



Myndigheten för  
samhällsskydd  
och beredskap



**NATIONELL  
PLATTFORM**  
för arbete med naturolyckor

# Ny Nationell Höjdmmodell vid havsnivåhöjningar

**Analyser av översvämningsrisk och bedömning  
av erosionskänslighet i strandzonen**





# **Ny Nationell Höjdmodell vid havsnivåhöjningar**

**Analys av översvämningsrisk och  
bedömning av erosionskänslighet i strandzonen**

Ny Nationell Höjdmodell vid havsnivåhöjningar  
-Analyser av översvämningsrisk och bedömning av erosionskänslighet i strandzonen

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

Konsulter: Sara Wiman, Michael Ledwith, Greger Lindeberg (Metria AB)

Kontaktperson: Åke Svensson

Foto omslag: Åke Svensson  
Layout: Advant Produktionsbyrå AB  
Tryckeri: DanagårdLiTHO

Publ.nr: MSB361 - april 2012  
ISBN: 978-91-7383-203-8

## Förord

Denna studie har finansierats genom Anslaget för Krisberedskap, 2:4. Myndigheter som deltagit är Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB), Lantmäteriet (LM), Statens Geotekniska Institut (SGI), Sveriges Geologiska Undersökning (SGU), Trafikverket, Sveriges Kommuner och Landsting (SKL) och Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI).

Det finns ett stort intresse för hur NNH – Ny Nationell Höjdmodell - kan utnyttjas vid arbete med erosions- och översvänningsfrågor kustområden. NNH är resultatet av en landsomfattande scanning som påbörjades av Lantmäteriet 2009 och ska pågå under flera år. Målgruppen är bred vilket speglas av flera myndigheters engagemang och intresse av projektet. Detta projekt är en fortsättning och fördjupning av projektet ”NNH och havsnivåhöjningar, Fas1” vilket finansierades av Lantmäteriet och MSB. Resultaten (Metria 2011, Jämförande studie av Nya Nationella Höjddatabasen och GSD-höjddata för utbredning av havsnivåer.) från detta projekt inkluderas även i denna rapport.

Projektidén, inkluderande både Fas 1 och Fas 2, har varit att testa och utvärdera Ny Nationell Höjdmodell (NNH) för användning vid analys av effekter vid förväntad havsnivåhöjning. Fas 1 har innefattat att utvärdera NNH i förhållande till alternativa höjdmodeller, i detta fall GSD Höjddata, Lantmäteriets befintliga 50 m höjdgrid. Fas 2, belyser konsekvenserna av en förhöjd havsnivå med NNH som en av flera indatakällor

Studien har genomförts i tre studieområden där NNH-data finns tillgängliga. Dessa områden karakteriseras av att de ligger i låglänta kustområden av varierande karaktär som riskerar översvämning vid höga vattenstånd.

Studien kan komma att ligga till grund för kommande metodutvecklingsprojekt inom ramen för samverkan inom den nationella plattformen för arbete med naturolyckor. Anknytning finns till ett annat pågående projekt där NNH använts; ”NNH för identifiering av vägbankar och järnvägsbanvallar”. Anknytning finns också till en studie som utfördes inom ramen för Klimat- och Sårbarhetsutredningen, beskriven i bilaga B14 till ”Sverige inför klimatförändringarna”, SOU 2007:60.

Projektdeltagare i arbetsgruppen har varit Lars Andersson (Statens Geotekniska Institut SGI) och Kristian Schoning (Sveriges Geologiska Undersökning) och från Metria deltog Sara Wiman, Michael Ledwith och Greger Lindeberg.

I styrgruppen har ingått Barbro Näslund-Landenmark (MSB), Stigbjörn Olovsson (LM), Håkan Nordlander (Trafikverket), Bengt Rydell (SGI) och Emilie Gullberg (Sveriges Kommuner och Landsting) Anna Hedenström (SGU) och Carin Nilsson (SMHI).

# Abstract

## Abstract

Seas and sea levels are constantly changing - along with tides and the weather. During the last century, global sea levels have risen and the rate of increase is accelerating. In Scandinavia, the rise of sea levels has been countered somewhat via the isostatic adjustment upwards of the land mass since the last glacial period. However, along the coast of Sweden, the sea level is also very much affected by atmospheric effects from the North and Baltic Seas. In other words, strong winds can cause sea levels to rise and fall (due to counter effects on the Finnish coast) along the shorelines.

Presently, more than half of Sweden has been scanned by LIDAR. This data forms the base of the updated digital elevation model covering Sweden – New National Elevation Model (NNH). This information has many uses within a wide variety of fields, including planning for the public sector, civil contingencies and as support material for risk management preparation and planning.

The aim of this study is to determine how elevation data from NNH can improve the support material for determining the effects of rising sea levels on coastal zones and for damage assessment. In addition, qualitative and quantitative comparisons between NNH and other elevation models with lower precision were conducted. The focus is on three key issues:

1. What are the differences between NNH and the current GRID 50+ digital elevation model (by the National Land Survey of Sweden)?
2. By how much do the results of sea level rise analyses vary (e.g. in area affected and magnitude) depending the different elevation models used as input?
3. How can NNH be used to better determine the sensitivity of coastal zones to rising sea levels?

The precision of NNH allows for realistic estimates of which areas will be flooded based on sea level rise scenarios. Utilizing ancillary data, such as the National Land Survey's Real Property Register, gives the possibility of determining, at a relatively detailed level, which properties will be affected by a specific rise in sea levels.

Additionally, this study shows the potential for NNH information to more accurately determine which coastal areas are likely threatened by erosion. For example, NNH data has been combined with cartographic data from the Geological Survey of Sweden (SGU) and the Swedish Geotechnical Institute (SGI) to highlight the problems associated with erosion, landslides and rockfalls within the coastal zone.

The successful result of this study indicates that there is a wide variety of potential uses of NNH data, with respect to coastal zones and rising sea levels, using existing analysis techniques. In addition, the potential for further development of new analytical methods and techniques utilizing NNH data is great.

# Sammanfattning



## Sammanfattning

I dagsläget är mer än halva Sverige laserskannat. Denna nya information har en rad användningsområden inom samhällsplanering, samhällskydd och som underlag för beredskapsplanering. Syftet med denna studie har varit att undersöka hur höjddata från NNH kan förbättra underlag för bedömningen av skador och påverkan i kustzonen till följd av förhöjda havsnivåer. I studien redovisas också exempel på jämförelser med andra höjdmodeller med lägre precision. Denna studie behandlar tre olika huvudfrågor;

- Vilka skillnader finns mellan NNH och lantmäteriets höjdmodell GRID 50+?
- Hur stora areella skillnader ger analyser av förhöjd havsnivå med de olika höjdmodellerna?
- Hur kan man använda NNH för att bättre kunna bedöma strandzonens känslighet vid en havsnivåhöjning?

Precisionen i NNH ger möjligheter till realistiska bedömningar av hur stora områden som översvämmas vid en havsnivåhöjning. Analyser kopplade till Lantmäteriets byggnadsregister ger möjligheter att på en relativt detaljerad nivå dra slutsatser om vilka byggnader som kan komma att drabbas vid höjda havsnivåer.

Vidare visar denna studie på potentialen att använda NNH för att göra bättre bedömningar av vilka områden som är känsliga ur stranderosionssynpunkt. NNH – materialet har kombinerats med översiktliga data från SGU och SGI för att ge två olika exempel på analyser och kartframställningar som belyser problemen med erosion, ras och skred i strandzonen.



# Innehåll

<b>Förord</b> .....	<b>3</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>5</b>
<b>Sammanfattning</b> .....	<b>7</b>
<b>Indata och studieområden</b> .....	<b>13</b>
Indata .....	13
Studieområden .....	13
NNH .....	15
<i>Noggrannhet</i> .....	15
<i>Klassning av laserpunkter</i> .....	17
GSD-Höjddata 50+ .....	17
Vattenstånd och landhöjning .....	17
<i>Prognoser för framtida havsnivåer</i> .....	17
<i>Vattenstånd med 50 och 100 års återkomsttid</i> .....	18
<i>Landhöjning till 2100</i> .....	19
<i>Val av underlag vid jämförelseanalyser</i> .....	19
Kartdata .....	19
<i>Fastighetskartan</i> .....	19
<i>GSD Terrängkartan</i> .....	19
<i>Byggnadsregistret</i> .....	19
<i>Marktäckedata</i> .....	20
<i>Kartor med förutsättningar för stranderosion</i> .....	20
<i>Jordartskarta från SGU</i> .....	20
<b>Metodik</b> .....	<b>23</b>
Preparering av indata .....	23
<i>GSD-Höjddata 50+</i> .....	23
<i>NNH grid 2+</i> .....	24
<i>NNH punktmoln</i> .....	24
<i>Att skapa höjdmodeller ur punktmolnet med ArcGIS – Teknisk handledning</i> .....	24
Areell analys av höjda havsnivåer .....	27
<i>Översvämmade områden i studieområden</i> .....	27
<i>Analys av påverkan på olika markslag</i> – <i>jämförelse med Klimat- och Sårbarhetsutredningen, bilaga 14</i> .....	27
Analys av kusterosion vid stigande havsnivåer .....	27
<i>Erosionsområden analyserade i Klimat och sårbarhetsutredningen</i> .....	27
<i>Modellstudie A: Områden med förutsättningar för erosion vid</i> <i>användning av NNH-underlag</i> .....	27
<i>Modellstudie B: Analys av förutsättningar för erosion med hjälp av digital</i> <i>jordartsinformation och NNH</i> .....	28
Jordartskartan och NNH .....	30
<b>Resultat</b> .....	<b>33</b>



GSD-Höjddata grid 50+ vs NNH grid 2+ .....	33
<i>Luleå – analys av höjda havsnivåer</i> .....	36
<i>Malmö – analys av höjda havsnivåer</i> .....	38
Areell analys av höjda havsnivåer .....	41
<i>Förbättrad geografisk information med NNH vid sårbarhetsanalys för erosion och översvämning av strandområden</i> .....	41
<i>Ökad precision och tydligare redovisning vid användning av NNH-data jämfört med Terrängkarta 2006</i> .....	41
<i>GIS-analys kommunvis med redovisning av markslagsklasser för bebyggelseområden i strandnära lägen – Exempel från studieområdena</i> .....	41
<i>GIS-analys med byggnadsregistret– Exempel från kommuner i studieområdena</i> ...	47
Analys av kusterosion vid stigande havsnivåer .....	48
<i>Modell A: Exempel från delområden</i> .....	48
Erosionskänsliga jordarter och lutning .....	53
Jordartskartan och NNH .....	60
<b>Diskussion och slutsatser .....</b>	<b>63</b>
<b>BILAGA 1 – 50- och 100 årsvattenstånd från SMHI .....</b>	<b>65</b>
<b>BILAGA 2 – Klimatmodeller och framtida havsnivåer.....</b>	<b>69</b>
<b>BILAGA 3 – Status - laserskanning och NNH.....</b>	<b>71</b>

# **Indata och studieområden**

# Indata och studieområden

## Indata

- NNH 2 m raster (grid 2+) och klassat punktmoln
- GSD-Höjddata 50 m grid (grid 50+)
- Havsvattenstånd; havets medelvattenstånd för år 2010 respektive beräknat 100-årsvattenstånd (50-års inom vissa delar) i studieområdena.
- Jordartsinformation från SGU
- Erosionskänsliga kustområden (SGI)
- Markslagsinformation och byggnadsregister från Lantmäteriet

## Studieområden

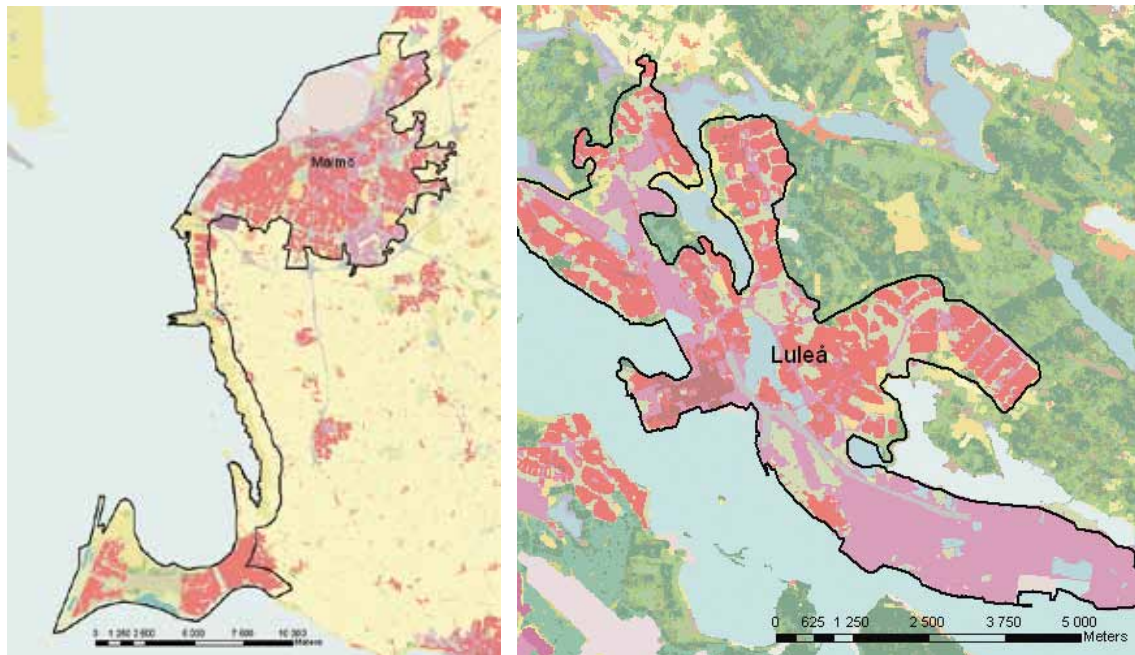
Tre studieområden valdes utifrån följande förutsättningar; att NNH-data fanns tillgängligt för leverans i låglänta kustområden av varierande karaktär vilka kan hotas av översvämning vid höga vattenstånd. En översiktlig analys av höjder i tätbebyggda områden där NNH-data fanns tillgängligt pekade ut några lämpliga områden ur vilka Luleå och Malmö först valdes. Området runt Luleå (Figur 1) är förhållandevis litet och omfattar i stort sett tätorten. Till Malmö adderades även området Skanör-Falsterbo i Vellinge kommun, för att studera hela kuststräckan mellan Malmö och Skanör (Figur 1). Studieområdet Malmö-Skanör omfattar en areal om 152 km<sup>2</sup> och i Luleå ca 36 km<sup>2</sup>.

Studieområde Varberg omfattar kuststräckan från Ringhals i norr till kuststräckan söder om Träslövsläge och har en area av 177 km<sup>2</sup> (Figur 2).

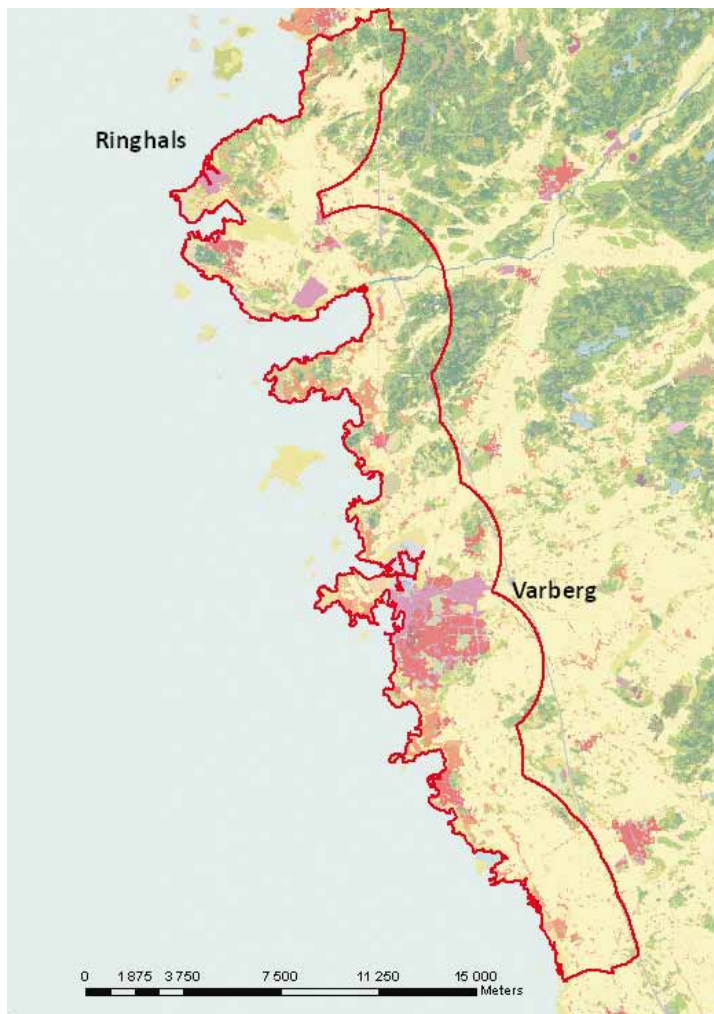
Södra delen av Varbergsområdet hör till Hallands kustslätt. Jordarterna utgörs i huvudsak av sand och morän. Jordmäktigheterna är i huvudsak inte mer än några meter och längre norrut övergår kusten i mer bergiga partier utan eller med mycket litet jordtäckte.

I Malmö-Vellinge är jordmäktigheterna i allmänhet stora. I den sydligaste delen av studieområdet utgörs jordarterna av sand för att längre norrut i huvudsak utgörs av leror och moräner.

Studieområdet i Luleå är litet men jordartsammansättningen är typisk för områdets landhöjningskust. Med morän och finkorniga sediment i de lägre partierna i terrängen och i huvudsak morän och kalt berg i de högre partierna. Vid älvmynningen har en sanddeltaformation bildats och av landhöjning utsatts för erosion som bl.a. berör Kallaxhalvön och Sandön.



Figur 1. Studieområdena Malmö-Skanör och Luleå. Arealer 152 km<sup>2</sup> respektive 36 km<sup>2</sup>



Figur 2. Studieområde Varberg. Areal 177 km<sup>2</sup>.



## NNH

Produkterna inom NNH utgörs av:

- punktmoln med XYZ för varje mätt laserpunkt
- grid med 2 m upplösning interpolerat från markpunkter i punktmolnet<sup>1</sup>.

Till detta levereras metadata som redovisar tillkomst- och bearbetningshistorik.

Målsättningen är att med högupplöst laserdata som grund skapa en rikstäckande höjdmmodell. Planerad tid för genomförande är ca 6 år med fokus på skanning de fyra första åren (2009-2012). Framväxten av höjdmmodellen redovisas på Lantmäteriets hemsida. Se [www.geolex.lm.se](http://www.geolex.lm.se) under Geografiska databaser/Höjd-information/Ny nationell höjdmmodell.

Leverans av NNH-data 2 m-grid från Lantmäteriet utgörs av rar-komprimerade ascii-filer, 2,5x2,5 km, med 2 m upplösning. NNH punktmoln levereras i LAS-format, ett binärt sekvensiellt format, vilken är den de facto standard som gäller för laserdata. Även dessa ligger i 2,5 km-rutor. Till projektet levererades sammanlagt 75 rutor över studieområdena Malmö-Skanör och Luleå.

I studieområde Varberg levererades endast NNH punktmoln i LAS – format.

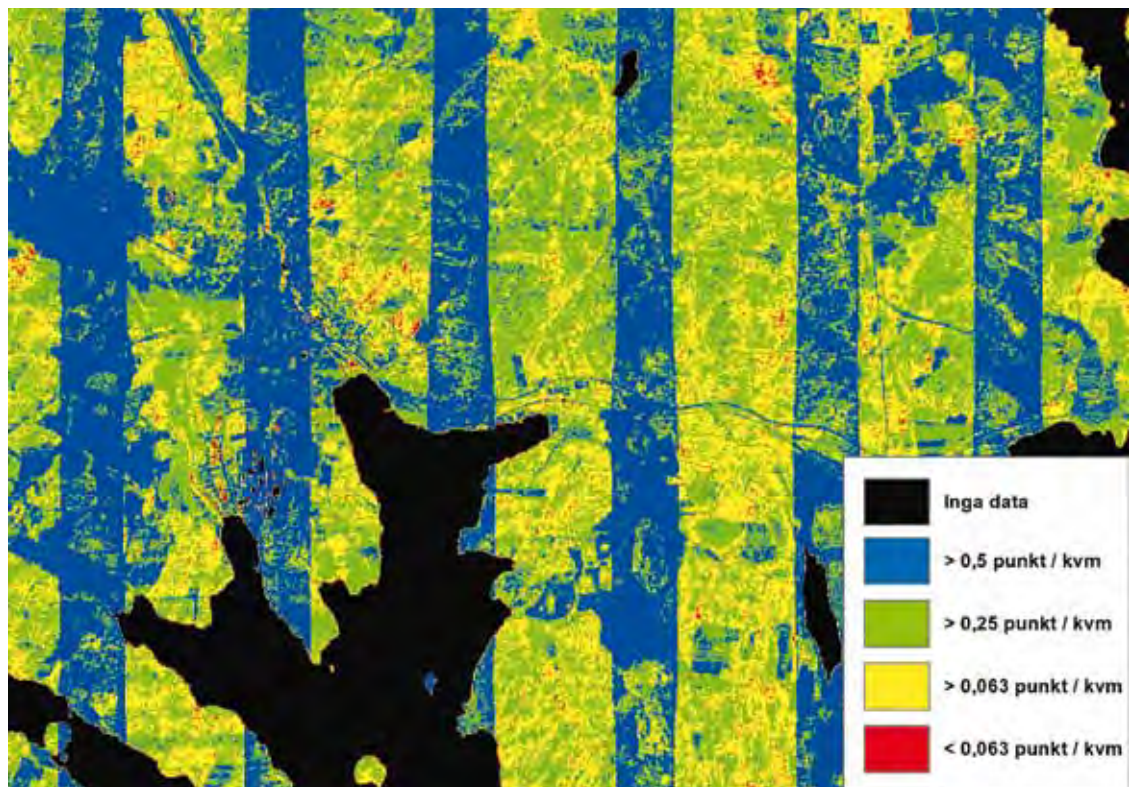
### Noggrannhet

Noggrannheten i höjd hos enskilda laserpunkter är normalt bättre än 0,1 m på plana hårdgjorda ytor (kravet är bättre än 0,2 m). Lokalt kan noggrannheten bli betydligt sämre, till exempel i områden med starkt sluttande terräng eller svårdefinierad marknivå. I områden med tät skog blir dessutom punkttätheten på mark lägre, vilket gör att små terrängformationer kan gå förlorade.

