

GIS-tillämpningar inom översvämningshantering - en forskningsöversikt

Rolf Nyberg (Doc.)
Centrum för klimat och säkerhet
Karlstads universitet

Sammanfattning

På grund av inträffade översvämningar under senare år har behovet av effektiva åtgärder vid förebyggande arbete och katastrofhantering av händelserna ökat. Geografiska informationssystem (GIS) används till att visualisera utbredning av översvämningar, till att analysera underlag för riskkartering och som beslutsstöd vid katastrofinsatser. I rapporten tas upp hur GIS använts i olika studier om översvämningsproblematik, både i Sverige och internationellt. Kort berörs även att GIS-teknik i ökande omfattning utnyttjas i webbaserade tjänster bl.a. för informationsförmedling och riskvarning om översvämningar.

En förutsättning för att tillförlitliga GIS-analyser av översvämningsrisk skall kunna göras är att översvämningsmodelleringen håller hög noggrannhet. Enligt flera studier kräver detta att detaljerade höjddata finns att tillgå. Sådana har på senare år börjat bli tillgängliga genom datainsamling via flygburen laserskanning. En ny höjdmmodell med förbättrad noggrannhet är under uppbyggnad i Sverige och en liknande utveckling sker internationellt.

Ett antal internationella exempel på metodstudier kring GIS-baserad uppskattning av konsekvenser av översvämningar beskrivs. Hittills har främst ekonomiska konsekvenser undersökts, och i mindre utsträckning miljömässiga, sociala och kulturella påföljder, vilket efterfrågas i EU:s översvämningsdirektiv. En metod som provats bl.a. i Tyskland är multikriterieanalys baserat på rasterdata i GIS, varvid geografisk variation i olika faktorer kan sammanvägas som kriterier på översvämningsrisk. Detta ger förbättrade möjligheter att inräkna även ekonomiskt svårsmätbara konsekvenser i riskbedömningen.

Innehåll

1. Bakgrund	5
2. Metod	6
3. Översvämningskartläggning	7
4. GIS i förebyggande arbete mot översvämningar	8
Modellering och visualisering av utbredning av översvämningar	9
Modellering av risk och konsekvenser	13
Svenska tillämpningar av GIS-teknik och geografisk information i översvämningssammanhang	19
5. GIS i katastrofhantering av översvämningar	22
6. Datatillgång och datakvalitet	25
7. Webbaserade kart- och GIS-tjänster	29
8. Diskussion om kunskapsbehov	30
Referenser	33

1 Bakgrund

Inträffade översvämningar under senare år, både internationellt och i Sverige, har riktat uppmärksamhet mot behovet av att kunna förutse dessa händelser, följa upp deras verkningar samt dra lärdomar från hur de kunnat hanteras av samhället. Som resultat av detta har forskning och praktiskt arbete med översvänningsproblematik och klimatanpassning prioriterats mer, och inom samhällsplaneringen läggs större fokus på översvänningsfrågor i t.ex. bebyggelseplanering (ÖSAM-Länsstyrelserna i Mellansverige 2006, Länsstyrelsen Västra Götalands län 2009).

Vid översvänningshändelser behövs tillgång till *geografisk information* eller *geodata* för att bestämma omfattning av översvämmade områden, hantera begränsningar i utryckningsvägar för räddningstjänst, eller visa belägenhet av sårbara invånargrupper och samhällsfunktioner som drabbas vid översvämningen. I krishantering är det av största vikt att detaljerad och tillförlitlig lägesinformation kan göras tillgänglig och kommuniceras. Geografisk information behövs också vid uppföljning av konsekvenser efter översvämningar och för planering av riskreducerande åtgärder. Möjligheterna att utnyttja informationen fullt ut kan dock begränsas av outvecklad metodik och praktiska omständigheter som bristande samverkan mellan olika aktörer (Nilsson m.fl. 2004, Andersson 2009). I en översikt av forskning om översvämningar och riskhantering poängteras utvecklingsbehovet i Sverige av metoder att beräkna sårbarheter och potentiella skador i samband med översvämning (Nyberg 2008). Behovet gäller även nya data, såsom mer detaljerad höjdinformation i översvänningshotade områden (Klimat- och sårbarhetsutredningen 2006).

