätstation vid flygplatsen på Frösön, belägen ca. 7 km väst-nordväst om Östersund. Mätningarna spänner över en förhållandevis lång tidsperiod, 1951-2006, vilket ger tillförlitliga indata till vågmodelleringen. En frekvenstabell med vinddatan ses i Tabell 2.1. Ingen information har varit tillgänglig om mätstationens höjd över marken, varför denna antagits vara 10 m.

Tabell 2.1. Vinddata från flygplatsen på Frösön, 1951-2006; absoluta (överst) och relativa (nederst) frekvenser för händelser (i %) av vindhastigheter och vindriktningar.

| Absoluta frekvenser |       |       |        |        |        |         |         |         |         |        |
|---------------------|-------|-------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Vindintervall (m/s) | LUGNT | N     | NE     | E      | SE     | S       | SW      | W       | NW      | Summa  |
| 24.5                |       |       |        |        |        |         | 2       |         |         | 2      |
| 22.5                | 24.4  |       |        |        |        |         |         | 1.8     | 0.3     | 2      |
| 20.5                | 22.4  |       |        |        | 0.3    | 0.8     | 0.3     | 3.3     | 4.5     | 9      |
| 18.5                | 20.4  |       |        |        | 0.3    | 0.8     |         | 6       | 5       | 12     |
| 16.5                | 18.4  |       |        |        | 1      |         |         | 12.3    | 11.8    | 25     |
| 14.5                | 16.4  |       | 4      |        | 1      | 5.3     | 7.8     | 2       | 69      | 59     |
| 12.5                | 14.4  |       | 7.8    | 1      | 8.5    | 10.3    | 20.8    | 4       | 176.3   | 221.5  |
| 10.5                | 12.4  | 1     | 16.3   | 5.3    | 31.3   | 93.3    | 132.3   | 36.5    | 456     | 527.3  |
| 8.5                 | 10.4  |       | 112.5  | 43     | 196.3  | 541     | 719.5   | 159.8   | 1210.3  | 1743.8 |
| 6.5                 | 8.4   |       | 341.8  | 182.3  | 671.5  | 2184.3  | 3078.3  | 530.5   | 2610.5  | 4437   |
| 4.5                 | 6.4   |       | 1210   | 892.5  | 2065.3 | 6377.3  | 8408.8  | 1365.3  | 4798.3  | 8704.8 |
| 2.5                 | 4.4   | 8     | 3470.5 | 3295.5 | 4290.5 | 8507.5  | 12659.3 | 2790.8  | 6966    | 11004  |
| 0.5                 | 2.4   | 486   | 4629   | 4472.5 | 4336.8 | 4310    | 8302.5  | 5328.8  | 6922.3  | 6391.3 |
|                     | 0.4   | 9858  |        |        |        |         |         |         |         | 9858   |
| Summa:              |       | 10353 | 9791.8 | 8892   | 11601  | 22030.3 | 33330.5 | 10219.8 | 23231.8 | 33110  |

