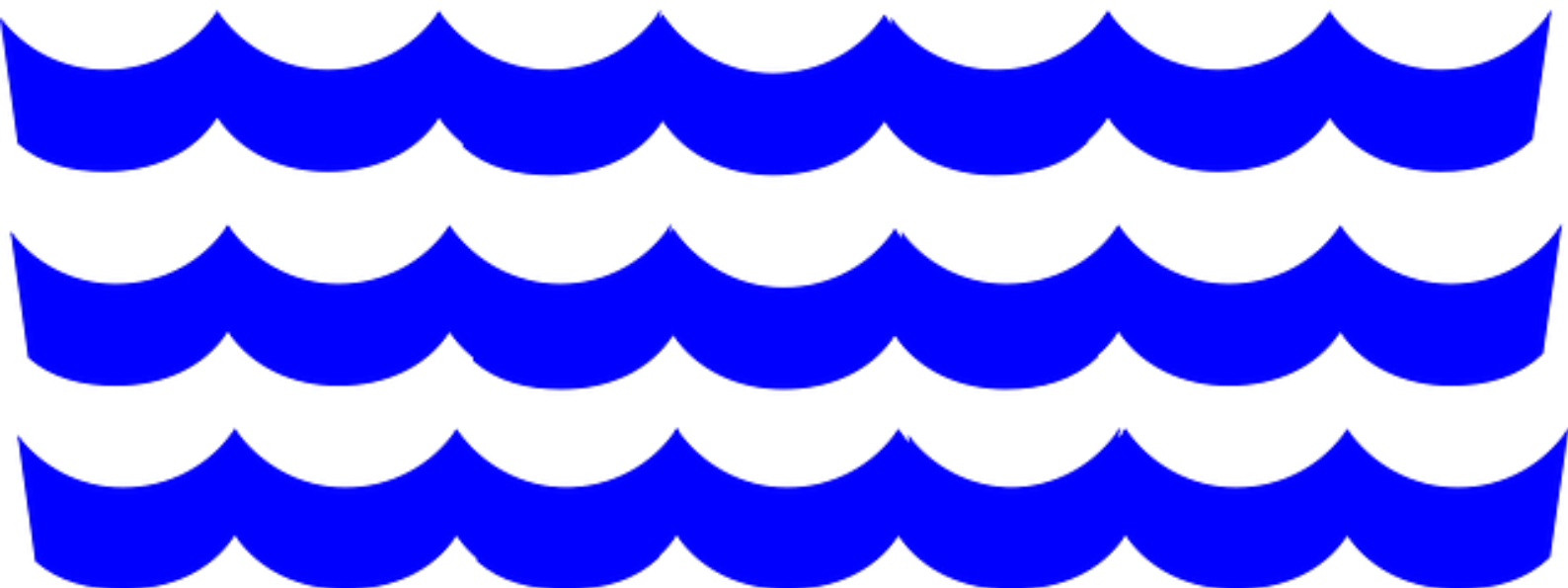


## 02.15.4 SMHI - Dimensionerande havsnivåer Luleå hamn Malmporten Luleå



Samfinansierat av EU

Transeuropeiska transportnätet (TEN-T)

Dokumenttitel: 02.15.4 SMHI, Dimensionerande havsnivåer Luleå hamn

Dokumentdatum: 2014-09-16

Version: 1

Organisation:

Upprättad av: Maria Andersson

Luleå hamn

Besöksadress: Strömörvägen 9, 974 37 Luleå, Tel: 0920-45 68 00, Fax: 0920-45 68 27

**Luleå Hamn AB**  
Strömörvägen 9  
974 37 Luleå

**Datum:** 2014-09-16  
**Vår referens:** 2013/555/9.5  
**Er referens:** Linda Wikmar

## **Dimensionerande havsnivåer Luleå hamn**

SMHI har tidigare på uppdrag av Reinertsen AB tagit fram dimensionerande havsnivåer Luleå södra hamn (SMHI Rapport Nr. 2013-28). Reinertsen AB har nu fått i uppdrag att upprätta ansökningshandling för planerade nya kajer åt Luleå Hamn AB. De nya kajlägena ligger ca 4 km längre ut mot havet jämfört med platsen för den tidigare studien. Det nya projektet heter Projekt Malmporten och avser delen Skvampens djuphamn och beställare är Luleå Hamn AB.