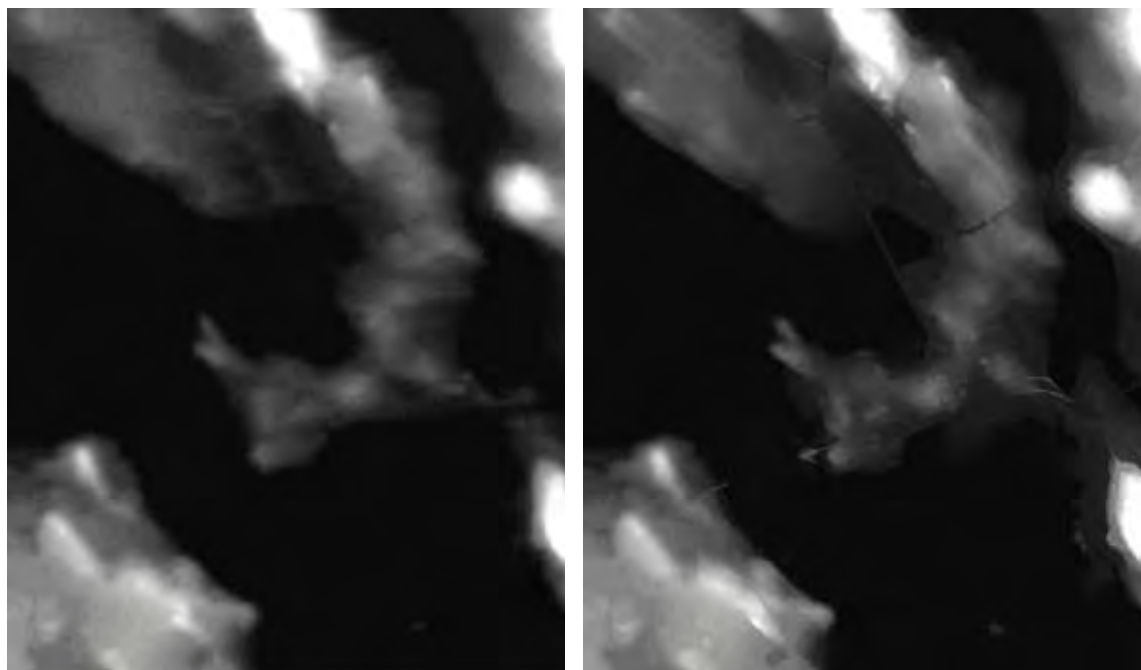
Noggrannheten hos enskilda laserpunkter är normalt sämre i plan än i höjd. Fotavtrycket eller träffytan på marken är mellan 0,5 – 1 m<sup>2</sup>. Kravet på noggrannheten i plan är att felet ska vara mindre än 0,6 meter. I normalfallet är felet mindre än 0,3 m. I någorlunda plan terräng är detta inget problem, men i starkt sluttande terräng inverkar detta på noggrannheten i höjd, som därför försämras när lutningen ökar.

NNH grid 2+ håller en noggrannhet på 0,5 m i höjd. När höjdmodellen ska representeras som ett regelbundet grid görs samtidigt en generalisering, som medför att områden med hög punkttäthet och väldigt låg punkttäthet redovisas på samma sätt. För att tydliggöra var de interpolerade gridpunkterna kan ha en lägre noggrannhet, p.g.a. låg punkttäthet i det ursprungliga lasermolnet, bifogas en bild för varje bearbetningsruta, som redovisar punkttätheten i olika områden (Figur 3).

1. Lantmäteriet, 2010: Produktbeskrivning GSD-Höjddata, grid 2+



Figur 3. Punkttäthet i lasermolnet redovisas i en färgskala, vilket levereras tillsammans med NNH-produkterna. "Inga data" kan referera antingen till att inga laserreturer registreras eller att data maskats bort, t.ex. i vattenområden.



Figur 4. Exempel på DEM:er från två olika källor i Luleå; GSD grid 50+ till vänster och NNH grid 2+ till höger.

### Klassning av laserpunkter

Den laserskannade punktinformationen klassas i tre klasser; punkter på mark, punkter på vatten och oklassificerade punkter. Detta sker genom en automatisk procedur där laserpunkternas inbördes läge och fastighetskartans vattenmask används. För att inte större byggnader ska klassas som mark används även fastighetskartans byggnader. Detta är dock en generell bearbetning som innebär att en mindre mängd punkter sannolikt kommer att tillhöra fel klass. För att tillverka noggranna modeller i t.ex. bebyggd miljö kan manuell bearbetning behövas.

### GSD-Höjddata 50+

GSD-Höjddata 50+ är Lantmäteriets gamla nationellt täckande höjdmodell där höjdvärden anges i meter med punkter i ett rutnät med 50-meters sida<sup>2</sup>. Höjdvärdena lagras i databaser som vardera omfattar en ruta om 5x5 km. En noggrannhet om högst 2,5 meter geometriskt medelfel i höjd eftersträvas. Noggrannheten i plan definieras av rutnätet. GSD-höjddata, grid 50+ omfattar Sveriges landområden och sjöar samt havsområdet närmast kusten.

I havsområden, där det är stor andel vatten, är små öar inte representerade. En översyn av databasen slutfördes i början av 1993. Man kontrollerade och dokumenterade fel i baserna, konnekterade kanterna mellan olika höjdbaser och korrigerade påträffade (främst grova) fel. Därefter har revidering gjorts enbart om grövre fel påträffas. Senaste revideringen gjordes 2004.

### Vattenstånd och landhöjning

I denna rapport har vi använt oss av scenarioanalyser snarare än rena forskningsresultat om framtida vattenstånd. Inriktningen är att beskriva möjligheter till förbättrade analyser med de nya underlagsdata som tillkommit genom NNH.

#### Prognoser för framtida havsnivåer

Val av framtida havsnivåer vid svenska kuster vatten baseras på resultaten från IPCC:s senaste rapport, den holländska Deltakommitténs utredningar och beräkningar från Rossby Centre på SMHI. Dessutom ska hänsyn till landhöjningen som varierar längs Sveriges kuster tas med.

Forskningsområdet är prioriterat och intensiva projekt pågår bl.a. på SMHI och där resultat successivt kommer fram. Därför väljer vi att redovisa ytterligare bakgrundstexter i en rapportbilaga (Bilaga 2).

För detta projekt är det lämpligt att välja några slag av vattenståndsuppgifter som illustrerar hur användning av olika kartunderlag kan förbättras. Absolutvärden ska då inte åberopas för vidare användning utan där hänvisas till SMHI. Nya och mer omfattande underlag kommer som ger prognosunderlag för analyser både regionalt och nationellt.

---

2. Lantmäteriet, 2010: Produktbeskrivning GSD-Höjddata, grid 50+

### Vattenstånd med 50 och 100 års återkomsttid

SMHI har beräknat 100- respektive 50-års högsta vattenstånd för några mätstationer i närheten av studieområdena. Beräkningarna baseras på årshögsta vattenstånd. Beräkningarna baseras på historiska data och ingen hänsyn har tagits till eventuella klimateffekter. Vattenståndet anges i höjdsystemet RH2000.

Ett vattenstånd med 100 års återkomsttid har en statistisk sannolikhet på 1 % att överskridas varje år. Den kumulativa sannolikheten att denna nivå överskrids under en 100-års-period är 63 %. De beräknade nivåerna med långa återkomsttider innehåller stora osäkerheter. I Flödeskommitténs ”Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar<sup>3</sup>” anges en tumregel som säger att den beräknade återkomsttiden inte bör vara mer än dubbelt så lång som den underliggande tidsserien. Denna tumregel används även vid beräkningar av högsta vattenstånd.

För Klagshamn-Malmö finns timvärden från 1929 medan mätningarna i Skanör påbörjades 1992. SMHI har därför rekommenderat att 100 års återkomsttid inte beräknas för Skanör. Mätningar i Kalix startade 1974. Tabell 1 visar 50 års återkomsttid för Skanör, 50 och 100 års återkomsttid för Klagshamn och 100 års återkomsttid för Kalix i RH2000. Värdena anges inom ett 95% konfidensintervall, som anger lägsta och högsta vattenstånd inom vilket vattenståndet med 95% sannolikhet kommer att kunna nå vid ett 100-års (eller 50-års) vattenstånd. Särskilt i flacka områden kan denna osäkerhet i de beräknade nivåerna ge stora areella skillnader. Detaljer om höjdsystem samt vattenståndsvariationer i de två regionerna ges i Tabell 1.

ÅTERKOMST	STATION	BERÄKNAT VATTENSTÅND (CM)	95% KONFIDENS-INTERVALL (CM)	UNDERLAG ÅR
50	Skanör	146.3	141.7-155.1	1992-2009
100	Kalix	200.0	184.7-235.8	1974-2009
100	Klagshamn	147.0	137.8-170.3	1924-2009
50	Klagshamn	142.4	134.8-160.6	1924-2009

Tabell 1. Beräknat högsta havsvattenstånd med 50 års respektive 100 års återkomsttid vid tre mätstationer med 95%-igt konfidensintervall angivet för beräkningarna.

Medelvattenstånd för Varbergskusten beräknas stiga med cirka 1 m fram till 2100 enligt de senaste uppgifterna från SMHI sommaren 2011. I andra underlag för Malmö och Vellinge har något lägre nivåer (+0.8 – 0.85 m) angivits regionalt<sup>4</sup>.

Kortvariga höga vattenstånd anges bestäms eller uppskattas från tidsserier av vattenståndsmätningar. En förekommande uppgift som kan användas är årshögsta vattenstånd (HHW) med 100 års återkomsttid. För denna redovisning har den extrema havsnivån för år 2100 valts till +2,5 m i Varberg, Malmö och Vellinge och till +2,0 m i Luleå.

3. Svensk Energi, Svenska Kraftnät och SveMin (2007). Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar - Nyutgåva 2007. ISBN 978-91-7622-197-6

4. Översiktlig klimat- och sårbarhetsanalys – naturolyckor. Underlag till Översiktsplan 2010, Helsingborgs kommun, 2009

I exploateringsprojekt inom stadsplanering skall enligt PBL (Plan och Bygglagen) hänsyn tas till naturolyckor som erosion och översvämningar. Nivåer kring +2,5 m har i södra Sverige rekommenderats som lägsta golvnivå vid planläggning för framtida nyproduktion av bostadshus och lokaler.

### Landhöjning till 2100

Landhöjningen fram till år 2100 för de olika undersökningsområdena har beräknats med hjälp av en strandförskjutningsmodell baserad ett stort antal strandförskjutningskurvor och dagens landhöjning vilket tillsammans gett en matematisk modell för landhöjningen<sup>5</sup>. Av de tre undersökningsområdena är det endast Luleå som fram till år 2100 kommer ha en betydande landhöjning om 77 cm. För Varberg och Malmö-Vellinge är landhöjningen 22 cm respektive 4 cm.

### Val av underlag vid jämförelseanalyser

Det globala medelvattenståndet beräknas stiga med 1 m fram till 2100 enligt uppgift från SMHI 2011. I detta projekt väljs MW för 2100 till +1,0 i RH2000 i Varberg, Malmö och Vellinge medan i Luleå väljs MW för 2100 till + 0,3 i RH2000.

Kortvariga höga vattenstånd anges utifrån hydrologiska inhämtningsperioder och dess intervallängd. En förekommande uppgift som kan användas är årshögsta vattenstånd (HHW) med 100 års återkomsttid. För denna redovisning har den extrema havsnivån för år 2100 valts till +2,5 m i Varberg, Malmö och Vellinge och till +2,0 m i Luleå.

## Kartdata

### Fastighetskartan

GSD-Fastighetskartan är anpassad för presentation i skala 1:10000. Fastighetskartan ajourhålls kontinuerligt vad gäller fastighetsindelningen. Den topografiska informationen har en periodisk ajourhållning där tidsintervallen är beroende av objektslag. Senast tillgängliga ortofoto ingår i produkten.

### GSD Terrängkartan

Terrängkartan är anpassad för presentation i skalan 1:50000 och redovisar markslag, bebyggelseområden, vägar och infrastruktur. Terrängkartan finns i vektor och rasterformat.

### Byggnadsregistret

Byggnadsregistret är sedan 2000 en del av fastighetsregistret och innehåller information om byggnaders läge, typ och användning. Nationellt omfattas byggnadsregistret av cirka 7 miljoner byggnader. Kommunerna ansvarar vanligen för ajourhållningen av byggnadsregistret men i vissa fall görs hela arbetet eller kompletteringar av Lantmäteriet.

5. Pässe, T. & Andersson, L., 2005: Shore-level displacement in fennoscandia calculated from empirical data. Geologiska Föreningen I Stockholms Förhandlingar 127, 253-268.

### **Marktäckedata**

Marktäckedata är en rikstäckande, homogen databas med information om markanvändning och vegetation i ett 60-tal klasser. Klassindelningen är gjord med hänsyn till behoven inom planering och miljöövervakning. Grunden för GSD (*Geografiska Sverigedata, Lantmäteriet*) -Marktäckedata är den europeiska karteringen CORINE Land Cover, en homogen databas över hela Europa. GSD-Marktäckedata är producerat med satellitbilder från omkring 2000. Det finns för närvarande inga planer på att uppdatera GSD-Marktäckedata.

### **Kartor med förutsättningar för stranderosion**

SGI har på regeringens uppdrag ett ansvar för att medverka till att minska risker för stranderosion. Inom detta uppdrag har SGI utfört en översiktlig inventering av områden med förutsättningar för stranderosion längs hela Sveriges kust med utgångspunkt från de geologiska förhållandena. Inventeringen redovisas kommunvis på SGI:s hemsida [www.swedgeo.se/Stöd till myndigheter/Stranderosion](http://www.swedgeo.se/Stöd_till_myndigheter/Stranderosion). I inventeringen ingår också uppgifter från kommunerna om erosionsstatus (erosion, ackumulation eller stabila förhållanden) och eventuella erosionskydd (typ och omfattning). Det vore värdefullt om kommunernas rapportering uppdateras och genomförs med det förbättrade kunskapsläget som finns 2011. Detta är lämpligt att utföra när kartunderlag baserat på NNH -underlag finns tillgängliga och kartprodukter/GIS-underlag har anpassats för en inventering av kustområden.

### **Jordartskarta från SGU**

Jordartsinformationen kommer från SGU:s lokala respektive regionala kartdatabas anpassad för presentation i skala 1:50000 respektive 1:100000. Den digitala jordartskartan ger information om jordarternas utbredning och uppbyggnad. Informationen är insamlad med genom fältarbete, provtagning och flygbildstolkning.

### **Tidigare studierapport**

Jämförande studier för att utvärdera NNH i förhållande till GSD höjddata har legat till grund för arbetet med denna rapport. Arbetet har sammanfattats i rapporten Jämförande studier av Nya Nationella Höjddatabasen och GSD-höjddata för utbredning av havsnivåer, Metria 2011.



**Metodik**

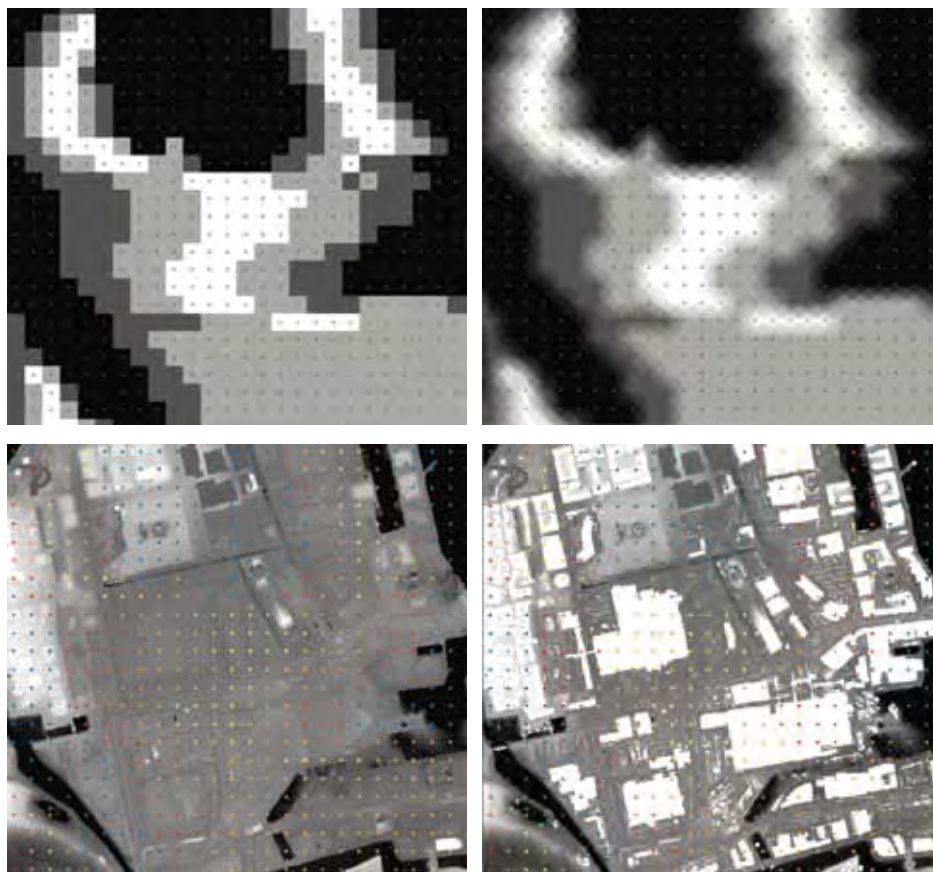


## Metodik

### Preparering av indata

#### GSD-Höjddata 50+

GSD-Höjddata 50+ är en grov produkt jämfört med NNH. Upplösningen är 50 m och medelfelet i höjd är 2,5 m. För att försöka få en mer jämförbar statistik mellan produkterna och få ut mesta möjliga av 50 m-gridet producerades ett 2 m-grid ur 50 m-data med bilinjär interpolation. Det innebär naturligtvis inte att noggrannheten i höjdd modellen eller en enskild pixel ökar. Det var dock nödvändigt för att kunna beräkna areell statistik med konfidensintervallen medräknade. Anledningen till att den areella utbredningen förutom för den beräknade 100-årsnivån även beräknats för lägsta och högsta nivåer inom 95% konfidensintervall var för att få en bild av hur de olika höjddatabaserna modellerar dessa skillnader i olika områden.



Figur 5. Bildserien visar samma utsnitt - en detaljbild från Malmö för de olika höjddataprodukterna. Uppifrån från vänster till höger: GSD Höjddata grid 50+, GSD-Höjddata 2 m interpolerad från GSD Höjddata grid 50+, NNH grid 2+ samt NNH 1 m genererad ur punktmolnet. Punkterna som ligger som ett rutnät i bilderna är mittpunkter i 50m-gridet, färgsatta efter höjd.

**NNH grid 2+**

Data levereras i rar-komprimerat ascii-format i 2.5km-rutor. Data dekomprimerades, importerades till Erdas Imagine-format och mosaikades sedan ihop till sammanhängande rasterbilder över de två studieområdena. Denna process kan med fördel automatiseras eftersom data ska levereras enligt en viss struktur. Viss automatisering av denna process har utvecklats inom projektet i form av Python-script som kan köras i ArcGIS.

**NNH punktmoln**

Data levereras i rar-komprimerat LAS-format, den standard som gäller för laser-data, uppdelade enligt samma rutnätindelning som 2 m-gridet (2.5km-rutor). Med hjälp av ett ArcGIS tillägg, LIDAR Analyst, extraherades punktmolnet och konverterades till rasterformat. Därefter kunde en högupplöst – en meter per bildpunkt - höjdmodell skapas. Höjdmodellen är baserad på "last return" – alltså den sista mätningen registrerad för en enskild laserpuls (en laserpuls kan ha fler retur (mätningar) – t.ex. trädkrona -> gren -> buske -> mark). Eliminering av icke markobjekt har inte gjorts, vilket innebär att t.ex. byggnader där bara en retur kunnat uppmätas finns med i höjdmodellen. Resultatet är alltså en slags ytmodell som består av en mix av markpunkter och punkter ovan mark i de fall markytan inte kunnat mätas.

De 2,5x2,5 km stora rutorna lades ihop till sammanhängande ytmodeller med 1 m upplösning i plan för båda studieområdena. Datamängderna att hantera är avsevärda. Punktmolnen för Malmö-Skanörområdet utgör ca 9 GB data i LAS-format medan 1 m-gridet blir ca 4 GB stort. Filstorleken varierar beroende på terrängen. Om rutan består till stor del av vatten är filen liten, kring 50 MB. Om den består till stor del av landområde ligger filstorleken kring 250 MB i LAS-formatet. I denna studie har sammanlagt 75 delområden bearbetats.

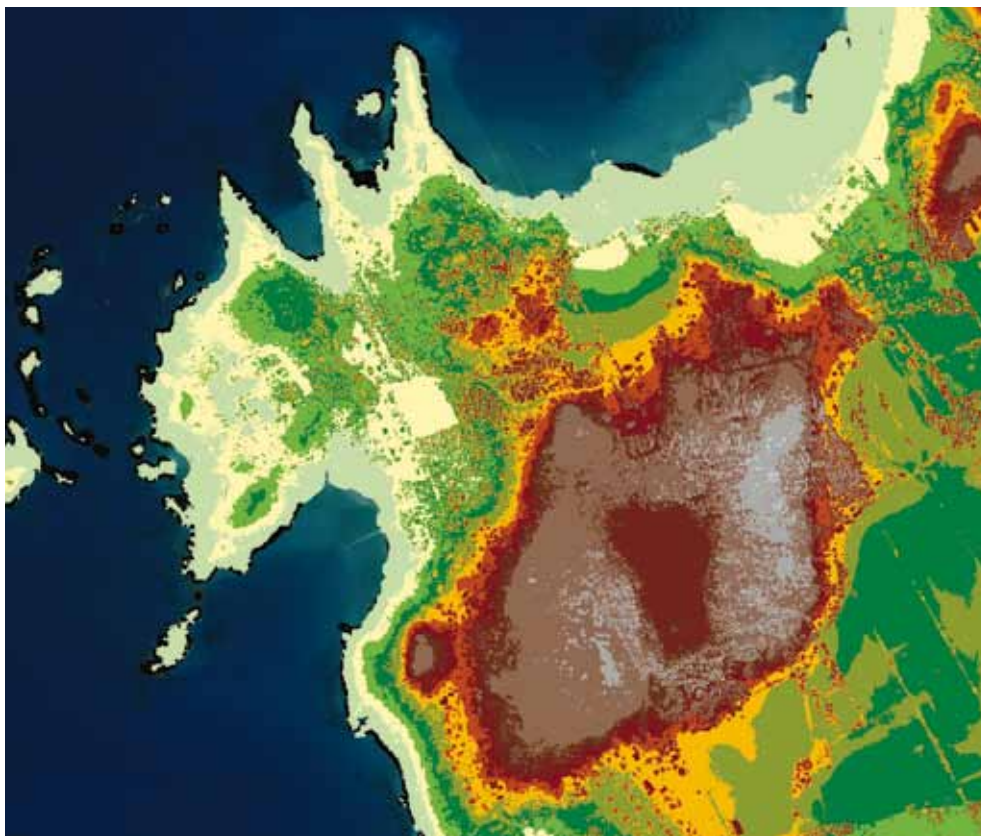
**Att skapa höjdmodeller ur punktmolnet med ArcGIS – Teknisk handledning**

Lidardata levereras som komprimerade binära filer (.las) vilka först måste konverteras till ett användbart format. Det är en flerstegsprocess där data omvandlas från rå binär till punkt, vektor och slutligen till raster. Import av lidardata sker med programvaran ArcGIS med tillägget 3D-analyst.

Två olika höjdmodeller har skapas med denna metod. Den första är en ytmodell som beskriver den översta delen av ytan som skannades (d.v.s. höjden av byggnader och träd inkluderas). Den andra är en markmodell som beskriver markens höjd. I markmodellen utnyttjas en statistisk algoritm för att interpolera fram höjdvärden där vegetation eller andra objekt har förhindrat skanning av markytan.