| Relativa frekvenser |       |      |      |      |      |       |      |      |       |       |
|---------------------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|-------|
| Vindintervall (m/s) | LUGNT | N    | NE   | E    | SE   | S     | SW   | W    | NW    | Summa |
| 24.5                |       |      |      |      |      |       | 0    |      |       | 0     |
| 22.5                | 24.4  |      |      |      |      |       |      | 0    | 0     | 0     |
| 20.5                | 22.4  |      |      |      | 0    | 0     | 0    | 0    | 0     | 0.01  |
| 18.5                | 20.4  |      |      |      | 0    | 0     |      | 0    | 0     | 0.01  |
| 16.5                | 18.4  |      |      |      | 0    |       |      | 0.01 | 0.01  | 0.02  |
| 14.5                | 16.4  |      | 0    |      | 0    | 0     | 0    | 0.04 | 0.04  | 0.09  |
| 12.5                | 14.4  |      | 0    | 0    | 0.01 | 0.01  | 0.01 | 0    | 0.11  | 0.14  |
| 10.5                | 12.4  | 0    | 0.01 | 0    | 0.02 | 0.06  | 0.08 | 0.02 | 0.28  | 0.32  |
| 8.5                 | 10.4  |      | 0.07 | 0.03 | 0.12 | 0.33  | 0.44 | 0.1  | 0.74  | 1.07  |
| 6.5                 | 8.4   |      | 0.21 | 0.11 | 0.41 | 1.34  | 1.89 | 0.33 | 1.61  | 2.73  |
| 4.5                 | 6.4   |      | 0.74 | 0.55 | 1.27 | 3.92  | 5.17 | 0.84 | 2.95  | 5.35  |
| 2.5                 | 4.4   | 0    | 2.13 | 2.03 | 2.64 | 5.23  | 7.79 | 1.72 | 4.29  | 6.77  |
| 0.5                 | 2.4   | 0.3  | 2.85 | 2.75 | 2.67 | 2.65  | 5.11 | 3.28 | 4.26  | 3.93  |
|                     | 0.4   | 6.06 |      |      |      |       |      |      |       | 6.06  |
| Summa:              |       | 6.37 | 6.02 | 5.47 | 7.14 | 13.55 | 20.5 | 6.29 | 14.29 | 20.37 |

För vindar från väst, som är den riktning som har betydelse för vågorna, har vindhastigheter plottats mot deras troliga återkomst och varaktighet enligt Figur 2.1. Därefter har en extrapolering utförts av värdena för den uppmätta vinddatan genom att anpassa en exponentiell funktion (heldragen blå linje) mot vindhastigheten.