SMHI bedömer att uppgifterna om dimensionerande havsnivåer i Luleå södra hamn (SMHI Rapport Nr. 2013-28) är representativa för de nya kajlägena i Luleå hamn. Ytterligare ett års data av havsvattenståndsobservationer har tillkommit sedan den tidigare utredningen. Vid kontroll av dessa data fastställs att påverkan från dessa på det tidigare resultatet är liten. Hösten 2013 kom en ny rapport från FN:s klimatpanel, IPCC AR5, där en övre gräns på hur mycket det globala havsvattenståndet kan komma att stiga fram till 2100 är 0,98 m. I den tidigare utredningen antogs, utifrån det samlade kunskapsläget, att havet kan komma att stiga 1 m som en övre gräns fram till 2100. Ändrad påverkan i framtidens klimat från IPCC AR5 är alltså endast 2 cm, vilket bedöms vara försumbart i sammanhanget.

Med vänlig hälsning

Maria Andersson  
Oceanograf  
Affärsverksamheten Produktion Vatten

Direkttel: 031-795 8904  
Maria.Andersson@smhi.se

**SMHI – Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, 601 76 NORRKÖPING**

Besöksadress Folkborgsvägen 17 Tel 011-495 80 00 Fax 011-495 80 01

SMHI  
Anton Tamms väg 1 4 tr  
194 34 UPPLANDS VÄSBY

SMHI  
Sven Källfelts Gata 15  
426 71 VÄSTRA FRÖLUNDA

SMHI  
Hans Michelsensgatan 9  
211 20 MALMÖ

SMHI  
Universitetsallén 32  
851 71 SUNDSVALL

Författare:

Signild Nerheim

Granskningsdatum:

2013-05-03

Granskad av:

Sofia Åström

Dnr.:

2013/555/9.5

Datum:

2013-05-03

Rapport nummer

28

---

# Dimensionerande havsnivåer Luleå södra hamn

Signild Nerheim

## Uppdragsinformation

Uppdragstagare SMHI 601 76 Norrköping	Kontaktperson Maria Andersson 031-751 8904 maria.andersson@smhi.se
Uppdragsgivare Reinertsen Sverige AB Aurorum 2 977 75 Luleå	Kontaktperson Anders Nilsson 0706-395119 anders.nilsson@reinertsen.com
Distribution Reinertsen Sverige AB	
Klassificering ( ) Allmän (x) Affärssekretess	
Nyckelord	
Övrigt	

# 1 Sammanfattning

SMHI har på uppdrag av Reinertsen Sverige AB analyserat vattenståndsdata från Furuögrund, Luleå hamn – Larsgrundet och Kalix för att ta fram karaktäristiska havsvattenstånd och statistiska återkomsttider för Luleå hamn 2013 och 2100.

Vattenståndet i norra Bottenviken styrs till stor del av vindarna. Kraftiga sydliga vindar leder till höga vattenstånd, och kraftiga nordliga vindar leder till låga vattenstånd. Medelnivån i Östersjön och lufttryckseffekter påverkar också vattennivåerna. Vattenståndet är mer extremt ju längre norrut i bassängen man kommer, och i genomsnitt är årets högsta vattenstånd vid Kalix 18 cm högre än årets högsta vattenstånd i Furuögrund. Data från Sjöfartsverkets Va-station Larsgrundet visar att vattenståndet i Luleå hamn ligger mellan dessa två.

Karaktäristiska vattenstånd för Luleå södra hamn för dagens och framtidens klimat visas i Tabell 1 för 2013 och 2100 relativt medelvatten och i höjdsystemet RH2000.

Resultaten bygger på ett empiriskt antagande om hur vattenståndet i Luleå varierar i relation till närliggande mätstationer, och också på hur klimatförändringen kommer att påverka de globala havsnivåerna. För framtidens klimat har vi gjort ett antagande om att vindklimatet inte kommer att förändras, vilket innebär att extremnivåerna enbart påverkas av medelvattentytans höjning och inte av förändrad stormfrekvens.

*Tabell 1. Högsta högvatten, medel högvatten, lägsta årshögsta högvatten och motsvarande för låga vattenstånd för Luleå relativt medelvattenståndet och i höjdsystemet RH2000. DW står för differens mellan högsta högvatten och lägsta lågvatten.*

	2013		2100
	cm rel MW	cm rel RH2000	cm rel RH2000
<b>HHW</b>	165	174	187
<b>MHW</b>	104	113	126
<b>LHW</b>	37	46	60
<b>MW</b>	0	9	23
<b>HLW</b>	-24	-15	-2
<b>MLW</b>	-76	-67	-54
<b>LLW</b>	-128	-119	-106
<b>DW</b>	293	293	293

Tabell 2 visar återkomsttider för Luleå i RH2000 avrundade till närmsta 5 cm. HHW motsvarar 100 års återkomsttid.