För hantering av geodata har GIS (geografiska informationssystem) fått stort genomslag. I Sverige gjordes utvärderingar av GIS-tekniken inom riskområdet under 90-talet genom studier initierade av Räddningsverket (Räddningsverket 1994). Den stora potentialen med GIS för informationshantering om risker och olyckor var redan uppenbar, men begränsad tillgång till användbara data och ojämn implementering av tekniken hos olika myndigheter var hinder för mer utbredd GIS-användning. Emellertid igångsattes 1998 en nationell översiktlig GIS-baserad översvänningskartering, vilket under 2000-talet hittills omfattat dryga 60-talet svenska vattendrag (Näslund-Landenmark & Widén 2009). Det

nu aktuella översvämningdirektivet (EG 2007) kräver bland annat att medlemsstaterna senast under perioden 2011-15 skall ha lokaliserat översvämningshotade områden och tagit fram riskkartor och riskhanteringsplaner för dem.

Översvämningar är ett internationellt problem, och det sker en omfattande metodutveckling bland annat om GIS-tillämpning i många länder. Forskningen i dessa frågor är i vissa fall betydligt längre kommen än i Sverige. Rapporten syftar därför till att lyfta fram exempel på aktuella studier utifrån, samtidigt som en översikt ges av det svenska forskningsläget.

2 Metod

Rapporten bygger huvudsakligen på litteraturstudier. Sökning på Internet och i bibliotekssystem har gjorts via sökord som GIS kombinerat med översvämning, floods, risk m.m. Litteraturöversikten utgör ett urval, eftersom antalet publicerade arbeten internationellt vuxit kraftigt på senare år. Direktsök har gjorts i tidskrifter, bibliotekskataloger och databaser bland annat:

- Natural Hazards and Earth System Science
- Environmental Modeling and Software
- Journal of Hydrology
- LIBRIS katalog för universitet och högskolor i Sverige
- ISI och ScienceDirect (databaser som innehåller olika vetenskapliga tidskrifter)

Sökning har även skett i publikationslistor från forskningsprogram som FLOODsite och National Hazards Center University of Colorado samt i ett urval tryckt litteratur inom området naturkatastrofer/naturolyckor. En avgränsning har gjorts till studier där GIS utgjort centralt tema i arbeten om översvämningar, eller där användning av höjddata i översvämningssammanhang diskuteras. Det finns en omfattande litteratur om hydraulisk simulering av översvämningar, vilken inte primärt behandlar visualisering av resultaten i GIS. Den berörs därför bara kortfattat i rapporten.

3 Översvämningskartläggning

Kartläggning av översvämningshotade områden har en lång tradition bl.a. i USA. Under senare år har där GIS-teknik införts i samband med att äldre karteringar uppdaterats och gjorts tillgängliga över Internet (FEMA 2006). I Europa har forskning om översvämningsrisk intensifierats efter kostsamma översvämningar under 1990- och 2000-talet. EU:s översvämningsdirektiv har nyligen initierat ett stort arbete, vilket har nått olika långt i olika länder. I Sverige ansvarar MSB och länsstyrelser för att denna kartläggning genomförs, vilket kan behöva samordnas med kommunalt planeringsarbete.

Det är vanligt att skilja ut två typer av översvämningskartor, de som återger översvämningshotade områden respektive de som även visar konsekvenser av översvämningar (kartor över översvämningsrisk). Skillnaden förklaras enklast så att någon större risk föreligger inte, även om ett område är karterat som översvämningshotat, om inga värdefulla tillgångar drabbas vid en översvämning. Finns däremot sådana tillgångar i ett översvämningshotat område med hög sannolikhet för översvämning (kort återkomsttid), är risken stor. Det uttrycks vanligen med sambandet $\text{risk} = \text{sannolikhet} \times \text{konsekvens}$. Det innebär att områden med hög sannolikhet för översvämning bör undantas från nybyggnation och verksamheter som, om de lokaliserades där, skulle medföra risk. Majoriteten av europeiska länder bedriver kartläggning som främst visar utbredning av översvämningar med olika återkomsttider, men inte risk och konsekvenser. FLOODsite (2008) och de Moel m.fl. (2009) ger översikter av publikationer om översvämningskartering i Europa. Nyberg (2008) beskriver forskningsläget i stort om riskhantering av översvämningar.