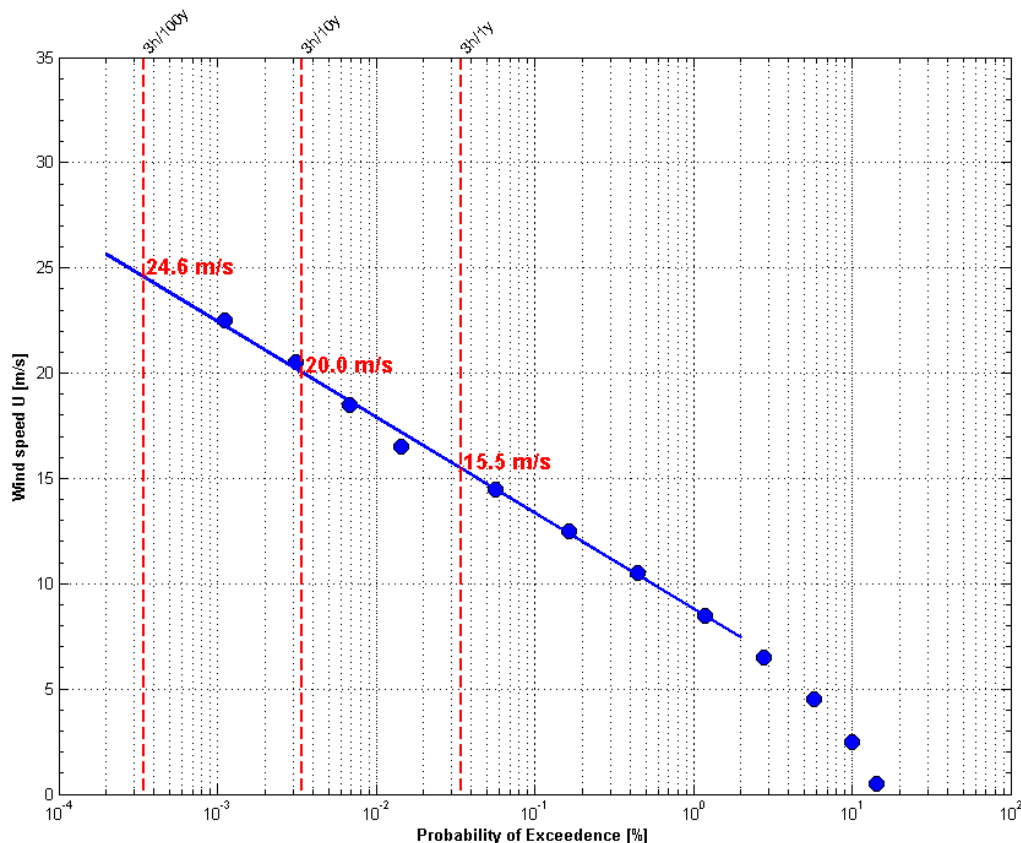


Fig 2.1. Återkomsttider för västliga vindar för en viss vindhastighet och en given tid (3 tim). Uppmätta data visas med blå punkter och den blå linjen visar extrapolerad fördelning.

Baserat på datan och extrapoleringen i Figur 2.1. har bedömningar gjorts för vindhastigheterna från väst och deras återkomsttid för 3 timmar per 1, 10 och 100 år. Resultaten ses i Tabell 2.2.

Tabell 2.2. Estimerade vindhastigheter för västliga vindar med återkomsttid på 3 tim/år, 3 tim/10 år och 3 tim/100 år.

| Återkomsttid  | 3 tim/1 år | 3 tim/10 år | 3 tim/100 år |
|---------------|------------|-------------|--------------|
| Vindhastighet | 15.5 m/s   | 20.0 m/s    | 24.6 m/s     |

### 3 VÅGMODELLERING

#### 3.1 Vågmodell

Vågsimuleringarna har utförts med DHI's numeriska vind-/vågmodell, MIKE 21 SW.

MIKE 21 SW är en spektral vind-/vågmodell, som simulerar vågförhållanden med hänsyn tagen till faktorer som:

- Vindens friktion mot vattenytan
- Refraktion med djupet
- Uppgrunding
- Brytande vågor
- Bottenfriktion
- Interaktion mellan vågor

För mer detaljer, se Appendix A.

För vågsimuleringarna har en komplett spektral and quasi-stationär formulering. Simuleringarna har utförts utan hänsyn tagen till bottenfriktion. Detta, något konservativa, tillvägagångssätt valdes eftersom ingen vågdata fanns tillgänglig för kalibrering.

Modellens bathymetri (vattendjup) har designats med ledning av de digitala sjökort Östersunds kommun tillhandahållit. Modellbathymetrin kan ses nedan i Figur 3.1. I modellen används ett oregelbundet beräkningsnät, där djupen definieras i de triangulära hörnpunkterna och resultaten beräknas i cellernas centrum.

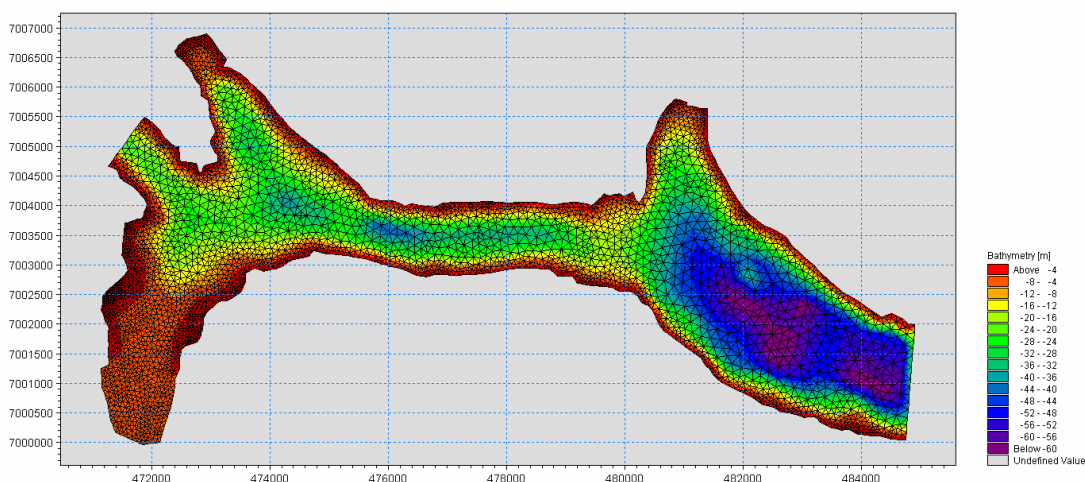


Fig 3.1. Modellens beräkningsnät och bathymetri som används för vågsimuleringarna.