*Tabell 2. Återkomsttider för Luleå 2013 och 2100. HHW på Luleå motsvarar 100 års återkomsttid.*

Återkomsttid	Luleå 2013 cm i RH2000	Luleå 2100 cm i RH2000
<b>50 år</b>	165	180
<b>100 år</b>	175	190
<b>200 år</b>	180	195

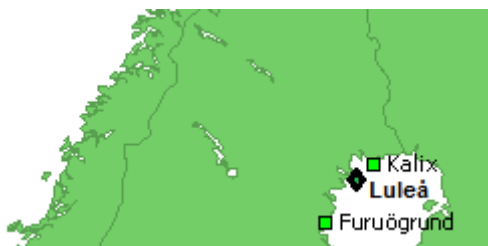
## 2 Bakgrund

Reinertsen Sverige AB önskar information om havsvattennivåer vid Luleå Södra hamn för projektering av utbyggnad av hamnen samt bebyggelse av nya bostäder. Informationen kan användas som dimensioneringsunderlag och kommer att innehålla information om höga havsvattenstånd i dagens och framtidens klimat.

## 3 Vattenstånd i norra Bottenviken

Norra Bottenvikens vattenstånd har stora variationer på grund av Bottenhavets utformning. Vid kraftiga sydvindar blir det höga vattennivåer, medan nordliga vindar ger lågt vattenstånd. Lufttrycket påverkar också vattenståndet, högt lufttryck ger lågt vattenstånd och tvärtom. I Bottenhavet finns ett annat fenomen, vattenpendling. Efter kraftiga vindar kan vattnet i Östersjön komma i svängning, liksom vattnet i ett badkar som skvalpar fram och tillbaka. De av vinden snedställda vattenytorna hålls inte längre kvar av vinden och vattenmassan söker återgå till horisontalläge. Vattnet skvalpar emellertid upp på motsatta kusten pga. sin rörelseenergi. Så kan svängningarna fortgå fram och tillbaka många gånger. En s.k. stående våg har bildats. Dessa minskar efterhand på grund av friktion. Amplituden i Kalix kan vara 50 cm. Vid stormperioder där fler lågtryck följer efter varandra kan vindens effekt på vattenståndet förstärkas av pågående vattenpendling.

SMHI har två pågående mätstationer nära Luleå, Kalix (1974-idag) och Furuögrund (1916-idag). Det finns också historiska data med sämre kvalitet från Luleå. Vi har fått tillstånd att använda Sjöfartsverkets data från vattenståndsmätaren i Luleå hamn för att kalibrera våra data för Luleå. Denna serie är dock för kort för att använda som underlag till statistiska beräkningar.



Figur 1. SMHIs mätstationer Kalix och Furuögrund i relation till Luleå.

### 3.1 Kvalitativ jämförelse mellan vattenstånd, vind och lufttryck

Det som skapar höga vattenstånd i norra Bottenviken är främst kraftiga sydliga vindar. Utgångsläget är också viktigt, och vid ihållande västvindperioder kan Östersjöns medelnivå höjas upp till flera dm över medelvattenståndet.

För att visa hur vattenståndet påverkas av vindar och lufttryck visas vattenstånd tillsammans med vindhastighet, vindriktning och lufttryck. Meteorologiska data har tagits fram för Luleå flygplats (lufttryck och vind) samt för Storön (vind, 1996-idag). Årets högsta vattenstånd 1984, 2004, 2006 och 2007 visas då dessa är representativa för olika processer.

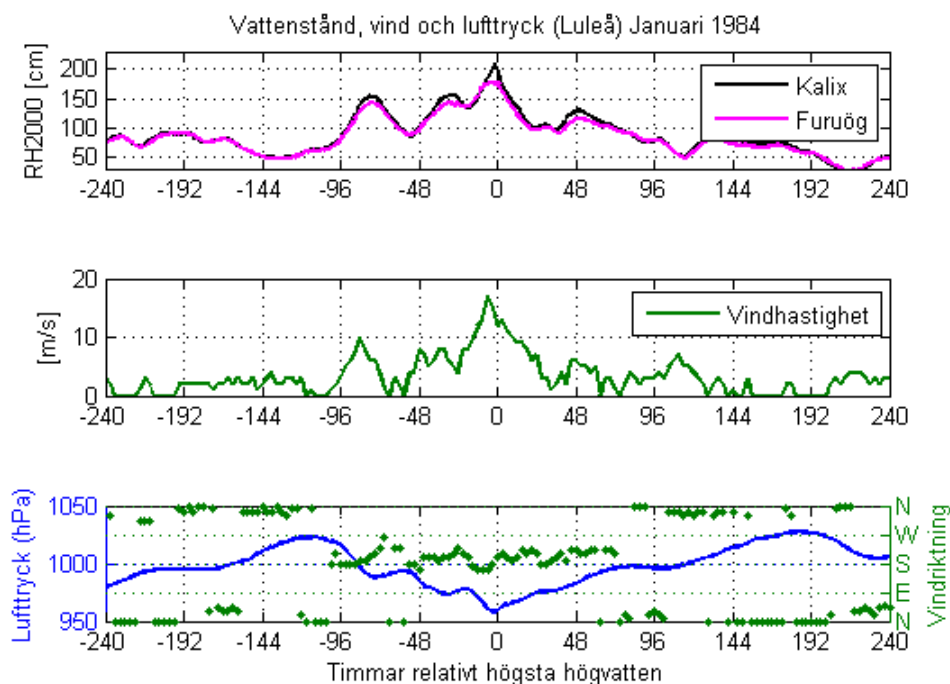
1984 (Figur 2) uppmättes högsta vattenstånd sedan mätningarna startade. 2004 uppmättes det sjätte årshögsta vattenståndet på Furuögrund sedan 1974, och fjärde högsta i Kalix (Figur 3). Båda visar en typisk skillnad mellan extremnivåerna från Furuögrund fram till Kalix, och visar på betydelsen av sydlig vind i kombination med lufttryck. Figur 4 och Figur 5 är båda hämtade från vintern 2006-2007 då ihållande västvindar ledde till ovanligt höga nivåer i hela Östersjön. Med ett högt utgångsläge krävs svagare vindar för att höja vattenytan till nivåer som är bekymmersamma på land.

