Seminarieuppsatser nr 169

Kustöversvämningar och GIS

- en studie om Skånska kustnära kommuners arbete samt interpolationsmetodens betydelse av höjddata vid översvämningssimulering

Nina Cerić och Sanna Elgh Dalgren

2008
Centrum för Geobiosfärsvetenskap
Naturgeografi och Ekosystemanalys
Lunds Universitet
Sölvegatan 12
223 62 Lund

Kustöversvämningar och GIS
- en studie om Skånska kustnära kommuners arbete samt interpolationsmetodens betydelse av höjddata vid översvämningssimulering

---

Nina Cerić och Sanna Elgh Dalgren
Magister/Master uppsats i naturgeografi och ekosystemanalys

Handledare:

KarinGullstrand
Björn Almström
SWECO, Malmö

Harry Lankreijer
Karin Larsson
Institutionen för Naturgeografi och Ekosystemanalys

Lunds Universitet, 2009

ABSTRACT

Global warming is causing rising sea levels due to melting of land ice and thermal expansion of water. This could lead to serious consequences around the world, such as environmental refugees.

In case of a radical sea level rise, Sweden faces big challenges because many people live along the coasts. This thesis includes a study on how the Scanian coastal municipalities attack the problem of preventing coastal flooding. Their work has been explored and the results show that the municipalities are at various stages of progress. A first approach is usually to map the areas at risk in the event of sea level rise. This work is usually distributed to consultants and it is done preferably with coastal flood simulations in GIS.

The possibility to simulate coastal flooding was looked at in four GIS programs, and it proved to be limited. It is possible to perform the analysis in most GIS programs but it requires great knowledge and the analysis must be performed in many steps, leading to increased risk of errors.

The condition for a costal flooding analysis to be carried out is access to continuous elevation data, usually interpolated from elevation-points. It is important that the elevation data is of good quality, which requires high accuracy of the raw data but also a good interpolation. There are many interpolation methods whereof three (*inverse distance weighting, kriging* and *topo to raster (ArcGIS specific)*) were compared in this study. In total 16 interpolations were conducted, whose RMSE (*Root Mean Square Error*) values were calculated as a measure of accuracy. The best interpolation method was kriging, based on experimental semivariograms. All interpolations had greater RMSE values than the raw data decimeter accuracy. In addition, coastal flooding simulations were performed for all interpolation methods, for 15 levels of sea rise. The result was that the flooded areas differ substantially depending on interpolation method.

Key words: GIS, costal flooding, Scania, interpolation, RMSE.

SAMMANFATTNING

Den globala uppvärmningen orsakar stigande havsnivåer till följd av avsmältning av landis samt termisk expansion av vattnet. Allvarliga konsekvenser befaras till följd av detta, stora landarealer kan komma att svämmas över vilket bland annat kan bidra till klimatflyktingar.

Om havsnivån ökar drastiskt står vi i Sverige inför väldiga utmaningar eftersom stora delar av befolkningen är bosatta längs landets kuster. Detta examensarbete innefattar en studie om hur de skånska kustnära kommunerna antar utmaningen att förebygga kustöversvämningar. Deras arbete har utforskats där resultaten visar att kommunerna har kommit olika långt. Ett första angreppssätt är oftast att ta reda på vilka områden som riskerar att drabbas vid en eventuell havsnivåökning. Detta arbete distribueras ofta på konsulter och utförs vanligtvis med hjälp av kustöversvämningssimuleringar i GIS.

Möjligheten att simulera kustöversvämningar undersöktes i fyra GIS-program, vilken visade sig vara begränsad. Det är möjligt att utföra analysen i de flesta GIS-program men det krävs stor kunskap hos användaren och analysen måste utföras i många steg, vilket medför ökad risk för fel.

Förutsättningen för att en översvämningsanalys ska kunna genomföras är tillgång till kontinuerlig höjddata, som normalt interpoleras fram från höjdpunkter. Det är viktigt att höjddata är kvalitativ för en bra analys vilket förutsätter hög noggrannhet på rådata men även en bra interpolering. Det finns många interpolationsmetoder varav tre (*avståndsviktad medelvärdesinterpolation, kriging* och *topo to raster*) jämförs i detta arbete. Totalt utfördes 16 interpolationer vars RMSE-värden beräknades som ett mått på noggrannheten. Den bästa interpolationsmetoden var kriging baserad på experimentella semivariogram. Samtliga interpolationer hade markant större genomsnittsfel (RMSE-värden) än rådatas decimeternoggrannhet. Dessutom utfördes kustöversvämnings-simuleringar för samtliga interpolationsmetoder för 15 stigande havsnivåer. Utslaget blev att de översvämmade areorna skiljer sig väsentlig med interpolationsmetod.

Nyckelord: GIS, kustöversvämningar, Skåne, interpolationer, RMSE

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

ABSTRACT V
SAMMANFATTNING VI

1. INLEDNING 3
   1.1. Syfte 3
2. BAKGRUND 4
   2.1. Globala framtidsscenarier 4
   2.2. Lokala framtidsscenarier 5

DEL I - MYNDIGHETER OCH KOMMUNER

3. METOD 6
   3.1. Myndigheter 6
   3.2. Skånska kustnära kommuner 6
4. RESULTAT 7
   4.1. Myndigheter 7
   4.2. Kommuner 8

DEL II - GIS OCH INTERPOLATIONER

5. TEORI 11
   5.1. Höjddata 11
      5.1.1 Flyg- och satellitfotografier 11
      5.1.2. Laserskanning 11
      5.1.3. DEM 12
   5.2. Interpolation 12
      5.2.1. Globala interpolationsmetoder 12
      5.2.2. Lokala interpolationer 12
      5.2.3. Geostatistik och kriging 14
   5.3. Noggrannhetsutvärdering 16
6. MATERIAL 17
   6.1. Områdesbeskrivning 17
   6.2. Data 17
   6.3. Programvaror 18
      6.3.1. ArcGIS 18
      6.3.2. IDRISI 18
      6.3.3. MIKE FLOOD 19
      6.3.4. GRASS 19
   6.4. Kustöversvämningssimulering 19
7. METOD 20
   7.1. GIS program 20
   7.2. Interpolationer 20
      7.2.1. Utvärdering av interpoaltionerna 22
   7.3. Kustöversvämningssimulering 22
      7.3.1. Areaberäkning 23

8. RESULTAT 24
8.3. GIS program 24
8.3.1. ArcGIS 24
8.3.2. IDRISI Andes 24
8.3.3. MIKE FLOOD 24
8.3.4. GRASS 24
8.4. Interpolationsmetoder och översvämningssimulering 25
8.4.1. Utvärdering av interpolationerna 26
8.4.2. Kustöversvämningssimulering 28

DEL III - DISKUSSION OCH SAMMANFATTNING

9. DISKUSSION 34
9.1. Myndigheter 34
9.2. Skånska kustnära kommuner 34
9.3. GIS 35
9.4. Interpolationer och kustöversvämningsmodellering 36
10. SLUTSATS 38
11. REFERENSLISTA 40

BILAGA 1 - Frågor till kommunerna 44

1. INLEDNING

Klimatförändringar är idag ett känt begrepp och att de förorsakas av mänsklig aktivitet är majoriteten av världens forskare överens om. Den stora frågan är idag inte om det kommer att ge konsekvenser, utan vilka och hur stora. (IPCC, 2007)
IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, har i sin senaste rapport, Assessment Report 4 (AR4), sammanställt resultaten av flera olika klimatmodelleringar för att få en bättre förståelse om vad vi kan vänta oss för klimat i framtiden. Efter sammanställning av flera prognoser kom IPCC fram till att "huvuddelen av den uppvärmning som har skett sedan år 1950 är mycket sannolikt (>90 % sannolikt) orsakad av ökade halter av växthusgaser i atmosfären" (IPCC., 2007).
Sedan tiden före industrialismen har koncentrationen av samtliga växthusgaser ökat i atmosfären. Den atmosfäriska koncentrationen av koldioxid låg år 1850 på 280 ppm jämfört med 379 ppm år 2005. De årliga koldioxidutsläppen har mellan åren 1970 och 2004 ökat med 80 %. Den största delen av dessa utsläpp kommer från energianvändande, transporter samt industrier. (IPCC, 2007)
Det diskuteras bland världens forskare hur den globala uppvärmningen kommer att påverka havsnivån på jorden. Oklarheter råder i hur mycket haven kommer att stiga och vilka konsekvenser det kommer att föra med sig. Rapporter publiceras ständigt med nya prognoser för hur den globala havsnivån kan komma att stiga.
I Skåne är frågan rörande stigande havsnivåer högaktuell med tanke på att landskapet är flackt och att många människor är bosatta utmed de låglänta kusterna.

1.1. Syfte

Det här arbetet är uppdelat i två delar vilka behandlar de två huvudsyftena. Första syftet handlar om att få förståelse för hur det arbetas med översvämningsfrågor på kommunal nivå samt att kartlägga myndigheternas roller. Det andra syftet berör analysmetoder i geografiska informationssystem, GIS, vid simulering av översvämningar till följd av permanenta havsnivåhöjningar.

DEL I

- Att kartlägga vilka statliga myndigheter som arbetar med kustöversvämningsproblematiken samt ansvarsfördelningen mellan dem.
- Granska de skånska kustnära kommunernas arbete rörande översvämningsfrågor.

DEL II

- Att undersöka användarvänligheten samt möjligheten att simulera kust-översvämningar i fyra utvalda GIS-program.
- Att studera betydelsen av interpolationsmetod av höjdpunkter vid översvämningssimulering.

Metod och resultat presenteras separat för de två ovannämnda delarna. Deras resultat diskuteras sist i rapporten, under en gemensam del.
Det bör här poängteras att detta arbete inte syftar till att undersöka framtida översvämningar över ett specifikt område. Kustöversvämningssimuleringarna i detta arbete är utförda över Falsterbonäset i Vellinge kommun, men endast i syfte att inbördes granska interpolationsmetoderna.

2. BAKGRUND

Eftersom det råder osäkerheter kring hur klimatet kommer att förändras och vilka effekter det kommer att ha på havsnivån har forskare tagit fram många framtidsscenarier. Dessa implementeras sedan i globala och lokala klimatmodeller. (IPCC, 2007)

2.1. Globala framtidsscenarier

IPCC har tagit fram fyra huvudscenarier för hur utsläppsmängden kommer att förändras i framtiden. Dessa varierar bland annat med utvecklingen av jordens befolkning och teknologi. De uppskattade utsläppen i scenarierna har till stor del använts som grund vid körningarna av de olika klimatmodellerna (IPCC, 2007):

- Scenario A1 baseras på en värld som utmärks av en snabb ekonomisk tillväxt och låg befolkningstillväxt. Utsläppshastigheten kommer kring år 2100 vara något lägre än dagens nivåer och den globala temperaturen kommer att ha stigit med ca 2,4°C.
- Scenario A2 karaktäriseras av en ojämn fördelning av naturresurser och teknologi. Den ekonomiska tillväxten per capita är långsammare än idag och utsläppen beräknas vara något högre än dagens. Temperaturen beräknas ha stigit med ca 3,4°C till år 2100.
- Scenario B1 utmärks av en snabb förändring till ett informationssamhälle och en snabb introduktion av nya teknologier. Detta leder till minskade koldioxidutsläpp med en nivå som år 2100 ligger under nivåerna för år 1990. Detta leder till en global temperaturhöjning med ca 1,8°C
- Scenario B2 grundas i att det blir mer lokala lösningar på teknologi och ekonomi. Den globala temperaturen kommer att öka med ca 2,4°C.

Världshavens nivåer har sedan industrialismens start stigit snabbare än tidigare. För 1900-talet var årsmedelhöjningen av haven 1,7 ± 0,5 mm. Denna ökning är en kombination av termisk expansion (ökad vattenvolym med ökad temperatur), isavsmältning från glaciärer och istäcken samt avsmältning från Grönland och Antarktis (IPCC, 2007). Oenigheter förekommer gällande vilken av ovanstående faktorer som är/kommer att vara störst bidragande till havsnivåstigningarna. I Klimat och Sårbarhetsutredningen 2007 (statlig utredning om samhällets sårbarhet för globala klimatförändringarna) ansågs den termiska expansionen vara den största bidragande orsaken till förändringarna, men nya rapporter visar på att isavsmältningen från glaciärer kan orsaka så mycket som 70-80 % av stigningen (Cazenave et al.2008).

Under åren 1961-2003, steg medelhavsnivån med knappt 8 cm, varav den största ökningen skedde under perioden 1993-2003. Det decenniet ökade havsnivån med ungefär dubbel hastighet (Holgersson, B., 2007). Med hjälp av de klimatmodeller som beskrivs i IPCC-rapporten, tillsammans med de fyra utsläppsscenarierna, har IPCC i AR4 fastställt att de globala havsnivåerna med största sannolikhet kommer att stiga med 15-59 cm mellan perioden 2003 till 2100. Beräkningar för Nordsjön visar dock att den kan stiga med så mycket som 20 cm över den globala medelnivån p.g.a. ökade västvindar (Nerheim,, 2007; Holgersson, 2007).

Under Copenhagen Climate Congress (mars 2009) presenterades nya rön angående förändringen av den globala havsnivån. Nya resultat visar att isarna smälter snabbare än vad någon modell har förutspått. Havsnivån har stigit 50 % snabbare än modellernas beräkningar de senaste 20 åren. Det spekuleras kring möjligheten att havsnivån kommer att stiga över en meter till år 2100.

Forskningen fortgår och kommer att presenteras mer detaljerat senare i år (2009), under Copenhagen Climate Council. (Copenhagen climate council (web 1))

2.2. Lokala framtidsscenarier

För Östersjöområdet har Rossby Centre (SMHI:s forskningsenhet inom klimatmodellering) gjort ytterligare beräkningar för hur havsvattennivåerna kan komma att förändras. Rossby Centre har i sina simuleringar använt två av IPCC:s scenarier (A2 och B2) tillsammans med den regionala modellen RCAO (Rossby Centre regional Atmosphere-Ocean model) (SMHI (web 2), Döscher, 2002). Resultatet från modellerna och IPCC: s analyser visar att Skåne och Blekinge kommer att drabbas av en genomsnittlig havsnivåhöjning med 22-72 cm under perioden 2070-2100. Höjningarna kommer att bli något högre i Skåne jämfört med Blekinge på grund av landsänkningen (Nerheim, 2007).

Med de nya nivåerna kommer återkomsttiden för höga vattennivåer att minska. Återkomsttid innebär att en given nivå inträffar eller överträffar i genomsnitt en gång under den angivna tiden (Bergström et.al. 2006) Den nivå som i dagsläget har en återkomsttid på 100 år kommer med största sannolikhet att ha en genomsnittlig återkomsttid på mellan 10-50 år. För Skanör (Vellinge kommun) ligger dagens 50-årsnivå på 140 cm vilket, med nivåerna för lägsta förväntade flöde, under perioden 2070-2100 kommer att motsvaras av värdet på återkomsttiden för 2 år (Nerheim, 2007).

Återkomsttiden är viktig att tänka på men detta arbete avgränsas till att endast studera följderna av permanenta havsnivåhöjningar.

DEL I - Myndigheter och kommuner

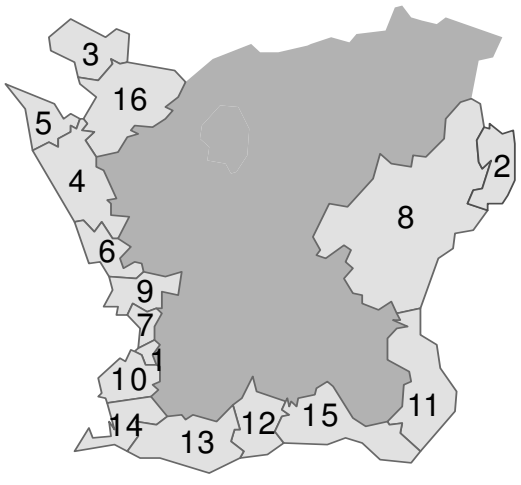
Denna del behandlar myndigheter och kommuners arbete med översvämningsfrågor. Ansvarsfördelningen bland myndigheter kartlades och skånska kustnära kommuners översvämningsarbete granskades genom intervjuer

3. METOD

Arbetsgången är uppdelad i två delar. Den första delen behandlar ansvarsfördelningen bland myndigheter medan den andra behandlar arbetet hos de skånska kustnära kommunerna.

3.1. Myndigheter

För att få förståelse för hur man hanterar frågorna rörande översvämningsrisken i Sverige och ansvarsfördelningen bland myndigheter gjordes en studie av bl.a. regleringsbreven. Denna del av arbetet är teoretisk bortsett från att Länsstyrelsen i Malmö besöktes i syfte att djupare undersöka deras roll och ansvar i denna fråga.



Figur 3.1. Skånekarta, med de intervjuade kommunerna numrerade.

3.2. Skånska kustnära kommuner

En djupare studie gjordes rörande arbetet på kommunal nivå där en sakkunnig från var och en av de 16 skånska kustnära kommunerna intervjuades. De intervjuade hade varierande bakgrund och arbetade med översvämning utifrån olika perspektiv.

Samma frågor (bilaga 1) ställdes till samtliga kommuner för ett jämförbart resultat. Huvuddelen av intervjuerna gjordes per telefon medan de större kommunerna (Malmö, Helsingborg och Kristianstad) besöktes för en djupare dialog och granskning.