Kartläggning av översvämningsområden görs med hjälp av direkt bild-dokumentation, genom landskapsanalyser eller genom datorsimulering av vattenflöden. Med fjärranalysmetodik kan översvämningar dokumenteras medan de inträffar. I Sverige har både fotografering från luften samt registrering med radar använts för dokumentation av översvämningsområden. Även utvärderingar av högupplösta satellitdata har gjorts, mer för modelleringssyften än direkt kartläggning (Wiman 2006). Optiskt bildmaterial från flygfotografering eller satelliter begränsas dock av att översvämningshändelser förknippas med hög molnighet. Radartechniken ger bättre möjlighet att se igenom molntäcke (Joyce m.fl. 2009).

För att studera maximala utbredningen av äldre översvämningar kan kartering eller analys i landskapet göras. En geologisk-geomorfologisk analys av flodslätter och terrängavsnitt som påverkas av översvämningar kan utföras och

utifrån landformer och sedimentavlagringar avgränsas det utsatta området, i fält eller genom studier av flygfoton (Lastra m.fl. 2008).

Datorsimulering av vattenflöden är den metod som kanske mest förknippas med kartläggning eller egentligen modellering av översvämningar. Metoden består i hydrologisk och hydraulisk analys för simulering av höga flöden i landskapet utifrån data om nederbörd och vattenföring (FLOODsite 2007).

Medan kartläggning av översvämningshotade områden har bra status i många länder är alltså mindre åstadkommet i form av riskanalyser och kartläggning av inträffade eller potentiella skadeverkningar av översvämningar. Forskning för att utveckla metoder att uppskatta skadekostnader har dock ökat, initierad bland annat av försäkringsbranschen med dess behov av underlag för riskvärdering (t.ex. Sanders m.fl. 2005).

4 GIS i förebyggande arbete mot översvämningar

Inom begreppet översvämningshantering eller riskhantering av översvämningar kan olika skeden identifieras – riskinventering, riskanalys, riskvärdering och riskreduktion (Räddningsverket 2003). De två första stegen innefattar en kartläggning och karakterisering av förekomsten av risk, det tredje en värdering av riskens storlek, och det fjärde metoder att minska risken. Genom att riskerna har en mer eller mindre platsbunden rumslig lokalisering kan arbetet med riskhantering dra nytta av geografiska informationssystem som möjliggör effektiv bearbetning av rumsliga data. Utöver i riskhantering har tekniken även tillämpbarhet vid sårbarhetsanalys och direkt kris- och katastrofhantering (t.ex. Hallin & Olofsson 2005). I föreliggande sammanhang har valts att se på tillämpning av GIS i de två områdena förebyggande arbete respektive katastrofhantering. Aspekter på sårbarhet behandlas inte uttryckligen, men har en tydlig koppling till modelleringen av risk och konsekvenser från översvämningar.

GIS används nu regelmässigt i översvämningstudier, dels kopplat till andra programvaror vid modellering av översvämningens utbredning, dels i studier inriktade mot analys av potentiella eller inträffade skador vid översvämningar och för bedömning av översvämningens risk. Några av skälen till att GIS är ett värdefullt verktyg i dessa sammanhang skall kort sammanfattas.

Ett GIS kan sägas innehålla en representation av verkligheten, för dokumentation, analys eller modellering av lägesmässiga samband och förlopp.

Den grundläggande funktionen är hantering och bearbetning av kartsnitt, vilket kan kompletteras med bilder eller visualiseringar på dataskärmen. Programmen ger goda möjligheter att både analysera data i forskningssyften (Skidmore 2002) och att kommunicera rumsliga förlopp och scenarier till beslutsfattare och en bredare publik (t.ex. Pender & Néelz 2007). Genom att data av olika slag finns samlade och lätt åtkomliga, med möjlighet till snabb uppdatering, kan beslutsunderlag genereras både för mer långsiktig planering och för direkta krislägen (Gunes & Kovel 2000).