**Ytmodellen.**

Ytmodellen skapades via den s.k. Terrain Dataset metoden. Lidarpunkterna importerades till ett Terrain dataset (en filbaserad geodatabas) som 3d punkt (feature classes). Av dessa punkter skapas först en TIN-modell (Triangulated Irregular Network) som sedan konverteras till ett raster med cellstorleken 1 meter med hjälp av linjär interpolation. Ett exempel av ytmodellen över Fyrkullen visas i Figur 6.



Figur 6. - Ytmodell över en del av Varbergs kommun.



Figur 7. – IR-ortofoto av samma område som syns i Figur 6.

Enstaka träd och hus är högre än omgivningar och kan lätt identifieras. Kullen mitt i bilden täcks av träd som tydligt märks i de bruna och ljusgrå ströpixlar. Figur 7 är ett IR (Infrarött) -ortofoto som täcker samma område som Figur 6.

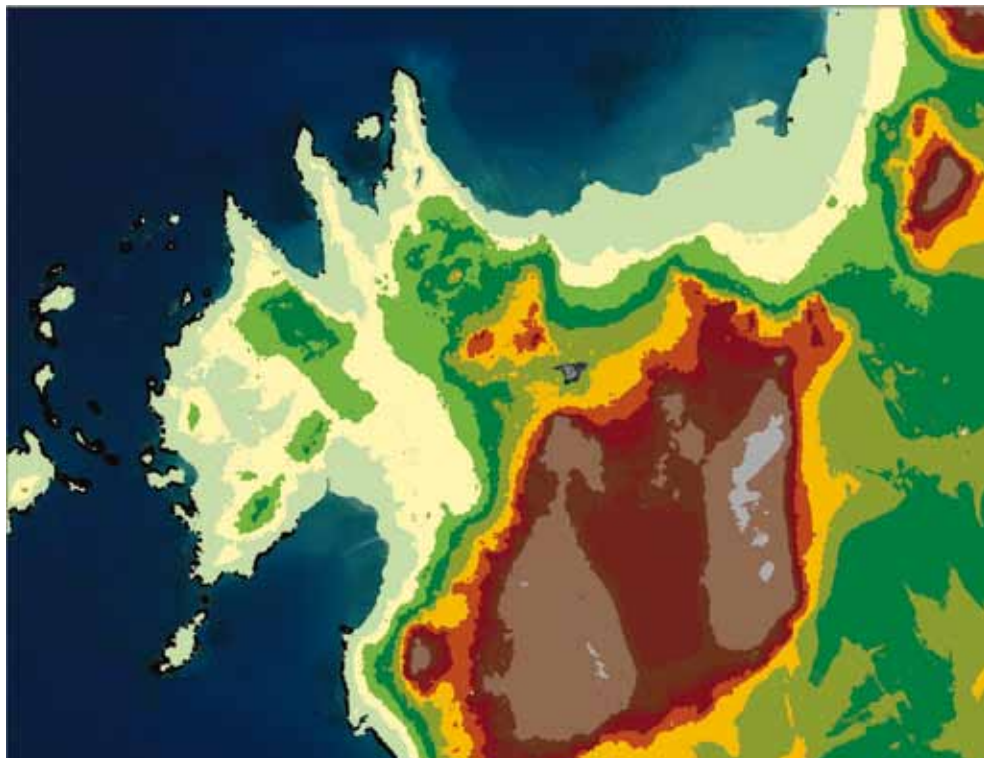
### Höjdmodell över markytan

För att kunna skapa en modell över den egentliga markytan utan vegetation och andra objekt måste alla andra lidar punkter sorteras bort. Resultatet blir en höjdmodell beskrivande markytans höjd. I Figur 8 visas höjdmodellen som täcker samma område som Figur 6 och Figur 7.

Modellen över markytan skapas genom att konvertera vektor punkterna direkt till raster. Bara de lidar punkter som klassificeras som "mark" används. Cellstorleken är 1 meter och det minsta värdet används där det finns fler än en punkt per cell. Den här är en väldigt snabb och effektiv metod för att skapa raster höjdmodeller från lidardata.

Nackdelen är att det finns risk för många pixlar inte får något värde eftersom bara de celler som innehåller en eller fler lidar punkter kommer att tilldelas ett värde. Ytterligare reduceras antalet giltiga värden eftersom bara data som är klassificerade som "mark" används. För att reducera mängden av IckeData - celler körs mellanresultatet genom en statistisk algoritm (3x3 fokalgensnitt) två gånger. IckeData - värdena i mellanresultatet ersätts med de behandlade värdena. Merparten av cellerna utan värde ersätts med denna metod. Däremot finns de största områdena med IckeData kvar i höjdmodellen.

Skogspartier som lätt syns i ytmodellen (t.ex. området direkt väster om den stora kullen samt i närheten av Fyrkullen och Trönningenäs).



Figur 8. - Höjdmodell över en del av Varbergs kommun baserad på lidar punkter.

## Areell analys av höjda havsnivåer

### Översvämmade områden i studieområden

Översvämning i kustområdena har analyserats med hjälp av rasterbaserade höjdm modeller. Ingen hänsyn har tagits till eventuella barriärer i terrängen men mycket få sådana områden existerar i de valda studieområden och arean av dessa är försumbar i sammanhanget.

### Analys av påverkan på olika markslag

#### – jämförelse med Klimat- och Sårbarhetsutredningen, bilaga 14

I bilagedel B till Klimat och sårbarhetsutredningen<sup>6</sup> gjordes en analys där kustnära markslagsklasserna angivna på terrängkartan kopplades till höjdinformation för att se påverkan av höga vattenstånd. Terrängkartans höjdlinje + 5 var den första nivån räknat från ritad strandlinje. Denna begränsningslinje gav kustnära områden som kunde ytberäknas.

## Analys av kusterosion vid stigande havsnivåer

### Erosionsområden analyserade i Klimat och sårbarhetsutredningen

I Klimat- och sårbarhetsutredningen<sup>6</sup> valdes en analys av potentiella erosionsområden utifrån en modell av strandpåverkan för flacka strandområden (Bruun, 1988<sup>7</sup>) vid framtida klimatpåverkan. Utgångspunkten var de områden som identifierats i SGI:S översiktliga inventering av stranderosion längs kuster samt de klimatscenarier som låg till grund för utredningen. Eftersom det inte fanns detaljerat topografiskt material ingick inte någon analys med hänsyn till strändernas topografiska förhållanden.

Översiktlig jordartsinformation för kustlinje och strandareor gav erosionsområden där Bruun's lag kan tillämpas. Sveriges kuster indelades i 3 delområden med störst erosionspåverkan i södra kustområdena och mindre i de norra delarna till följd av landhöjningen. Utifrån antagen höjning av havsnivån bedömdes för södra Sverige från Bohuslän till Östergötland att erosionszonen fram till 2100 når ca 100 m in från nuvarande strandlinje och för Norrlandskusten ca 30 m.

Bedömning av ytterligare påverkad area vid erosionspåverkade delsträckor har i Klimat- och sårbarhetsutredningen gjorts mycket översiktligt. Detta gäller också tätortsområden där ofta insatser mot erosion gjorts på en stor del av strandlinjen. Det är osäkert hur en betydande havsnivåhöjning (MW-höjning ca 1 m fram till 2100) påverkar dessa insatser.

### Modellstudie A: Områden med förutsättningar för erosion vid användning av NNH-underlag

NNH-underlaget med precisa höjdnivåer ger bättre möjlighet att ta fram de påverkade areor som erosionen orsakar. Med de underlag för framtida medelvattennivåer och landhöjningsdata som valts i denna utredning har undersökts hur erosionsförhållandena kan komma att förändras. En indelning i analysen har gjorts för tre fall av kusterosion.

6. SOU 2007:60: Bilaga B14 till "Sverige inför klimatförändringarna"

7. Bruun P., 1988. The Bruun rule of erosion by sea-level rise. A discussion on large scale two- and three dimensional usages. Journal of Coastal Research, vol 4.

Fall 1 utgår från den värdering som ingick i Klimat – och sårbarhetsutredningen med en grov modell för kusterosionspåverkan med hänsyn till antagande om förhöjning av havsnivån i tre geografiska kustområden sett över hela den nationella kuststräckan. De geografiska områdena kallas här SYD från Bohuslän till Östergötland, MITT från Södermanland till Uppland och NORR för Norrlandskusten

För fall 2 och 3 kommer en mer omfattande beskrivning av strandområdets nivåer och jordlager att göra det möjligt att visa påverkanzonen mer detaljerat.

- Fall 1 avser strandområden med sand/silt till större djup än ca 5 m. Detta fall överrensstämmer med de analyser som användes i Klimat- och Sårbarhetsutredningen. Erosionszon från strandlinje förutsätts kunna gå 100 m in och påverka kustområdet i södra Sverige medan maximal påverkan är 30 m för Norrland
- Fall 2 avser strandområden med sand till mindre djup med underliggande mindre erosionskänsliga marklager. Marklagrens nivåer i förhållande till nuvarande MW-nivå och till framtida MW-nivå är avgörande för erosionszonens inträngning från nuvarande strandlinje. Här kommer det nya kartunderlaget att innebära stora möjligheter till en bättre analys.
- Fall 3 avser låglänta erosionskänsliga strandområden med marknivåer lägre än MW-nivå år 2100 som är belägna längre in än 100 m från nuvarande strandlinje. Här kommer analysen att inriktas på att markförluster av erosion uppkommer för område in till den uppkommande strandlinjen för MW-nivå 2100.

Med NNH-underlag kan klart bättre analys göras om det finns förutsättningar för full erosionsinträngning eller om påverkan av strandområdet begränsas.

### **Modellstudie B: Analys av förutsättningar för erosion med hjälp av digital jordartsinformation och NNH**

**Förutsättningar för erosion – kustområdets känslighet för höjd havsytenivå**  
Med hjälp av jordartsinformation och lutningsinformation framtagen med hjälp av NNH har kartor tagits fram som visar de olika studieområdenas känslighet för höjd havsytenivåer med avseende på erosion utifrån de jordartsgeologiska och topografiska förhållandena. Kartorna visar på förutsättningarna för erosion och ras och skred i strandzonen utifrån dessa parametrar. Denna klassificering ger en generell bild av förutsättningarna för erosion utifrån jordarternas egenskaper och där markytans lutning är så stor att det föreligger möjligheter för ras och skred på grund av vågors verkan om strandlinjen når till dessa områden. I sammanhanget kusterosion finns det även en stor mängd andra faktorer som har betydelse som strömmar, vågexponering och vegetation/markanvändning. Kartorna visar dock på möjligheterna med den nya nationella höjdmodellen och hur den i kombination med andra data kan ge bättre analyser och underlag vid olika typer frågeställningar. Vad gäller frågeställningar kring kusterosion och höjd havsytenivå ger den nya nationella höjdmodellen framförallt en bättre avgränsning av vilka områden som kan tänkas påverkas av en höjd havsytenivå men ger även en möjlighet till att göra analyser som kan vara användbara i kombination med andra data.

### Jordartsgeologiska data

Jordartsgeologiska data för respektive studieområde har tagits ut från olika jordartsgeologiska databaser hos SGU. För studieområdena Varberg och Malmö-Vellinge finns jordartsdata som lämpar sig för en skala 1:50000. För Luleå finns en mer översiktlig jordartsinformation lämplig för skala 1:100000.

Jordarterna representerade på jordartskartorna har klassats om utifrån deras känslighet med avseende på erosion. Jordarterna delades in i 2 klasser. Erosionskänsliga jordarter och mindre erosionskänsliga jordarter baserade på deras kornstorlekssammansättning (Tabell 2). Dessa två klasser kompletterades med två klasser en för kalt berg där lösa avlagringar saknas och en oklassat för områden kraftigt förändrade av mänskliga aktiviteter där det översta jordlagret på jordartskartan utgörs av fyllning.

	EROSIONSKLASS	EROSIONSKÄNSLIGA JORDARTER	MINDRE EROSIONSKÄNSLIGA JORDARTER	BERG	OKLASSAT
<b>JORDART I JORDARTSDATABAS</b>					
Organisk jordart	X				
Berg				X	
Morän			X		
Tunt jordtäckte				X	
Moränlera			X		
Sand	X				
Grus			X		
Silt	X				
Lera			X		
Sten-Block			X		
Isälvsediment			X		
Fyllning					X
övrigt					X

Tabell 2. Benämningar på jordarter i jordartsdatabaser som omklassats till erosionsklasser.

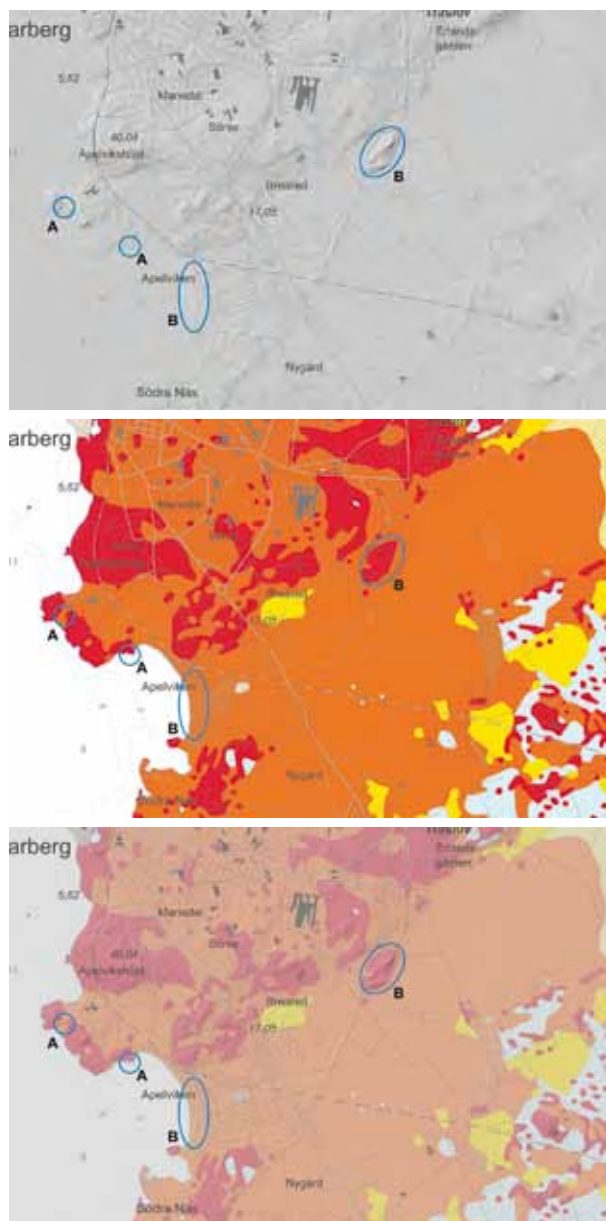
### NNH och lutningsanalys

Med hjälp av data från NNH har en lutningsanalys för de kustnära delarna (<5 m ö.h.) i de tre studieområdena utförts och områden med en lutning >1:2,5 har identifierats. En generalisering för de områden som identifierades har även gjorts där närliggande ytor i samma lutningsklass slagits samman och mindre ensamliggande polygoner har tagits bort.

Jordartsinformationen omklassad till erosionskänslighet har även kombinerats med lutningsanalysen. De kustnära områden som har en hög lutning har en högre känslighet för höjd havsyttnivå på grund av större förutsättningar för ras och skred under inverkan av vågors erosion.

## Jordartskartan och NNH

Det lösa jordtäcket är ofta bundet till olika typer av landformer och fenomen. På grund av vegetation och att landformerna är diffust utbildade kan det ibland vara svårt att identifiera dessa och avgränsa områden med skilda jordarter. NNH med sin goda upplösning ger en levande bild av landskapet och detaljeringsgraden gör det möjligt att identifiera landformer som tidigare varit svåra att urskilja. Kombinationen av jordartskartan och NNH gör att avgränsningar mellan olika jordarter framträder bättre samtidigt som landformer gör att den geologiska bilden blir mer komplett. I Figur 9 ges ett exempel på hur olika landformer framträder i ett utsnitt från studieområde Varberg. Utsnittet visar på hur den nya höjdmodellen kan användas som ett underlag vid jordartskartering och vid korrigering av äldre jordartsdatabaser.



Figur 9. Jordartskartan i kombination med NNH. Exempel på hur NNH kan användas vid kartläggning av jordtäcket och hur jordartskartor kan uppdateras med hjälp av NNH. A. I höjdmodellen syns tydligt områden med kalt berg. Vid en jämförelse med den befintliga jordartskartan syns att berghällarna inte passar till hälllytorna. Med hjälp av NNH kan en justering av jordartskartan göras. B. Exempel på landformer, element i landskapet som tydliggörs med hjälp av NNH och kan var ett stöd vid kartering av jordtäcket. I området längs kusten syns släta oregelbundna kullar typiska för sandynsområden. I det nordöstra hörnet framträder hällmarken tydligt mot omgivande sandområden.