Följande kommuner intervjuades:

1. Burlöv
2. Bromölla
3. Båstad
4. Helsingborg
5. Höganäs
6. Landskrona
7. Lomma
8. Kristianstad
9. Kävlinge
10. Malmö
11. Simrishamn
12. Skurup
13. Trelleborg
14. Vellinge
15. Ystad
16. Ängelholm

4. RESULTAT

4.1. Myndigheter

Årligen får samtliga statliga myndigheter ett regleringsbrev från det departement de tillhör. Detta brev består av två delar, en verksamhetsdel och en finansieringsdel. Verksamhetsdelen uppger vad regeringen anser att myndigheten ska uträtta under året samt vad som ska rapporteras. Finansieringsdelen uppger storleken på anslag samt villkoren för dem. (Ekonomistyrningsverket (web 3))

Nedan beskrivs de myndigheter som på något sätt, direkt eller indirekt, arbetar med översvämningsfrågan. Det beskrivs vilket departement de tillhör, en sammanfattning av årets verksamhetsmål utifrån regleringsbreven samt allmänna arbetsuppgifter som beskrivs på myndighetens hemsida och/eller i Klimat och Sårbarhetsutredningen.

Boverket (BOV) – Miljödepartementet
Boverket är den nationella myndighet som ansvarar för samhällsplanering, stads-, bebyggelseutveckling, byggande, förvaltning samt bostadsfrågor. Boverket ska tillämpa riskhantering och jobba utifrån begreppet hållbar utveckling vid fysisk planering (Holgersson, 2007). Den har i uppgift att i samverkan med Naturvårdsverket ge kommunerna och länsstyrelserna vägledning i deras hantering av bestämmelserna för strandskydd. Verket ska utveckla och stärka kommunernas planeringsarbete där miljöfrågor ska ingå i den fysiska planeringen (Boverket (web 4)).Boverket samarbetar med Naturvårdsverket, MSB, SMHI och SGI (se nedan) inom ett myndighetsnätverk för att samla in data och kunskap angående klimatanpassning.

Lantmäteriet (LM) – Miljödepartementet
Lantmäteriet ska ta fram en ny nationell höjdmodell - hela Sverige ska vara laserskannat till år 2013. Lantmäteriet har ansvar för indelningen och förändringen av Sveriges samtliga fastigheter. Myndigheten tillhandahåller en stor mängd kartor, flyg- och satellitbilder (Holgersson, 2007).

Länsstyrelserna- Finansdepartementet
Länsstyrelserna arbetar som statens företrädare på regional nivå. De samarbetar och samordnar arbetet mellan en rad myndigheter och sektorer i varje län. Länsstyrelsens uppgift är bl.a. att bedöma i vilken utsträckning kommunerna har analyserat och dokumenterat vilka extrema väderhändelser som riskerar att inträffa samt hur dessa händelser kan påverka den egna verksamheten. Myndigheten ska bevaka kommunernas miljöarbete, ingripa vid brott samt tillhandahålla planerings- och kunskapsunderlag. De är även ansvariga för att det statliga klimat- och energiarbetet för en hållbar utveckling följs på en regional nivå, de ska främja effektiviseringen av energianvändningen samt verka för en ökad användning av förnyelsebar energi i samhället (Regleringsbrev till Länsstyrelsen).

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) - Försvarsdepartementet
Årsskiftet 2008/09 ersatte MSB följande myndigheter; Krisberedskapsmyndigheten, Räddningsverket och Styrelsen för psykologiskt försvar. Den nya myndighetens uppdrag är att öka samarbetet mellan myndigheter för att öka beredskapen både på ett nationellt och internationellt plan. Den har det övergripande ansvaret för skydd mot olyckor, krisberedskap samt civilförsvaret (MSB (web 5)). Räddningsverket, som numera utgör en del av MSB, ansvarade över arbetet med att skapa översvämningskartor utmed landets vattendrag. Dessa kartor användes som underlag till kommunernas fysiska planering (Holgersson, 2007).

Naturvårdsverket (NV) – Miljödepartementet

Naturvårdsverket ansvarar för att miljöpolitiska förslag genomförs samt för att främja en hållbar samhällsutveckling. Myndigheten samarbetar med flertalet andra myndigheter, kommuner, företag och organisationer. Myndigheten ansvarar för tilldelandet av resurser till miljöprojekt samt för vidarebefordring av kunskap och forskningsresultat till allmänheten. Dess huvudsakliga uppgifter är att bistå myndigheter i miljö- och tillsynsfrågor, proponera lagförändringar inom miljöpolitiken, påbörja forskning samt skydda mark och vatten (Naturvårdsverket (web 6)). Myndigheten har även huvudansvaret för att miljömålen med sänkta växthusgasutsläpp samt mindre klimatpåverkan efterföljs och uppnås (Holgersson, 2007).

Statens geotekniska institut (SGI) - Miljödepartementet
Är den statliga myndighet som ansvarar för skred-, ras-, och stranderosionsfrågor. Deras huvudmål är att trygga människors boenden, det vill säga att se till att liv och egendomar står på en säker grund vid naturolyckor (Holgersson, 2007).

Sveriges geologiska undersökning (SGU) - Näringsdepartementet
SGU är ansvarig för att leverera geologisk information för framförallt miljö och hälsa, fysisk planering samt försörjning av naturresurser. För att kartlägga och minska sårbarheterna i samhället ingår SGU i gruppen "Kris-GIS" tillsammans med bland annat LM, Strålsäkerhetsmyndigheten, Sjöfartsverket, SMHI, SGI, Vägverket, Banverket och MSB. Kris-GIS har som huvuduppgift att utreda och disponera geografiska data samt geologiska uppgifter till totalförsvaret (Holgersson, 2007).

Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) - Miljödepartementet.
SMHI är den myndighet som ansvarar för alla meterologiska, hydrologiska och oceanografiska prognoser samt framtagandet av varningssystem inom de tre nämnda områdena. De viktigaste varningssystemen är de som varnar för höga vattenflöden, riklig nederbörd samt höga vattenstånd. SMHI är ansvarigt för att dessa varningar når ut till berörda kommuner, länsstyrelser och myndigheter. På SMHI:s forskningsstation Rossby Centre utförs en stor del av SMHI:s klimatforskning som ingår i en mängd nationella och internationella forskningsprojekt. Förutom att bedriva forskning ansvarar de över att förmedla resultaten till allmänheten (Holgersson, 2007).

Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI) - Försvarsdepartementet
Myndighetens huvudsakliga uppgift är att forska om krisberedskap. FOI leder arbetet med Climatools (ett forskningsprojekt som ska hjälpa beslutsfattare att planera och anpassa samhället till konsekvenserna av klimatförändringarna) tillsammans med KTH, Umeå Universitet och Uppsala Universitet. Utveckling av Climatools sker på uppdrag av Naturvårdsverket och fokuserar på turism, hälsa, bebyggelse samt friluftsliv utifrån ett samhälle i ett förändrat klimat. Detta projekt beräknas vara färdigt år 2011 (FOI (web 7)).

Det är inte alltid myndigheten som har kompetensen för att utföra det arbete som departementet kräver. Många gånger anlitas konsulter och samarbete inrättas med andra myndigheter för att kunna genomföra tilldelade uppgifter.

4.2. Kommuner

Nedan följer en sammanfattning av kommunintervjuerna angående deras arbete, behov och framtidsplaner rörande översvämningsproblematiken. Frågorna som ställdes till samtliga kommuner finns i bilaga 1.

Tio av de 16 kommunala representanterna anser att översvämningsrisken är omdiskuterad och att de jobbar aktivt med den. Generellt sätt har dessa kommuner haft problem med översvämningar som oftast

inträffat vid kraftiga ihållande regn. Flertalet menar att det var de stora översvämningarna sommaren 2007 som fick beslutsfattare att få upp ögonen för problemet.

Översvämmad landarea till följd av ökade havsnivåer är ganska ovanligt. Historiskt sätt har det förekommit vid extrema högvatten i några av kommunerna. Arbetet med denna typ av översvämningar är generellt inte prioriterad eftersom risken att de ska inträffa anses vara liten.

En indirekt följd av högt havsvattenstånd är i vissa kommuner att vattnet i VA-systemet (vatten och avlopp) har svårare att rinna ut då utloppen ligger strax över normal havsnivå. Vattnet måste då pumpas ut för att undvika bl.a. källaröversvämningar. Sammanfaller högt vattenstånd med kraftiga regn ökar översvämningsrisken än mer.

Källaröversvämningar, översvämmade åar, vägar som vattenfylls i tunnlar och under viadukter vid kraftiga skyfall är de vanligast förekommande översvämningstyperna. Hittills har inga samhällsviktiga funktioner berörts men för en del kommuner har exempelvis reningsverk varit nära en krissituation vid extremväder.

De mest sårbara kommunerna har kommit förhållandevis långt i att anpassa sig efter framtidens förutsättningar utifrån det förväntade klimatet och dess konsekvenser. Underlaget till kommunernas klimatarbete kommer från IPCC, SMHI, Klimat och Sårbarhetsutredningen samt Länsstyrelsens direktiv. Kommunerna jobbar utifrån de framtidsscenarier som ovanstående myndigheter och utredningar presenterar, som sedan implementeras i klimatarbetet på en lokal nivå.

GIS är bekant för samtliga personer som har intervjuats men alla har personligen inte använt sig av det. Samtliga kommuner har licens för något GIS-program men använder det i olika stor utsträckning. Förståelsen för programmen och dess potential är ofta begränsad. Översvämningssimuleringar har utförts i några av de tillfrågade kommunerna, men arbetet har i de flesta fall distribuerats till konsulter.

Flertalet av kommunerna har inrättat GIS-avdelningar, med några få anställda, som utför analyser och karterar för kommunen. De är vanligtvis hårt belastade eftersom programmen kan nyttjas inom många arbetsområden.

Många av de kommuner som inte har höjddata i dagsläget planerar att beställa laserskanning. Det pågår diskussion mellan angränsande kommuner om att eventuellt samordna en skanning för att få en sammanhängande bild av landskapet. Detta skulle dessutom medföra lägre kostnader.

Det är varierande huruvida kommunerna utför vattenståndsmätningar - vissa gör det själva, en del gör ingenting alls medan några har tillgång till data från t.ex. SMHI, stadens hamn, reningsverk eller industrier. Hur ofta mätningarna utförs varierar också, liksom mätstationens tidsserie. Längden på de befintliga tidsserierna är ofta relativt kort, vilket gör det svårt att säga om det förekommer någon trend. Det har framförts missnöje över de nedläggningar av mätstationer som skett de senaste åren. Detta anses beklagligt eftersom man går miste om betydelsefull information.

Översvämningsrisken till följd av stigande havsnivåer är en nyligen uppmärksammad fråga. Det råder stora osäkerheter kring vad som väntas och vilka åtgärder som behövs för att skydda städerna och kustnära infrastruktur. Således har få skyddsåtgärder och anpassningar gjorts. Diskussion pågår men många inväntar klarare direktiv från myndigheterna.
Samtliga kommuner som har påbörjat arbetet med översvämningar planerar att fortsätta med det. Ett fåtal planerar inga åtgärder eller undersökningar medan övriga tillfrågade (majoriteten) planerar att införskaffa höjdmodeller som ska ligga till underlag för

kartering av riskområden. Dessutom finns planer på att bl.a. bygga skyddsvallar, förbättra och separera VA-rör och att förebygga erosionsrisken genom att bl.a. bygga vågbrytare.

En återkommande åsikt hos de intervjuade är att det saknas en koordinator som har det övergripande ansvaret rörande översvämningsproblematiken, någon som hjälper till att förbättra samarbetet samt öka förståelsen för hur olika avdelningar och myndigheter jobbar. Det behöver utredas vem som bär ansvaret för vad och hur man ska gå vidare med problemet. Bättre tillgänglighet av statligt ägda data som kan vara till nytta för kommunernas arbete efterlyses, exempelvis vattenståndsmätningar och höjddata. VA-systemen ligger också i planen för vidare undersökningar och förbättringar för att förhindra översvämningar, vilket gäller samtliga kommuner.

Ingen kommun har genomfört beräkningar på översvämningsrisken för framtiden. Många anser sig kunna gissa vilka områden som kommer att översvämmas och konstaterar att källaröversvämningar sannolikt kommer att bli vanligare. Utöver ett fåtal reningsverk tror man inte att några samhällsviktiga funktioner kommer att drabbas. Även om beräkningar inte gjorts för hur mycket förebyggande åtgärder skulle kosta i förhållande till förödelsen vid en större översvämning, är alla intervjuade överens om att det skulle löna sig att förebygga översvämningsrisken.

DEL II - GIS och Interpolationer

Denna del behandlar GIS-program, interpolation av höjdpunkter samt kustöversvämnings-simulering.

5. TEORI

Bra höjddata och interpolation är av stor betydelse för en bra översvämnings-simulering. Detta avsnitt behandlar metoder för inmätningen av höjd samt interpoleringen av data.

5.1. Höjddata

Höjddata kan tas fram på flera sätt. Beroende på vad den ska användas till och vilken noggrannhet som krävs används olika metoder. Nedan beskrivs två av metoderna samt hur man vanligen lagrar höjddata.

5.1.1 Flyg- och satellitfotografier

Flygplan och satelliter som är utrustade med sensorer kan fånga upp reflekterad och emitterad elektromagnetisk strålning i synligt ljus, nära infrarött samt termalt infrarött ljus. Utifrån intensitet på de reflekterade strålarna i jämförelse med energin från den emitterade strålningen går det att bestämma bl.a. marktyp (Klang och Burman, 2006).

Flyg- och sattelitbilder kan användas vid beräkning av höjdpunkter med digital fotogrammetri. Vid beräkningen behövs speciella datorprogram som möjliggör analyser i tre dimensioner. Utifrån fotografierna produceras digitala höjdpunkter genom fotogrammetrisk mätning i stereomodell. Med denna metod tas höjdpunkter fram automatiskt, då programmet identifierar samma punkt i två fotografier tagna ur olika vinklar. (Ågren, 1994; Harrie, 2008).

5.1.2. Laserskanning

Höjdpunkter bestäms med laserskanning genom att ljuspulser skickas ut från flygplan/helikopter mot marken. Beroende på tiden det tar för pulsen att reflekteras tillbaka till sensorn kan man vid en känd hastighet och flyghöjd beräkna avståndet mellan farkosten och marken. För att veta var på marken punkten träffade är det nödvändigt att veta sensorns exakta position samt i vilken riktning strålen skickades ut. Detta mäts genom noggranna GPS inmätningar i tre dimensioner. Noggrannheten av en laserskanning beror på flera faktorer (Klang och Burman, 2006):

- Flyghöjd. Vid en högre flyghöjd försämras lägesnoggrannheten och punkttätheten. Mängden energi i laserstrålarna som reflekteras tillbaka till sensorn minskar, vilket leder till att kvalitén försämras och att antalet strålar som reflekteras tillbaka minskar. Detta bidrar till försämrad noggrannhet.
- Punkttäthet är en av de viktigaste faktorerna för en helhetsbild av hög kvalitet. Ju tätare punkttäthet desto exaktare resultat, så att medelvärden kan beräknas och korrigeringar lättare utföras. Stora datamängder är dock svårhanterliga och utrymmeskrävande.
- Fotopunkten är den area laserstrålen har när den når markytan. Med en större fotopunkt är det svårare att tolka vad mätningen redovisar. Fotopunkten beror till stor del på flyghöjd och den utgående strålens spridningsgrad.

- Laserfrekvens. En hög frekvens är bra eftersom det då blir en högre punkttäthet. Hur hög frekvens som kan användas begränsas av utrustningens kvalité samt teknik. En laserstråle måste hinna reflekteras tillbaka till sensorn innan nästa stråle kan sändas ut.
- Öppningsvinkel och svepbredd. Med en stor öppningsvinkel och svepbredd är det möjligt att täcka stora områden under en flygning. Med en större öppningsvinkel på sensorn registreras dock färre antal reflektioner och frekvensen sänks.
- Reflektionen av laserpunkterna är viktig eftersom det är den som "bär" på all information. Är reflektionen svag (vid till exempel hög flyghöjd) kan den störas av brus och delar av informationen kan försvinna.

5.1.3. DEM

DEM står för *Digital Elevation Model* och beskriver markytans topografi. Den kan hanteras som vektor- och rasterdata.

I vektorformat lagras höjddata vanligen som höjdlinjer eller höjdpunkter. Dessa har fördelen att de kräver mindre lagringsutrymme, men innehåller ingen information om höjden i områden mellan punkterna eller linjerna. Ett annat lagringssätt av höjd i vektordata är Triangulated Irregular Network (TIN). Denna metod binder ihop de inmätta punkterna så att det skapas trianglar med plana ytor (Klang, 2006).

Höjddata som lagras i rasterformat har fördelen att den är kontinuerlig, bestående av en matris där varje cell har ett specifikt värde. DEM i rasterformat framställs genom interpolation av antingen punkt- eller linjedata. (Harrie, 2008)

5.2. Interpolation

För att kunna simulera en översvämning krävs kontinuerliga höjddata som beräknas genom interpolation. Interpolation innebär att man skattar värden för en variabel, t.ex. höjd, för områden mellan befintliga mätpunkter med kända värden. Förutsättningen för detta är att variabeln är rumsligt autokorrelerad, d.v.s. att *Toblers första lag* uppfylls. Lagen säger att *punkter som befinner sig nära varandra är mer lika än de som befinner sig längre bort från varandra* (Harrie, 2006).

Följande två frågor är av stor betydelse vid val av interpolationsmetod (Harrie, 2008):

- Hur stark är den rumsliga autokorrelationen?
- På vilket avstånd förekommer det rumsliga beroendet?

5.2.1. Globala interpolationsmetoder

Globala interpolationsmetoder används för att beskriva generella trender i data. Dessa metoder använder sig av samma funktion vid beräkning av samtliga cellvärden (Harrie, 2008).