### 3.2 Resultat av vågsimuleringar

Figurerna 3.2. och 3.3 visar resultaten från vågmodellen i form av en karta med konturer. På denna ses strandlinjerna och vattenytan samt vågornas höjd och riktning vid vindhastigheterna 15.5 m/s, 20 m/s och 24.6 m/s vid västlig vind. Av figurerna framgår att våghöjden minskar något utmed de norra delarna av Storsjö Strand.

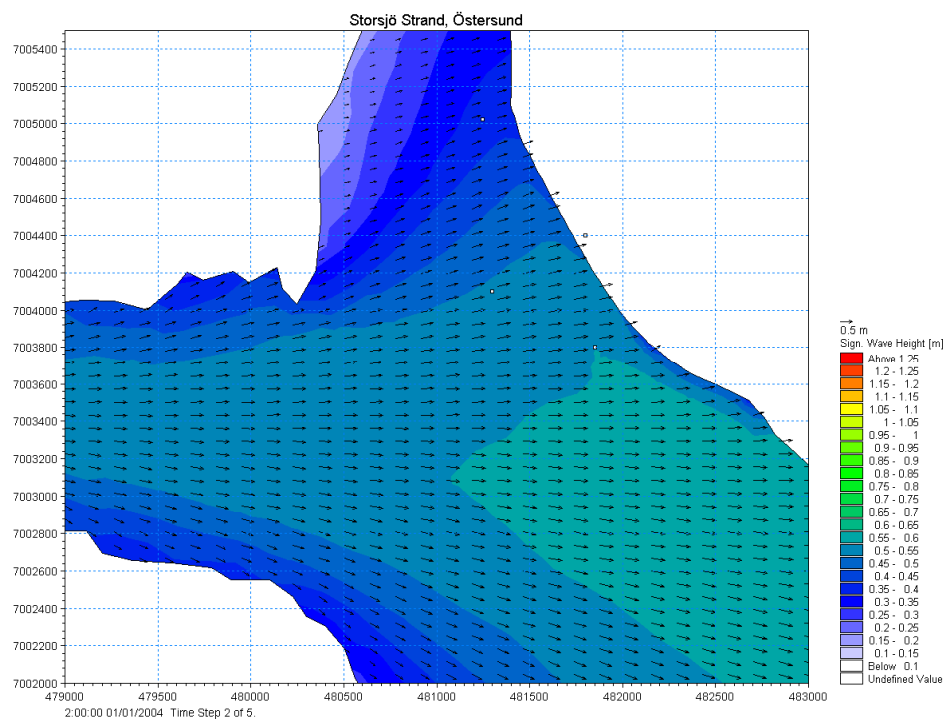


Fig 3.2. Karta med våghöjder vid 15.5 m/s västlig vind.