## 3.2 Vindens och lufttryckets betydelse

Figur 2 visar vattenstånd, vindriktning och tryck vid Furuögrund, Kalix (vst) och Luleå lufthamn (vind och lufttryck) vid det högsta uppmätta vattenståndet sedan mätningarna startade (1916 för Furuögrunds del och 1974 för Kalix del). Kraftiga vindar från syd sammanfaller med det höga vattenståndet, medan lågt lufttryck bidrar ytterligare.

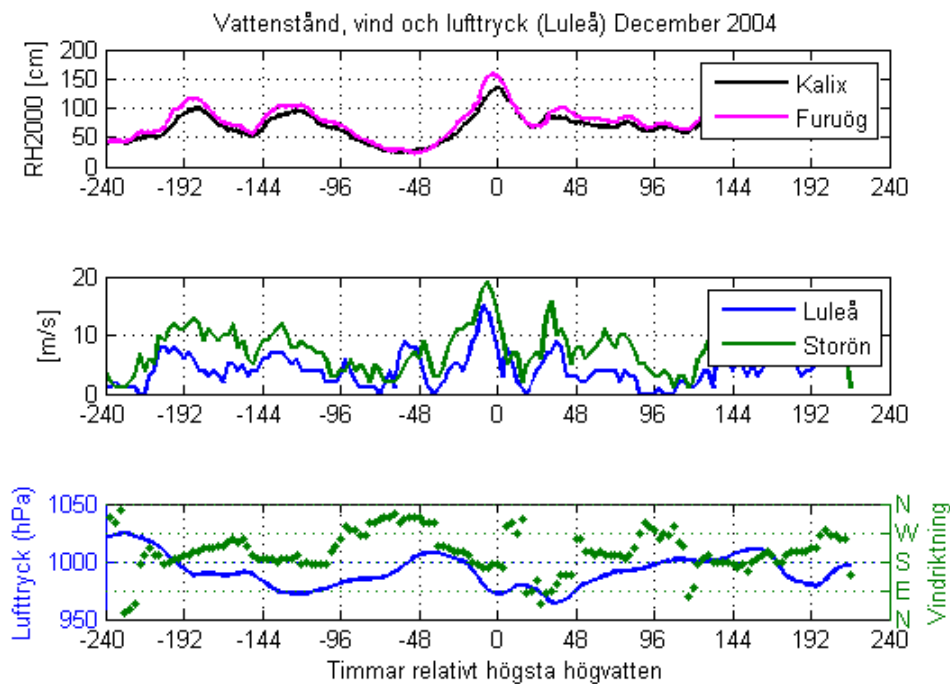
Figur 3 visar samma parametrar för högsta högvatten i december 2004. Även här bidrar lufttrycket till förhöjda vattenstånd när vindriktningen är sydlig. Figuren visar vindhastighet från Luleå och från Storön, och vindriktningen är hämtad från Storön. Vindriktningen är lik på de två mätplatserna, men vindhastigheterna är något lägre vid Luleå flygplats. Däremot finns ingen tryckgivare på Storön, så dessa data är från Luleå.

Vintern 2006 – 2007 var speciellt präglad av västvindar, vilket ledde till att Östersjöns medelvattenstånd steg till ca 4 dm över normalt under en längre period. Ett antal höga vattenstånd förekom i hela egentliga Östersjön och Bottenhavet eftersom det krävdes förhållandevis måttliga vindar för att höja nivån från det redan höga utgångsläget. Detta syns tydligt i Figur 4 (december 2006) och Figur 5 (januari 2007). Speciellt 2006 ser man knappt något samband mellan tryck och vattenstånd.