Trendytor

Trendytor skapas genom att samtliga mätpunkter används för att med minsta kvadratmetoden definiera en polynom-funktion som beskriver den kontinuerliga höjdytan. Ju högre polynomgrad desto bättre anpassning till punkterna, men större osäkerhet däremellan. Ofta skapas trendytor av första, andra eller tredje graden där den enklaste är ett linjärt plan. (Harrie, 2008)

5.2.2. Lokala interpolationer

Lokala interpolationsmetoder bygger på att vikta de kända värdena med hänsyn till avståndet till den interpolerade punkten, för

en bra lokal anpassning. Den generella ekvationen för rumslig lokal interpolation ser ut enligt följande (Harrie, 2006):

$$z(x_p, y_p) = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i \cdot z(x_i, y_i)}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i} \qquad (5.1)$$

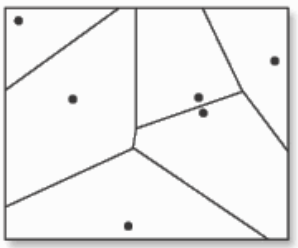
där
$z(x_p,y_p)$ är det interpolerade värdet i punkt p,
$z(x_i,y_i)$ är det kända värdet i observationspunkten i,
λ_i är vikten för det kända värdet i observationspunkten i,
n är antalet observationspunkter.

Medelvärdesinterpolation

Vid okunskap om autokorrelation eller inget påvisat rumsligt beroende kan man använda denna interpolationsmetod. Alla observationsvärden får samma vikt (värdet 1), vilket innebär att ett medelvärde räknas ut för samtliga interpolationspunkter (Harrie, 2006).

Närmaste-granne interpolation

Det interpolerade området delas in i så kallade *Theissen-polygoner* (figur 5.1), där varje polygon definierar det område som befinner sig närmast en punkt. Närmaste interpolationspunkt får vikten 1 medan alla andra får värdet 0. Området som innesluts av en polygon får punktens värde. Denna interpolationsmetod ger abrupta övergångar och lämpar sig bäst för kvalitativa data (klasstillhörigheter, t.ex. namn). (Harrie, 2008)



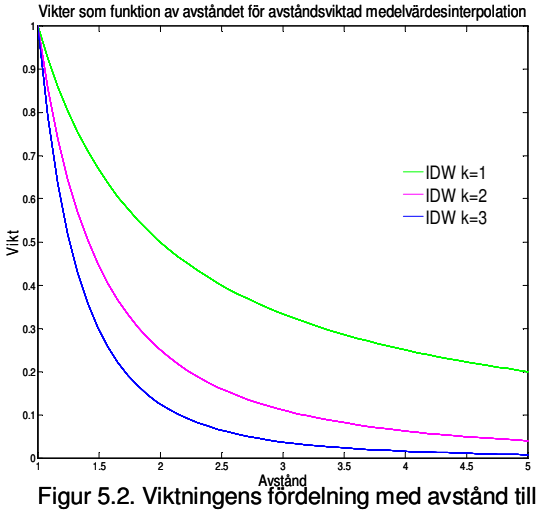
Figur 5.1. Polygonindelningen vid närmaste-granne interpolationen

Avståndsviktad medelvärdesinterpolation (Inverse Distance Weighting, IDW)

Denna interpolationsmetod bygger på att avståndsberoendet avtar exponentiellt, då vikten ser ut enligt följande ekvation (Harrie, 2006):

$$\lambda_i = \frac{1}{d^k} \qquad (5.2)$$

där
d är avståndet till observationspunkten,
k är exponenten som bestämmer hur starkt vikterna beror på avståndet



Figur 5.2. Viktningens fördelning med avstånd till observationspunkten för avståndsviktad medelvärdesinterpolation, för tre exponenter

Användaren bestämmer själv exponenten k, som teoretiskt kan variera mellan 0 och oändligheten, men som brukar tilldelas värdena 1 till 3 (figur 5.2). Om k = 0 får alla punkter en vikt motsvarande värdet ett, vilket motsvarar *medelvärdesinterpolation.* Om k→ ∞ kan interpolationen likställas med *närmaste granne interpolationen*. (Harrie, 2006)

Användaren har även möjlighet att välja antalet punkter som maximalt ska interpoleras och/eller en maximal sökradie. På detta sätt kan man utesluta att punkter som befinner sig bortom avståndsberoendet tas med i beräkningen. Dessa inställningar har en

betydande roll för resultatet och bör därför göras med eftertanke. (Clark och Harper, 2000)

5.2.3. Geostatistik och kriging

För att kunna utföra en bra interpolation bör man ha kunskap om den data som ska interpoleras: dess spridning, eventuella trender och avståndsberoende. För att undersöka detta använder man sig av geostatistik som behandlar statistisk analys av variabler i rummet (Harrie, 2008).

Statistiska modeller används då man vill ta reda på det rumsliga beroendet hos en variabel. Variationen hos variabeln delas in i tre komponenter (Harrie, 2006):

$$x(x, y) = m(x, y) + \varepsilon'(x, y) + \varepsilon'' \quad (5.3)$$

där
m(x,y) är en strukturell komponent vilken beräknas med en global interpolationsmetod och är vanligtvis en konstant (t.ex. ett medelvärde) eller en trendyta,
e'(x,y) är en spatialt autokorrelerad variabel,
e" är ett spatialt oberoende, icke autokorrelerat fel - "brus och lokala variationer".

En nödvändig åtgärd innan en lokal interpolation görs är att utföra en global interpolation, såsom en trendyta, som man subtraherar från rådata (Isaaks och Srivastava, 1989). Detta är även nödvändigt att göra innan man skapar semivariogram, vilket vanligtvis förbättrar resultatet ty man utesluter komponenten m (ekvation 5.3). Trenden adderas tillbaka efter interpolationen.

Semivariogram

Komponenterna, e' och e" (ekvation 5.3), kan skattas med hjälp av ett experimentellt semivariogram. Detta i syfte att undersöka det rumsliga beroendet för ett dataset samt att hitta de optimala vikterna för den lokala interpolationen.
Semivariogram, eller endast variogram, representerar den rumsliga kontinuiteten i ett dataset (Statios (web 8)). Följande steg beskriver förenklat skapandet av semivariogram (Harrie, 2006):

1. Trender i data undersöks genom global interpolation. Ett villkor för semivarians är att korrelationen mellan två slumpmässiga punkter tillhörande samma entitet endast beror på avstånd (ibland även riktning). Detta innebär att om det finns en trend i data (m i ekvation 5.3) som förorsakas av annan variabel än avstånd, ofta okänd för användaren, bör denna subtraheras innan semivarians beräknas.

2. Avståndsintervall, h i ekvation 5.4, bestäms (lag).

3. Antal avståndsintervall som skall plottas bestäms.

4. Semivariansberäknas och plottas mot h, enligt följande ekvation:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2p}\sum_{i=1}(z_i - z_{i+h})^2 \quad (5.4)$$

där
h är det angivna intervallet,
p är antal punktpar inom avståndet h,
z_i är mätvärdet för attribut z för punkt i,
z_{i+h} är mätvärdet för en punkt som ligger inom avståndet h från punkten i.

Punkt 2 till 4 upprepas tills fördelningen av parvisa jämförelser i respektive avstånds-intervall är tillräckligt många för ett statistiskt säkert resultat, men samtidigt tillräckligt få för att visualisera detaljerna i det rumsliga beroendet. Om beroendet existerar ska punkternas distribution i diagrammet visa på

en avtagande trend, i likhet med figur 5.3. (ai-geostats (web 9)).

En kurva anpassas till punkterna - en matematisk funktion som ofta är kubisk, exponentiell eller sfärisk. Den sfäriska modellen är den vanligaste för att beskriva naturliga variablers rumsliga beroenden (Poon, 2007).
Sfärisk modell:

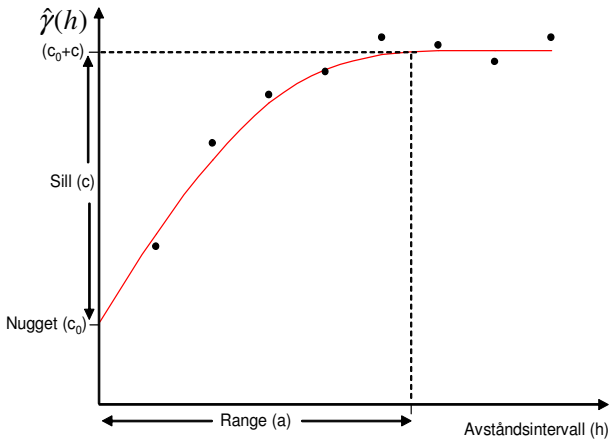
$$\hat{\gamma}(h) = c_0 \qquad \text{då } h = 0$$
$$\hat{\gamma}(h) = c_0 + c\left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3}\right) \qquad \text{då } 0 < h \le a \qquad (5.5)$$
$$\hat{\gamma}(h) = c_0 + c \qquad \text{då } h > a$$

c_0 = nugget
c = sill
h = avståndsintervall (lag)
a = range

Om det finns ett rumsligt beroende kommer punkter som befinner sig nära varandra ha en lägre variation än de punkter med längre avstånd från varandra. Ökat *lag*-avstånd ger ökad varians fram till att derivatan blir noll, kurvan planar ut. Det funktionsvärde som erhålls när kurvan planat ut kallas *sill*. Styrkan på det rumsliga beroendet avgörs av derivatan, d.v.s. lutningen på kurvan (Harrie, 2008, Lantmäteriet (web 10)).

Det värde där kurvan korsar y-axeln kallas för *nugget*. Det kan tolkas som brus, ett mått på den icke autokorrelerade variationen samt det rumsliga beroendet som är kortare än stickprovstätheten. Om kurvan ser ut som i figur 5.3 bör det tolkas som att det finns ett rumsligt beroende inom avståndet *range* (figur 5.3). (Harrie, 2008)

I arbetsmetoden beskriven ovan förutsätts *isotropi*, d.v.s. att korrelationen mellan två slumpmässigt valda punkter endast beror på avståndet. Man kan också undersöka förekomsten av *anisotropi* i data, alltså om korrelationen även beror på riktningen. Detta gör man genom att ange olika sökvinklar och riktningar vid beräkning av semivarians. Ett semivariogram plottas för varje riktning för att sedan jämföras. Tydliga variationer av värdet för *range* och/eller *sill* tyder på *anisotropi*. (Clark och Harper, 2000)



Figur 5.3. Experimentellt semivariogram

Kriging

Kriging är en avancerad interpolations-metod som grundas på det experimentella semivariogrammet. Även denna interpolationstyp utgår från den generella ekvationen för interpolation (se ekvation 5.1), men till skillnad från andra metoder är vikterna skattade med hjälp av semivariogram.

Det finns flera typer av kriging varav den vanligaste är *ordinary kriging*. Summan av dess vikter är 1. Beräkning av vikterna är avancerad, nedan följer en kort beskrivning av några faktorer som tas hänsyn till vid viktningen (Webster och Oliver, 2001):

- Närliggande punkter viktas högre än mer avlägsna, stort värde på *nugget* leder dock till att de allra närmaste punkterna får ett proportionellt lägre värde.

- Grupperade punkter erhåller en individuellt lägre vikt jämfört med en ensam punkt.

- Punkt A kan skuggas av punkt B, om punkt B befinner sig mellan den och den punkt som ska interpoleras.

5.3. Noggrannhetsutvärdering

För att undersöka hur bra en interpolation är kan man beräkna RMSE-värdet, Root Mean Square Error. RMSE är ett genomsnittsfel uttryckt som medelvärde för differenserna mellan utvärderingsdata och de fram-interpolerade värdena. Det är ett mått på noggrannheten (Blied, 2007):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i)^2}{n}} \qquad (5.6)$$

där
x_i är mätvärdet för punkt i,
y_i är det interpolerade värdet för punkt i,
n är antalet punkter.

6. MATERIAL

6.1. Områdesbeskrivning

Det studerade området i den här studien är västra delen av Falsterbonäset i Vellinge kommun, sydvästra delen av Skåne. Det studerade området är helt omringat av vatten eftersom det avgränsas av Falsterbokanalen i öster. Näset är uppbyggt av marina sandavlagringar, är väldigt låglänt och flackt, med den högsta höjden på endast 9 meter över havet.

Området är känt för sin vackra natur, sina bostadsområden men även för sitt rika djurliv, med bland annat fåglar och sälar. Som många låglänta områden är Falsterbonäset väldigt utsatt vid höga vattennivåer (Blomgren, 1999).

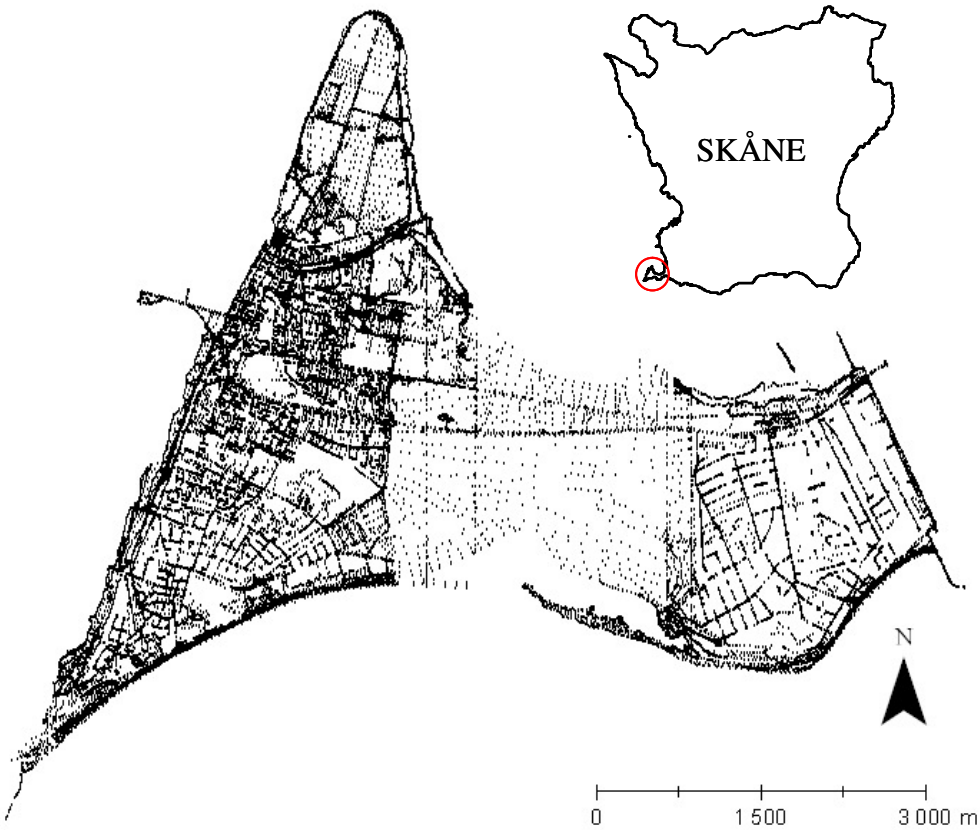
6.2. Data

Höjddata över Vellinge kommun levererades i form av punkter, höjdlinjer samt polygoner. För detta projekt valdes att endast använda punktdata, för att sedan interpolera dem. Data är framtagen med digital fotogrammetri (se avsnitt 5.1.1) av företaget METRIA som på beställning av Vellinge kommun flygfotograferat hela kommunen. För att producera punktskiktet användes programvara från företaget ESPA Systems(tm). Områden med homogen topografi (t.ex. betesmarker) har inte lagrats med lika stor punkttäthet som områden med större höjdskillnader (t.ex. bostadsområden). Detta leder till en ojämn fördelning av höjdpunkterna över området (Öryd, 2009).

Distributionen av punkter gör att man kan särskilja bostadsområden från naturområden. Punkterna är generellt tätare i bostadsområden och följer vägnätet (figur 6.1). I områden med svår terräng mättes höjdpunkter ut för hand med hjälp av GPS för kontroll och korrigering (Öryd, 2009). Höjddata bestod sammanlagt av 54213 punkter med en vertikal noggrannhet (höjd) på en decimeter och levererades med en precision på en millimeter (x- och y-led). Data levererades i referenssystemet SWEREF 99 13°30'E.

Falsterbonäset är, som ovan nämnt, ett väldigt flackt område med endast små topografiska skillnader. Medelhöjden på de inmätta punkterna är endast 1,7 meter över havet med en lägsta respektive högsta punkt på -0,6 och 9,0 meter över havet.

Det är viktigt att här poängtera att den här studien inte går ut på att analysera hur Vellinge kommun (Falsterbonäset) kommer att påverkas av framtida havsnivåhöjningar utan data användes bara endast för utvärdering av interpolationsmetodernas betydelse.



Figur 6.1. Höjdpunkternas distribution över Falsterbonäset. Området är inringat i Skånekartan.

6.3. Programvaror

GIS, är databaserade system utvecklade för att lagra, hantera, analysera och presentera geografiska data (Nationalencyklopedin (web 11)). Det finns idag många GIS-program, mer eller mindre avancerade. Många programvaror är specialiserade på en typ av dataformat och analyser. En kort beskrivning följer av de fyra programvaror som undersöktes i detta arbete. Programmen valdes i samråd med handledare samt efter tillgänglighet. Möjlighet finns ofta att komplettera programmens verktyg genom att själv utveckla funktioner med hjälp av olika skriptspråk.