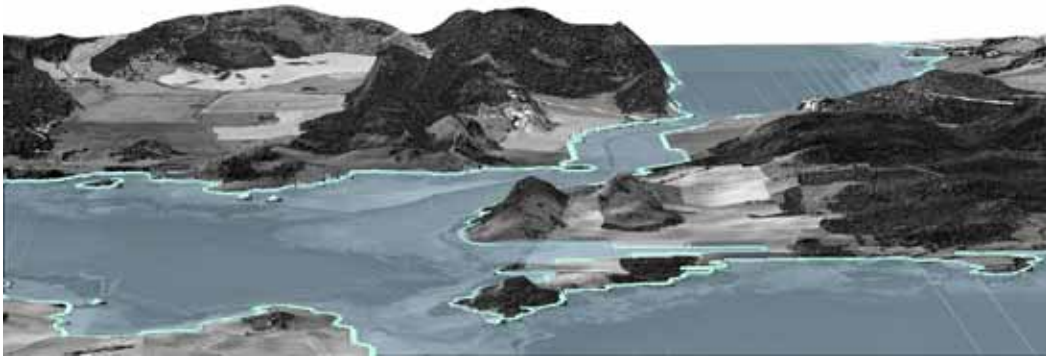
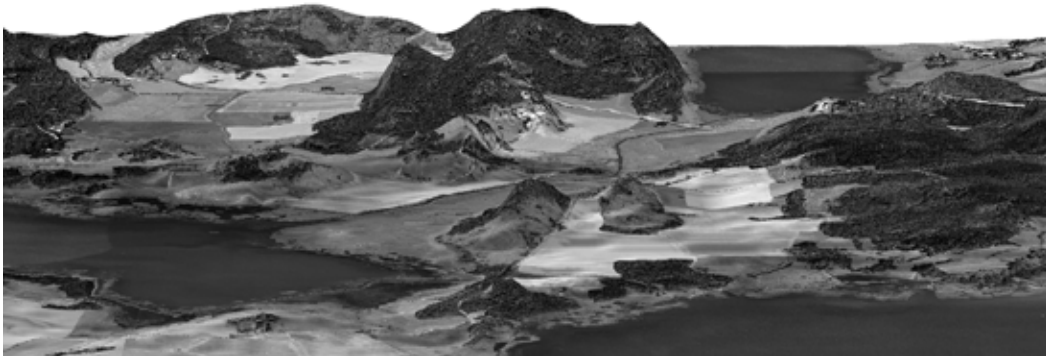
En vanlig GIS-metod är överlagring mellan dataskikt, vilket kan kännas särskilt lämpat just till översvänningsstudier där intresset ligger på hur vattennivåer överlappar landområden. Översvämningars utbredning kan visas, objekt som påverkas kan sökas fram, och analys av skadeverkningar utföras. En annan GIS-metod som kan komma till användning är nätverksanalys om översvämningars påverkan på infrastruktur och framkomlighet.