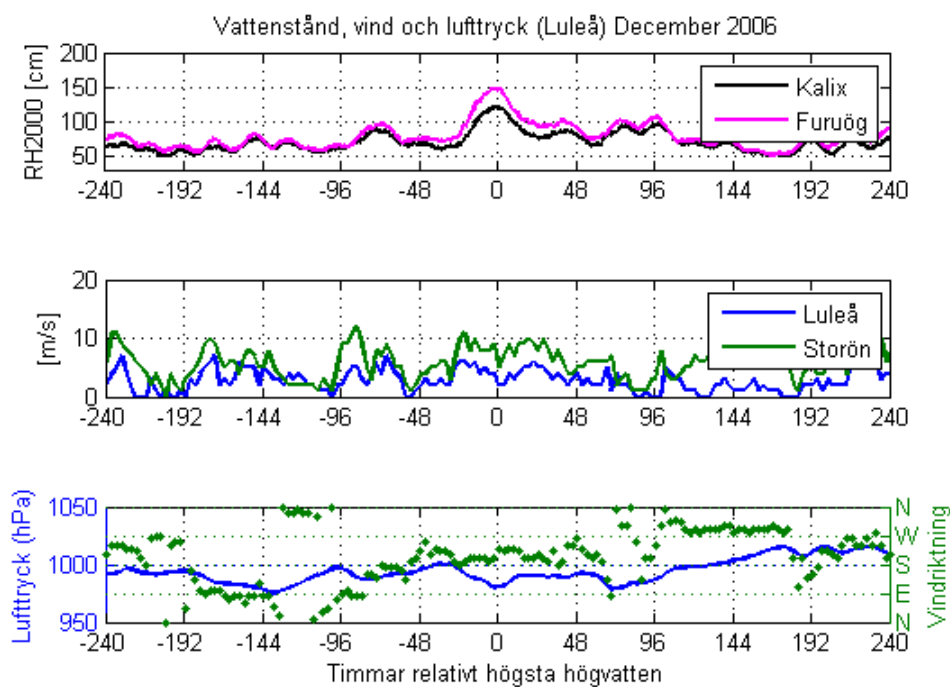


Figur 2. Vattenstånd vid Kalix och Furuögrund, och vind och lufttryck vid Luleå lufthamn 14 januari 1984. Tidsaxeln visar timmar relativt högsta högvatten vid Furuögrund. Övre panelen illustrerar att vattenståndet följs åt vid dom två orterna, men att skillnaden ökar för höga vattenstånd. Mittpanelen visar vindhastigheten. Maximala vindhastigheten inträffar lite innan maximala vattenståndet. Nedre panelen visar lufttryck och vindriktning. I detta fall är det ett lufttrycksminimum strax innan högsta vattenståndet, samtidigt som vindriktningen är sydlig under lång tid.

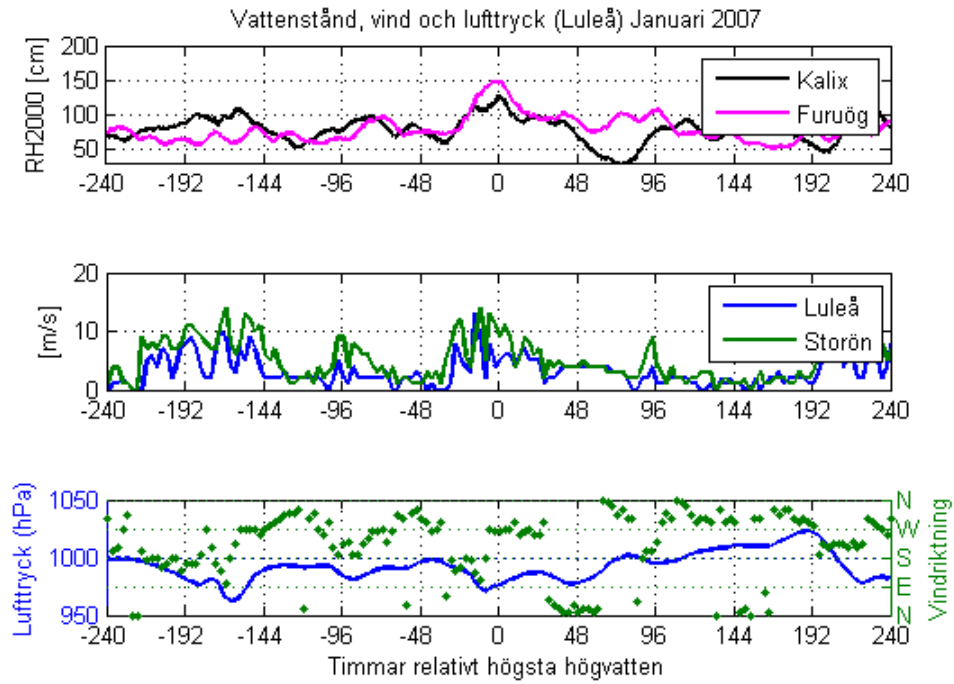




Figur 3. Vattenstånd vid Kalix och Furuögrund, och vind och lufttryck vid Luleå lufthamn och Storön 22 december 2004. Även här samverkar sydlig kraftig vind med sjunkande tryck vid vattenståndsmaximum.