6.3.1. ArcGIS

Företaget ESRI är ett etablerat företag som utvecklades i slutet av 1960-talet. I början var företaget specialiserat på mark-användningsanalyser. Ursprungligen är deras programvaror utvecklade för hantering av vektordata men hanterar idag även rasterdata. ArcGIS har många användningsområden. Programmet hanterar bl.a. nätverksanalys, topologiska regler, överlagringsoperationer och logiska operationer Detta ger möjligheten att undersöka relationer mellan olika data, analysera geografiska data genom rumsliga sökningar, beräkna area, längd och avstånd o.s.v. (ESRI (web 12))

6.3.2. IDRISI

IDRISI är framtaget av Clark Labs vid Clark University i USA som från år 1987 har varit tillgängligt för allmänheten. IDRISI Andes är en programvara specialiserad på raster och fjärranalysdata, men har idag även moduler

för att utföra analyser med vektordata. Det är uppbyggt av knappt 250 verktyg för analyser, visualisering samt transformering mellan olika dataformat. Det finns i IDRISI Andes speciella moduler för miljöövervakning, riskanalyser, geostatistiska analyser samt markförändringsmodeller (Eastman, 2006).

6.3.3. MIKE FLOOD

MIKE FLOOD är ett avancerat hydrologiskt modelleringsprogram (snarare än GIS-program) framtaget av DHI, Danska Hydrologiska Institutet. De första beräkningsmodellerna togs fram i slutet av 70-talet och var föregångaren till deras första publika modell, MIKE SHE. MIKE FLOOD integrerar alla komponenter bidragande till en översvämning i sina beräkningar, d.v.s. översvämnings-områden, gator, avlopp, stormvatten och vattendrag/floder. MIKE FLOOD sammankopplar tre tidigare MIKE-modeller; MIKE 21, MIKE 11 samt MIKE URBAN. För översvämningsanalyser i vattendrag och VA-rör används endimensionella modeller medan det vid översvämningar av större landområden används tvådimensionella modeller (DHI (web 13)).

6.3.4. GRASS

GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) är en gratis programvara med öppen källkod (eng. open source), ursprungligen framtagen av U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories under åren 1982-1995 (GRASS (web 14)). Med öppen källkod menas att programmet är tillgängligt för vem som helst och att källkoden är publik och fri att distribuera vidare. Det innebär även att det är tillåtet att skriva till egen kod (GNU (web 15)). Programmet utvecklades i syfte att utföra beräkningar inom markförvaltning samt miljöplanering inom det militära. Idag är GRASS ett "projekt" under *Open Source Geospatial Foundation* och används av många universitet, amerikanska myndigheter och ett flertal miljöförvaltningar. Programmet är UNIX-baserat och lämpar sig därför för det gratis operativsystemet LINUX, men kan även köras i MS WINDOWS. GRASS kan hantera raster- och vektorformat. Programmet har över 350 verktyg för geografiska analyser och visualiseringar. (GRASS (web 14))

6.4. Kustöversvämningssimulering

Verktyget som användes vid simuleringarna i denna studie är utvecklat av Karin Gullstand, SWECO, i *ArcView* med *Visual Basic for Applications* (VBA) samt komponent-biblioteket ArcObjects. (ESRI (web 12)). VBA är en implementering av programspråket av Visual Basic (Visual Basic (web 16)). Simuleringsverktyget kommer härefter att refereras till som *Flood Tool*.

Två rasterskikt behövs för simuleringen; kontinuerliga höjddata samt kustlinjen. Man anger startnivå, slutnivå samt intervall för havsytans höjning. Därefter skapas ett resultatraster för varje nivå som visar var vattnet "fyller cellerna" i höjdmodellen, med utgång från kustlinjen. Denna metod fyller alltså inga sänkor som ligger utanför angränsning till havet.

7. METOD

7.1. GIS program

Samtliga GIS-program (omnämnda under avsnitt 6.2) undersöktes med fokus på dess användarvänlighet och hydrologiska verktyg. Möjligheten och enkelheten att simulera en havsöversvämning granskades. Dialoger har förts med sakkunniga personer angående de verktyg som finns och används vid denna typ av analyser. Anställda på GIS-företagen har kontaktats för ytterligare information om möjligheten att simulera en kustöversvämning.

Denna jämförelsestudie är gjord utifrån de kunskaper en van GIS-användare kan förväntas ha. Det är viktigt att programmet man ska använda är användarvänligt samt att hjälpfunktionerna och manualerna är lättillgängliga och utförliga, för en effektiv arbetsgång. Av denna anledning har studien inte bara berört möjligheten att simulera översvämningar utan även användarvänligheten.

För undersökningen av möjligheten att utföra hydrologiska analyser granskades om programmen har hydrologiska verktyg samt om det finns verktyg anpassat till havsvattenöversvämningar. De verktyg som söktes i programmen ska kunna simulera en kustöversvämning för en given havsnivå. Den ska utgå från kuststräckan och simulera flödet från en rastercell till en annan.

Här bör poängteras att de översvämningssimuleringar som i slutändan gjordes, endast utfördes i ArcGIS med *Flood Tool* (se avsnitt 6.3). Jämförelsestudien av GIS innefattar alltså inga praktiska analyser. Anledningen till detta var framförallt tidsbegränsning.

7.2. Interpolationer

Arbetsmetoden för hur interpolationerna genomfördes beskrivs nedan.

- Till att börja med studerades höjddata visuellt och statistiskt för en förståelse för dess innehåll och utbredning. Punkternas fördelning, avståndet mellan dem och dess attribut undersöktes. Dessutom plottades semivarians i programmet MATLAB, framtaget av företaget The MathWorks, (egen programmering), för utvalda delar av området för en antydan om hur avståndsberoendet ser ut.

- Höjdpunkterna levererades i meter över havet med en noggrannhet på en decimeter. Men eftersom höjden angavs med åtta decimaler multiplicerades den med 10 varefter den avrundades till heltal. Anledningen till att höjden multiplicerades med 10 och på så vis gjordes om till decimeter var för att effektivisera lagringen av data och att förenkla beräkningarna vid interpolering.

- Därefter plockades 200 slumpmässigt utvalda höjdpunkter bort från de 54213 originalpunkterna, för att senare kunna användas som utvärderingspunkter vid beräkning av interpolationernas RMSE-värden. ID-värden för dessa 200 punkter slumpades fram och plockades därefter ut från rådata. Antalet punkter som skulle användas för beräkning av RMSE bestämdes i samråd med handledare.

- Global interpolation genomfördes. Tre trendytor av; första-andra- och tredjegradens polynom skapades.

- Originaldata avtrendades genom att trendytan med det bästa RMSE-värdet, d.v.s. andragradens polynom subtraherades. Detta i syfte att utföra bästa möjliga lokala interpolation (se geostatistik under avsnitt 5.2.3)

- Därefter utfördes 12 lokala interpolationer med upplösning 1 meter, uppdelade i två grupper: en med avtrendad data och en med icke avtrendad data:
  - 6 interpolationer med avtrendad data.
  - 6 interpolationer med icke avtrendad data.
  Detta gjordes i syfte att undersöka trendens betydelse för den lokala interpolationen.

- I syfte att undersöka upplösningens betydelse vid översvämnings-simulering utfördes ytterligare 4 interpolationer med lägre upplösning (icke avtrendad data).
  - 2 interpolationer med upplösning 5 meter.
  - 2 interpolationer med upplösning 10 meter.

  En sammanställning av samtliga interpolationer beskrivs i tabell 7.1.

Tabell 7.1. De 16 utförda interpolationerna, uppdelade i tre huvudgrupper. De som är utförda på avtrendad data, icke avtrendad data samt icke avtrendad data med låg upplösning.

UTFÖRDA INTERPOLATIONER		
Namn		Kort beskrivning
Avtrendade	KRIGING IDRISI	Hela interpolationen utförd i IDRISI Andes
	KRIGING Auto	Den automatiserade Kriging i ArcGIS
	IDW k=1	IDW med avståndsexponenten 1
	IDW2 k=2	IDW med avståndsexponenten 2
	IDW3 k=3	IDW med avståndsexponenten 3
	TOPO	Topo to Raster
Icke Avtrendade	KRIGING Adv	Kriging i ArcGIS med angivna värden för lag, sill, range och nugget, vilka togs fram i IDRISI Andes
	KRIGING Auto	Den automatiserade Kriging i ArcGIS
	IDW k=1	IDW med avståndsexponenten 1
	IDW2 k=2	IDW med avståndsexponenten 2
	IDW3 k=3	IDW med avståndsexponenten 3
	TOPO	Topo to Raster
Icke Avtrendade Låg upplösning	IDW k=2, 5m	IDW med avståndsexponenten 1, upplösning 5 meter
	IDW k=2, 10m	IDW med avståndsexponenten 2, upplösning 10 meter
	KRIGING Auto 5m	Den automatiserade Kriging i ArcGIS, upplösning 5 meter
	KRIGING Auto 10m	Den automatiserade Kriging i ArcGIS, upplösning 10 meter

En utförligare förklaring till interpolationerna följer nedan:

- IDW (avståndsviktad medelvärdes-interpolation) som har använts följer standarden och behöver ingen ytterliggare förklaring än den som finns i avsnitt 5.2.2.
- TOPO - Topo To Raster (programspecifik interpolation, utförd i ArcGIS).
  Punkterna delades upp i tre områden eftersom datamängden var för stor för programmet att hantera. Interpolationsmetod i ArcGIS, rekommenderad för hydrologiskt korrekta DEM (ArcGIS (web 17)). Denna metod är baserad på programmet ANUDEM, utvecklad vid Australia National University, speciellt anpassad för beräkning av avrinning och flödesnätverk. Topo to Raster är en lokal interpolationsmetod, en variant av interpolationen *spline*, "minimum curvature interpolation" - minsta krökning, som kompenserar för sänkor och ojämnheter (Hutchinson, 1989, ANUDEM (web 18)).

- Kriging Auto - Automatiserad i ArcGIS.Avståndsintervallet (lag) är förvalt till samma storlek som utgående resultatraster. Därefter beräknar programmet sill, range och nugget och anpassar en sfärisk modell.

- Kriging Adv (Advanced) - Kriging i ArcGIS, med avancerade inställningar. Punkterna delades upp i fem områden eftersom datamängden var för stor. Semivariogram för varje område togs fram i programvaran IDRISI, men själva interpolationen utfördes i ArcGIS, där värden för lag, range, sill och nugget angavs.

- Kriging IDRISI - Utförd i IDRISI Andes. Punkterna delades upp i tre områden eftersom datamängden var för stor. Data undersöktes geostatistiskt och semivariogram togs fram, som interpolationen sedan baserades på.

Samma sökradie och maximalt antal punkter angavs i samtliga fall, nämligen 200 meter respektive 12 punkter. Att sökradien valdes till relativt stor berodde på den låga punkttätheten i vissa områden. I de fall där punkterna delades upp i mindre områden gick det inte att köra beräkningarna då datamängden var för stor för programmet att hantera. Områdena delades upp i grupper med motsvarande antal punkter. Efter interpolationen sammanslogs de till ett kontinuerligt raster. Där områdena överlappade (vilket samtliga gjorde) beräknades medelvärdet.

Samtliga interpolationer utfördes i ArcGIS förutom en - Kriging IDRISI, som utfördes i IDRISI Andes. För att kontrollera om programvarornas beräkningssätt och algoritmer skiljer sig åt genomfördes motsvarande interpolation i ArcGIS, med avancerade inställningar där semivariogrammens värden angavs. Rasterskikten jämfördes genom en överlagring där det ena subtraheras från det andra. Dessutom jämfördes RMSE-värden.

7.2.1. Utvärdering av interpolationerna

De 200 utvärderingspunkterna rasteriserades till upplösningarna 1, 5 och 10 meter. Därefter subtraherades punkterna från de interpolerade värdena, för samtliga 16 interpolationer. Utifrån resultaten beräknades RMSE-värden enligt ekvation 5.6.

7.3. Kustöversvämningssimulering

För detta ändamål användes en och samma metod för samtliga interpolationer, för ett

jämförbart resultat. Simuleringen gjordes i ArcGIS med *Flood Tool* (se avsnitt 6.3), för en stigande havsnivå upp till 3 meter (ofta gräns för lägsta byggnivå), med intervall á 2 decimeter. Många kommuner har idag en bygglovsgräns på tre meter över havet, vilket motiverar valet av högsta simulerade nivå.

En visuell jämförelse av resultaten från simuleringarna med *Flood Tool* gjordes. De översvämmade områdenas arealer beräknades och jämfördes.

7.3.1. Areaberäkning

De översvämmade områdens areor beräknades för varje 0,2 meters simulerade intervall upp till 3 meter, för samtliga interpolationer. Detta motsvarar 240 areaberäkningar. Dessa beräkningar användes senare för jämförelse av de olika interpolationsmetoderna. Stora variationer av areorna för en angiven nivå tyder på olikheter i interpolationerna.

8. RESULTAT

8.3. GIS program

8.3.1. ArcGIS

ArcGIS är den programvara som har funnits längst på marknaden av de fyra undersökta. Programmet har stor potential och klarar många rumsliga analyser, men den har vissa brister. Hjälp-menyn är ofta bristande både i förklaringarna av hur de olika verktygen utför sina beräkningar men även i att beskriva sökväg till verktygen. Programmet brister även i hanteringen av data då det inte klarar av stora datamängder. Vid ett flertal analyser var datamängden för stor så den fick delas upp i mindre områden för att programmet skulle lyckas med beräkningarna. ArcGIS har flera verktyg anpassade till hydrologiska analyser, men inga utvecklade specifikt för kustöversvämningar. Det som finns tillgängligt är verktyg utvecklade för analyser vid vattenavrinning, kartering av flödesnätverk, samt analyser för grundvattenflöden. Det skulle vara möjligt att utföra en kustöversvämningsanalys men det är besvärligt och det skulle krävas många analyssteg.

Det finns en datamodell vid namn Arc Hydro som är utvecklad för hydrologiska analyser. Den är framtagen vid University of Texas. Modellen är dock inte utvecklad för kustöversvämningsanalyser. Vid kontakt med ESRI S-GROUP (Sverige) rekommenderade de att skriva egna "MapAlgebra"-kommandon som ett skript eller i Modelbuilder i ArcGIS.

8.3.2. IDRISI Andes

IDRISI Andes är ett GIS-program utvecklat framförallt för analyser av rasterdata. Det är ett lättnavigerat program där man enkelt kan läsa om och hitta de olika modulerna i hjälp-menyn. Vid beräkning av semivarians uppstod dock problem till följd av de stora datamängderna. Höjdpunkterna fick delas upp i mindre områden.

Interpolationsverktygen och verktygen för geostatistik är för övrigt mycket bra samt förklaringarna för hur de fungerar. Samtliga semivariogram som användes vid interpolationerna togs fram i IDRISI. De hydrologiska analyserna saknar ett verktyg anpassat för översvämningssimuleringar. Det finns moduler som räknar ut sannolikheten för att ett område ska översvämmas men det är inte helt jämförbart med den sökta funktionen då den bygger på antaganden av fel i höjddata (Eastman, 2006).

8.3.3. MIKE FLOOD

MIKE FLOOD är som tidigare nämnts ett hydrologiskt modelleringsprogram. Det är ett avancerat program och det krävs mycket tid för att få en förståelse över hur programmet är uppbyggt. För att simulera översvämningar i MIKE FLOOD behövs filer i flera olika format. Detta i kombination med att hjälpfunktionen var bristfällig gjorde det svårt att, under en begränsad tid, fördjupa sig i och genomföra de önskade analyserna. De hydrologiska verktyg som finns tillgängliga i MIKE FLOOD är väldigt avancerade och det behövs en mängd indata för att de ska kunna köras, bland annat grundvattenmodeller och strömhastigheter.

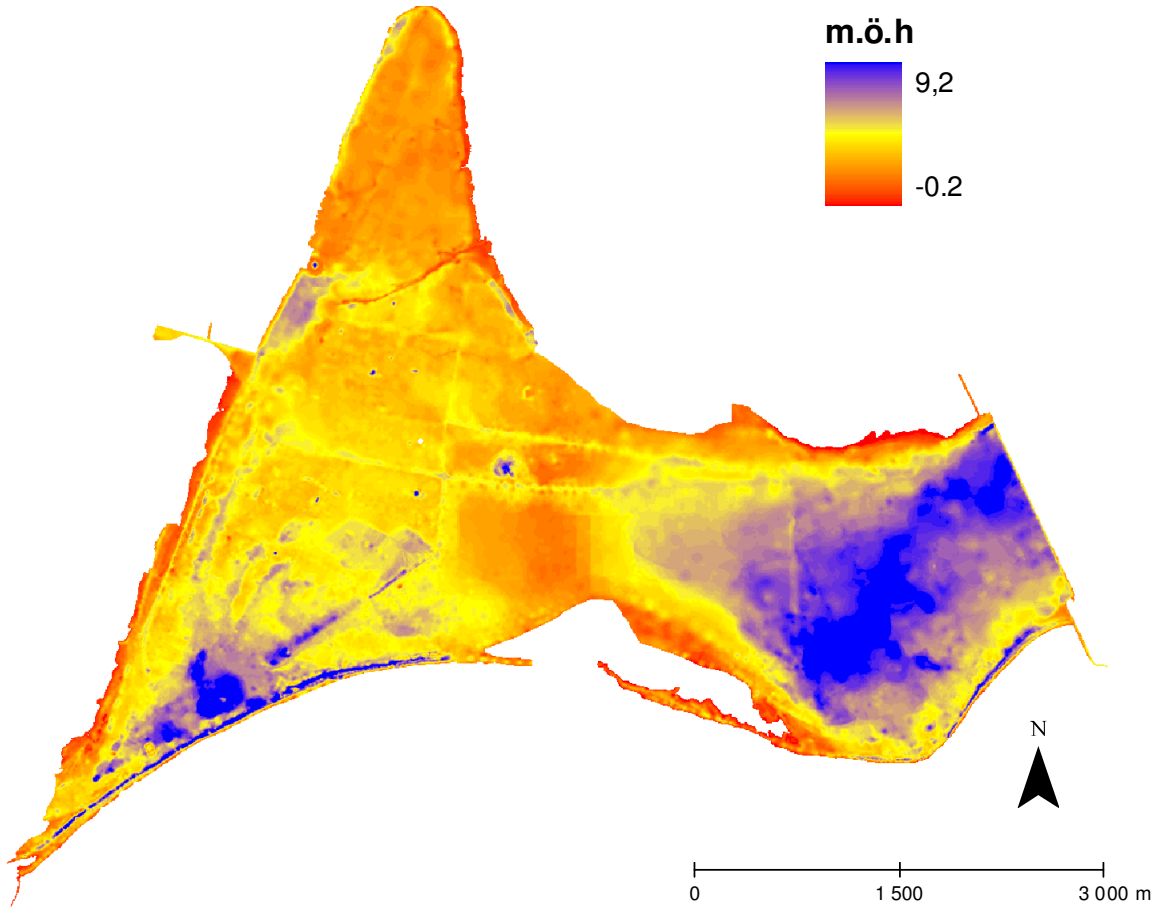
8.3.4. GRASS

GRASS är som tidigare nämnt ett program med öppen källkod, så nödvändiga program och filer finns tillgängligt gratis på Internet. Vid nedladdning av datafiler upplevdes denna del komplicerad då det inte fanns någon bra hjälpfunktion. För att använda programmet med operativsystemet MS WINDOWS behövdes åtskilliga extra filer som vid flertal

tillfällen inte var tillgängliga på anvisade hemsidor. Vid undersökning av hydrologiska verktyg skrivna för GRASS fanns ett som skulle ha varit intressant att undersöka närmare. Det var ett verktyg som dock krävde en mängd indata (vindhastighet, strömhastighet, strömriktning mm) för att köras, vilket för önskad jämförelse inte var möjlig att genomföra då den typen av data saknas. Vid personlig kontakt med ansvarig personal angående frågor rörande nedladdning samt hydrologiska verktyg hänvisades till en e-postlista för användare av GRASS.