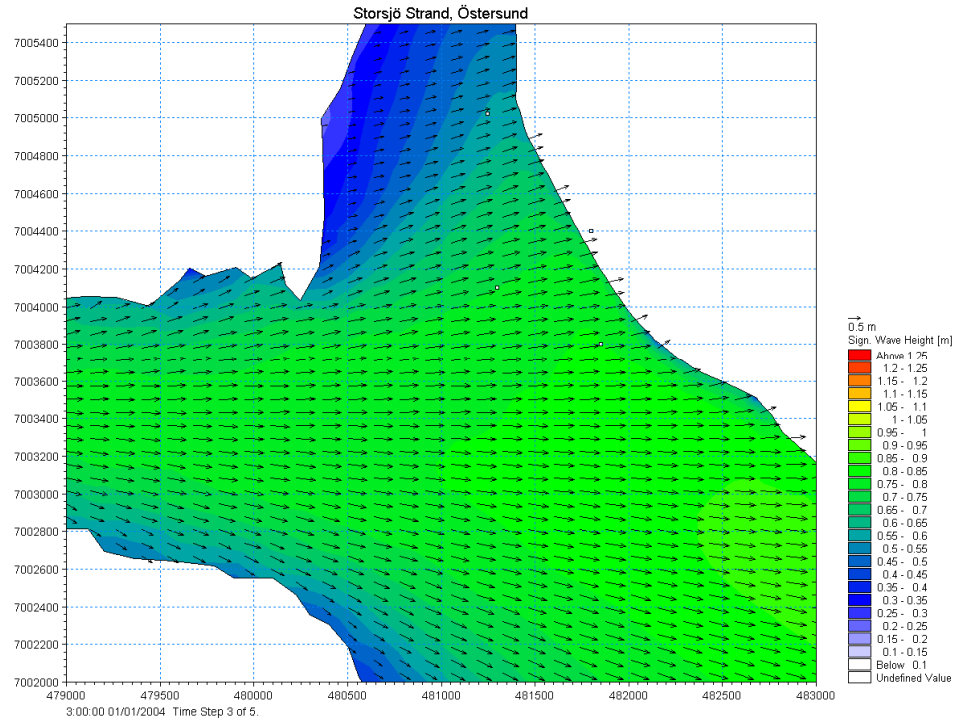


Fig 3.3. Karta med våghöjder vid 20 m/s västlig vind.

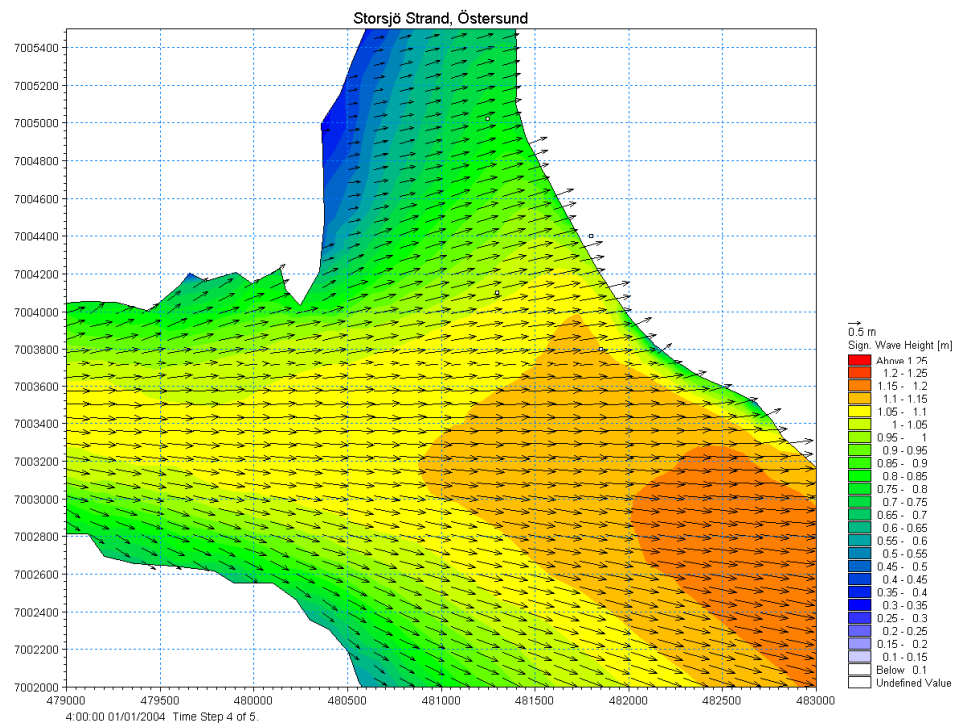


Fig 3.4. Karta med våghöjder vid 24.6 m/s västlig vind.