Figur 4. Vattenstånd vid Kalix och Furuögrund, och vind och lufttryck vid Luleå lufthamn och Storön 11 december 2006. Här är de lokala vindarna måttliga, men ihållande på sydlig riktning när vattenståndsmaximum nås. Anledningen att vattenståndet blir så högt som det blir är att utgångsläget är förhöjt av en lång period med ihållande västvindar som fyller Östersjön.



Figur 5. Vattenstånd vid Kalix och Furuögrund, och vind och lufttryck vid Luleå lufthamn och Storön 16 januari 2007. Samma utgångsläge som i december 2006 påverkar vattenståndet som vid Kalix nuddar 1 meter vid ett flertal tillfällen.

## 4 Metodik

### 4.1 Kalibrering

Årets högsta vattenstånd från Kalix och Furuögrund har jämförts för åren 1975-2013. Data visar att de högsta vattenstånden i medel är 18 cm högre vid Kalix än vid Furuögrund, medan de lägsta vattenstånden i medel är 9 cm lägre vid Kalix än vid Furuögrund.

En jämförelse av data från Sjöfartsverkets mätningar i Luleå hamn med Kalix och Furuögrund visar att vattenståndet har en mycket stor grad av samvariation, men att de skiljer sig åt framförallt vid höga nivåer, med Luleås vattenstånd högre/lägre än Furuögrund, och Kalix ytterligare högre/lägre. En samlad bedömning pekar på att det är rimligt att ta fram karaktäristiska värden för Luleå genom att tillämpa en geografisk skalning av skillnaden mellan Furuögrund och Kalix.

Genom att tillämpa skalningen kan data från Furuögrund utnyttjas, vilket ger ett gott statistiskt underlag. Karakteristiska vattenstånd har tagits fram genom att tillämpa en enklare skalning, medan statistiska återkomsttider har beräknats genom att kombinera ett antal hypotetiska dataserier för årshögsta vattenstånd vid Luleå genom att tillämpa skalningsfaktorerna.

### 4.2 Säkerheten i statistiska analyser

Tillförlitligheten vid beräkning av statistiska återkomsttider är beroende på mätseriens längd och på dataunderlagets kvalitet. En tumregel som det dock ofta är svårt att leva upp till är att man i detta avseende skall vara försiktig med extrapolationer som är längre än den dubbla mätseriens längd. Detta återspeglas också av konfidensintervallet som blir mycket större för låga sannolikheter.

Återkomsttid som begrepp ger ofta anledning till är missvisande tolkningar. Innebörden av 100 års återkomsttid är att det föreligger en sannolikhet på 1/100 att händelsen överskrids varje enskilt år. Den ackumulerade sannolikheten under en längre tid för höga återkomsttider visas nedan (Tabell 3).

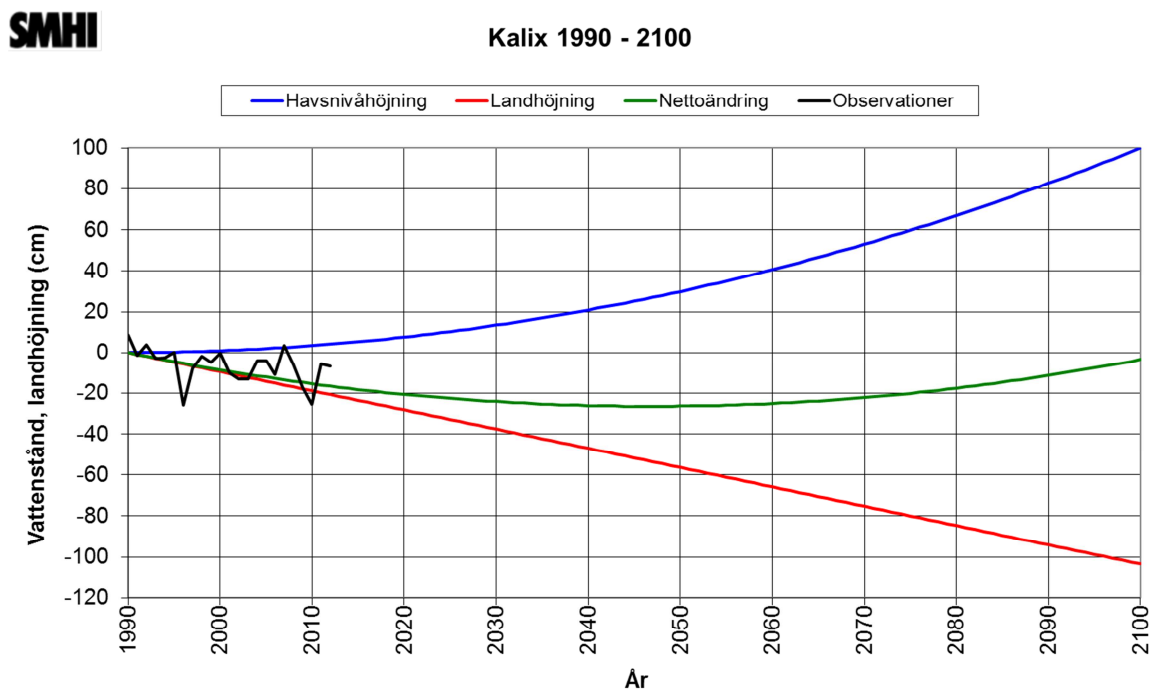
Tabell 3. Ackumulerad sannolikhet.