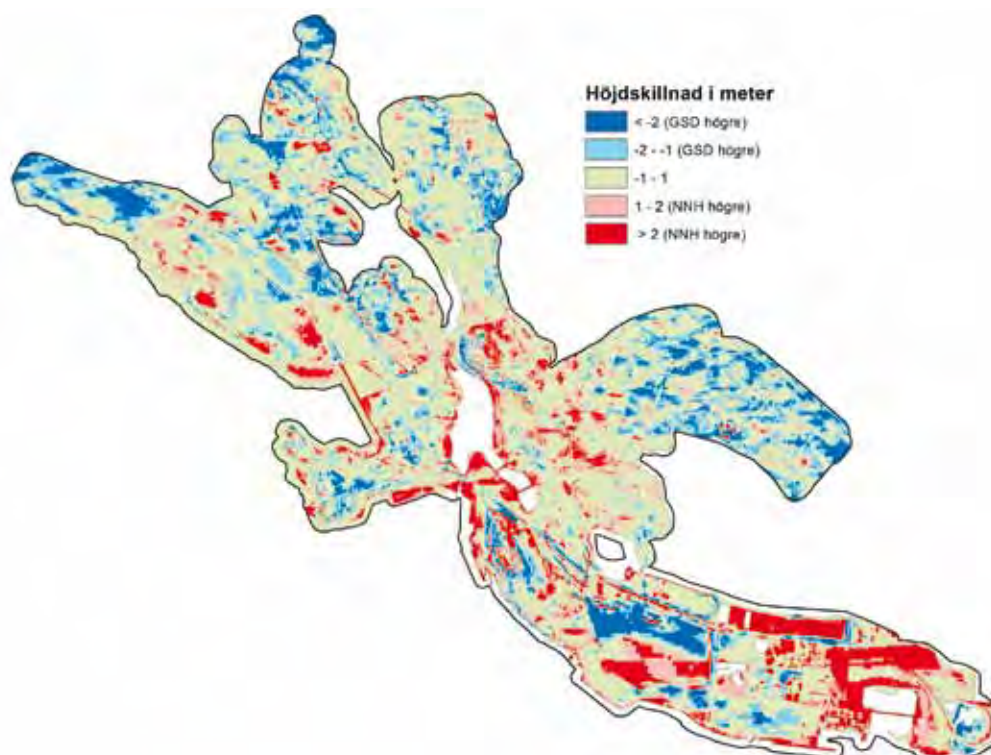


**Resultat**

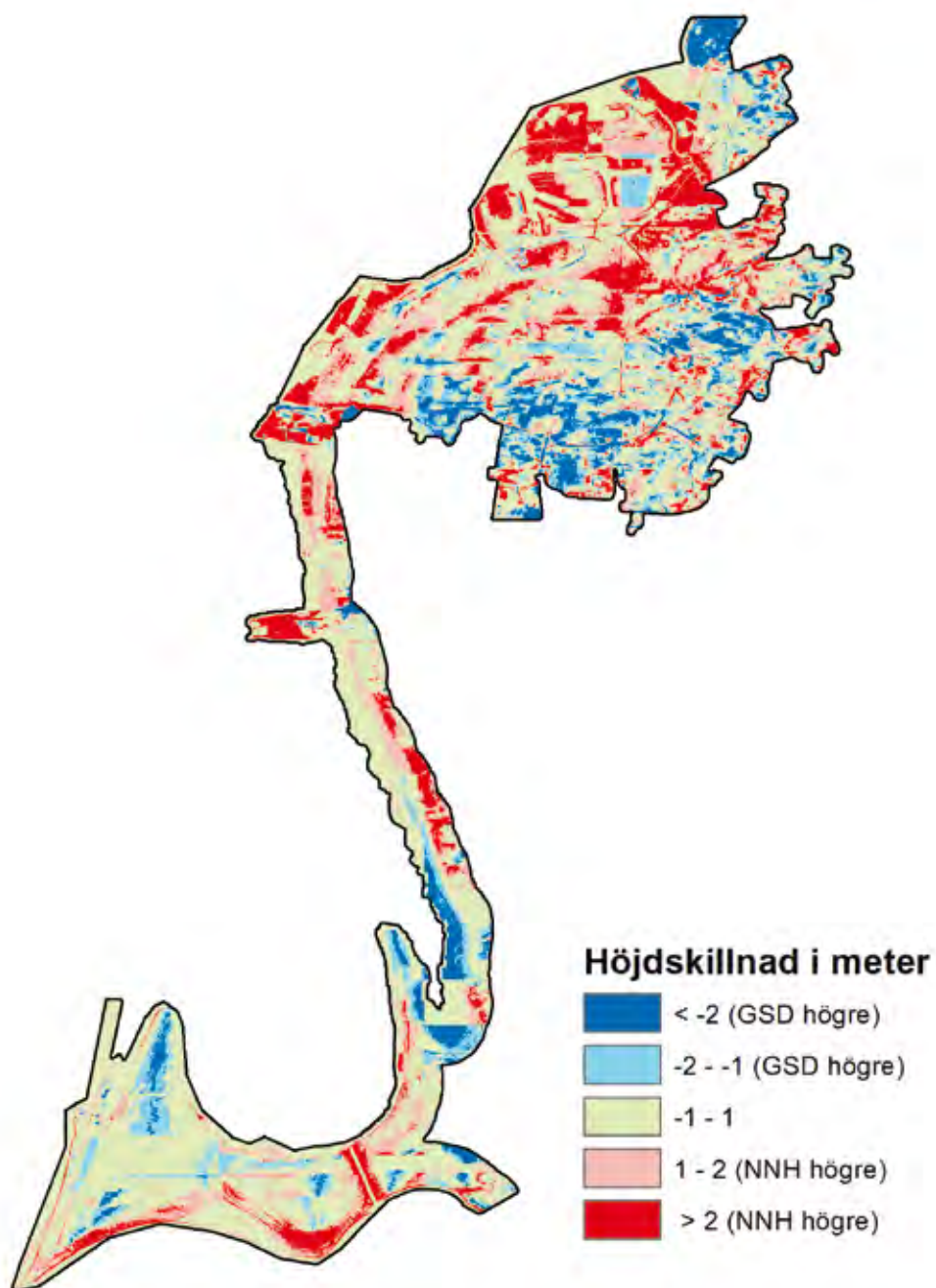
## Resultat

### GSD-Höjddata grid 50+ vs NNH grid 2+

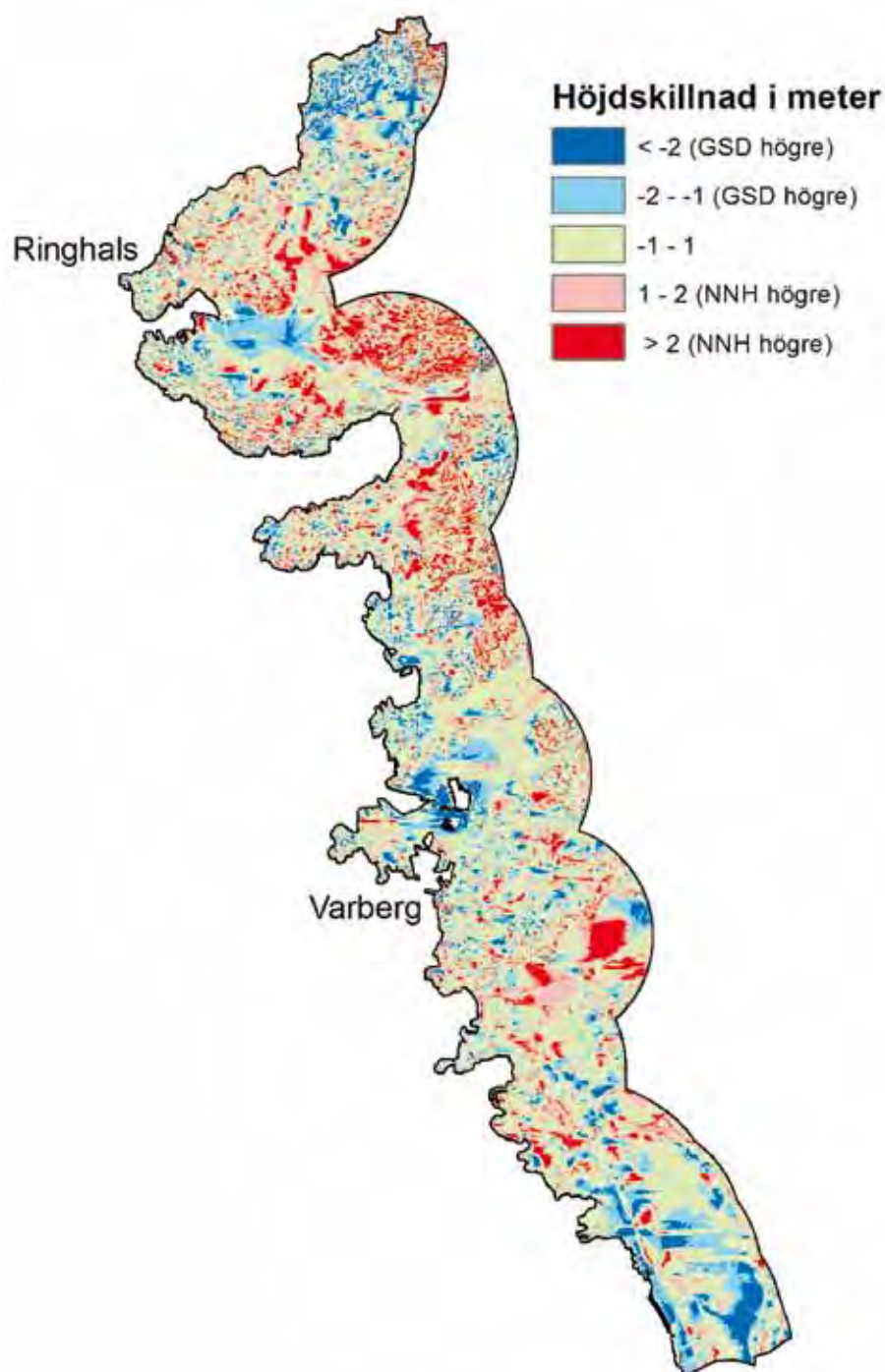
Skillnadsbilder mellan olika dataset kan på ett överskådligt sätt visa var de största skillnaderna uppstår. Figur 10, Figur 11 och Figur 12 visar höjdskillnaderna mellan GSD Höjddata grid 50+ och NNH grid 2+ i Luleå och Malmöområdet. I mörkröda och blå områden skiljer det mer än 2 m mellan höjdmmodellerna. Detta illustrerar problemen med att använda en alltför grov höjdmmodell för översvämningsberäkningar. De beräknade höjningarna av havsnivå ligger kring 2 m. Medelfelet, som anges för GSD-Höjddata grid 50+ över hela landet, ligger på 2,5 m. Man kan inte förvänta sig att översvämningsberäkningar baserat på ett sådant underlag ska kunna ge ett tillförlitligt resultat. Lokalt kan noggrannheten vara högre, men bilderna visar att det även inom dessa begränsade områden varierar mycket.



Figur 10. Luleå. Skillnadsbild "NNH grid 2+" minus "GSD-Höjddata grid 50+" i Luleå. I de mörkröda och mörkblå områdena skiljer det mer än 2 m mellan modellerna, ljusare rött och blått mellan 1 och 2 m och ljusgrönt mindre än 1 m skillnad.



Figur 11. Malmö – Vellinge. Skillnadsbild "NNH grid 2+" minus "GSD-Höjddata grid 50+" i Malmö. I de mörkröda och mörkblå områdena skiljer det mer än 2 m mellan modellerna, ljusare rött och blått mellan 1 och 2 m och ljusgrönt mindre än 1 m skillnad.



Figur 12. Varberg. Skillnadsbild "NNH grid 2+" minus "GSD-Höjddata grid 50+" i Malmö. I de mörkröda och mörkblå områdena skiljer det mer än 2 m mellan modellerna, ljusare rött och blått mellan 1 och 2 m och ljusgrönt mindre än 1 m skillnad.

### Luleå – analys av höjda havsnivåer

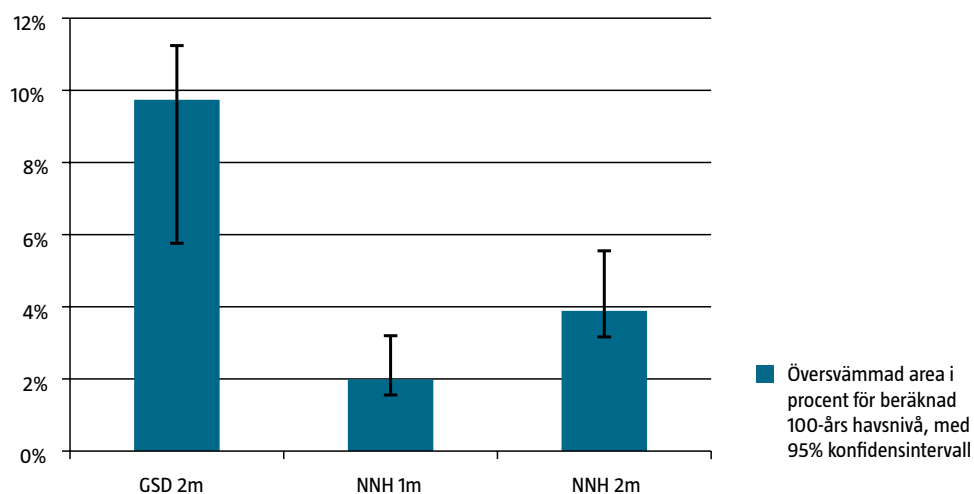
Analys av vilka områden som kan komma att översvämmas vid ett beräknat vattenstånd med 100-års återkomsttid vid mätstationen i Kalix har gjorts för de tre olika höjdmodellerna; "GSD 2 m" (interpolerad från "GSD-Höjddata grid 50+"), "NNH grid 2+" och "NNH 1 m-grid" genererad ur punktmolnet. Diagrammet i Figur 13 visar hur stort areal i hektar som vid ett sådant vattenstånd riskerar att översvämmas i Luleå

Resultatet indikerar stora areella skillnader mellan karteringarna i GSD-Höjddata grid 50+ och de som är baserade på NNH-data. Detta gäller även vid interpolation av GSD-Höjddata grid 50+ till 2 m-grid. Baserat på GSD-Höjddata 50+ skulle cirka 12% av landarealen inom tätorten översvämmas vid den beräknade 100-års havsnivån, vilket kan jämföras med ca 4% när karteringen baseras på NNH grid 2+.

Den grova indelningen i meternivå för höjdangivelserna kombinerat med upplösningen ger inte ett tillförlitligt underlag för att kunna beräkna översvämningarna vid de i sammanhanget små höjdskillnader som en havsnivåhöjning på ca 2 m innebär. Nedsamlingen av GSD-Höjddata grid 50+till 2 m upplösning förbättrade inte resultatet nämnvärt, men gav möjlighet att jämföra den areella skillnaden i utbredning inom 100-årsvattenståndets beräknade konfidensintervall.

Det finns också skillnader mellan NNH 1 m ur punktmolnet och NNH grid 2+. Dessa förklaras till stor del av att NNH 1 m i denna studie inte enbart består av markhöjder utan även höjder på byggnader finns inkluderade. Dessa har en högre höjd än marken runtomkring och kommer alltså inte att räknas in i arealen översvämmad yta. För att ytterligare förfina resultaten bör möjligen några isolerade områden med låg höjd rensas bort innan arealen beräknas. Samtidigt ger det en indikation på sårbarheten. I jämförelsen mellan Luleå och Malmö är intrycket att Luleå inte skulle drabbas lika hårt av ett 100-årsvattenstånd. Området är inte lika flackt och ofta ligger en kantzon med asfalterade gator eller vegetation mellan vattnet och bebyggelsen. Figur 14 och Figur 15 visar den areella utbredningen av vattenytan i GSD-Höjddata respektive NNH grid 2+.

**Luleå tätort, andel översvämmad yta vid beräknat 100-års havsvattenstånd**



Figur 13. Diagram visande andel av tätorten Luleå som riskerar att översvämmas vid ett beräknat 100-årsvattenstånd.



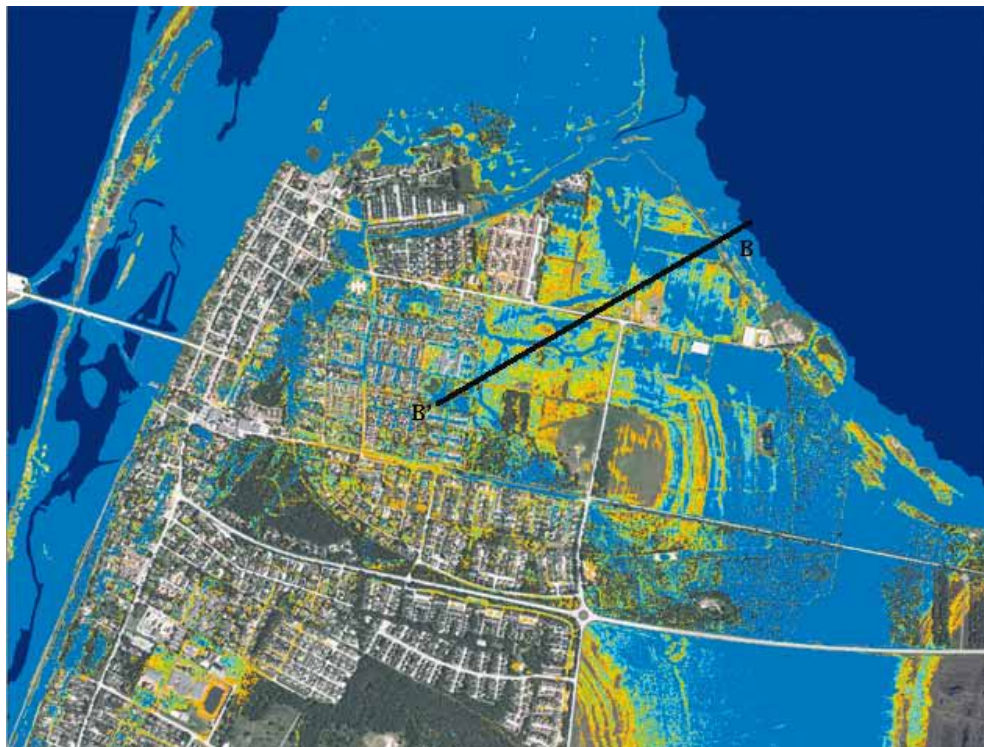
Figur 14. Studieområde Luleå Till vänster vattenyta vid dagens nollnivå och till höger den areella utbredningen i mörkare blått, baserat på GSD-Höjddata grid 50+ vid övre gränsen för havsnivåhöjning vid beräknat 100-årsvattenstånd.



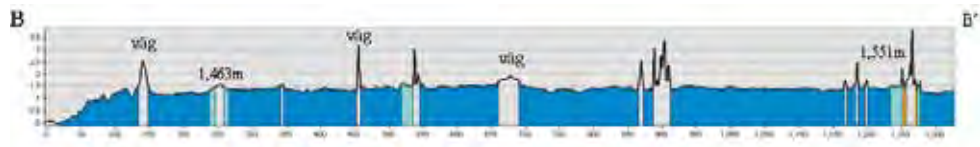
Figur 15. Studieområde Luleå Areell utbredning av vattenytan vid den undre gränsen för beräknat 100-årsvattenstånd till vänster och den övre gränsen till höger. Utbredningen är beräknad på höjdd modellen NNH grid 2+.

### Malmö – analys av höjda havsnivåer

Ytmodellerna analyserades med hänsyn till SMHI:s vattenståndsuppgifter. Figur 16 visar hur Skanör skulle drabbas av ett högsta vattenstånd med 50-års återkomsttid. Mörkblå indikerar den nuvarande medelvattenstånd havsnivån. Ljusblå och akvamarin indikerar det mest sannolika högsta 50-års-vattenståndet. Gul och orange visar det maximala översvämmade området inom ett 95%-igt konfidensintervall. Stora delar av samhället ligger under vatten inklusive ett reningsverk väster om Skanörsgården. Räddningsinsatserna skulle troligen förhindras på grund av icke farbara vägar – vägen mellan Höllviken och Falsterbokanalerna skulle ligga intill havet i princip hela vägen.



Figur 16. Bilden visar hur Skanör skulle drabbas av ett vattenstånd som motsvarar 50-års återkomsttid.

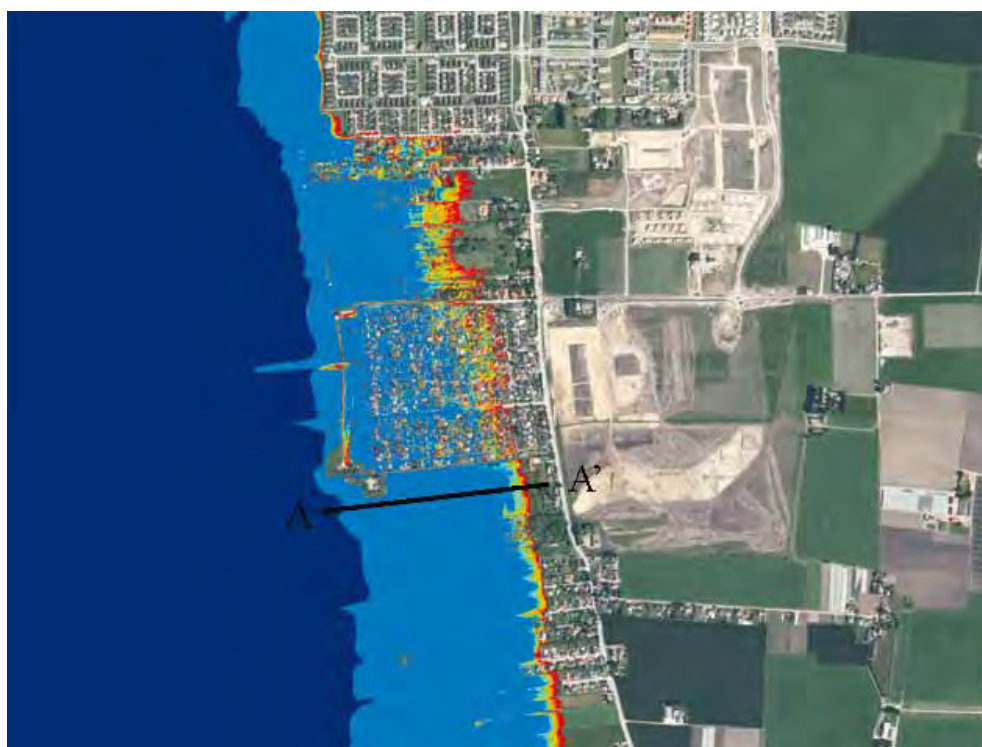


Figur 17. Tvärsnitt som visar utsträckningen av översvämningsvatten i Skanör. Ljusblå och akvamarin indikerar det mest sannolika vattenståndet med 50-års återkomsttid. Orange visar den maximala utbredningen om nivåerna når den övre gränsen för det beräknade vattenståndet.

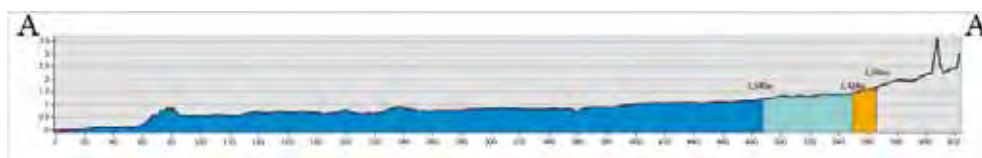


Figur 18 fokuserar på Strandhem samfällighet (beläget i Bunkeflostrand söder om Malmö, som består av 337 fastigheter). Ljusblå och akvamarin indikerar vattenstånd med 50 års återkomsttid. Gul indikerar det mest sannolika vattenståndet vid ett 100-års vattenstånd. Orange och röd visar det maximala översvämmade området om havsnivån når den övre gränsen för den beräknade nivån.

Det är ganska tydligt att den största delen av samhället (uppemot 80 %) är översvämmat. Mindre delar av andra samhällen i närområdet är också drabbade. De första resultaten av analysen visar att minst 22 olika platser mellan Falsterbo och Malmö skulle påverkas starkt av en havsnivå som motsvarar 1,348 möh (den lägre delen av konfidensintervallet). Dessa inkluderar viktiga infrastruktursobjekt (Malmö C, Inre Ringvägen, fler väg- och tågpassager under viadukter, Lindhamn) och bostads- samt villaområden.



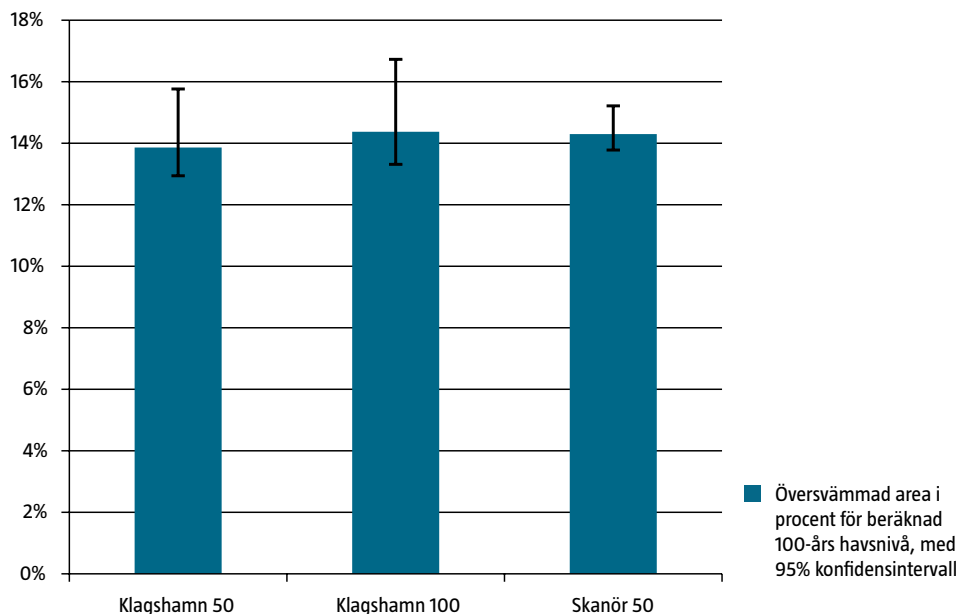
Figur 18. Bilden visar hur Sandhem (Bunkeflostrand) skulle drabbas av ett vattenstånd som motsvarar 50-års och 100-års återkomsttid.



Figur 19. Tvärsnitt som visar utsträckningen av översvämningen i Strandhem. Ljusblå och akvamarin indikerar det mest sannolika vattenståndet med 50-års återkomsttid. Orange visar det maximala översvämmade området inom ett 95%-igt konfidensintervall.

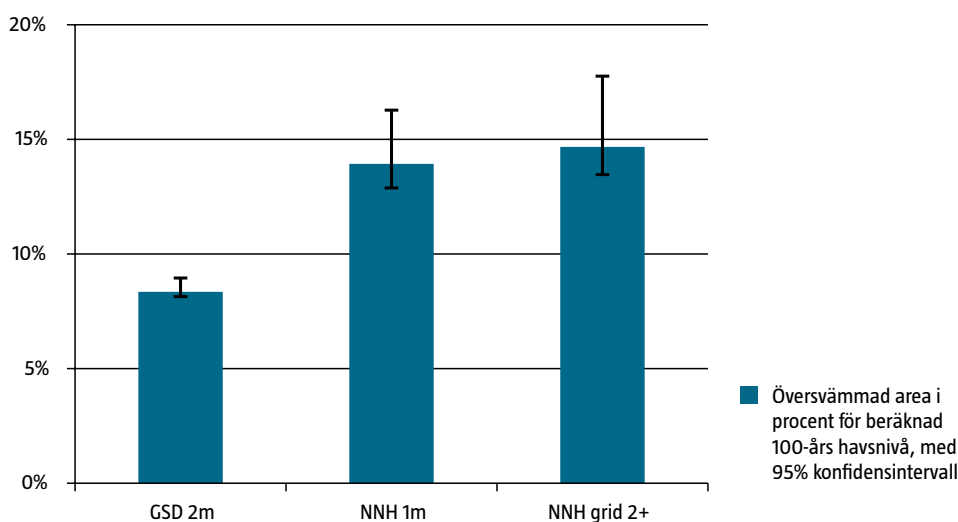
Diagrammet i Figur 20 sammanfattar de arealer som översvämmas inom området Malmö-Skanör vid en beräknad havsnivåhöjning med 50- eller 100-års återkomsttid enligt Tabell 1.

**Malmö-Skanör (tätorter & 1 km kustzon)  
Beräkningar på 1m höjdmmodell ur NNH**



Figur 20. Diagrammet visar andel i procent av analysområdet i området Malmö-Skanör, som riskerar att översvämmas vid tre olika beräkningar av vattenstånd. Beräkningarna är baserade på 1 m-grid ur NNH punktmoln med 50- respektive 100-års återkomsttid vid Klagshamn och Skanörs mätstationer.

**Malmö-Skanör, andel översvämmad yta  
vid beräknat 100-års havsvattenstånd**



Figur 21. Diagram över andel i procent, som riskerar att översvämmas vid ett beräknat 100-årsvattenstånd i Malmö-Skanör, beräknat för olika höjdm modeller som underlag.

## Areell analys av höjda havsnivåer

### Förbättrad geografisk information med NNH vid sårbarhetsanalys för erosion och översvämning av strandområden

Redovisning i ett inledande pilotskede görs här som illustrerar några analysmöjligheter som NNH-data ger stöd för jämfört med den situation som var aktuell när Klimat och sårbarhetsutredningen genomfördes 2006-2007. Då användes översiktskarta och terrängkarta med äldre höjdsystem tillsammans med då tillgängliga grunddata för GIS-lager.