Modellering och visualisering av utbredning av översvämningar

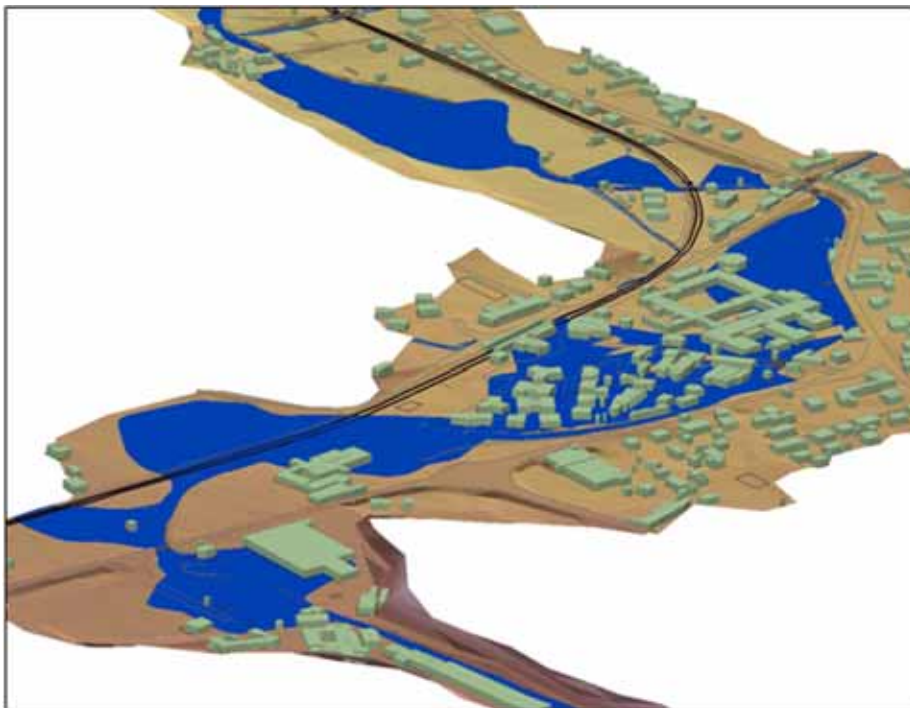
I förebyggande arbete mot översvämningar kan resultat av översvänningskartering eller modellering visualiseras med GIS för att olika scenarier och konsekvenser inom de översvämmande områdena ska kunna belysas. Planering av åtgärder för att minska risken vid kommande översvämningar kan göras genom att studera tidigare händelser. Man kan också uppskatta påföljder av framtida kanske större översvämningar, genom att utnyttja data från hydraulisk modellering som kan simulera högre flöden.

När en översvämning skall studeras i ett GIS är grundförutsättningarna att man dels har en god representation av landytans nivåer i en höjdmmodell, dels kan ange eller simulera vattenytans nivå, vilken kan vara plan (i sjöar), eller lutande (i floder). Vanligt är att en flygbild "draperas" ovanpå höjdmmodellen för visualisering av landskapet (fig.1). Är det bebyggda områden som studeras kan huskroppar höjas upp från ett skikt av vektordata över byggnader (fig.2). Återgivningen av byggnader kan vara schematisk, men kan göras mycket verklighetstrogen i detaljerade 3D-stadsmodeller. Genom att jämföra en vattennivå med höjdmmodellen kan områden som hamnar under vattenytan kartläggas, samt områden/byggnader som bedöms som säkra från att översvämmas identifieras. Det går även att skapa animeringar som visar utvecklingen över tiden under ett översvänningsförlopp.

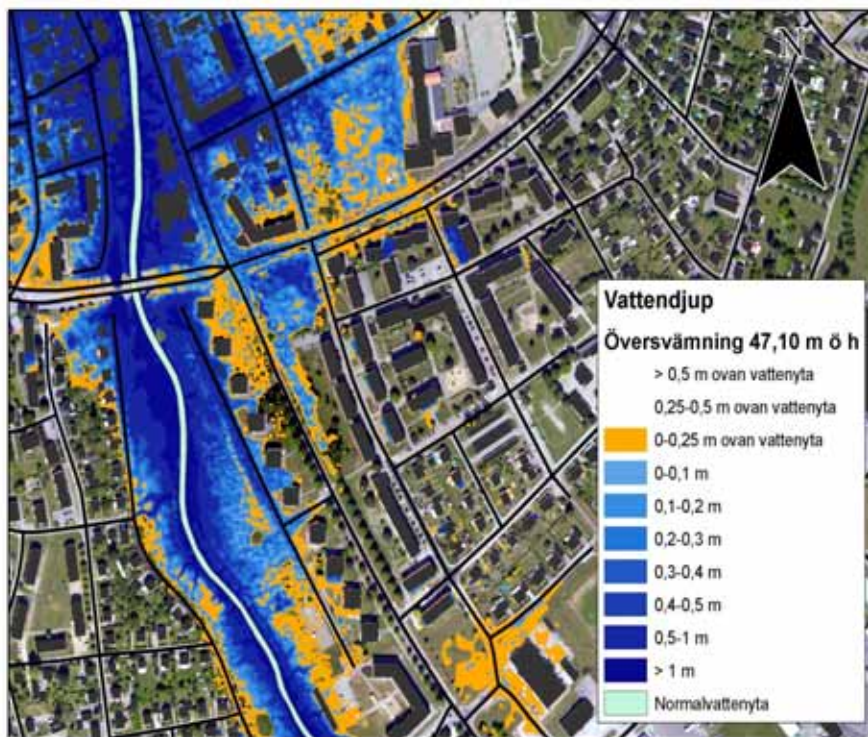
Höjdinformationen lagras ofta som ett raster av kvadratiska celler med höjdvärden. En subtraktion av höjdmodellens värden från vattennivån tar fram översvämmade områden och deras vattendjup, redovisat cellvis (fig. 3). Metoden indikerar även lågt belägna terrängavsnitt utan direkt förbindelse med flodfåror och sjöar, men som kan översvämmas genom höjning av grundvattennivån.