### 3.2.1 Resultat utmed profiler

Beräknade våghöjder och vågperioder har tagits ut från simuleringarna utmed två profiler (vinkelrät mot stranden resp. parallellt med stranden) utanför Storsjö Strand.

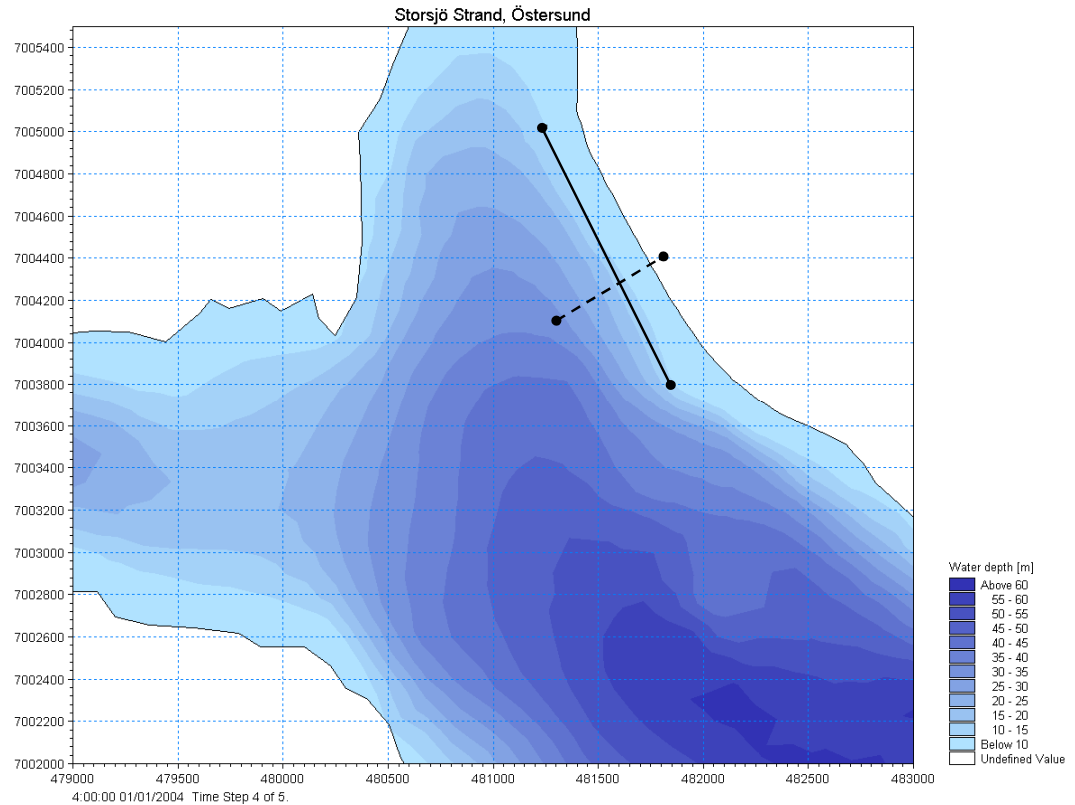


Fig 3.5. Läget för den vinkelräta profilen (streckad linje) och den strandparallella profilen (heldragen linje) från vilka data tagits ut från vågsimuleringarna.

Figur 3.6. visar förändringen i våghöjd utmed den vinkelräta profilen från djupet -30 m och upp till -5 m.