8.4. Interpolationsmetoder och översvämningssimulering

De 16 utförda interpolationerna presenteras inte alla här i form av en DEM. Nedan visas dock en av interpolationerna (figur 8.1), Kriging IDRISI.Området begränsas av kanalen i öst, vilket förklarar den raka linjen. De högsta områdena hittas i de sydvästra samt sydöstra delarna av näset. I den framinterpolerade kartan är det lätt att identifiera detaljer såsom vägar och åar. Detta gäller för samtliga interpolationer i hög upplösning (1 meter). För de lägre upplösningarna (5 och 10 meter) går det fortfarande att urskilja detaljer även om bilden är mer utjämnad.



Figur 8.1. DEM interpolerad med Kriging IDRISI. Endast ett fåtal enskilda celler ligger under havsnivån.

8.4.1. Utvärdering av interpolationerna

Medelvärdet för RMSE för samtliga interpolationer motsvarar 0,35 meter. För interpolationerna tillhörande de tre grupperna; avtrendade, icke avtrendade (1 meter) samt icke avtrendade med låg upplösning (5 och 10 meter) är medelvärdena relativt lika; 0,33, 0,35 och 0,38 meter.

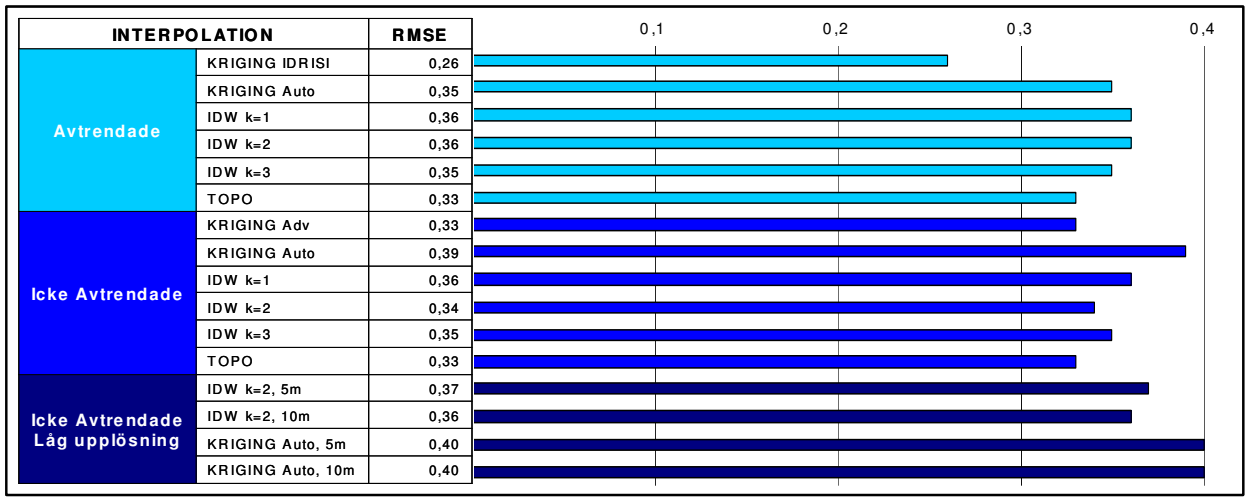
Det lägsta och mest avvikande värdet är 0,26 meter för interpolationen Kriging IDRISI med avtrendad data (tabell 8.1). Detta värde är också förklaringen till det något lägre medelvärdet för gruppen avtrendade. De interpolationer utförda på avtrendad data har för övrigt inte lägre värde än de icke avtrendade.

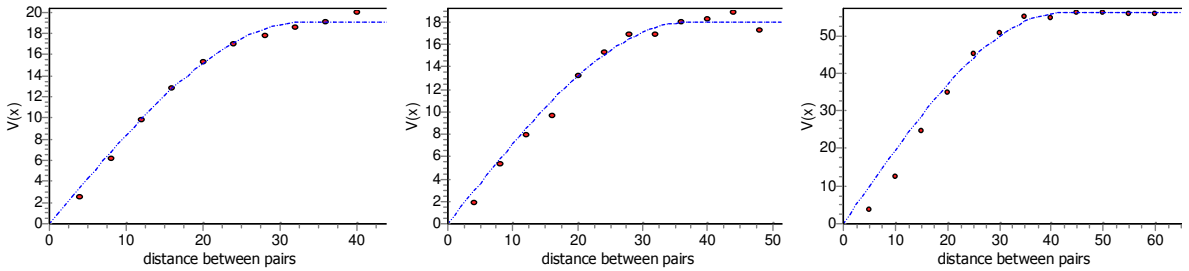
Det högsta RMSE-värdet för både de hög- och lågupplösta interpolationerna har metoden Kriging Auto, 0,39 respektive 0,40 meter (tabell 8.1).

Det som utmärker interpolationen Kriging IDRISI är att den interpolerades med hjälp av geostatistiska analyser av det rumsliga beroendet. Figur 8.2 visar de semivariogram som användes vid interpolationen av de tre uppdelade områdena. Variogrammen visar tydliga avståndsberoenden.

Tabell 8.1. RMSE-värden för samtliga 16 interpolationer.

INTERPOLATION		RMSE
Avtrendade	KRIGING IDRISI	0,26
	KRIGING Auto	0,35
	IDW k=1	0,36
	IDW k=2	0,36
	IDW k=3	0,35
	TOPO	0,33
Icke Avtrendade	KRIGING Adv	0,33
	KRIGING Auto	0,39
	IDW k=1	0,36
	IDW k=2	0,34
	IDW k=3	0,35
	TOPO	0,33
Icke Avtrendade Låg upplösning	IDW k=2, 5m	0,37
	IDW k=2, 10m	0,36
	KRIGING Auto, 5m	0,40
	KRIGING Auto, 10m	0,40



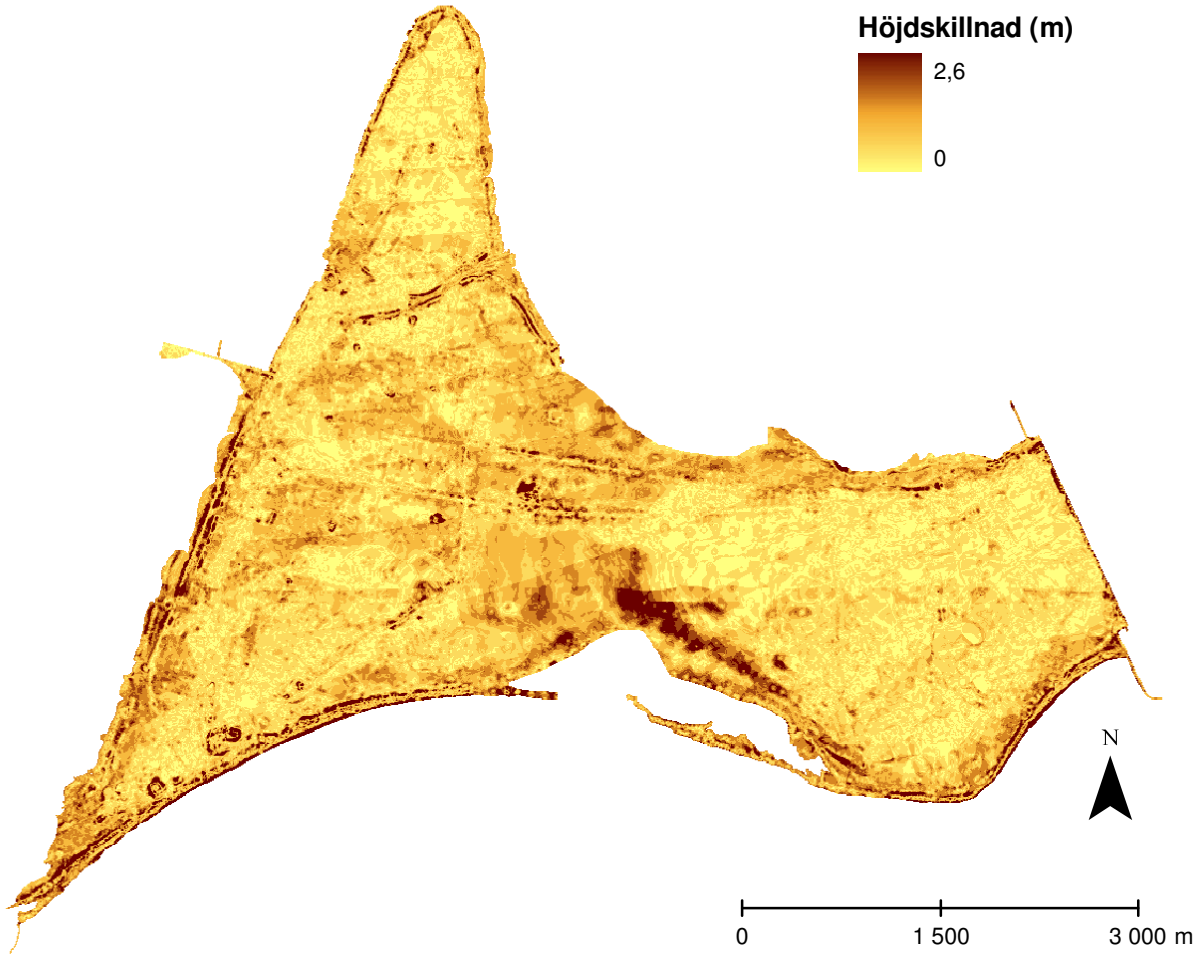


Figur 8.2. Variogrammen för interpolationen Kriging IDRISI, för tre uppdelade områden. Observera de olika skalorna.

Avståndsintervallet (lag) för de två första variogrammen valdes till 4 meter medan det sista fick värdet 5 meter. Antalet parvisa jämförelser var i samtliga avståndsintervall fler än 4000.

Interpolationen Kriging IDRISI upprepades i ArcGIS, med samma inställningar samt värden tagna ur ovanstående variogram. Detta för en jämförelse av programvarornas interpolationsalgoritmer. Resultatet blev olika, med ganska markanta höjdskillnader. RMSE-värdet beräknades också för interpolationen utförd i ArcGIS och blev 0,33 meter, d.v.s. betydligt högre. Programmen tycks använda olika algoritmer vid samma interpolation.

För att visualisera höjdskillnaderna mellan interpolationerna kan man överlagra dem. Höjdskillnaden beräknas genom att det ena lagret subtraheras från det andra. Många sådana överlagringar har gjorts varav en visas nedan (figur 8.3). Figuren visar resultatet av beräkningen Kriging IDRISI minus IDW k=2 (avtrendade). Värdena i figur 8.3 valdes att presenteras som höjdskillnaden i absoluta tal (positiva tal), d.v.s. visar inte dessa vilken interpolationsmetod som har skattat det högre värdet. Den största differensen är 2,6 meter. IDW k=2 är i genomsnitt 0,1 meter högre än Kriging IDRISI.



Figur 8.3. Resultatet av överlagringen Kriging IDRISI minus IDW k=2. Höjdskillnaden anges i absoluta (positiva) tal. De mörka områden visar var det förekommer stora skillnader i höjdkartorna.

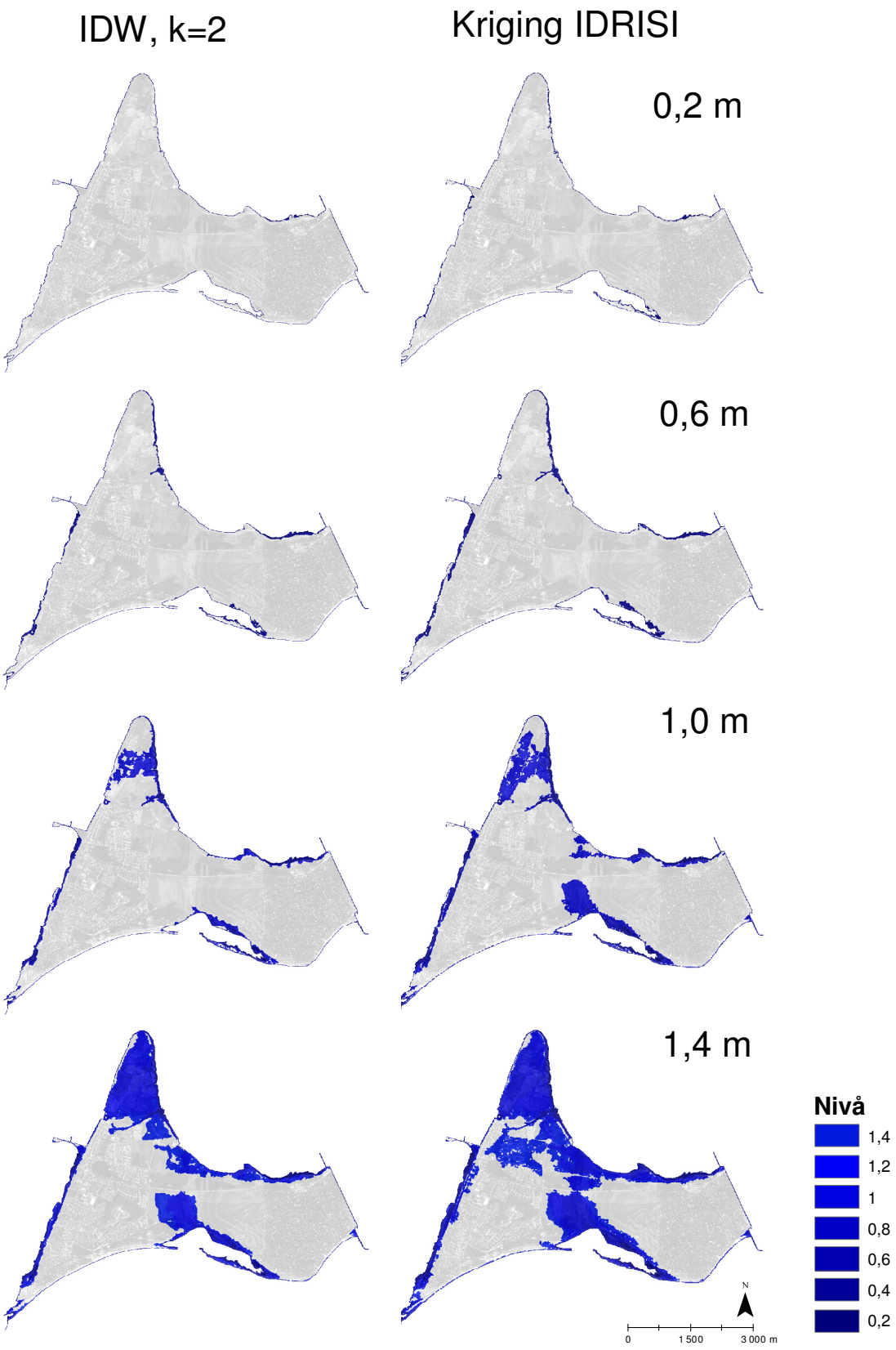
8.4.2. Kustöversvämningssimulering

Simuleringar för kustöversvämning gjordes för samtliga interpolationer med *Flood Tool*, för varannan decimeter upp till 3 meter. De översvämmade landareornas storlek varierar beroende på interpolationsmetod. I de flesta fall kan man urskilja dessa skillnader visuellt. För att undersöka olikheterna gjordes åtskilliga överlagringar, för samtliga simulerade nivåer, i syfte att ta reda på vilka områden som överensstämde. De visade sig stämma bra överens då variationer i resultaten inte berodde på att interpolationerna indikerade att skilda områden skulle översvämmas utan att den ena metoden antydde på större landarealer.