Återkomst-tid (år)	Sannolikhet under 10 år (%)	Sannolikhet under 20 år (%)	Sannolikhet under 50 år (%)	Sannolikhet under 100 år (%)
10	65	88	99	100
50	18	33	64	87
100	10	18	40	63

### 4.3 Klimatförändring

Den globala uppvärmningens effekter på havets nivå beror av många faktorer. De viktigaste är den termiska expansionen (havets utvidgning vid uppvärmning) samt bidrag från smältande glaciärer och de stora landisarna på Grönland och Antarktis. SMHI har gjort en utvärdering av det samlade kunskapsläget (Bergström, 2012). Den tyder på att det i många fall kan vara rimligt att anta att havet som mest kommer att stiga 1 meter från referensåret 1990 fram till 2100. För en bedömning av vilka nivåer man skall räkna med i det enskilda fallet krävs dock att man väger in konsekvenserna och att andra faktorer, såsom acceptabel risk, vilka värden som står på spel, det planerade objektets livslängd samt framtida möjligheter att anpassa sig till nya förutsättningar. Oftast redovisas bedömningar av havets nivå fram till år 2100, men havet kommer med stor sannolikhet att fortsätta att stiga under lång tid därefter.

Nettoeffekten av en tänkt utveckling för Kalix där globala havshöjningen är 30 cm fram till 2050 och 1 meter 2100 visas i Figur 6. Figuren bygger på antagandet att höjningen har formen av en parabel. Nettohöjningen vid Kalix blir då ca negativ jämfört med 1990, men av storleksordning 10 cm mellan 2013 och 2100. För Luleå har vi räknat med en absolut landhöjning på 0,95 cm/år.



Figur 6. Tänkt utveckling av medelvattenytan vid Kalix förutsatt att den globala havsytan höjs med 1 meter 1990-2100. Den röda linjen visar absoluta landhöjningen, den blå globala havshöjningen. Den gröna linjen visar nettoändringen, d.v.s. den upplevda förändringen relativt land. Märk att vattenytan sjunker fram till 2050-talet. Observerade vattenståndet (årliga genomsnittliga värdet) visas som svart linje.

## 5 Resultat

### 5.1 Karaktäristiska vattenstånd

Tabell 4 visar karaktäristiska vattenstånd för Luleå hamn för 2013. Värdena baseras på data från Furuögrund då detta är den längsta mätserien, men är korrigerade för att justera för att Luleå ligger norrut i bassängen och får högre nivåer.

HHW står för Högsta högvattenstånd (Högsta av årens högsta W), MHW är medelhögvattenstånd (Medel av årens högsta W), LHW är Lägsta högvattenstånd (Lägsta av årens högsta W), MW är Medelvattenstånd (=0) och motsvarande för lågvatten: HLW är Högsta lågvattenstånd (Högsta av årens lägsta W) och så vidare. DW är differens mellan högsta och lägsta vattenstånd och RH00, RH70 och RH2000 står för Rikets höjdsystem 1900, 1970 och 2000.

Tabell 4. Karaktäristiska vattenstånd 2013 för Luleå.