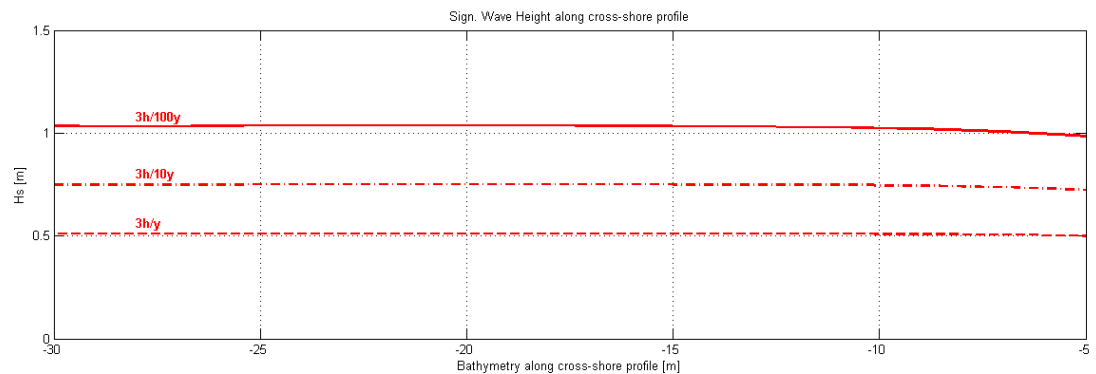


Fig 3.6. Förändringen i våghöjd jämfört med vattendjup utmed den vinkelräta profilen.



Figur 3.7. visar våghöjdens förändring för de tre vindhastigheterna utmed den kustparallella profilen (vy från Storsjön in mot land). Vattendjupet är ca 10 m utmed profilen (se nedersta bilden i Fig 3.7.). Som tidigare nämnts avtar våghöjden i de norra delarna utmed Storsjö Strand.

Tabell 3.2. visar de maximala våghöjderna vid respektive vindhastighet utmed Storsjö Strand. Även korresponderande vågperioder utmed profilen för återkomsttiderna 3 timmar per 1, 10 och 100 år redovisas. Vågperioderna är samma utmed hela profilen.