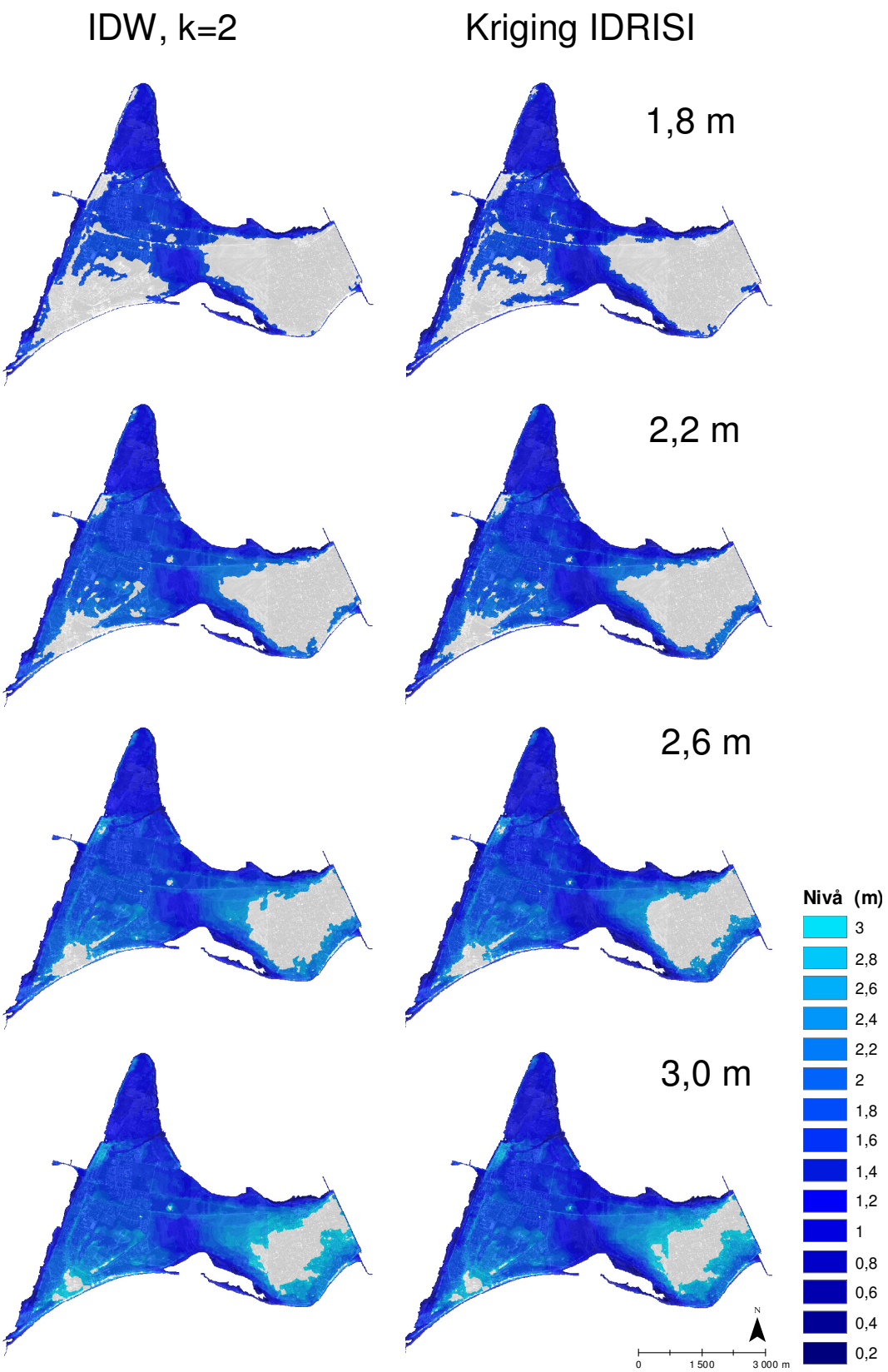
Simuleringarna av två utvalda interpolationer, IDW k=2 och Kriging IDRISI (båda avtrendade), redovisas nedan för nivåerna 0,2 till 3 meter med intervall á 0,4 meter (figur 8.4 och 8.5). Valet av de redovisade

interpolationsmetoderna baseras på RMSE-värdena samt det faktum att båda metoderna är populära att använda. Kriging IDRISI är den klart bästa interpolationen sett till RMSE-värdet på 0,26 jämfört med IDW k=2 på 0,36 meter. I figurerna 8.4 och 8.5 kan man visuellt urskilja de skillnader som uppstår i resultatet, endast beroende på val av interpolationsmetod.

Medan simuleringsresultaten betraktas nedan bör man ha i åtanke var de största höjdskillnaderna mellan interpolations-metoderna finns i området (se figur 8.3).



Figur 8.4.Resultatet av kustöversvämningssimuleringarna för IDW k=2 och Kriging IDRISI, med havsnivåökning från 0,2 till 1,4 m, med intervall á 0,4 meter



Figur 8.5.Resultatet av kustöversvämningssimuleringarna för IDW k=2 och Kriging IDRISI, med havsnivåökning från 1,8 till 3,0 m, med intervall á 0,4 meter

Differensen i höjd mellan Kriging IDRISI och IDW k=2 ger upphov till olika resultat vid simuleringen av kustöversvämningar. Figurerna 8.4 och 8.5 ovan illustrerar resultaten där det tydligt går att urskilja olikheterna. Skillnaderna kan även beräknas areellt och volumetriskt. Diagram 8.1 visar att skillnader förekommer i area, med störst differens vid 1,4 meters ökning av havsnivån. Differensen är störst för nivåerna upp till 2 meter varefter de minskar. Det bör här uppmärksammas att de procentuella skillnaderna minskar med ökad havsnivå.

Beräkningar av volymen visar samma mönster och proportioner som areaberäkningarna i figur 8.1, så dessa redovisas inte här. Däremot visar figur 8.2 medeldjupet för de översvämmade områdena för samtliga nivåer.

Genom att betrakta diagrammen 8.1 och 8.2 kan man ana områdets topografi. Stora areella ökningar leder till marginella ökningar av medeldjupet. Vid höjningen från 0,8 till 1 meter sjunker till och med medeldjupet. När den areella ökningen successivt avtar (från ca 2 meter) ökar däremot medeldjupet exponentiellt.

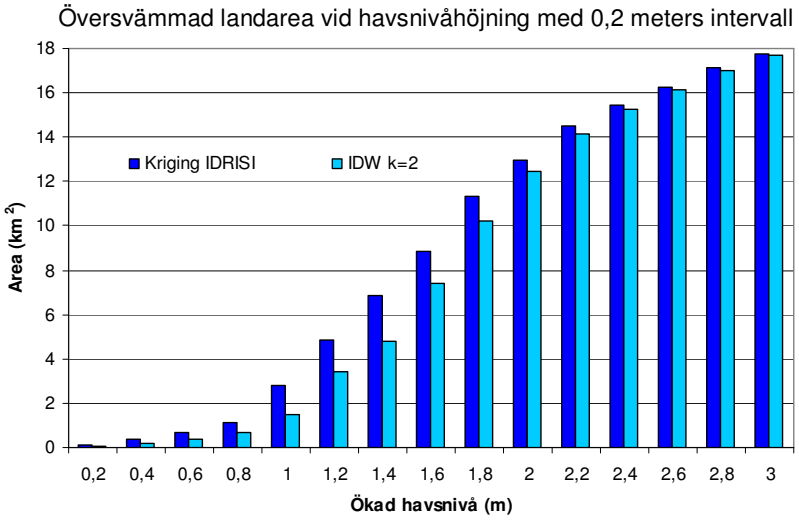


Diagram 8.1. Översvämmad landarea vid simulerad kustöversvämning för IDW k=2 och Kriging IDRISI, med havsnivåökning i intervaller á 0,2 meter.

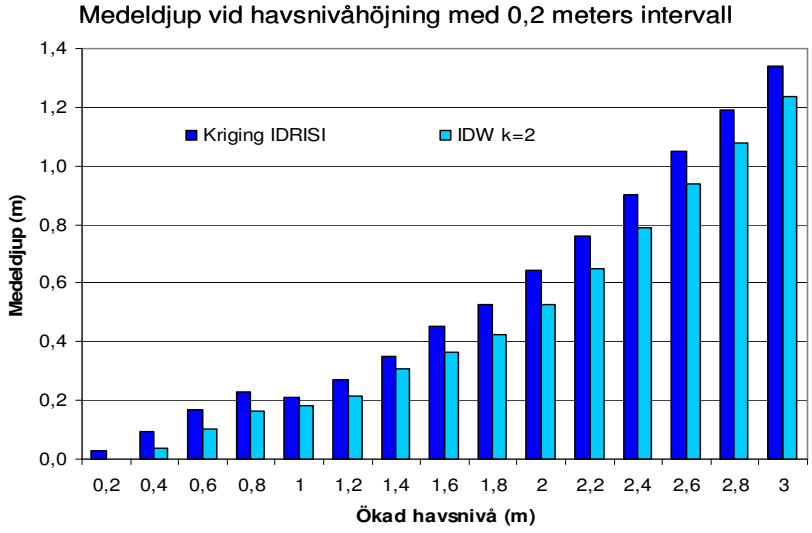


Diagram 8.2. Medeldjup vid simulerad kustöversvämning för IDW k=2 och Kriging IDRISI, med havsnivåökning i intervaller á 0,2 meter.

De areella skillnaderna vid översvämningssimulering är inte specifika för de två ovannämnda interpolationerna eftersom variationer förekommer bland samtliga interpolationsmetoder. För att förtydliga detta visar diagrammen 8.3 och 8.4 beräkningarna för översvämmade landareor vid två simulerade nivåer.

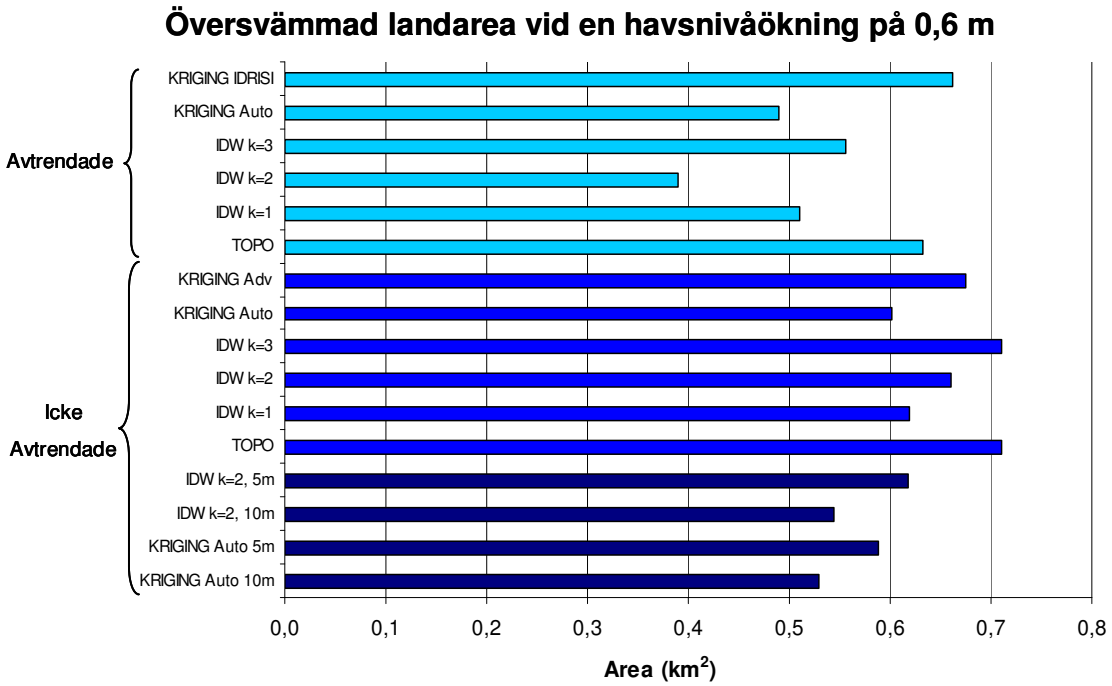


Diagram 8.3. Översvämmad landarea vid simulerad kustöversvämning för samtliga interpolationer, med havsnivåökning på 0,6 meter.

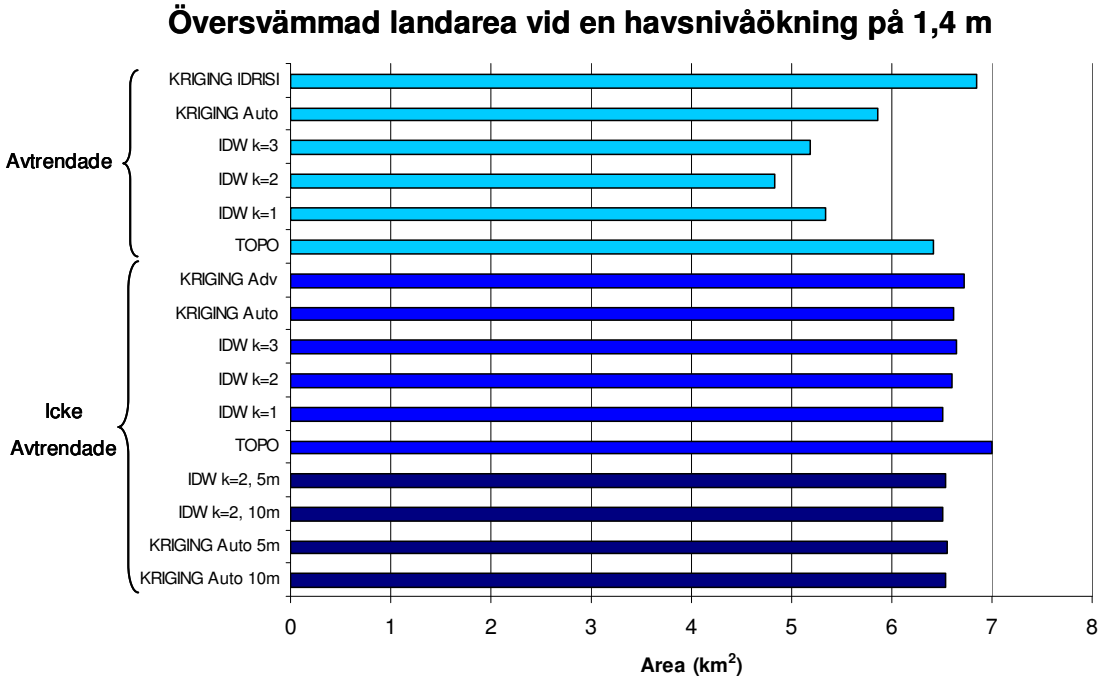


Diagram 8.4. Översvämmad landarea vid simulerad kustöversvämning för samtliga interpolationer, med havsnivåökning på 1,4 meter.

För nivån 0,6 meter (diagram 8.3) är variationerna betydligt större än för 1,4 meter (diagram 8.4). För den lägre nivån varierar arean för samtliga metoder medan det för den högre nivån framförallt är gruppen avtrendade som varierar.

Resultat av simuleringarna visar att interpolationsvalet ger utslag på det slutgiltiga resultatet, d.v.s. översvämningssimuleringen. En illustration av olikheterna mellan metoderna visas av diagram 8.5 där standardavvikelser för samtliga interpolationer med upplösning 1 meter är plottade, för alla simulerade nivåer. Diagrammet visar avvikelsen från medelvärdet där värdena varierar mellan 0,03 och 0,70 km2.

Om man däremot studerar standardavvikelsen normaliserad mot medelvärdet i diagram 8.6 får man ett annat perspektiv på hur skillnaderna föreligger. Procentuellt är avvikelsen i resultaten mycket stor för 0,2 meters havsnivåökning, för att sedan avta med ökad havsnivå (diagram 8.6). Trots att de areella skillnaderna är som störst kring nivå 1,4 meter (diagram 8.5) är alltså de procentuella skillnaderna övervägande störst för de lägsta nivåerna.

För havsnivåökning på 2 meter eller högre ger inte interpolationsmetoderna någon betydande variation i resultatet.

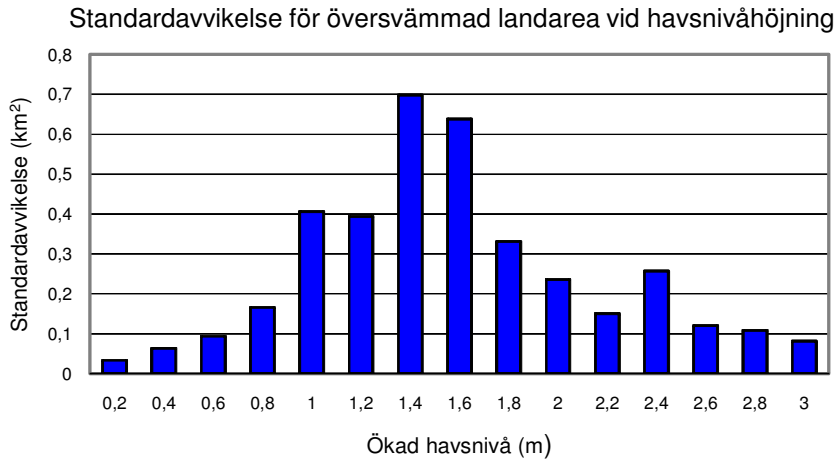


Diagram 8.5. Standardavvikelse för översvämmad landarea, samtliga interpolationer vid simulerad kustöversvämning, med havsnivåökning i intervaller á 0,2 meter.