Genom att kartera markslagsklasser och bebyggelsesdata på de nya informationslager som ger RH2000-nivåer visas på ett bättre sätt sårbarhet och risker kopplat till scenarier avseende havshöjning. Vald tidsperiod är nuläge jämfört med 2100 som också fanns med i Klimat- och sårbarhetsutredningen. Perioden är ca 90 år som också ofta sammanfaller med brukstid för olika typer av bebyggelse.

Vid val av marknivåintervall är det intressant att påvisa vilka byggnadsbestånd som ligger i riskzoner för havshöjningar och kusterosion. Tidigare analyser är grova och ger osäkra resultat. Detta visas med några tabeller där den bättre höjdkartan med NNH-data ger en annan fördelning av byggda ytor fördelat på marknivåintervall med 0,5 m-indelning.

### Ökad precision och tydligare redovisning vid användning av NNH-data jämfört med Terrängkarta 2006

Genom att hämta information om bebyggelse efter indelning i markslagsklasser och från samma källor som tidigare utredningar kan en översiktlig jämförelse presenteras. Med den hittills tillgängliga precisionen i höjddata för de vanliga kartsystemen kan en jämförelse visas områdesvis för den area som ligger inom kritiska höjdintervall. Här ligger fokus på låglänt bebyggt mark som omfattas av kusterosion och översvämningsrisk.

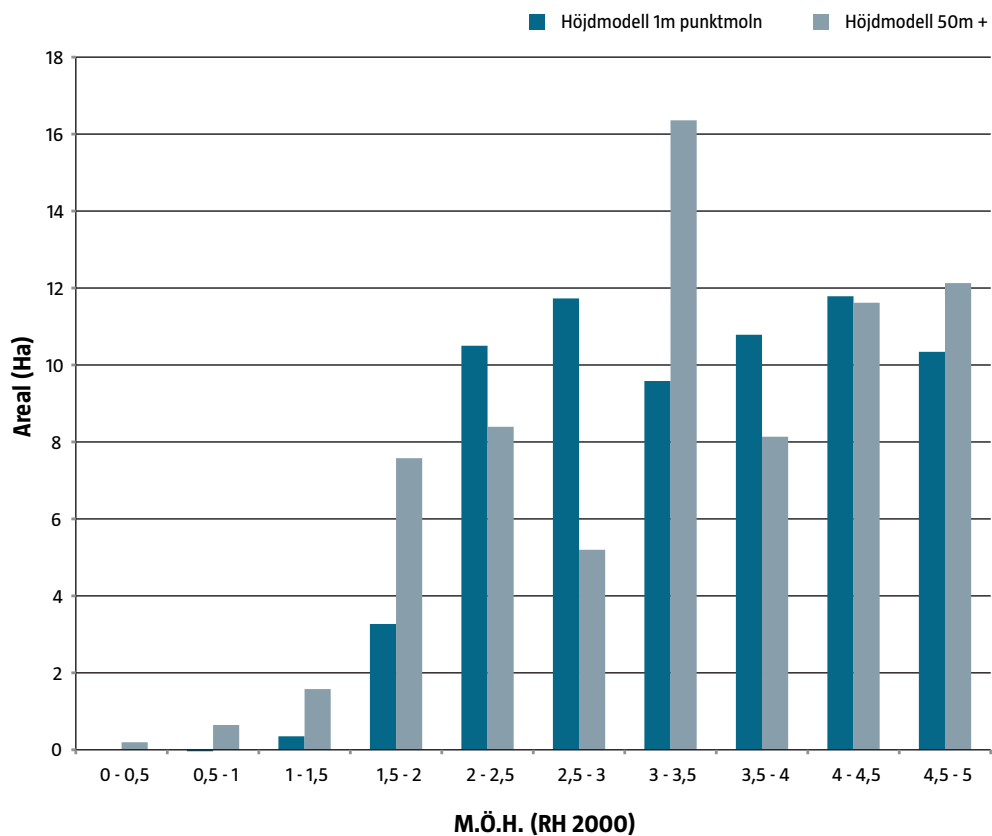
I tätorter och vid samlad bebyggelse är bostäder och industrier vanligast närmast strandområdet. Låghusbebyggelse dominerar på de områden som grundläggs på mark med jordlager medan industriområden lokaliseras till fastare jordlager eller nära hamnområden med pålgrundläggning.

Fritidshusområden är traditionellt i kustområden belägna strandnära med närhet till sandstränder och därmed ofta på mark med erosionskänsliga jordlager.

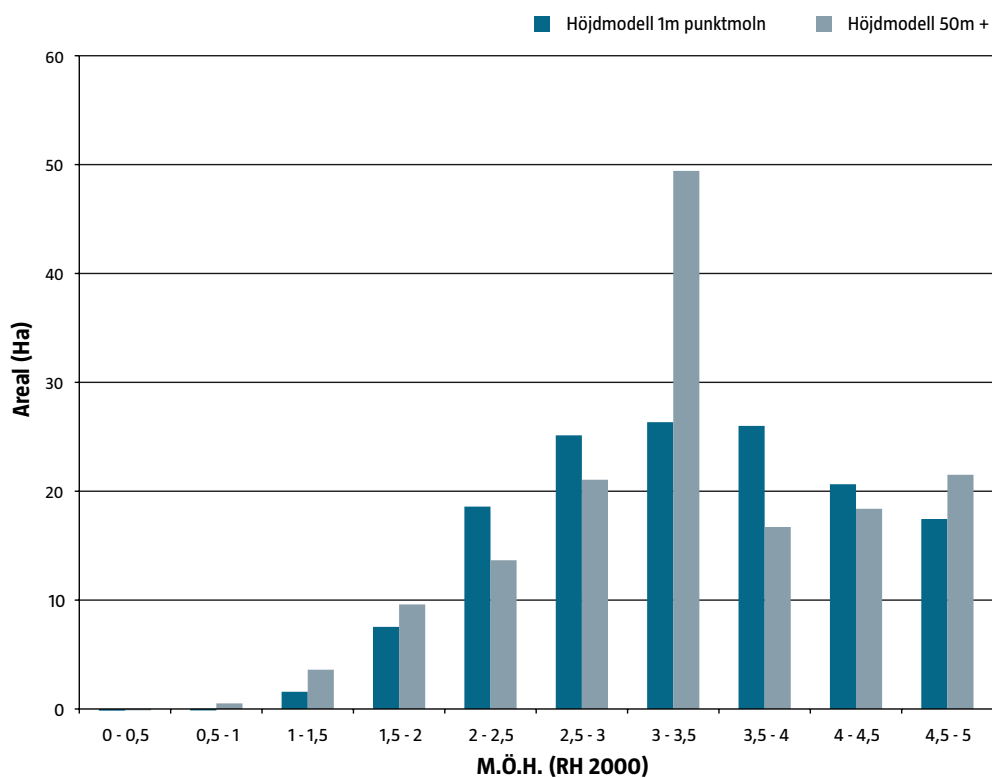
### GIS-analys kommunvis med redovisning av markslagsklasser för bebyggelseområden i strandnära lägen – Exempel från studieområdena

#### Varberg Låghusbebyggelse

Figur 22 visar att nya höjdmodellen (1 m punktmoln) redovisar bebyggelse på högre nivåer än tidigare kartsystem som bygger på grova höjddata (50 m +). Även totala byggda ytan minskar i intervall 0 till + 5 m med ca 6% beroende på ”bättre upplösning” i analysen av undersökningsområdet.



Figur 22. Areal av markslag Låghusbebyggelse belägna på vissa höjdintervall. Jämförelse mellan olika höjdmodeller, studieområde Varberg.



Figur 23. Areal av markslag Fritidshushusbebyggelse belägna på vissa höjdintervall. Jämförelse mellan olika höjdmodeller, studieområde Varberg.

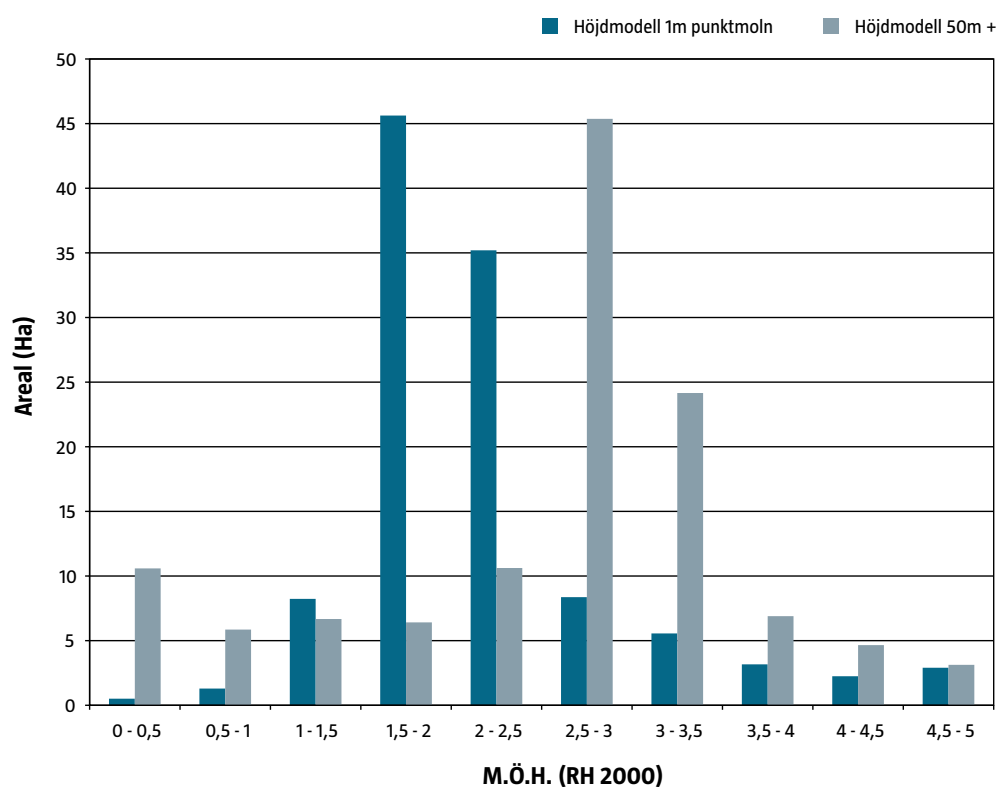
### Varberg Fritidsbebyggelse

Figur 23 visar att nya höjdmodellen (1 m punktmoln) redovisar bebyggelse på högre nivåer än tidigare kartsystem som bygger på grova höjddata (50 m +). Även totala bebyggda ytan minskar i intervall 0 till + 5 m med ca 6% beroende på "bättre upplösning" i analysen av undersökningsområdet.

### Varberg Industri

Figur 24 visar att nya höjdmodellen (1 m punktmoln) redovisar bebyggelse på lägre nivåer än tidigare kartsystem som bygger på grova höjddata (50 m +). Denna redovisning är alarmerande! Enligt äldre redovisning finns den stora andelen industribyggnader på nivåer > + 2,5. Nu visas att en stor andel industribebyggelse enligt NNH-data är belägen på nivåer < + 2,0 m som ligger klart under HHW-nivåer för 2100. Ytterligare industrier i stor omfattning är belägna på nivåer < + 2,5 m jämfört med tidigare redovisning!

Den totala bebyggda ytan för industribyggnader minskar i intervall 0 till + 5 m med ca 7% beroende på "bättre upplösning" i analysen av undersökningsområdet.

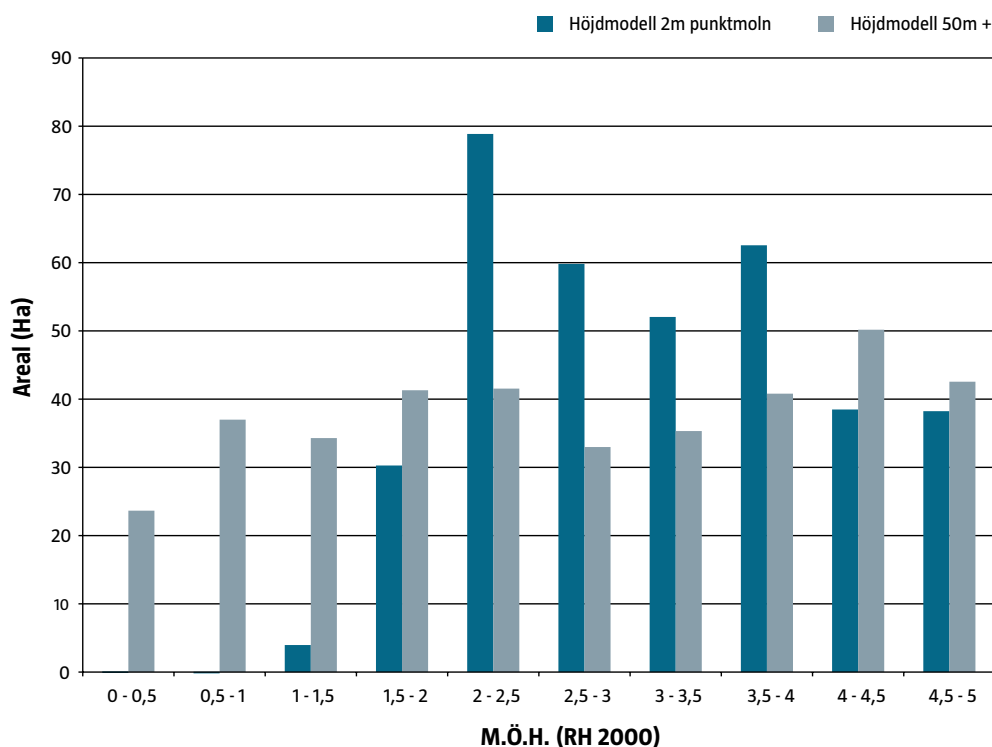


Figur 24. Areal av markslag Industribebyggelse belägna på vissa höjdintervall. Jämförelse mellan olika höjdmodeller, studieområde Varberg.

### Malmö Låghusbebyggelse

Figur 25 visar att nya höjdmodellen (2 m) redovisar bebyggelse på högre nivåer än tidigare kartsystem som bygger på grova höjddata (50 m +). Viss andel finns kvar på nivå < + 2,0 m men andelen har minskat med ca 75%. Stora delar av låghusbebyggelsen ligger på nivåer mellan + 2 till + 3 m.

Den totala bebyggda ytan minskar i intervall 0 till + 5 m med ca 6% beroende på ”bättre upplösning” i analysen av undersökningsområdet.

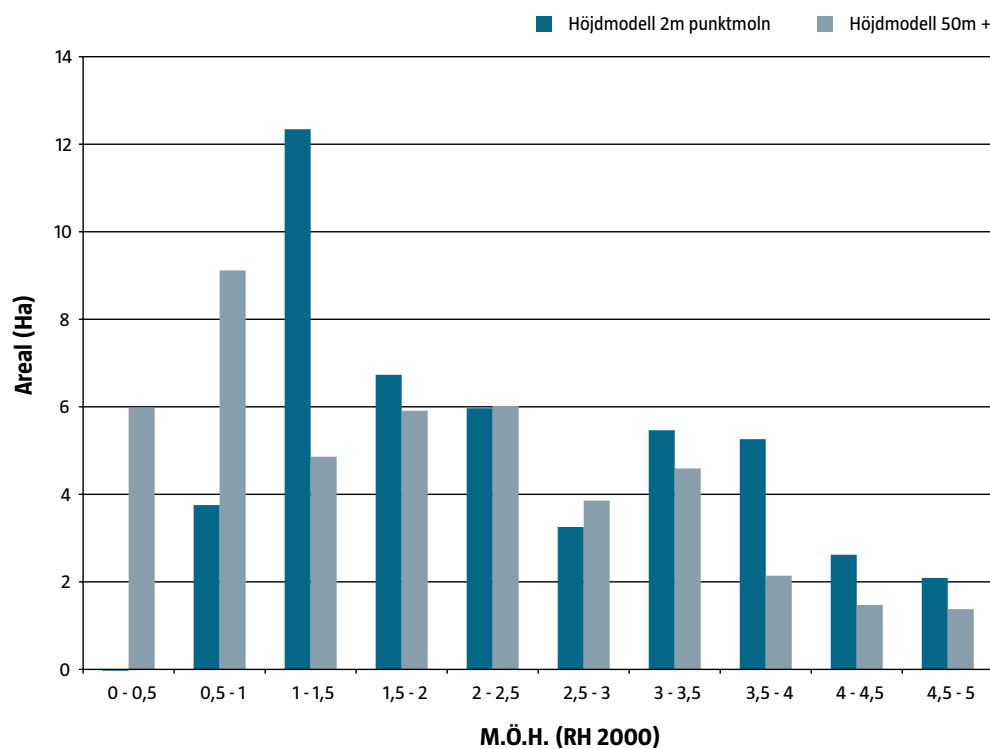


Figur 25. Areal av markslag Låghusbebyggelse belägna på vissa höjdintervall. Jämförelse mellan olika höjdmodeller, studieområde Malmö.

### Malmö Fritidsbebyggelse

Figur 26 visar att nya höjdmodellen (2 m+) redovisar bebyggelse på högre nivåer än tidigare kartsystem som bygger på grova höjddata (50 m +). Bebyggelse < + 1,0 m minskar med 75% medan bebyggelsen mellan 0 till +2 m bara minskar med 12%.

Den totala bebyggda ytan ökar i intervall 0 till + 5 m med ca 5 % beroende på ”bättre upplösning” i analysen av undersökningsområdet.

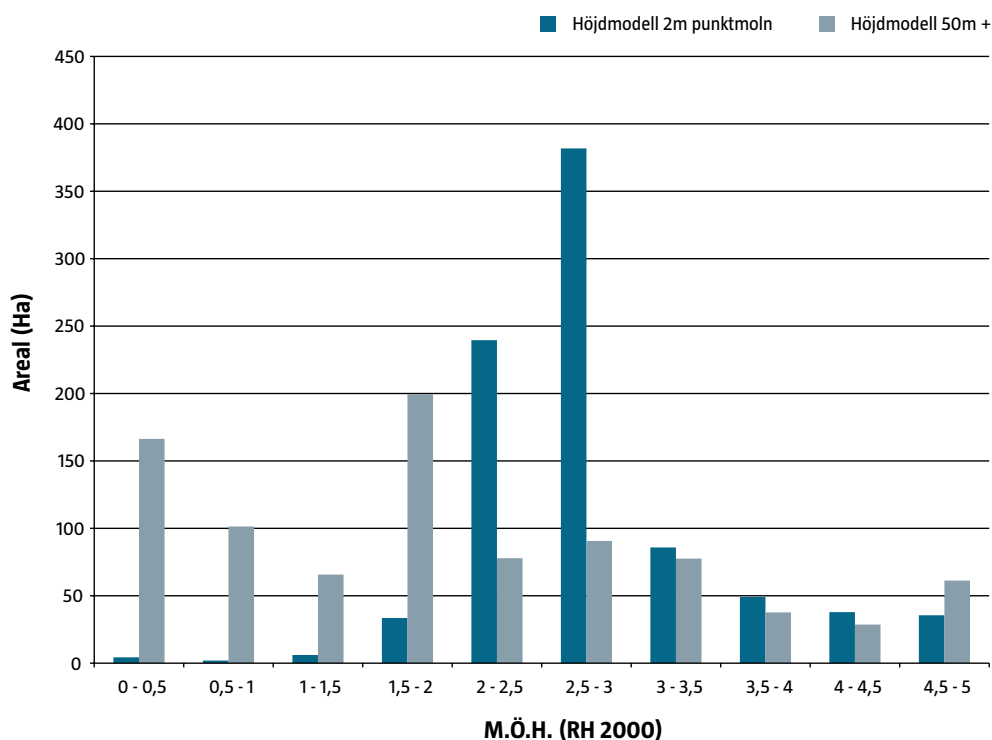


Figur 26. Areal av markslag Fritidshusbebyggelse belägna på vissa höjdintervall. Jämförelse mellan olika höjdmodeller, studieområde Malmö.

### Malmö Industrimark

Figur 27 visar att nya höjdmodellen (2 m) redovisar bebyggelse på högre nivåer än tidigare kartsystem som bygger på grova höjddata (50 m +). Redovisad bebyggelse på nivåer < + 1,0 m minskar med 97% medan bebyggelsen på nivåer mellan 0 till +2 m minskar med 91%! Detta ger positiva besked avseende läget för industriområdena där den stora andelen ligger på nivå + 2,5 till + 3 m.

Den totala bebyggda ytan minskar i intervall 0 till + 5 m med ca 4 % beroende på ”bättre upplösning” i analysen av undersökningsområdet.

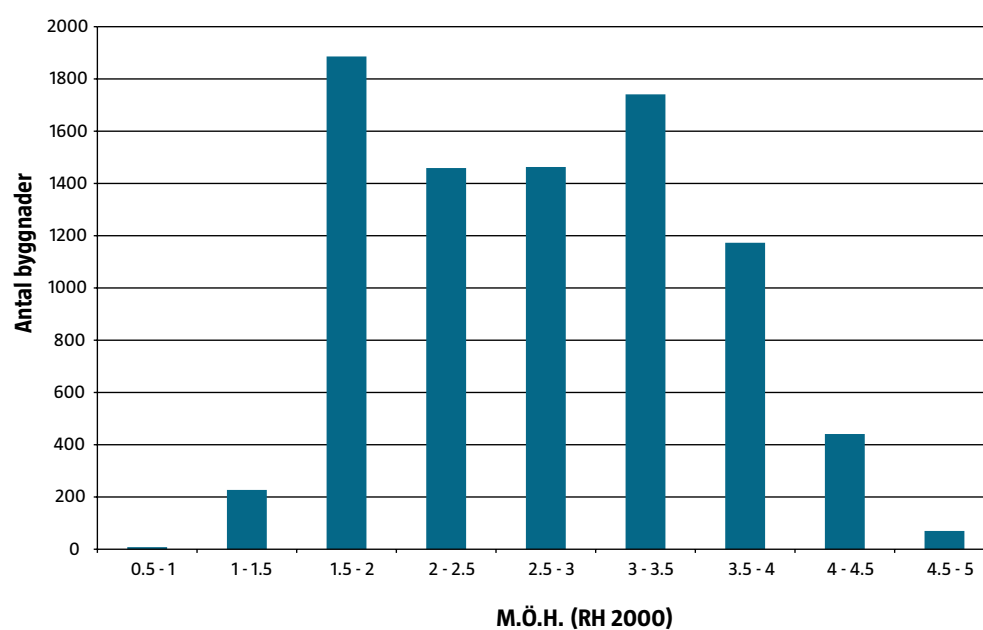


Figur 27. Areal av markslag Industribebyggelse belägna på vissa höjdintervall. Jämförelse mellan olika höjdmodeller, studieområde Malmö.