Havsvattenstånd (cm) 2013					
<b>Station:</b>	<b>Luleå bestämt med hjälp av Furuögrund, Kalix, Luleå (SMHI, nedlagd) och SjöV Luleå Larsgrundet</b>				
<b>Period:</b>	<b>1916 - 2012</b>				
	<b>rel MW</b>	<b>RH00</b>	<b>RH70</b>	<b>RH2000</b>	<b>Tidpunkt</b>
<b>HHW</b>	165	71	150	174	14 jan 1984
<b>MHW</b>	104	10	89	113	
<b>LHW</b>	37	-57	22	46	
<b>MW</b>	0	-94	-15	9	
<b>HLW</b>	-24	-118	-39	-15	
<b>MLW</b>	-76	-170	-91	-67	
<b>LLW</b>	-128	-222	-143	-119	26 feb 1971
<b>DW</b>	293	293	293	293	
Landhöjningskoefficient*: 0,80 cm/år					
* Apparent landhöjning (absolut landhöjning - havsnivåhöjning)					

Tabell 5 visar en justerad tabell för förhållandena 2100 förutsatt en global havshöjning om + 1 m. Vi har räknat med en landhöjning på 0,95 cm/år (den absoluta landhöjningen vid Kalix är 0,94 cm/år, vid Furuögrund är den 1,00 cm/år). Vi har även antagit att stormklimatet är konstant, med andra ord är det en linjär justering utifrån dagens förhållanden.

Tabell 5. Karaktäristiska vattenstånd 2100 förutsatt samma stormklimat som idag samt en global havshöjning om 1 meter mellan 1990 och 2100. Vi har räknat med en absolut landhöjning på 0,95 cm/år för Luleå.

Havsvattenstånd (cm) 2100				
<b>Station:</b>	<b>Luleå bestämt med hjälp av Furuögrund, Kalix, Luleå (SMHI, nedlagd) och SjöV Luleå Larsgrundet</b>			
<b>Baserar sig på:</b>	<b>Data 1916 – 2012, global havshöjning 1990-2100 på 1 m, landhöjning 0,95 cm/år</b>			
	<b>rel MW</b>	<b>RH00</b>	<b>RH70</b>	<b>RH2000</b>
<b>HHW</b>	165	84	163	187
<b>MHW</b>	104	23	102	126
<b>LHW</b>	37	-43	36	60
<b>MW</b>	0	-81	-2	23
<b>HLW</b>	-24	-105	-26	-2
<b>MLW</b>	-76	-157	-78	-54
<b>LLW</b>	-128	-209	-130	-106
<b>DW</b>	293	293	293	293

## 5.2 Statistiska återkomsttider

97 års data från Furuögrund har analyserats med avseende på statistisk återkomsttid. Metoden som används heter GEV, och bygger på att anpassa en kurva till datamaterialet med en s.k. maximum likelihood-metod. Ett 95%-igt konfidensintervall konstruerades omkring den beräknade återkomsttiden. Kalibreringskoefficienterna framtagna i den kvalitativa analysen har använts för att ta fram ett resultat som gäller för Luleå.

Tabell 6 visar återkomsttider beräknade för Furuögrund och Luleå. Furuögrund baserar sig på 97 årsmax, och där är även 95%iga konfidensintervallet beräknat. För Luleå generades syntetiska årsmaxserier utifrån den geografiska kalibreringen, och resultatet är ett medelvärde av ett antal syntetiska årsmax-serier. 100 års återkomsttid i dagens klimat motsvarar HHW (se

Tabell 5).

Tabell 6. Återkomsttider beräknade för Furuögrund (97 års data) och en årsmax-serie för Luleå skapad av en kalibrerad version av Furuögrund för 2013 och 2100. Värdena anges i RH2000, och är avrundade till närmsta 5 cm. För Furuögrund visar det 95%iga konfidensintervallet. För Luleå innebär kalibreringen att det inte är rimligt att ta fram konfidensintervallet.

Återkomsttid	FG cm i RH2000	Luleå 2013 cm i RH2000	Luleå 2100 cm i RH2000
<b>50 år</b>	145	165	180
	135-160		
<b>100 år</b>	150	175	190
	140-175		
<b>200 år</b>	155	180	195
	145-185		

## 6 Diskussion och slutsatser

Extrema vattenstånd i Luleå förekommer vid kraftig sydlig vind (höga vattenstånd) eller kraftig nordlig vind (låga vattenstånd). I stort följer vattenståndet i Luleå hamn vattenståndet i Furuögrund och Kalix med extremnivåer ungefär mitt emellan SMHI:s två mätstationer. Det innebär att Luleå hamn kan ha stor nytta av prognoser från såväl Furuögrund som Kalix.

I framtiden förväntas globala vattenståndet att stiga i allt snabbare takt. För Luleås del kommer landhöjningen att motverka detta i flera årtionden framöver, men vid seklets slut har vattennivåerna höjts märkbart även i Luleå.

För den havsvattenståndshöjning som antagits här kommer vattenstånd som idag har 200 års återkomsttid att 2100 ha en återkomsttid på 50 år. De extrema låga vattenstånden kommer att höjas motsvarande, och de vattenstånden som är ovanligt låga idag kommer i framtiden att vara än mer ovanliga.