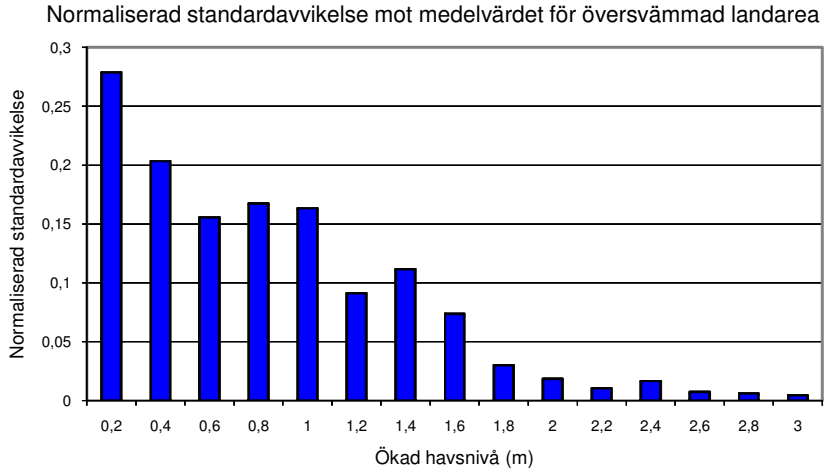


Diagram 8.6. Normaliserad standardavvikelse mot medelvärdet för samtliga interpolationer vid simulerad kustöversvämning, med havsnivåökning i intervaller á 0,2 meter.

DEL III - Diskussion och Slutsats

Samtliga resultat från de två delarna diskuteras nedan.

9. DISKUSSION

9.1. Myndigheter

Under avsnitt 6.1. beskrivs de statliga myndigheter som på något vis är inblandade i arbetet med översvämningsproblematiken. Totalt nämns nio myndigheter som är involverade i arbetet, detta till följd av att problematiken kring ämnet är omfattande och berör många aspekter i samhället. Att det är många involverade är positivt på så vis att experter från samtliga berörda områden finns tillgängliga men fördelningen av arbetsuppgifterna innebär också en risk att helhetsbilden försämras. Det förekommer även en risk att det sker onödiga överlappningar i arbetet vilket är både tids- och pengakrävande. Dessutom har inte myndigheterna alltid den kompetens som krävs för att genomföra tilldelade uppgifter så det händer att de tar hjälp av en annan myndighet eller anlitar konsulter. Man kan spekulera kring vilka konsekvenser ansvarsfördelningen ger, om det möjligen saktar ner arbetet då en huvudansvarig saknas.

Kommunala beslutsfattare rättar sig efter de fåtal tillgängliga prognoser och modeller som finns för hur havsvattennivåerna längst Sveriges kuster kommer att förändras. De nationella prognoser som finns idag presenterades i Klimat och sårbarhetsutredningen år 2007, samt i ett fåtal lokala rapporter från SMHI. Klimat och Sårbarhetsutredningen baserade sina prognoser på resultaten från IPCC: s tredje rapport som publicerades år 2001.

Att grunda viktiga beslut rörande t.ex. stadsplanering på så pass få och gamla prognoser medför risker. Det är svårt att förutspå framtida havsnivåer, det är fortfarande ovisst hur vi kommer att drabbas. Nya rapporter publiceras ständigt, varav en av de senaste menar att tidigare modeller har underskattat den framtida stigningen av den globala havsnivån.

Kvalitén på delar av det arbete som uträttas kan ifrågasättas eftersom analysmetoderna sällan beskrivs, eller beskrivs bristfälligt, i rapporterna. GIS är ett väldigt bra och användbart verktyg men programmen kräver stor kunskap hos användaren då fel lätt begås men kan vara svåra att upptäcka.

9.2. Skånska kustnära kommuner

Utifrån intervjuerna med representanter från samtliga kustnära skånska kommuner kunde konstateras att olikheter förekommer kring hur arbetet angående översvämningsrisken hanteras.

Ofta diskuteras översvämningsrisker och åtgärder p.g.a. att översvämningar har förekommit i kommunen. Detta är en förståelig företeelse men man bör börja tänka i nya banor. Tidigare har stigande havsnivåer betraktats som ett hot långt i framtiden, men vad händer om det ligger närmare i tiden än vad vi tror?

Resonemanget kring framtida bekymmer orsakade av stigande havsnivåer varierar bland de vi har pratat med. Flertalet kommuner har en lägsta byggräns (upp till tre meter över havet) medan andra anser att det inte finns någon anledning att införa en sådan bestämmelse. De resonerar som så att skyddsåtgärder såsom vallar kommer att byggas vid behov runt utsatta områden. Den

huvudsakliga anledningen till att somliga kommuner inte har infört en lägsta byggräns är det stora trycket från allmänheten på att få exploatera attraktiva kustområden. Samtidigt som bygglov utfärdas till privatpersoner pågår en diskussion kring vem som bär ansvaret för att skydda fastigheter vid fara för översvämning. Kommunen ansvarar nämligen inte för t.ex. invallning av privata fastigheter (Holgersson., 2007). Det kan komma att bli kostsamt för framförallt villaägare då försäkringspremier kan bli betydligt dyrare (Sandler., 2009).

Det är naturligtvis kostsamt att förebygga översvämningar och det tycks hittills inte ha varit en prioriterad fråga bland kommunalpolitiker. Det finns dock pengar att söka och ett fåtal kommuner nyttjar detta flitigt. Samtliga kommunanställda personer som har kontaktats är dock övertygade om att det är billigare att förebygga översvämningar gentemot kostnaden för konsekvenserna av en havsöversvämning.

I kommunerna efterfrågas det ofta en samordnare, en koordinator som kan angripa problemet från flera infallsvinklar samt förenkla samarbetet mellan myndigheter, men även mellan olika avdelningar inom kommunen. Osäkerheten och okunskapen är stor rörande de riktlinjer som finns. I likhet med att strandskyddet finns, som bl.a. begränsar exploatering av våra kuster, bör det finnas nationella riktlinjer för lägsta tillåtna byggnivå.

Det finns många GIS-användare i kommunerna idag, men kunskapen om GIS är väldigt varierande, vilket återspeglas i intervjuerna. Tillvägagångssättet dokumenteras sällan vilket leder till att personer som baserar sina beslut på analysresultaten inte får någon information om vad som har gjorts. Kvalitén för analyserna varierar också och jämförelsestudier/efterstudier bli svåra att genomföra.

9.3. GIS

Från början var det menat att fokus för detta examensarbete skulle vara att jämföra olika GIS-programs möjlighet att simulera havsvattenöversvämningar. Denna jämförelse visade sig vara svårgenomförbar eftersom den typ av jämförelse skulle vara väldigt tidskrävande då det krävs goda kunskaper om programmen. MIKE är den programvara som är mest avancerad, snarare ett hydrologiskt modelleringsprogram än GIS-program. Detta gör den svår att jämföra med de övriga tre. Man bör ha goda hydrologiska kunskaper för att kunna utnyttja programmets potential. Eftersom den analys vi önskade genomföra inte tar hänsyn till fler parametrar än en, nämligen en permanent höjd havsnivå, var det inte aktuellt att använda programmet.

GRASS användes slutligen inte vid analyserna men programmet har potential att utföra den typ av beräkningar som söktes. Eftersom det är ett program med öppen källkod tillkommer det ständigt nya verktyg som användare publicerar på hemsidan, det är även möjligt att köra egenskrivna skript. En stor fördel med programmet gentemot de andra är att det är gratis. Antalet användare ökar ständigt, vilket leder till förbättring av programmet. Det är idag möjligt att utföra de flesta vanliga rumsliga analyser i GRASS.

IDRISI Andes är ett tacksamt program för hantering av raster. Hjälpfunktionerna är väldigt bra och programmet har många användbara verktyg. Geostatistik och interpolationen kriging är betydligt bättre och lättare att genomföra här i jämförelse med ArcGIS. Möjligheten att simulera havsöversvämning finns med en statistisk metod som i efterhand skulle vara intressant att fördjupa sig i, men möjligheten till detta begränsades av tiden.

ArcGIS har i likhet med de två ovan nämnda möjligheten att utföra en analys av drabbade områden vid en havsöversvämning men det krävs stor insats av användaren. Eftersom analysen kräver många steg är den både

komplicerad och tidskrävande. Hjälpen är i vissa fall bristfällig då den är svårmanövrerad och ofullständig i sin information om hur verktygen behandlar data. Programmet har dessutom brister i hanteringen av rasterdata, då det exempelvis saknas en enkel funktion för att beräkna area. En fördel med ArcGIS är att det på Internet finns mycket användbar information och tips, p.g.a. att många använder programmet. Kartlayouten i ArcGIS är dessutom utmärkt. Samtliga översvämningssimuleringar utfördes i ArcGIS då vi hade tillgång till *Flood Tool.*

Sammanfattningsvis är det viktigt att poängtera att det skulle behöva utvecklas fler och bättre hydrologiska verktyg för GIS-programmen, som är anpassade till kustöversvämningar. Det finns förvisso en fara med att simplifiera analysmetoden eftersom det kan leda till att användare utan tillräcklig förståelse och kunskap för metoden använder verktyget. Detta kan ge konsekvenser att resultat baserade på bristfälliga metoder används som underlag för viktiga beslut. Ur detta perspektiv är det bra att MIKE FLOOD är ett så pass avancerat program, att endast de som besitter kunskap använder det.

9.4. Interpolationer och kustöversvämningsmodellering

För en bra översvämningsanalys krävs först och främst bra höjddata. Vilken punkttäthet som behövs avgörs av terräng-typen. Där det förkommer stora variationer i höjd behövs tätare punkter än vid flacka områden såsom åkermark (Klang, 2006).

Interpolationen av höjddata är givetvis av enorm betydelse för att översvämnings-simuleringen ska bli bra. Att medelvärdet för RMSE motsvarar 0,35 meter är mycket. Detta i kombination med höjdpunkternas noggrannhet gör att höjdfel i storleksordningen fem decimeter är ofta förekommande. Även större fel kan förutsättas. RMSE-värdena för samtliga interpolationer är markant högre än noggrannheten för höjdpunkterna. Det tål att tänkas på vid val av interpolationsmetod. I många rapporter där denna typ av analyser har utförts finns ingen information, varken om interpolationsmetoden man har använt eller dess osäkerhet. Många användare är sannolikt inte medvetna om interpolationsmetodernas brister eller de fel som uppstår.
Vi vill påstå att det inte är en slump att Kriging IDRISI har det lägsta RMSE-värdet, ca 0,1 meter lägre än övriga. Eftersom viktningen beräknas utifrån geostatistiska analyser är metoden mer tidskrävande. Den utfördes i flera steg; data avtrendades för att det lokala avståndsberoendet på bästa sätt skulle återges i semivariogrammen. Efter noggrant utvalda värden på bl.a. avståndsintervall anpassades en modell innan interpolering. Därefter adderades trenden tillbaka. En annan kriging interpolation som utfördes var ArcGIS automatiska, där programmet själv beräknar semivariansen. Denna interpolation visade sig vara den sämsta enligt RMSE. Detta i sig indikerar att det inte är endast interpolationsmetoden som är det viktiga, utan användarens förståelse för avståndsberoendet, valmöjligheten av interpolationsmetoder samt kunskap och möjlighet att tillämpa geostatistik. Att undersöka avståndsberoendet för den entitet man vill interpolera är betydelsefullt oavsett vilken interpolationsmetod man väljer att använda. Utifrån geostatistiska undersökningar kan man få kännedom om vilken interpolationsmetod som är mest lämpad, samt vilka inställningar som bör göras. Det finns i ArcGIS brister gällande möjligheten att behandla geostatistik och undersöka entitetens autokorrelation. P.g.a. detta utfördes den delen av arbetet i IDRISI Andes. Jämförelsen av interpolationen kriging i ArcGIS och IDRISI tyder på att programmen använder olika algoritmer då resultaten blev överraskande olika. Skillnaden beror troligtvis även på att fullständiga inställningar inte kunde anges i ArcGIS. De inställningar som var möjliga, d.v.s. variogrammens komponenter (lag, range, sill,

nugget), hämtade från IDRISI:s semivariogram. Kanske är det så att det inte endast är interpolationsmetoden som är av betydelse utan att skillnaderna föreligger i valet av programvara. För att säkerställa huruvida det är sant eller inte bör många fler och noggrannare jämförelser utföras.

Jämförelserna av RMSE-värden i detta arbete visar att det inte skiljer sig mellan de avtrendade och icke avtrendade interpolationerna. En trolig orsak till detta är att den globala trend som förekom var ganska svag. Den tycks ha haft betydelse vid beräkning av semivariansen, men inte för interpolationerna i övrigt. Vi rekommenderar ändå starkt att global trend undersöks. Om förekommande bör data avtrendas innan en lokal interpolation görs.

Översvämningssimuleringarna baserade på höjddata för de 16 interpolationerna är ganska överensstämmande för vilka områden som kommer att översvämmas. Beroende på interpolationsmetod kommer områdena att översvämmas vid olika nivåer av havsvattenhöjningen. Med andra ord beror de areella skillnaderna på att en metod indikerar på att större arealer kommer att översvämmas vid en angiven nivå, alltså inte andra områden.

Dessa skillnader är störst vid lägre simuleringsnivåer och utjämnas i takt med att havsnivån stiger, vilket den normaliserade standardavvikelsen visar (figur 8.6). Det finns kritiska områden där de interpolerade värdena avviker ganska mycket. Dessa områden kan betraktas som smala passager där tröskelvärdet varierar med interpolationsmetod. När vattnet når över tröskeln dränks stora arealer. Denna företeelse förklarar de stora areella skillnaderna. Jämförelsen är områdes-specifik, förhållandet mellan area och ökad havsnivå skulle se annorlunda ut för ett mer kuperat område.
De lägre upplösningarna (5 och 10 meter) ger förvisso en god överblick över de områden som skulle översvämmas vid en eventuell havsnivåhöjning, men man måste vara medveten om att man förlorar mycket information. Lokala och betydelsefulla höjdskillnader tenderar att utjämnas vilket kan ge stora fel i simuleringen. Anledningen till varför resultatet blev någorlunda bra i detta fall kan förklaras av att området är flackt med små variationer i höjd.

Höjddata innehåller oundvikligen fel, i vårt fall är höjdnoggrannheten för rådata en decimeter. När dessa interpoleras fortplantas felet. Interpoleringarnas RMSE-värden (genomsnittliga fel) varierar mellan 0,26 till 0,40 meter. Dessutom uppstår det små systematiska fel vid bearbetning och analys av data.

En viktig aspekt som inte togs hänsyn till i denna studie är att permanent höjd havsnivå leder till höjd grundvattennivå. Detta innebär att låglänta områden utan angränsning till kustlinjen kan komma att vattenfyllas då grundvattennivån kan stiga över markytan. Vattnet kommer alltså in "bakvägen". Speciellt viktigt är det för områden som Falsterbonäset eftersom det är uppbyggt av sandavlagringar, som vattnet lätt tränger igenom. För att kunna ta denna aspekt i hänsyn vid simulering av översvämningar orsakade av ökade havsnivåer, måste man ha hydrologiska kunskaper samt tillgång till kontinuerliga grundvattendata. En indikation på vilka områden som kan komma att översvämmas till följd av ökad grundvattennivå kan dock vara att "dränka" alla celler under en angiven nivå. De områden som befinner sig utan angränsning till kustlinjen kommer då också att drabbas. Invallning av riskområden skyddar av denna anledning inte nödvändigtvis. Man måste kontinuerligt pumpa bort vatten, vilket kan bli besvärligt och kostsamt vid stora volymer.

Ytterligare faktorer som kan ha stor inverkan på framtida översvämningsområden, är erosion, vågor samt tillfälliga havsnivåökningar till följd av stormar.

10. SLUTSATS

Framtida kustöversvämningar är en fråga som i högsta grad berör de skånska kustnära kommunerna. Det finns bland kommunerna en vilja att förebygga översvämningsrisken, men man vet många gånger inte hur. Tydligare riktlinjer, bättre samarbete och kommunikation mellan kommuner och myndigheter samt ett koordinerande organ efterfrågas.

Många av kommunerna har eller planerar att införskaffa (noggrannare) höjddata för att simulera kustöversvämningar. Ibland utför de simuleringarna själva men oftast distribueras arbetet på konsulter. Det är till stor fördel att den som beställer en analys av kustöversvämning har viss kunskap om hur analysmetoden går till, att man känner till bristerna i indata samt vilka fel som kan uppstå i analysen. Vetskapen om att en väl genomförd analys kräver utförlig undersökning av data och därmed tar längre tid är viktig. Den som utför analysen har ansvar över att noggrannhetsutvärdera samt informera beställaren om arbetsmetoden och hjälpa till vid tolkningen av resultaten

Bra interpolerade höjddata är förutsättningen för ett lyckat simuleringsresultat. Alla interpolationer har brister och de bör därför noggrannhetsutvärderas. De fel som uppstod i denna studie, vid interpolation är större än rådatas noggrannhet. En välgjord och genomtänkt interpolation minimerar felen och leder till ett mer verklighetstroget resultat.

Den bästa av de 16 utförda interpolationerna i denna jämförelsestudie, utifrån RMSE-värdet, visade sig vara den mest avancerade - Kriging IDRISI. Resultatet är inte helt oväntat eftersom denna interpolation är den enda som baserades på statistiska analyser av det rumsliga beroendet.

Trots att GIS-program inte är utvecklade specifikt för kustöversvämningar klarar de att utföra bra analyser. Huruvida resultatet är pålitligt beror snarare på användaren än på programmet. Bättre dokumentation av programmens analysalgoritmer men även användarens analysmetod är att sträva efter. Det skulle förenkla möjligheten att utveckla och förbättra analysarbetet.

TACK TILL…

Vi vill först och främst tacka samtliga på SWECO i Malmö som har tagit väl hand om oss. Ett stort tack till våra handledare där, Karin Gullstrand och Björn Almström som har varit bra bollplank, både på grus och gräs. Tack också till våra handledare på institutionen i Lund, Harry Lankreijer och Karin Larsson.