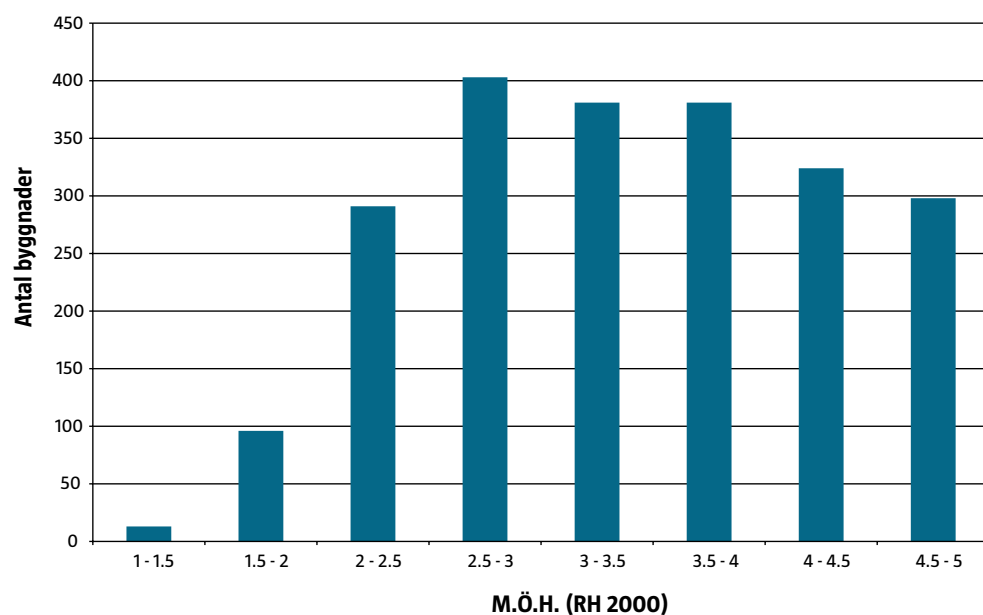


### GIS-analys med byggnadsregistret– Exempel från kommuner i studieområdena

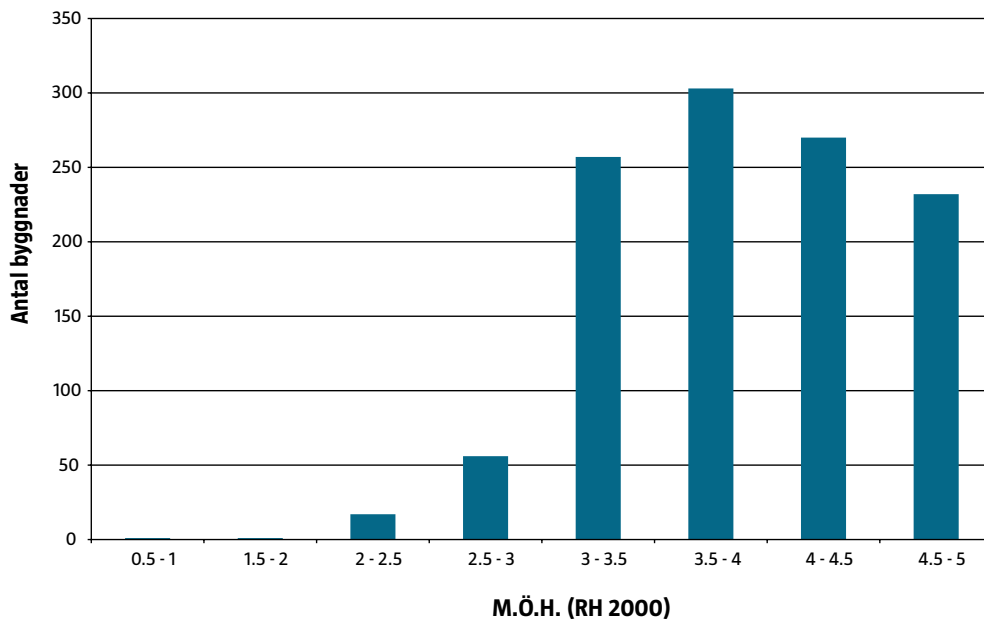
Dessa analyser visar hur många byggnader av olika typ som är belägna i höjdintervall upp till 5 meter enligt NNH. I Figur 28 visas kategorin bostadshus i Vellinge kommun. Vellinge kommun har över 2000 bostäder som ligger på låglänt mark (< +2 m) beroende på kommunens speciella topografi och med en mycket lång kustlinje. Figur 29 och Figur 30 visar motsvarande för kommunerna Varberg respektive Luleå. Varberg har drygt 100 byggnader på låglänt mark (< +2 m) medan Luleå undviker låglänt terräng sannolikt beroende på respekt för kraftigt påverkande isförhållanden vintertid och vid islossning.



Figur 28. Bostadshus belägna på olika höjd över havet, Vellinge kommun.



Figur 29. Bostadshus belägna på olika höjd över havet, Varbergs kommun.



Figur 30. Bostadshus belägna på olika höjd över havet, Luleå.

## Analys av kusterosion vid stigande havsnivåer

### Modell A: Exempel från delområden

#### Fall 1

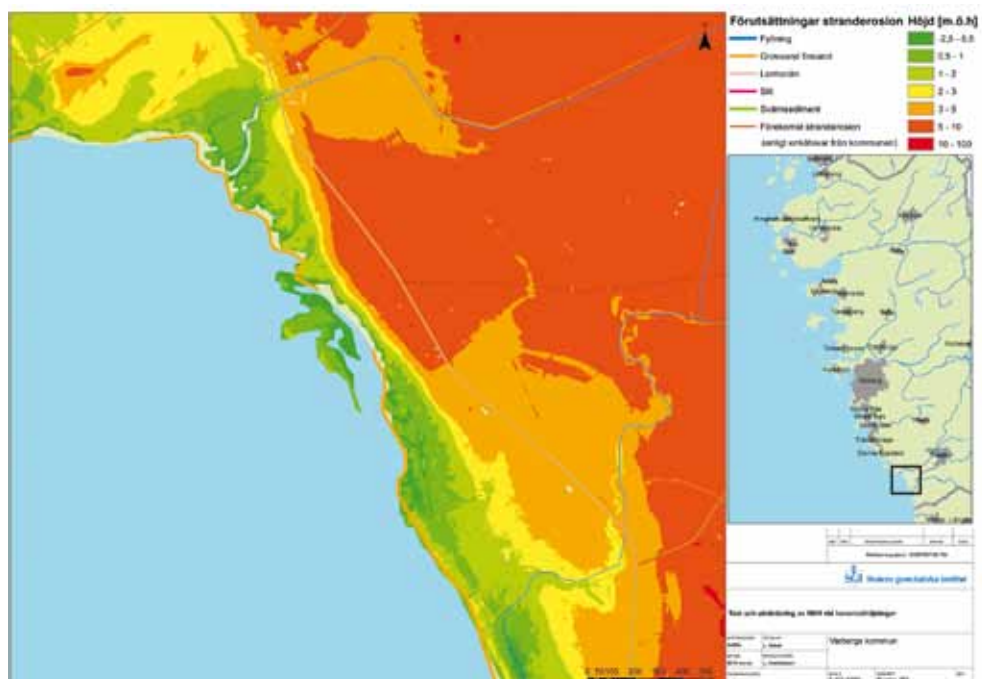
Exempel från Vellinge kommun (delområde Malmö vid Falsterbo mot sydkusten) med sandlager till betydande mäktighet som också bildat dynformer. Området är mest utsatt för framtida havsnivåhöjningar nära Falsterbo udde där den nya NNH-baserade kartan visar på strandnivåer + 0,5 - +1,5 innan en dynformation tar vid ca 50 m från strandlinjen. Dessa sandformationer är känsliga för kusterosion särskilt vid en förmodad havsnivåhöjning fram till 2100.

Figur 32 visar exempel från Varbergs kommun (del av strandområde sydväst om Tvååkers tätbebyggelse ner till kommungränsen i söder). Dynområden med sandlager (mäktighet > 5 m) där kusterosionen under perioden 2010-2100 kan ge påverkan 100 m från nuvarande strandlinje på MW-nivå + 0,05 i RH2000.

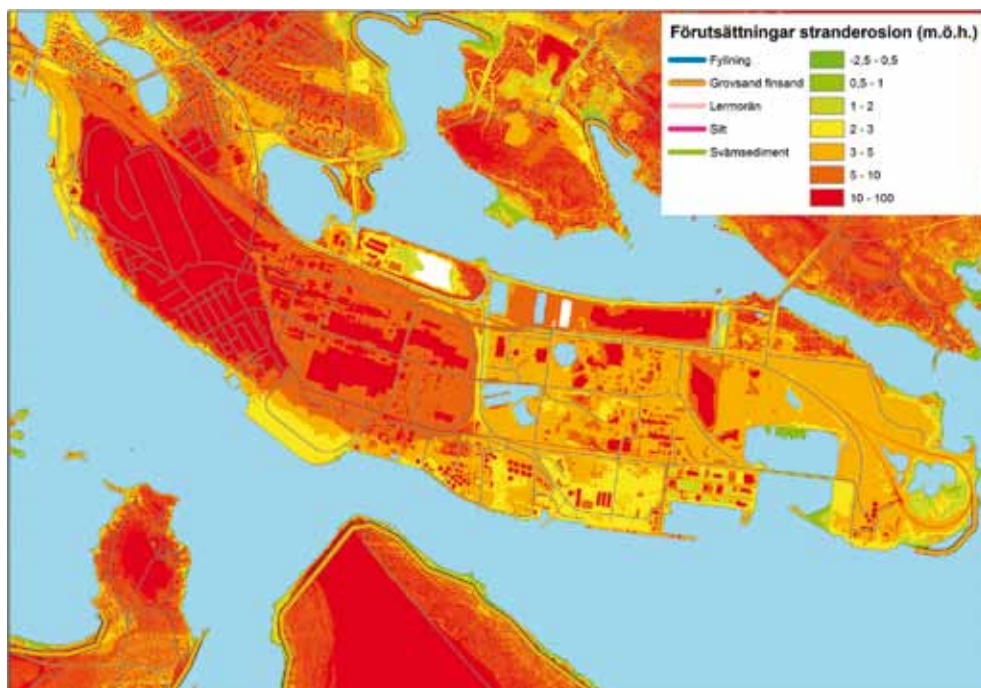
Exempel från Luleå kommun (Lulenäset med Kallax flygplats / Kallaxhalvön) med isälvssediment huvudsakligen sand till stort djup (Figur 33). Området påverkas av erosion upp till 30 m in från nuvarande strandlinje Dock kan man här förvänta sig mindre vågpåverkan eftersom det finns skyddande öar. Ett delområde som kan påverkas av strömmar är sundet mellan Sandön och Lulenäset som kan medföra högre strömhastigheter. Centrala Luleå med industriområde är delvis utfyllda områden och har i regel erosionsskydd i strandområden.



Figur 31. Förutsättningar för stranderosion, Falsterbo.



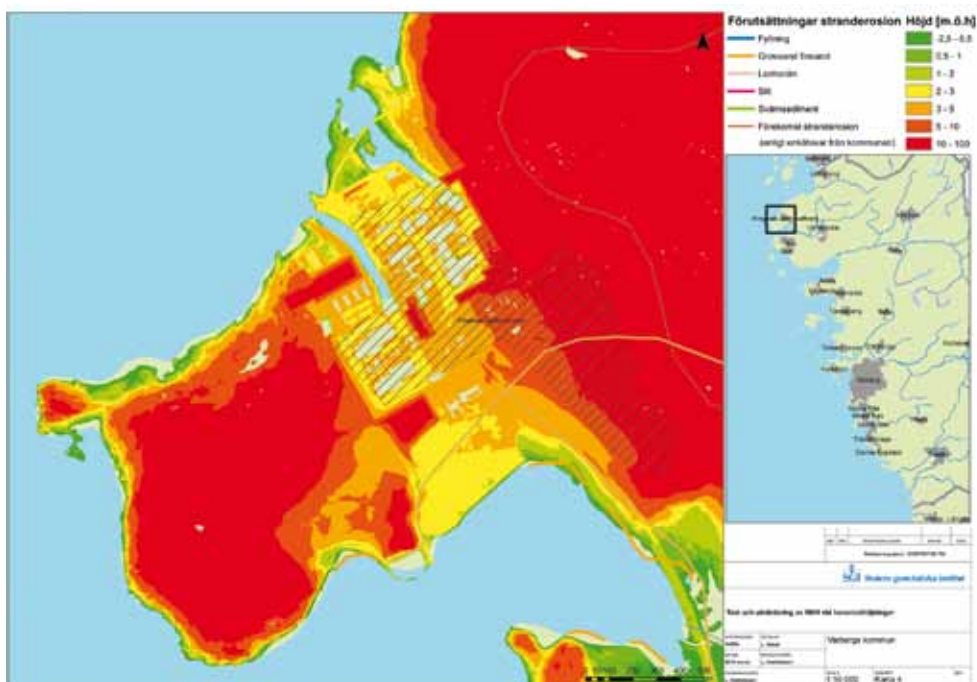
Figur 32. Höjdförhållanden och stranderosion i sydvästra delen av Varbergs kommun.



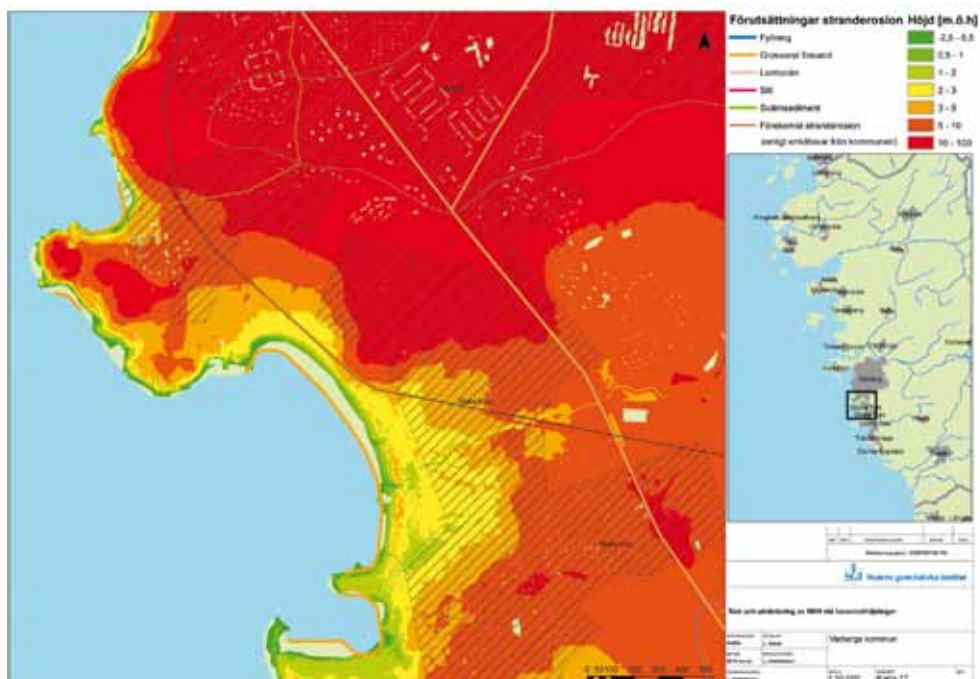
Figur 33. Höjdförhållanden och stranderosion i Luleå.

## Fall 2

Exempel från Varbergs kommun (Vik mellan Ringhals och Bua, Apelviken söder om Varberg och viss del av strandområde sydväst om Tvååker, Figur 34 och Figur 35) med varierande jorddjup och strandzon. Inom strandzonen närmare strandlinje än 100 m finns fastare och mindre erosionskänsliga jordlager på nivåer som medför att mindre inträngning av erosionszonen än 100 m uppkommer.



Figur 34. Höjdförhållanden och stranderosion omkring Ringhals, Varbergs kommun.



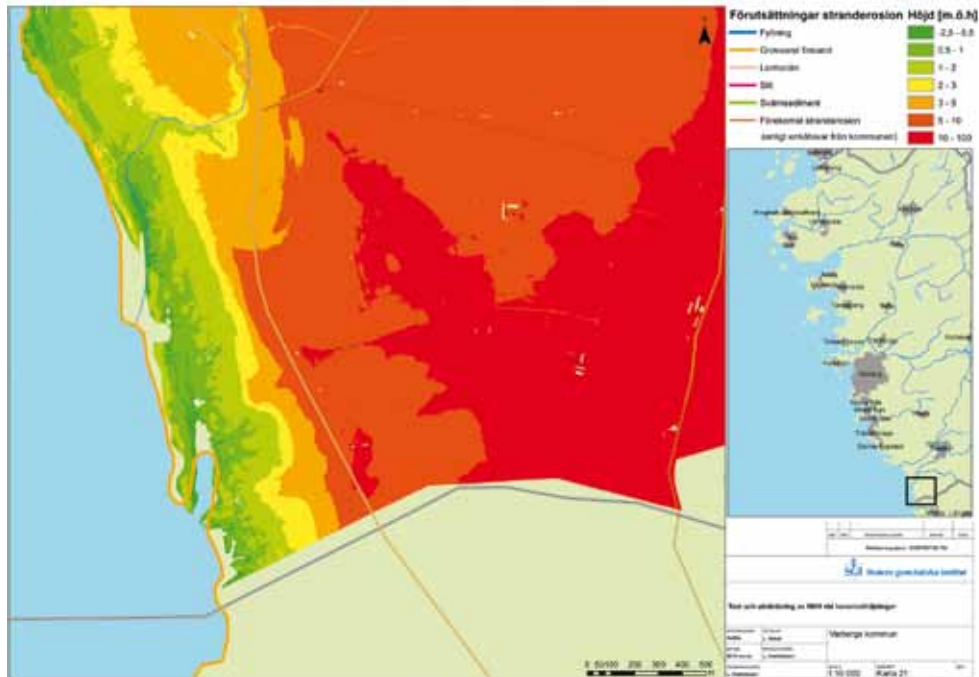
Figur 35. Höjdförhållanden och stranderosion kring Apelviken, Varbergs kommun.

Exempel från Luleå kommun (Sandön, Figur 33) med varierande jorddjup och strandzon. Inom strandzonen närmare strandlinje än 30 m finns fastare och mindre erosionskänsliga jordlager på nivåer som medför att mindre inträngning av erosionszonen än 30 m uppkommer.

Exempel från Luleå kommun (Kallaxhalvön, Figur 33) med varierande jorddjup och strandzon. Inom strandzonen närmare strandlinje än 100 m finns fastare och mindre erosionskänsliga jordlager på nivåer som medför att mindre inträngning av erosionszonen än 100 m uppkommer.

### Fall 3

Exempel från Varbergs kommun (del av strandområde sydväst om Tvååkers tätbebyggelse ner till kommungränsen i söder, Figur 36). Dynområden är på vissa sträckor begränsade i höjd där kusterosionen i framtiden kan få ett snabbare förlopp. När bakomliggande strandområdenas nivå understiger + 1,0 m över MW för år 2010 kan antas att erosionszonen under tidsperioden fram till 2100 riskerar att påverka hela området fram till nya MW-nivån för år 2100. För en modellredovisning kan ytor med nivåer < + 1,0 i RH2000 redovisas för denna utbredning och markeras som stranderosionsområde.



Figur 36. Höjdförhållanden och stranderosion i södra delen av Varbergs kommun.

Exempel från Varbergs kommun (södra delen av strandområde vid Apelviken, Figur 35) Låga dyner (+ 2,0 - + 3,0) med bakomliggande låglänta diken med bäckflöden (nivå < + 1,0) och intilliggande områden (nivå < + 2,0) mer än 100 m in från strandlinjen. Enligt jordartskartan är sandlagret mäktighet > 5 m i hela strandområdet.

Exempel från Vellinge kommun inom Malmö-området (Skanör norr om tätbebyggelse och Skanörs ljungs naturreservat, Figur 37). Dynområden är på vissa sträckor begränsade i höjd där kusterosionen i framtiden kan få ett snabbare förlopp. När strandområdenas nivå understiger + 1,0 m över MW för år 2010 kan antas att erosionszonen under tidsperioden fram till 2100 riskerar att täcka hela området fram till nya MW-nivån för år 2100.

För en modellredovisning kan ytor med nivåer < + 1,0 i RH2000 redovisas för denna utbredning och markeras som stranderosionsområde. Sannolikt måste skyddsåtgärder vidtas i detta område. NNH-underlag ger då möjligheter att på ett bättre sätt planera för skyddsinsatser. Enligt jordartskartan är silt- och sandlagrets mäktighet > 5 m i hela området.



Figur 37. Höjdförhållanden och stranderosion i Skanör, Vellinge kommun.

### Erosionskänsliga jordarter och lutning

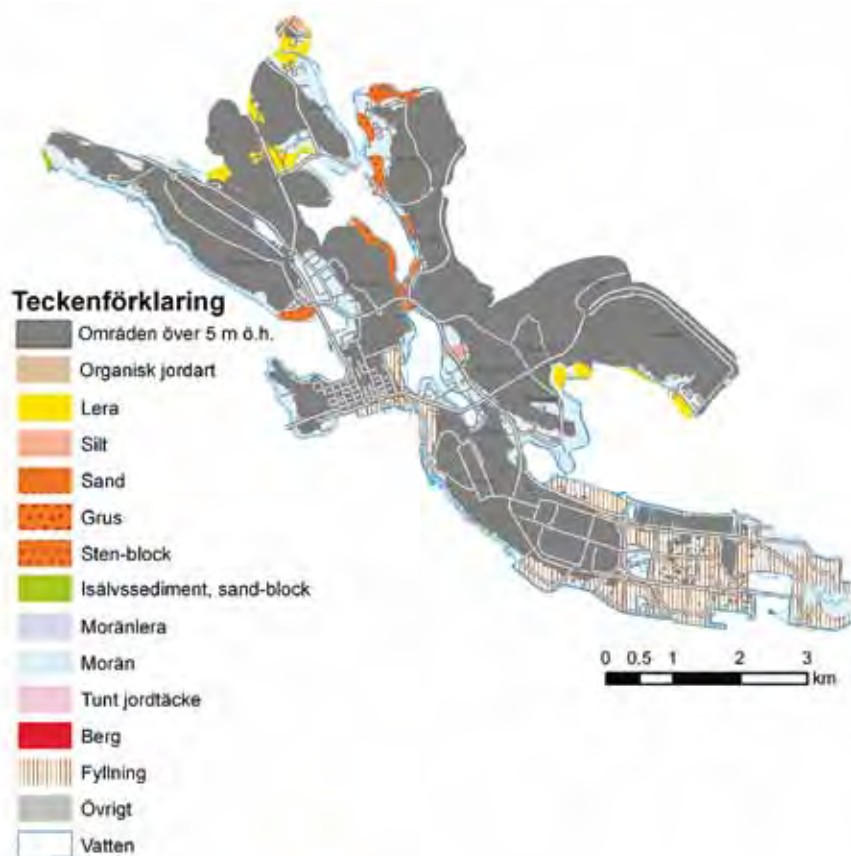
Med metoden beskriven i tidigare kapitel analyserades kustområden som är känsliga för höjd havsnivå. Kartorna som följer för varje delområde är uppbyggda enligt följande;

- Jordarter enligt SGU:s jordartskartering.
- Omklassad jordartskarta som visar jordarternas förutsättning för erosion
- NNH analyserad i lutningsklasser.
- En kombination av ABC som visar områden som har jordarter med förutsättningar för erosion samt lutningar som är känsliga för erosion i strandnära områden.