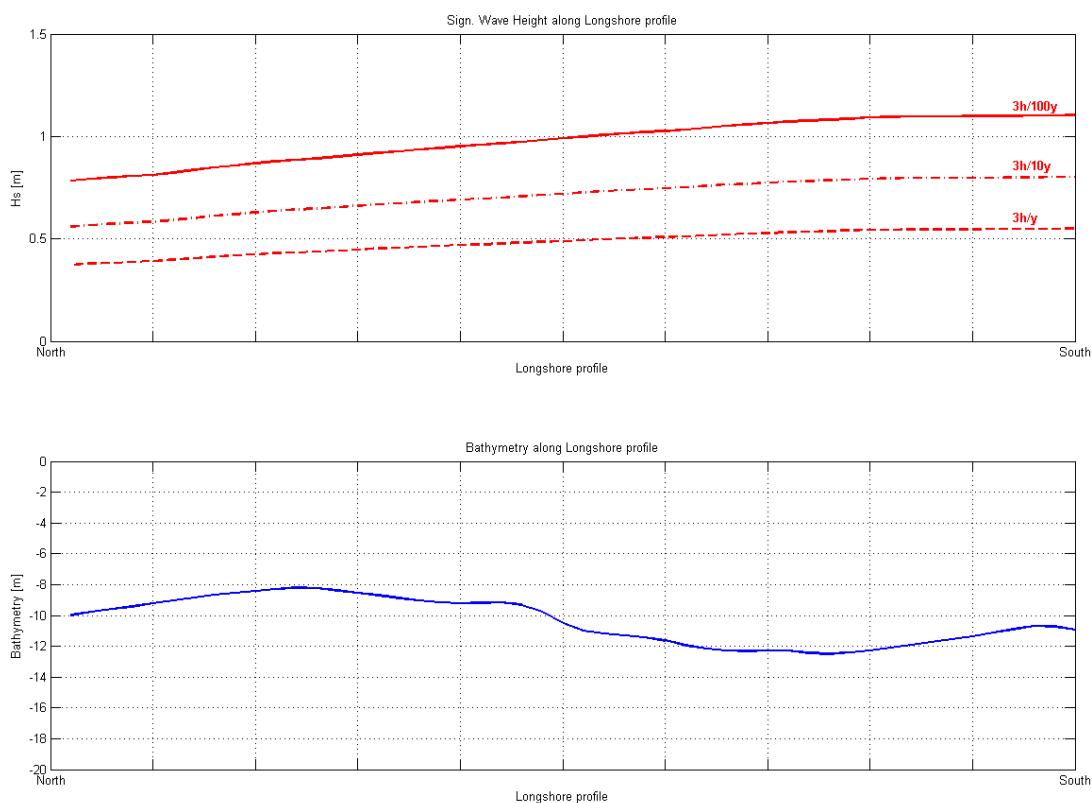


Fig 3.7. Förändring av våghöjden (överst) och vattendjupet (nederst) utmed profilen vinkelrät mot strandlinjen (norr är till vänster och söder är till höger i diagrammet).

Table 3.2. Maximal våghöjd med tillhörande längsta resp. medelvågperiod, utmed den kustparallella profilen utanför Storsjö Strand (10 m vattendjup) för valda återkomsttider. Vindhastigheter redovisas också.

| Återkomsttid              | 3 tim / 1 year | 3 tim / 10 år | 3 tim / 100 år |
|---------------------------|----------------|---------------|----------------|
| Vindhastighet             | 15.5 m/s       | 20.0 m/s      | 24.6 m/s       |
| Våghöjd                   | 0.55 m         | 0.80 m        | 1.10 m         |
| Spektraltopp-period $T_p$ | 2.7 s          | 3.1 s         | 3.4 s          |
| Medelvågperiod $T_{02}$   | 1.9 s          | 2.2 s         | 2.6 s          |



### **3.3 Dimensionerande vågförhållanden och kommentarer**

De modellerade våghöjderna är beräknade för vattendjupet 10 m. Vågors höjd avtar normalt när de rör sig in över grundare vatten och slutligen bryter p.g.a. ett för litet vattendjup. Befintlig strandlinje utmed Storsjö Strand lutar ned mot vattnet i rasvinkel och det blir djupt direkt under vattenytan. Det innebär att vågorna inte avtar i storlek, utan når strandlinjen med den maximala våghöjd de har ute i sjön.

De nivåer som diskuterats i planeringsskedet är + 294 m.ö.h., vilket motsvarar ett 100-årsflöde, samt nivån för beräknat högsta flöde (BHF), som angivits till + 295,7 m.ö.h.

Vågsimuleringarna har gett en maximal våghöjd på 1,10 m vid de förhållanden som studerats. Eftersom vågorna inte avtar i höjd när de närmar sig strandlinjen, bör **minst** 1,10 m adderas till den/de konstruktionen/-erna som ev. anläggs utmed Storsjö Strands vattenlinje för att stå emot vågpåverkan från Storsjön.

Alternativt kan markytan i hela området höjas, genom utläggning av lämpliga fyllnads-massor, för att erhålla en tillräckligt hög marknivå.

Om alternativet med höjd marknivå väljs, den normala dag- och ytvattenavrinningen hanteras i området genom att marklutningen dimensioneras så att vattenmassorna rinner utmed vissa stråk ned till Storsjön.

## **4 FELKÄLLOR**

Vid alla modelleringar och beräkningar skall resultaten beaktas med hänsyn till vilka indata och förutsättningar som förelåg vid det aktuella tillfället.

De ev. felkällor som skall beaktas här fallet är osäkerheten i uppmätta vinddata. DHI konstaterar att erhållen vinddata är den bästa som finns att tillgå.

Vidare har inga uppmätta våghöjder funnits att tillgå för att validera modellen på den aktuella platsen. Detta är viktigt att beakta vid ev. uppförande av skyddskonstruktioner, så att det finns marginaler avseende konstruktionernas höjd.



***Appendix A***  
***Introduction to MIKE 21 SW***