Sedan vill vi tacka våra kära mammor, pappor och syskon för uppmuntrande ord och matleveranser när månaderna närmade sig sitt slut och vi våra hungriga magar behövde mättas. Sist men inte minst vill vi tacka våra kära och nära; Bobbo, Paddan, John, Becca, Fredrik, Vera och Nobi. Ni är fantastiska!

11. REFERENSLISTA

Artiklar

Bergström S., Hellström S-S., Andréasson J., 2006. Nivåer och flöden i Vänern och Mälarens vattensystem - Hydrologiskt underlag till Klimat och sårbarhetsutredningen. SMHI, Reports Hydrology, No.20, Norrköping.

Blied, L., 2007. Osäkerheten i höjddata från laserskanning och effekterna på hydrologisk modellering. Institutionen för mark- och vattenteknik, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, Sverige.

Blomgren, S., 1999. Hydrographic and morphological processes at Falsterbo peninsula - present conditions and future scenarios. In: Hydrographic and morphological processes at Falsterbo peninsula - present conditions and future scenarios. 1999. Report No. 1027. Dept. Of Water Resources Engineering, Lunds Inst. Of Technology, Lunds University, Lund, Sweden.

Cazenave, A., Lombard, A., and Llovel, W., 2008. Present-day sea level rise: A syntehesis. Comptes Rendus Geoscience, 340, 761-770. IN: Ny klimatvetenskap 2006-2009.

Döscher, R., Willén, U., Jones, C., Rutgersson, A., Meier, H. E. M., Hansson, U. and Graham, L. P. 2002. The development of the coupled regional ocean-atmosphere model RCAO. Boreal Env. Res. 7, 183-192.

Eastman J., R. 2006. IDRISI Andes, Guide to GIS and Image Processing. Manual version 15.00. Clark Labs, Clark University 1987-2006.

Goovaerts P., 1997. Geostatistic for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press, Inc.

Holgersson, B., 2007. Sverige inför klimatförändringarna - hot och möjligheter, Statens offentliga utredningar, 2007. SOU 2007:60. Stockholm.
(Klimat och Sårbarhetsutredningen)

Harrie, L., 2006. Statistical aspects of spatial interpolation. GIS-centrum, Lunds Universitet.

Hutchinson, M., F. 1989. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. Journal of Hydrology, 106 (1989) 211-272.

Klang, D., 2006. KRIS-GIS projekt i Eskilstuna - Kvalitet i höjdmodeller. LMV-rapport. Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem. 2006:4 - ISSN 0280-5731.

Klang, D. och Burman, H. 2006. En ny svensk höjdmodell - Laserskanning, testprojekt Falun. Rapportserie: Geodesi och Geografiska informationssystem. ISSN 0280-5731 LMV-rapport 2006:3

Nerheim, S., 2007. SMHI - Framtida medel- och högvattenstånd i Skåne och Blekinge. Nr. 2007-53

Sandler J., 2009. Effektivt försäkringssystem mor översvämningar - en anpassning till ett förändrat klimat. Institutioner för byggvetenskaper, avdelning byggproduktion, Lunds Tekniska Högskola, Lund, Sverige.

IPCC, 2007 Solomon, S., D. Qin, M. Manning, R. B. Alley, T. Berntsen, N. L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, J. M. Gregory, G. C. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B. J. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, R. Sommerville, T. F. Stocker, P. Whetton, R. A. Wood and D. Wratt, 2007: Introduction to climate change and water. In: Climate Change 2007: The physical Science Basis. Contribution of Working group I to the Fourth Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate change [Solomon, S., D. Qin, M Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

Poon M.I.D., 2007. Spatial structure of vegetation at the Mer Bleue peat bog, Ontario. McGill University.

Böcker

Clark I., Harper W.V., 2000. Practical Geostatics 2000. Ecosse North America Llc, ISBN 0-9703317-0-3

Harrie L., 2008. Geografisk informationsbehandling - teori, metod och tillämpningar. Fjärde upplagan. Formas. Stockholm.

Isaaks, E. H. I. and Srivastava R. M,. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, Inc.

Webster, R. and Oliver, M., A. 2001. Geostatistics for Environmental Scientists. John Wiley and Sons, Chichester, United Kingdom, 2001.

Ågren H., 1994. Handbok till mätningskungörelsen - Fotogrammetri. ISBN 91-7774-041-6, Gävle.

Personlig kommunikation

Öryd A., 2009-04-05. Metria, Malmö.

Internetkällor

Web 1. Copenhagen climate council
http://www.copenhagenclimatecouncil.com/get-informed/news/inaction-is-inexcusable-copenhagen-climate-congress-edition.html
http://www.globalwarmingisreal.com/blog/2009/03/20/copenhagen-climate-change-congress-press-briefing-with-stefan-rahmstorf/
Senast besökt 29 maj - 09.

Web 2. SMHI
http://www.smhi.se/sgn0106/if/rc/RC.htm
Senast besökt 1 juni - 09

Web 3. Ekonomistyrningsverket (ESV)
http://www.esv.se/amnesomraden/budgetprocessen/regleringsbrev/meromregleringsbrev.4.869881008430c85e8000724.html
Senast besökt 29 maj -09.

Web 4. Boverket
http://www.esv.se/StatsliggarenApp/OpenFile?regleringsbrevId=11178&visningTyp=1&mediaTyp=1&period=2009
Senast besökt 29 maj - 09.

Web 5. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
www.msbmyndigheten.se
Senast besökt 3 mars -09.

Web 6. Naturvårdsverket
www.naturvardsverket.se.
Senast besökt 20 april -09.

Web 7. FOI, Totalförsvarets forskningsinstitut
http://www.foi.se/FOI/Templates/ProjectPage____5356.aspx
Senast besökt 25 maj - 09.

Web 8. Statios - Geostatistical Software & Services
www.statios.com
Senast besökt 29 april - 09.

Web 9. ai-geostats
www.ai-geostats.org

Web 10. Lantmäteriet
www.lantmateriet.se
Senast besökt 22 maj -09.

Web 11. Nationalencyklopedin (GIS)
http://www.ne.se/lang/geografiskt-informationssystem
Senast besökt 29 maj - 09.

Web 12. ArcView - Overview
http://www.esri.com/software/arcgis/arcview/index.html
Senast besökt 22 maj - 09.

Web 13. DHI - Intergrated flood modelling
http://www.dhigroup.com/Software/WaterResources/MIKEFLOOD.aspx
Senast besökt 22 maj - 09.

Web 14. GRASS GIS: About
http://grass.itc.it/intro/general.php
Senast besökt 15 maj -09.

Web 15. The GNU General Public License - GNU Project - Free Software Foundation
http://www.gnu.org/copyleft/gpl.html
Senast besökt 18 maj -09.

Web 16. Visual Basic Language Syntax
(http://msdn.microsoft.com/en-us/vbasic/cc743624.aspx).
Senast besökt 24 maj -09.

Web 17. ArcGIS
http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Hydrologically_correct_surfaces%3A_Topo_to_Raster
Hydrologically correct surfaces: Topo to Raster.
Senast besökt 22 maj - 09.

Web 18. ANUDEM
http://fennerschool.anu.edu.au/publications/software/anudem.php
http://fennerschool.anu.edu.au/publications/software/anudem.php
Senast besökt 15 maj -09.

BILAGA 1 - Frågor till kommunerna

- Är översvämningsrisken en omdiskuterad fråga i er kommun?
  - Varför och vilka är det som driver frågan?

- Är det en prioriterad fråga?
  - Jobbar ni aktivt med frågan?

- Har översvämningar förekommit i kommunen?
  - Vad för typ av översvämning? Åar, regn, hav, snösmältning, storm?
  - När var översvämningen? Hur frekvent har översvämningar förekommit?
  - Vad fick dessa för konsekvenser? Förstördes infrastruktur? Fastighetsvärden? Samhällskritiska funktioner (t.ex. vattenverk, reningsverk, sjukhus)?

- Har ni beräknat översvämningsrisken för framtiden?
  - Vem har utfört det?
  - Har ni modellerat det?
  - Har ni använt er av GIS?
  - Vilket GIS-program har i sådana fall använts?
  - Vilken data har används? Har ni använt er av laser-skanning? Vilken upplösning och medelfel har kartorna?
  - Vad blev resultatet av era undersökningar?
  - Vilka områden har ni gjort det för och varför just dessa områden?

- Utför ni vattenståndsmätningar?
  - Hur ofta mäter ni vattenståndet?
  - Vem utför detta jobb?
  - Var görs dessa mätningar?
  - Finns data tillgängligt?

- Har ni vidtagit några skyddsåtgärder?
  - T.ex. byggt vallar?
  - Har ni anpassat era dräneringsområden och avrinningsrör för en eventuell översvämning?
  - Undvikit att exploatera riskområden?
  - Ändrat dräneringssystemet/utsläppshastigheten från åar?
  - Vem har utfört åtgärderna? Konsulter/Räddningsverket? Någon anställd på kommunen?
  - Vem har stått för kostnaderna?

- Vad planerar ni att göra?
  - Laser-skanning? Ta flygbilder/satellitbilder? Har ni beräknat kostnaden för planerade åtgärder?
  - Är detta utökade åtgärder eller ska ni påbörja mätningar?

- Vad önskar ni att undersöka (mer) gällande denna fråga?
  - Vad finns det för anledningen till att ni inte redan har utfört detta? Ekonomi, tid, brist på data, inget intresse?

- Vad skulle en större översvämning orsaka för problem i er kommun?
  - Hur många vägar skulle drabbas?
  - Några samhällskritiska funktioner (t.ex. vattenverk, reningsverk, sjukhus)?
  - Hur stora fastighetsvärden risker att översvämmas? Har ni ställt detta värde i förhållande till hur mycket det skulle kostar att skydda värdet genom förebyggande åtgärder?

Lunds Universitets Naturgeografiska institution. Seminarieuppsatser. Uppsatserna finns tillgängliga på Naturgeografiska institutionens bibliotek, Sölvegatan 12, 223 62 LUND.Serien startade 1985. Uppsatserna är även tillgängliga på http://www.geobib.lu.se/

The reports are available at the Geo-Library, Department of Physical Geography, University of Lund, Sölvegatan 12, S-223 62 Lund, Sweden.
Report series started 1985. Also available at http://www.geobib.lu.se/

111. Tränk, L., (2005): Kadmium i skånska vattendrag – en metodstudie i föroreningsmodellering.
112. Nilsson, E., Svensson, A.-K., (2005): Agro-Ecological Assessment of Phonxay District, Luang Phrabang Province, Lao PDR. A Minor Field Study.
113. Svensson, S., (2005): Snowcover dynamics and plant phenology extraction using digital camera images and its relation to CO2 fluxes at Stordalen mire, Northern Sweden.
114. Barth, P. von., (2005): Småvatten då och nu. En förändringsstudie av småvatten och deras kväveretentionsförmåga.
115. Areskoug, M., (2005): Planering av dagsutflykter på Island med nätverkanalys
116. Lund, M., (2005): Winter dynamics of the greenhouse gas exchange in a natural bog.
117. Persson, E., (2005): Effect of leaf optical properties on remote sensing of leaf area index in deciduous forest.
118. Mjöfors, K., (2005): How does elevated atmospheric CO2 concentration affect vegetation productivity?
119. Tollebäck, E.,(2005): Modellering av kväveavskiljningen under fyra år i en anlagd våtmark på Lilla Böslid, Halland
120. Isacsson, C., (2005): Empiriska samband mellan fältdata och satellitdata – för olika bokskogområden i södra Sverige.
121. Bergström, D., Malmros, C., (2005): Finding potential sites for small-scale Hydro Power in Uganda: a step to assist the rural electrification by the use of GIS
122. Magnusson, A., (2005): Kartering av skogsskador hos bok och ek i södra Sverige med hjälp av satellitdata.
123. Levallius, J., (2005): Green roofs on municipal buildings in Lund – Modeling potential environmenta benefits.
124. Florén, K., Olsson, M., (2006): Glacifluviala avlagrings- och erosionsformer I sydöstra Skåne – en sedimentologisk och geomorfologisk undersökning.
125. Liljewalch-Fogelmark, K., (2006): Tågbuller i Skåne – befolkningens exponering.
126. Irminger Street, T., (2006): The effects of landscape configuration on species richness and diversity in semi-natural grasslands on Öland – a preliminary study.
127. Karlberg, H., (2006): Vegetationsinventering med rumsligt högupplösande satellitdata – en studie av QuickBirddata för kartläggning av gräsmark och konnektivitet i landskapet.
128 Malmgren, A., (2006): Stormskador. En fjärranalytisk studie av stormen Gudruns skogsskador och dess orsaker.
129 Olofsson, J., (2006): Effects of human land-use on the global carbon cycle during the last 6000 years.
130 Johansson , T., (2006): Uppskattning av nettoprimärproduktionen (NPP) i

stormfällen efter stormen Gudrun med hjälp av satellitdata.

131 Eckeskog, M., (2006): Spatial distribution of hydraulic conductivity in the Rio Sucio drainage basin, Nicaragua.

132 Lagerstedt, J., (2006): The effects of managed ruminants grazing on the global carbon cycle and greenhouse gas forcing.

133 Persson, P., (2007): Investigating the Impact of Ground Reflectance on Satellite Estimates of Forest Leaf Area Index

134 Valoczi, P. (2007): Koldioxidbalans och koldioxidinnehållsimulering av barrskog I Kristianstads län, samt klimatförändringens inverkan på skogen.

135 Johansson, H. (2007): Dalby Söderskog - en studie av trädarternas sammansättning 1921 jämfört med 2005

137 Kalén, V. (2007): Analysing temporal and spatial variations in DOC concentrations in Scanian lakes and streams, using GIS and Remote Sensing

138 Maichel, V. (2007): Kvalitetsbedömning av kväveretentionen i nyanlagda våtmarker i Skåne

139 Agardh, M. (2007): Koldioxidbudget för Högestad – utsläpp/upptag och åtgärdsförslag

140 Peterz, S. (2007): Do landscape properties influence the migration of Ospreys?

141 Hendrikson, K. (2007): Småvatten och groddjur i Täby kommun

142 Carlsson, A. (2008): Antropogen påverkan i Sahel – påverkar människans aktivitet NDVI uppmätt med satellit.

143 Paulsson, R. (2008): Analysing climate effect of agriculture and forestry in southern Sweden at Högestad & Christinehof Estate

144 Ahlstrom, A. (2008): Accessibility, Poverty and Land Cover in Hambantota District, Sri Lanka. Incorporating local knowledge into a GIS based accessibility model.

145 Svensson T. (2008): Increasing ground temperatures at Abisko in Subarctic Sweden 1956-2006

146 af Wåhlberg, O. (2008): Tillämpning av GIS inom planering och naturvård - En metodstudie i Malmö kommun.

147 Eriksson, E. och Mattisson, K. (2008): Metod för vindkraftslokalisering med hjälp av GIS och oskarp logik.

148 Thorstensson, Helen (2008): Effekterna av ett varmare klimat på fenologin hos växter och djur i Europa sedan 1950.

149 Raguz, Veronika (2008): Karst and Waters in it – A Literature Study on Karst in General and on Problems and Possibilities of Water Management in Karst in Particular.

150 Karlsson, Peggy (2008): Klimatförändringarnas inverkan på de svenska vägarna.

151 Lyshede, Bjarne Munk (2008): Rapeseed Biodiesel and Climate Change Mitigation in the EU.

152 Sandell, Johan (2008): Detecting land cover change in Hambantota district, Sri Lanka, using remote sensing & GIS.

153 Elgh Dalgren, Sanna (2008): vattennivåförändringar i Vänern och dess inverkan på samhällsbyggnaden I utsatta städer

154 Karlgård, Julia (2008): Degrading palsa mires i northern Europe: changing vegetation in an altering climate and its potential impact on greenhouse gas fluxes.

155 Dubber, Wilhelm and Hedbom, Mari (2008) Soil erosion in northern Loa PDR – An evaluation of the RUSLE erosion model

156 Cederlund, Emma (2009): Metodgranskning av Klimatkommunernas lathund för inventering av växthusgasutsläpp från en kommun
157 Öberg, Hanna (2009): GIS-användning i katastrofdrabbade utvecklingsländer
158 Marion Früchtl &Miriam Hurkuck (2009): Reproduction of methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions
159 Florian Sallaba (2009): Potential of a Post-Classification Change Detection Analysis to Identify Land Use and Land Cover Changes. A Case Study in Northern Greece
160 Sara Odelius (2009): Analys av stadsluftens kvalitet med hjälp av geografiska informationssystem.
161 Carl Bergman (2009): En undersökning av samband mellan förändringar i fenologi och temperatur 1982-2005 med hjälp av GIMMS datasetet och klimatdata från SMHI.
162 Per Ola Olsson (2009): Digitala höjdmodeller och höjdsystem. Insamling av höjddata med fokus på flygburen laserskanning.
163 Johanna Engström (2009): Landskapets påverkan på vinden -sett ur ett vindkraftperspektiv.
164 Andrea Johansson (2009): Olika våtmarkstypers påverkan på CH_4, N_2O och CO_2 utsläpp, och upptag av N_2.
165 Linn Elmlund (2009): The Threat of Climate Change to Coral Reefs
166 Hanna Forssman (2009): Avsmältningen av isen på Arktis - mätmetoder, orsaker och effekter.
167 Julia Olsson (2009): Alpina trädgränsens förändring över 100 år.s
168 Helen Thorstensson (2009): Relating soil properties to biomass consumption and land management in semiarid Sudan – A Minor Field Study in North Kordofan
169 Nina Cerić och Sanna Elgh Dalgren (2009): Kustöversvämningar och GIS - en studie om Skånska kustnära kommuners arbete samt interpolations-metodens betydelse av höjddata vid översvämningssimulering