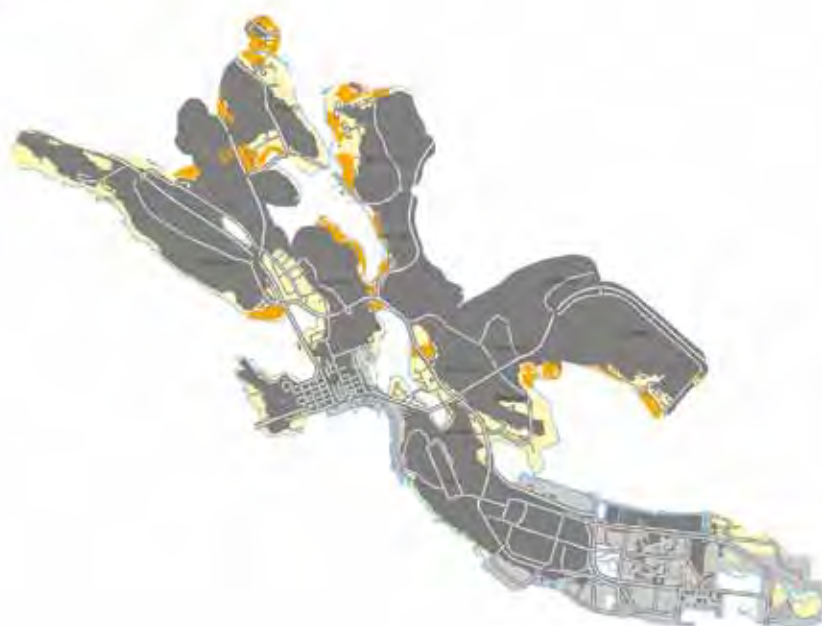
Figur 38 och 39 visar studieområdet i Luleå. och är exempel från studieområdet i Malmö – Vellinge. Motsvarande för Varberg visas i. Figur 40 och 41.

För delområde Luleå (Figur 39) som främst täcker själva staden kommer stora delar av området att bli oklassat enligt denna modell eftersom stora områden utgörs av olika typer av fyllnadsmassor.

**A**



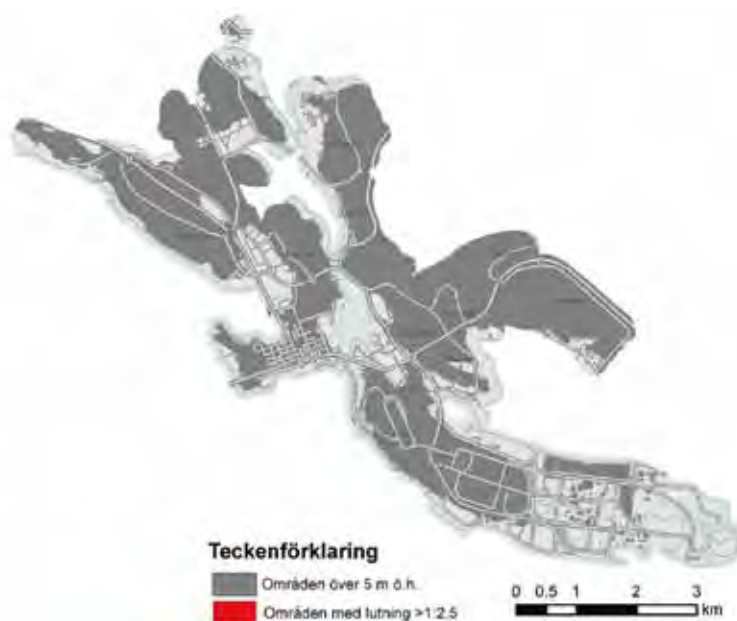
**B**



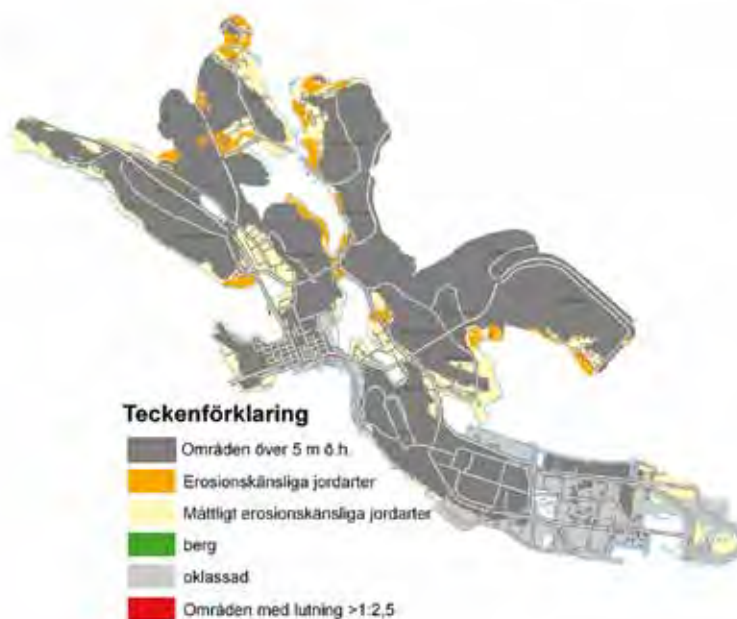
Figur 38. Jordarter i studieområde Luleå. Den övre kartan (A) visar karläggning av jordarter enligt SGU. Den undre kartan (B) visar jordarter klassade i olika erosionskänslighet.



C

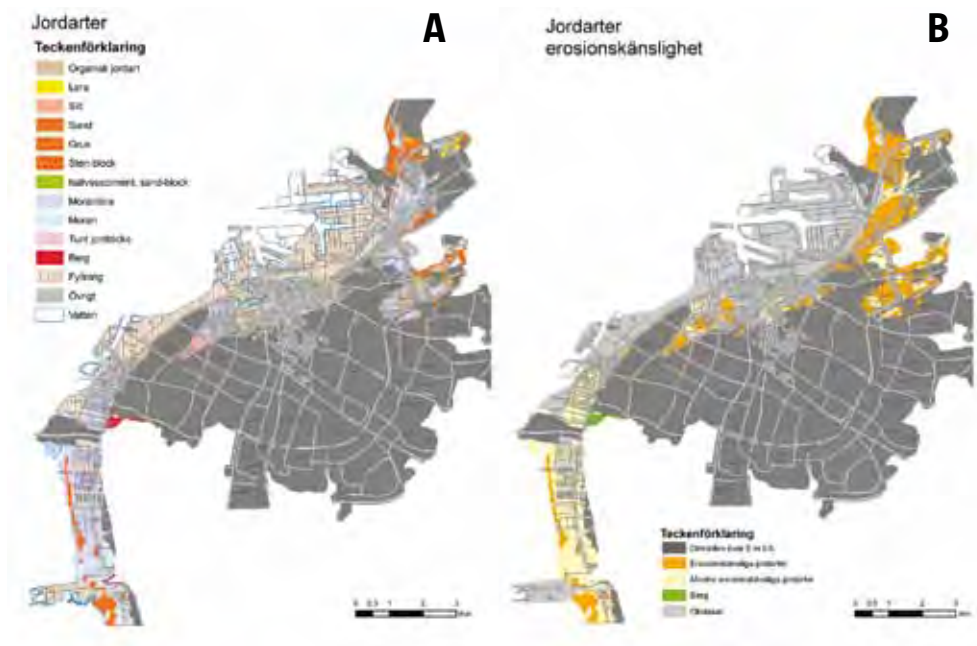


D

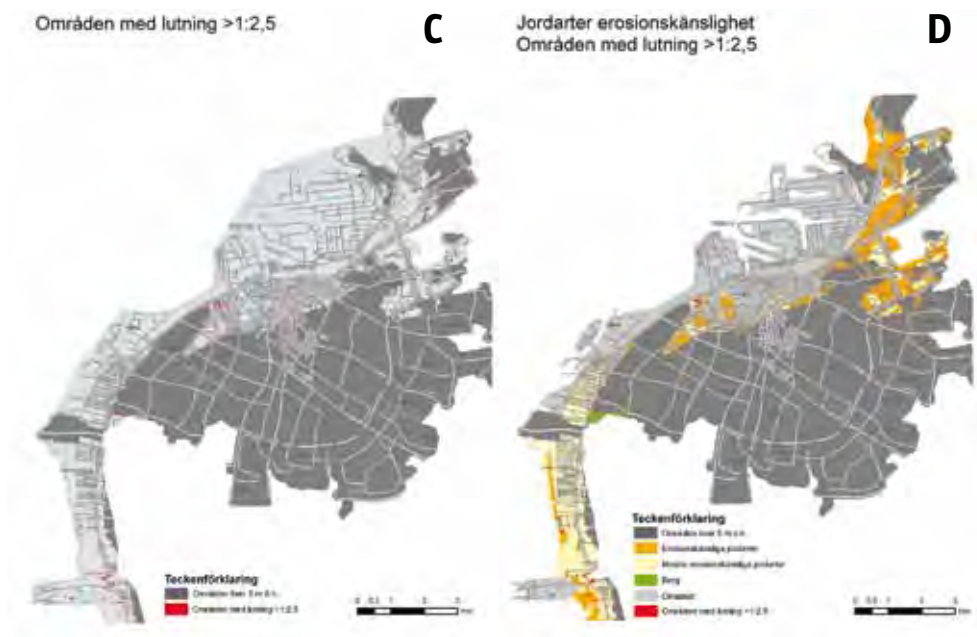


Figur 39. Jordarter och erosionskänslighet i studieområde Luleå. Den övre kartan (C) visar områden med en lutning som överstiger 1:2,5 (modellerad med NNH). Den undre kartan (D) redovisar samma information i kombination med jordarter.

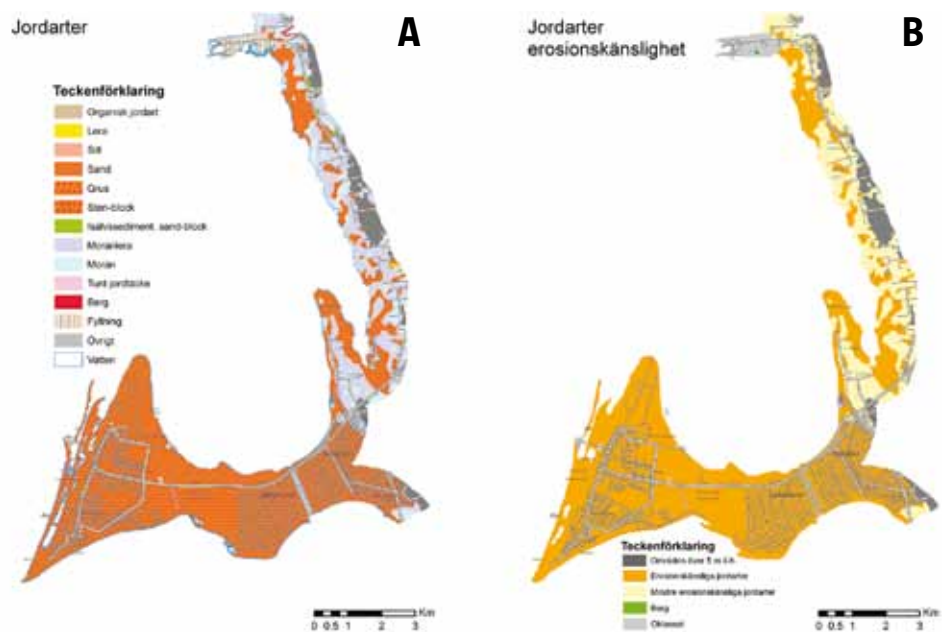
I delområde Malmö-Vellinge framträder några tydliga områden där det förekommer erosionskänsliga jordarter (Figur 40 och 41). Omkring Falsterbo framträder även kustnära områden med stor lutning (Figur 43). Dessa områden utgörs av sanddyner som kan vara mer känsliga för en havsyttnivåhöjning.



Figur 40. Norra delen av studieområde Malmö-Vellinge. Den vänstra bilden (A) visar jordarter och den högra bilden (B) visar jordarter med olika erosionskänslighet.



Figur 41. Norra delen av studieområde Malmö-Vellinge. Den vänstra bilden (C) visar lutning (modellerad med NNH) större än 1:2,5 och den högra bilden (D) kombinerar detta med jordarter med olika erosionskänslighet.

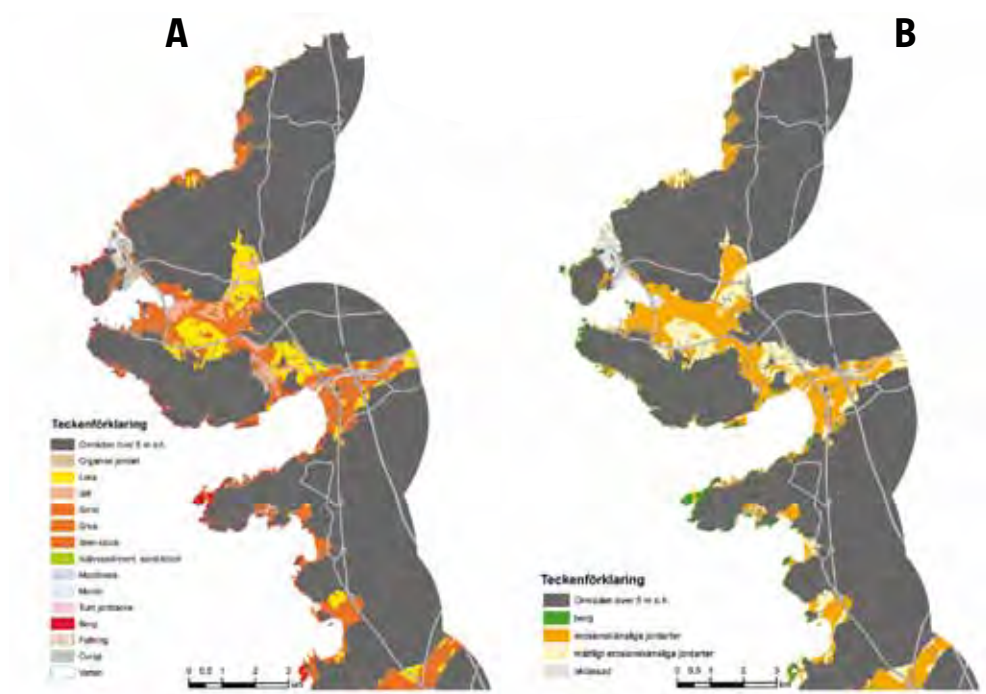


Figur 42. Södra delen av studieområde Malmö-Vellinge med Falsterbohalvön. Den vänstra bilden (A) visar jordarter och den högra bilden (B) visar jordarter med olika erosionskänslighet.

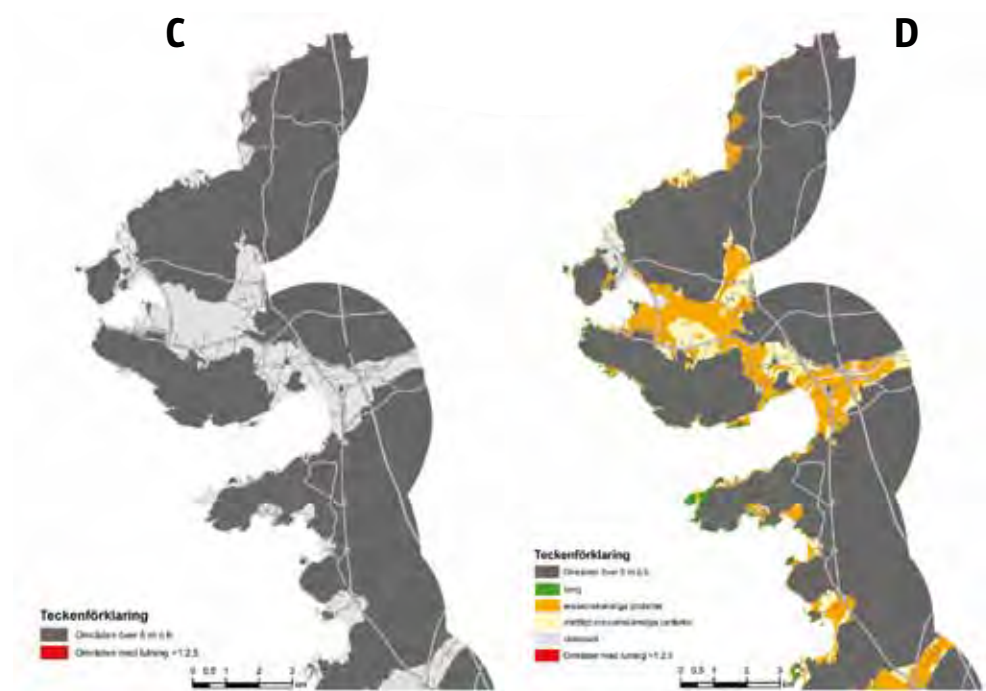


Figur 43. Södra delen av studieområde Malmö-Vellinge med Falsterbohalvön. Den vänstra bilden (C) visar lutning (modellerad med NNH) större än 1:2,5 och den högra bilden (D) kombinerar detta med jordarter med olika erosionskänslighet.

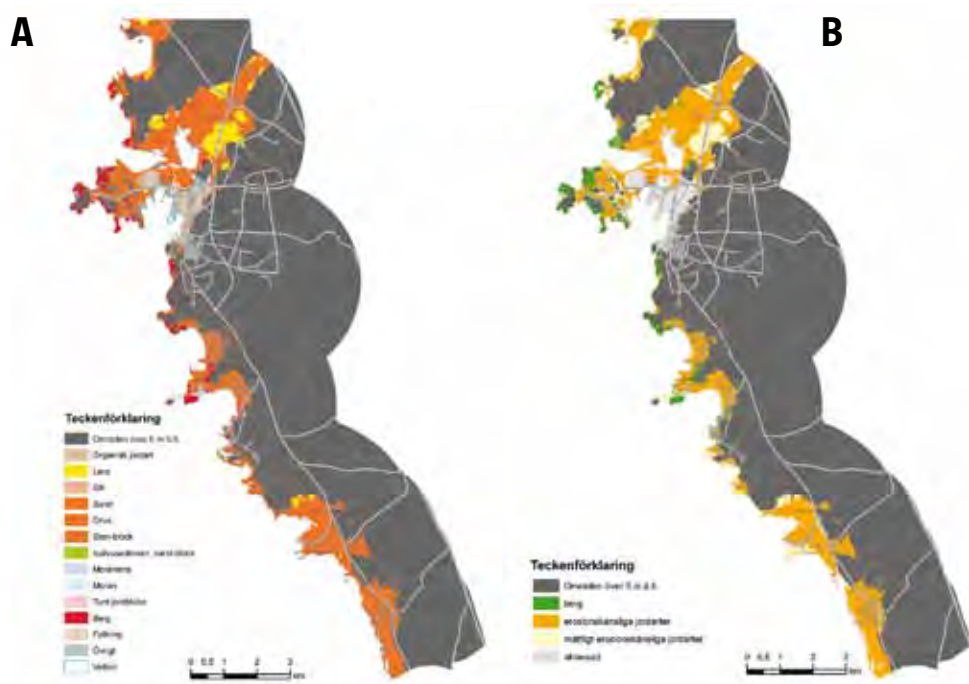
För delområde Varberg (Figur 44 – 47) framträder tydligt hur de topografiska skillnaderna gör att olika stora områden hamnar under vatten vid en höjning av havsyttenivån.



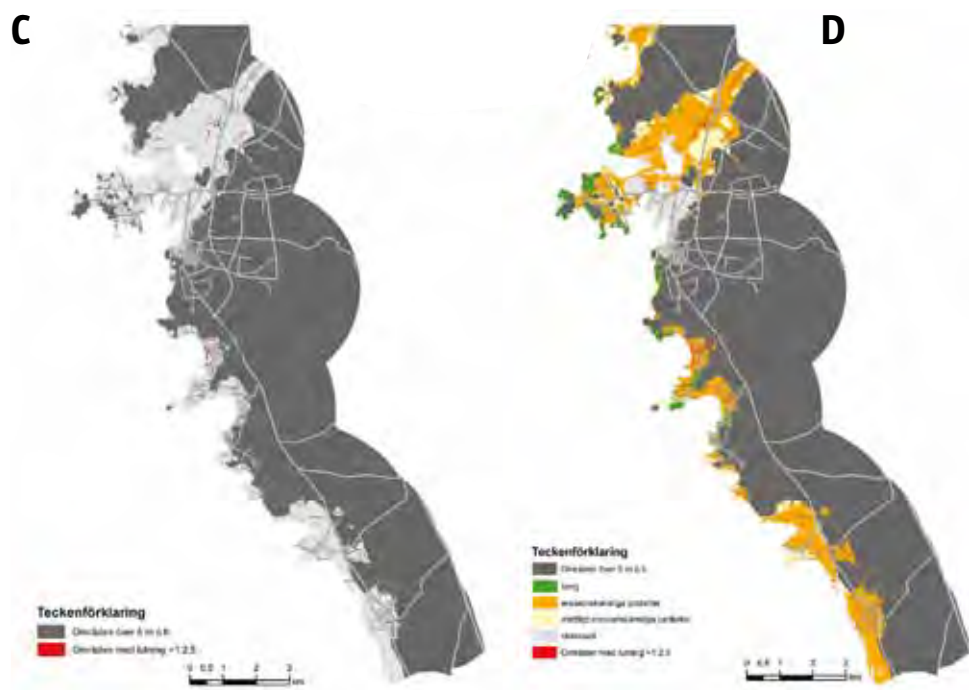
Figur 44. Norra delen av studieområde Varberg. Den vänstra bilden (A) visar jordarter och den högra bilden (B) visar jordarter med olika erosionskänslighet.



Figur 45. Norra delen av studieområde Varberg. Den vänstra bilden (C) visar lutning (modellerad med NNH) större än 1:2,5 och den högra bilden (D) kombinerar detta med jordarter med olika erosionskänslighet.



Figur 46. Södra delen av studieområde Varberg. Den vänstra bilden (A) visar jordarter och den högra bilden (B) visar jordarter med olika erosionskänslighet.



Figur 47. Södra delen av studieområde Varberg. Den vänstra bilden (C) visar lutning (modellerad med NNH) större än 1:2,5 och den högra bilden (D) kombinerar detta med jordarter med olika erosionskänslighet.

### Jordartskartan och NNH

Med hjälp av NNH kan äldre jordartskartor uppdateras och där geometriska oriktigheter i de jordartsgeologiska databaserna finns kan korrigeringar göras. I de undersökningsområden som studerats här har inga uppenbara stora fel i jordartsdatabaserna kunnat hittas. Däremot finns det områden där man kan se mindre geometriska fel och passningsfel som uppstått när tidigare underlag digitaliserats. NNH ger även möjlighet till att lyfta fram geomorfologiska element som är typiska för olika typer av avlagringar och processer. Det kan vara till stor hjälp av bedömning av egenskaper hos jordarterna t.ex. erosionsbenägenhet.



# **Diskussion och slutsatser**



## Diskussion och slutsatser

Noggrannheten i NNH 2+ och höjdd modeller skapade ur punktmolnet gör det nu möjligt att göra realistiska uppskattningar av vilka konsekvenser som kan komma av permanenta eller temporära förhöjningar av havsnivån. Jämförelsen med höjddatabasen GSD 50+ visar tydligt hur stor skillnad en mer högupplöst höjddatamodell gör när man gör beräkningar av t.ex. översvämmande arealer eller byggnader. Bedömningarna i Klimat och Sårbarhetsutredningen var visserligen mycket tentativa men anledning finns att se över denna typ av underlag när bättre material finns att tillgå. Denna studie tar upp exempel på användningsområden för NNH vad gäller kusterosion och övergripande bedömningar av översvämmande markområden. Inom studieområdena finns en rad enskilda objekt (vägar, offentliga byggnader, industrier och kraftverk) vilka skulle vara intressanta att specialstudera ur översvämningssynpunkt.

Ur ett planeringsperspektiv ger NNH nödvändig information till översikts- och detaljplaner i kustkommuner. Ur ett skyddsperspektiv ger NNH möjligheter att planera för riktade åtgärder mot översvämningar på detaljerad nivå.

En av de stora fördelarna med den nya nationella höjddmodellen och vad gäller konsekvenser av en förhöjd havsnivå är att det är lättare att avgränsa vilka områden som kommer att påverkas av en förhöjd havsyttenivå. NNH är även en tillgång vid bedömningen av förutsättningar för erosion genom att marknivåer och tillhörande uppgifter om vattennivåer finns att tillgå med godtagbar precision i ett gemensamt höjdsystem. Det återstår att beskriva jordlagerföljder, jordlagrens egenskaper avseende stabilitet och lagringsföljd.

Genom att kombinera jordartsinformation med noggrann höjddinformation från NNH kan de topografiska och jordartsgeologiska förutsättningarna vägas samman vid en bedömning av olika kustområdets känslighet för erosion, ras och skred vid en höjd havsyttenivå. Noggranna höjddata har också en potential i att förbättra tolkningen av den digitala jordartsinformationen. För en mer grundläggande analys av förutsättningarna för erosion behöver även andra parametrar som geotekniska förhållanden, vågexponering, markanvändning, havsströmmar och vegetation prövas och vägas in.

Denna studie syftar till att pröva några tillämpningar av NNH i arbetet med översvämmande kustområden. Dock har inte syftet varit att ta fram färdiga modeller och koncept utan att visa på möjliga tillämpnings- och utvecklingsområden.

**Bilagor**

## BILAGA 1 – 50- och 100 årsvattenstånd från SMHI

Denna bilaga utgör SMHI:s leveransbeskrivning för de beräknade 50/100-årsvattenstånd, vilka levererades till projektet januari 2011.

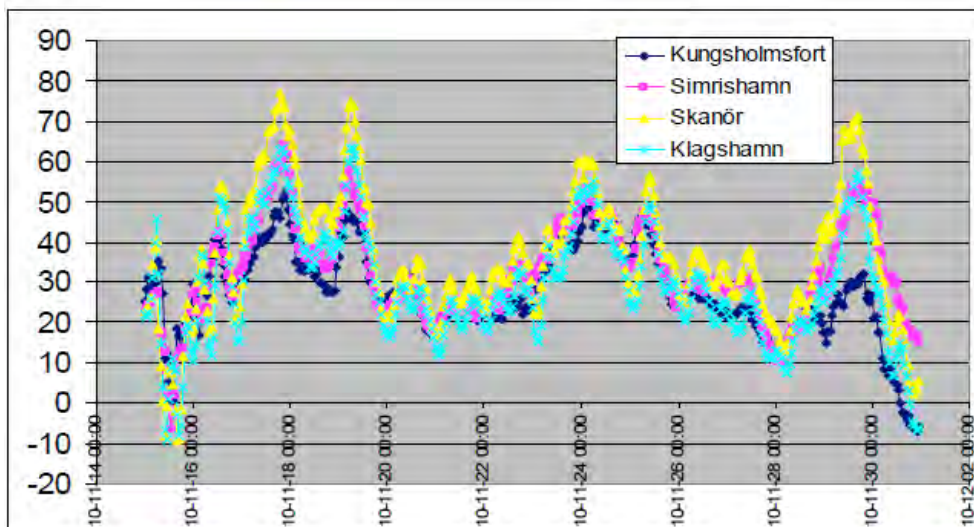
Ett vattenstånd med 100 års återkomsttid har en statistisk sannolikhet på 1 % (1/100) att överskridas varje år. Den kumulativa sannolikheten att denna nivå överskrids under en 100-års-period är 63 %. Beräknade nivåer med långa återkomsttider kommer att innehålla stora osäkerheter. I Flödeskommitténs ”Riktlinjer för bestämning av dimensionerande flöden för dammanläggningar” anges en tumregel som säger att den beräknade återkomsttiden inte bör vara mer än dubbelt så lång som den underliggande tidsserien. För Klagshamn-Malmö finns timvärden från 1929 medan mätningarna i Skanör påbörjades 1992. SMHI har därför rekommenderat att 100 års återkomsttid inte beräknas för Skanör. Mätningar i Kalix startade 1974. Tabell 1 visar 50 års återkomsttid för Skanör, 50 och 100 års återkomsttid för Klagshamn och 100 års återkomsttid för Kalix i RH2000. Detaljer om höjdsystem samt vattenståndsvariationer i de två regionerna ges nedan.

MÄTSTATION	50 ÅRS ÅTERKOMSTTID	100 ÅRS ÅTERKOMSTTID
Klagshamn 1924-2009	142.4 cm (134.8-160.6)	147.0 cm (137.8-170.3)
Skanör 1992-2009	146.3 cm (141.7-155.1)	
Kalix 1974-2009		200.0 cm (184.7-235.8)

Tabell 3. 50 och 100 års återkomsttid i höjdsystemet RH2000 baserat på årshögsta vattenstånd. 95 % konfidensintervall i parantes.

### Vattenståndsvariationer i södra Sverige

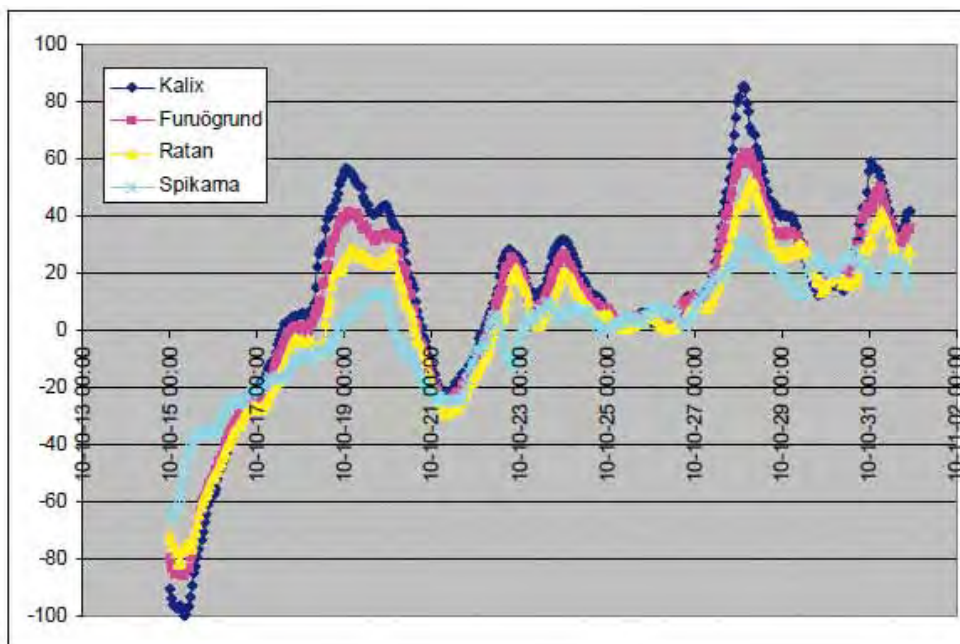
Variationer i vattenstånd relativt medelvatten beror på vind, lufttryck och tidvatten. I Östersjön är tidvattenvariationen obefintlig, medan den i Klagshamn – Skanör leder till ca 10 cm skillnad mellan högvatten och lågvatten. Topografiska förhållanden leder till relativt komplex dynamik för extrema vattenstånd i södra Sverige, men generellt kan man observera att det är stor grad av samvariation från Klagshamn och österut till Kungsholmsfort (Karlskrona). Det är vanligt att vattenståndet är något högre vid Skanör än vid Klagshamn vid höga vattenstånd. Figur 48 visar vattenståndsvariationer från Klagshamn till Kungsholmsfort 15 – 30 november 2010. Nivåerna visas relativt årets beräknade medelvattenyta. Att Skanör ligger något högre vid höga vattenstånd än kringliggande stationer är konsistent med vad vi vet om variationerna i området. Årshögsta vattenstånd 2009 (15 oktober) var t ex 81 cm över medelvatten i Klagshamn och 96 cm över medelvatten vid Skanör.



Figur 48. Vattenstånd (cm relativt medelvatten) från Klagshamn till Kungsholmsfort 15-30 november 2010. I detta område finns stor grad av samvariation, men höga vattenstånd tenderar att vara något högre i Skanör på grund av topografiska effekter. Figuren är ett exempel.

#### Vattenståndsvariationer i norra Bottenviken

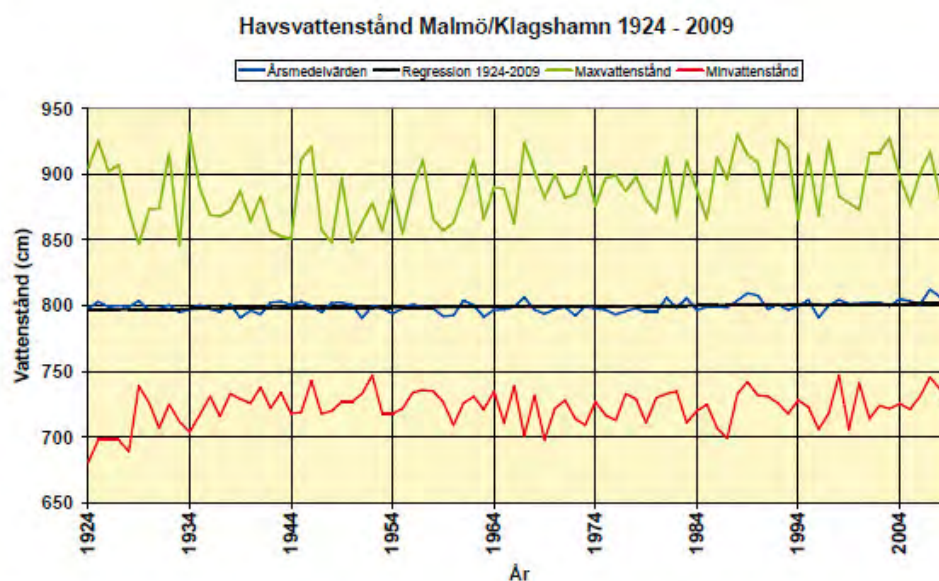
Vattenståndsvariationerna i Bottenviken och Bottenviken är stora. Detta beror bland annat på bassängens form. Kraftiga sydliga vindar leder till mycket höga vattenstånd vid Bottenvikens norra kust medan kraftiga nordliga vindar leder till höga vattenstånd norr om Ålands hav. Vid extrema nivåer i Kalix är vattenståndet vanligen något lägre söderut längs kusten.



Figur 49. Vattenstånd relativt medelvatten i Bottenviken 15 - 31 oktober 2010. Både höga och låga vattenstånd är mer distinkta i nordligaste Bottenviken än söderut längs kusten.

### Om medelvatten och höjdsystem

SMHI mäter och redovisar havsvattenstånd relativt en beräknad medelvattenyta. Denna bestäms genom regression av många års årsmedelvärden. Det krävs mer än 30 års värden för att någorlunda väl kunna bestämma regressionslinjen, och för kortare mätserier används även närliggande stationer som stöd. Det beräknade medelvattenståndet från år till år beror främst på förhållandet mellan havets höjning och på landhöjningen som varierar regionalt. Denna beräknade medelvattenyta skiljer sig från årets genomsnittliga vattenstånd (se Figur 3).



Figur 50. Årets genomsnittliga vattenstånd, årets beräknade vattenstånd och årets högsta och lägsta vattenstånd 1924-2009 för Klagshamn-Malmö i ett lokalt höjdsystem.

För att kunna beskriva havets relation till land används fasta höjdsystem. Årets medelvattenstånd på SMHI:s vattenståndsstationer (peglar) relateras till höjdsystemen på olika sätt, både till det lokala höjdsystem som finns för varje station och till något eller några av Rikets höjdsystem. 13 av SMHI:s peglar ligger inom 20 km från en av SWEPOS GPS-stationer, som används bland annat för mätning av jordskorpans rörelse. Detta gäller dock inte Klagshamn, Skanör eller Kalix. Tabell 2 visar relationen mellan årets beräknade medelvattenyta 2009 och olika höjdsystem. Förhållandet förändras beroende på havets höjning och landhöjningen.

	MW2009	RH00	RH70	RH2000
Klagshamn	0	2	5	12
Skanör	0	4	8	15
Kalix	0	-90	-10	13

Tabell 4. Årets beräknade medelvattenyta 2009 i RH00, RH70 och RH2000. För Skanör anges endast kraftigt uppskattade värdet.

**Framtidens vattenstånd**

Fördelen med att ange vattenstånd relativt medelvattenståndet är att det är enkelt att använda och tillämpa historiska data för att ta fram statistik för dagens förhållanden trots den stora landhöjning som finns i Sverige. För praktiska tillämpningar lämpar sig ett fast höjdsystem bättre. Resultaten i Tabell 1 anges i RH2000 och gäller för 2009 års medelvattenstånd. I Kalix där den apparenta landhöjningen nu är 0,73 cm/år kommer resultatet att förändras relativt RH2000 med ca 7 cm på 10 år, förutsatt en havshöjning ungefär som idag. Vi har inte beaktat några klimatförändringar vid framtagandet av resultaten.

## BILAGA 2 – Klimatmodeller och framtida havsnivåer

Vid Rossby Centre på SMHI har tredimensionella regionala klimatmodeller utvecklats som beskriver atmosfären, landytorna, hav och is. RCAO (Rossby Centre Atmosphere and Ocean Model) är ett kopplat, högupplöst modellsystem som binder samman de olika delarna. Beräkningsområdet för RCAO motsvarar ungefär Europa.

Klimatförändringar orsakade av förändringar i t.ex. atmosfärens sammansättning eller markytans beskaffenhet kan beräknas i klimatmodeller. Eftersom det är mycket osäkert hur stora förändringarna blir eller hur snabbt förändringarna sker utgår man från olika scenarier, dvs. olika tänkbara utvecklingsvägar. IPCC (Intergovernmental panel of Climate Change) har utarbetat olika utsläppsscenarier (SRES\_Special Report on Emission Scenarios). De baseras på antaganden om bl.a. befolkningsutveckling, socio- ekonomisk och teknologisk utveckling. Vid beräkningar i denna utredning används utsläppsscenarierna A2 och B2, varav A2 representerar en högre utsläppsnivå än B2. Det är viktigt att notera att inget framtidsscenario är mer sannolikt än något annat och att eventuella internationella överenskommelser för att begränsa utsläppen av växthusgaser inte finns med i scenarierna. Mer information om de olika scenarierna finns t.ex. läsa i Naturvårdsverkets bok "En ännu varmare värld" (Bernes, 2007).

Klimatsystemet är globalt. Eftersom RCAO är ett regionalt modellsystem behövs data från en global modell för att beskriva situationen längs kanterna på det regionala området.

SMHI använder data från två olika globala modeller; den tyska ECHAM/OPYC3 från Max-Planck Institutet och den brittiska HadAM3H från Hadley Centre. Det går inte att säga att någon av dessa modeller är bättre än den andra.

Modellresultaten från RCAO avseende förhållandena 2071-2100 har använts för flödesberäkningarna nedan. För beräkningen av framtida havsvattenståndet i Helsingborg används resultat från de globala modeller som redovisas av IPCC men även nyare resultat diskuteras.

I IPCC:s Assessment Report 4 (AR4) presenteras resultaten om framtida vattenståndsnivåer som grundas på de senaste framstegen inom klimatmodellering fram till och med ungefär 2005 (IPCC, 2007). Fördröjningen på ca två år beror på att resultat måste vara vetenskapligt granskat för att kunna användas i processen. För perioden 2090-2099 beräknas haven enligt IPCC stiga med 18-59 cm jämfört med referensperioden 1980-1999. Resultaten grundar sig på ett större antal förbättrade klimatmodeller och förbättrad information om osäkerheter i drivningen av modellerna. Osäkerhetsintervallet omfattar här 5 till 95-percentilen av modellomfånget. Det presenterade osäkerhetsintervallet är ett globalt medelvärde. I IPCC:s Third Assessment Report (IPCC, 2001) och i IPCC:s Assessment Report 4 (IPCC, 2007) beskrevs en eventuell accelererad höjning av havsnivån fram till 2100 på grund av glaciärers hastiga respons på klimatförändringar bara översiktligt.

Senare års rapporter om isutbredningens förändringar i Antarktis och Grönland visar att modellerna inte fångar alla variationer. AR4 utgår ifrån den ökning i isflöde från Grönland och Antarktis som har observerats 1993-2003, men isflödet kan både öka och minska i framtiden. Om förändringen ökar linjärt med ökande temperatur kan vattenståndet stiga med ytterligare 0,1-0,2 m. Det finns också regionala variationer. AR4 visar att ökningen av medelvattenytan i Nordsjön kan ligga upp mot 0,2 m över det globala medelvärdet.

Efter AR4 har flera vetenskapliga artiklar publicerats som indikerar att ismältningen kan ske snabbare än vad som uppskattats tidigare. En vetenskaplig kommitté nedsatt av den holländska Deltakommittén presenterade år 2008 sin utvärdering av de senaste vetenskapliga resultaten. Man drog slutsatsen att man bör räkna med ett intervall på 0,55- 1,20 meter som högsta höjning av havsnivån utanför Hollands kust för att säkra de livsviktiga skyddsvallarna och dammanläggningarna. Den Holländska Deltakommittén uttrycker det på följande sätt: *"These values represent plausible upper limits based on the latest scientific insights. It is recommended to take these into account so that the current decisions we make and the measures we take will be sustainable for a long time, set against the background of what we can expect"* (Dutch Delta Committee, 2008). Man gör också en bedömning av den mest extrema höjningen fram till år 2200 och kommer fram till en höjning på 2-4 meter. Detta inkluderar effekterna av en landsänkning på ett par decimeter under samma period.

Även i Göteborg och Malmö har man analyserat konsekvenserna av högre vattenstånd i havet på grund av en global uppvärmning (Göteborgs stad, 2009; Malmö Stadsbyggnadskontor, 2008). I Göteborg stads utredning förs en diskussion om riskerna för att de siffror som IPCC anger kan ligga för lågt.

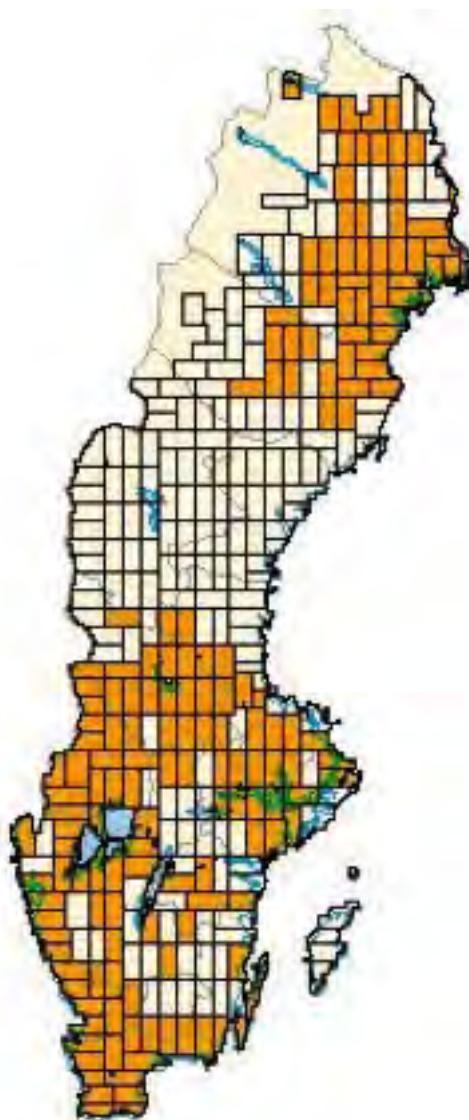
Medelvattenstånd MW för 2100 anges till +0,85 över dagens MW enligt uppgifter 2009 och gäller för Malmö och Vellinge.



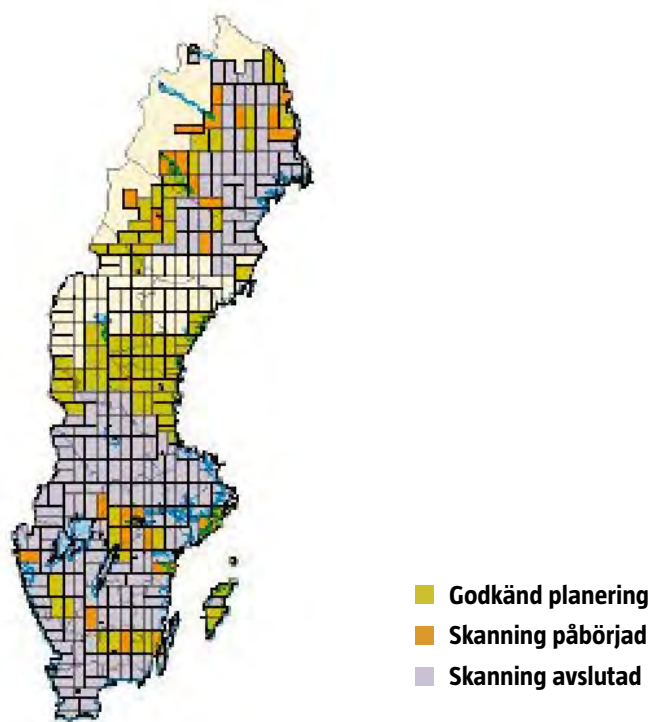
## BILAGA 3 – Status - laserskanning och NNH

Mer än halva Sverige har nu laserskannats för uppbyggnaden av ny nationell höjdmödel. Arbetet håller tidplanen och Lantmäteriet hoppas att resten av landet ska kunna flygas färdigt under de två kommande åren. De mindre områden som kvarstår i södra Sverige räknar man med att fylla under vintern och våren 2012.

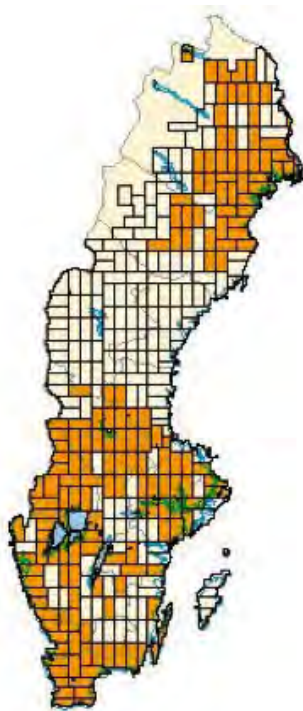
Kartan i Figur 51 visar skanningstatus den 12 december 2011. När skanning avslutats ska resultatet finnas leveransklart i lager inom 6 månader. Godkänd planering hänvisar till att dessa områden är finansierade och planlagda för skanning under de närmaste åren.



Figur 52. visar vilka områden som är leveransklara.



Figur 51. Skanningstatus 2011-12-12



Figur 52. Klart i lager 2011-12-12





Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

651 81 Karlstad Tfn 0771-240 240

Publ.nr: MSB361 - april 2012 ISBN: 978-91-7383-203-8

[www.msb.se/nationellplattform](http://www.msb.se/nationellplattform)