Figur 1. Visualisering av översvämning i landskapsmiljö i GIS. Övre bilden visar en flygbild draperad på en höjdmodell. I undre bilden har en halvtransparent vattennivå lagts in för att simulera översvämning. Ortofoto Lantmäteriet (ej skalenligt återgivet).



Figur 2. Visualisering av översvämning i bebyggd miljö i GIS. Exemplet visar en översvämning i den norditalienska orten Cittiglio år 2002. Från Luino m.fl. 2009.



Figur 3. Exempel på kartvisualisering av översvämningsdjup med GIS, här visat för Kristinehamn vid dimensionerande nivå för Vänern. Från Karlsson & Sjökvist 2009.

Modellering av nivå för vattenytor kan göras med olika avancerad metodik, beroende på typ av översvämning.

- *översvämning utmed sjöar och kuster* kan kartläggas direkt i GIS utifrån plana vattenytor. Variation i sjöytors nivåer i Sverige kan beräknas via analys av meteorologiska och hydrologiska data, för extremflöden genom SMHI:s HBV-modell för högsta beräknade vattenföring (Bergström 1992). Man kan även helt godtyckligt välja en nivå och jämföra denna med landytan. Hänsyn kan behöva tas till förhöjt vattenstånd genom vindverkan – detta kan t.ex. uppgå till 0,6 m i Vänern (Räddningsverket 2000, Klimat- och sårbarhetsutredningen 2006). Noteras bör också att städer vid flodmynningar kan ha ”dubbla” problem med översvämning varvid en enkel plan sjöytemodellering måste kombineras med simulering av flodens flödesnivå (t.ex. Bergström & Andréasson 2009).
- *översvämning utmed floder* hanteras genom att vattennivån modelleras som en lutande yta beroende av variationer i flödet, vilket tas fram med hjälp av hydrauliska beräkningsmodeller. För hydraulisk modellering behövs tillgång till specialprogramvaror, vattenföringsdata, data över markanvändning och en höjddmodell. I simulering av vattenflöden används tvärsektioner utmed en flod för att beskriva fårans djup och utformning samt motstånd mot strömningen (friktion). Simuleringen indikerar vilka vattennivåer olika flöden ger upphov till och kan sedan kopplas till terrängåtergivning i GIS-program via interpolation av vattennivån mellan tvärsektioner (t.ex. Yacoub m.fl. 2005, Merwade m.fl. 2008). Det finns talrika publicerade studier internationellt om översvämningssmodellering, se t.ex. FLOODsite (2008).
- *översvämningar från intensiv nederbörd och otillräcklig dräneringskapacitet* vid avrinningen i urban miljö kan studeras genom hydraulisk modellering med hänsyn tagen till bebyggda strukturer (t.ex. Schubert m.fl. 2008). Modellering i stadsmiljöer är komplex genom förekomsten av hårdgjorda ytor och huskroppar samt vatten- och avloppsnät, vilket innebär snabb ytavrinning och partiell underjordisk dränering. Det är relativt nyligen som sådana förhållanden börjat studeras genom sammanlänkning av olika modelleringsmetoder (Sommer m.fl. 2009). Liknande kortvariga översvämningar är även vanliga i bergsterräng som så kallade störtfloder (flash floods), vilka är ett problem bl.a. i Sydeuropa (Nyberg 2008, Luino 2009).

Ytterligare typer av översvämningar, som inte berörs närmare här, är de som uppstår efter dammbrott eller genom isdämning av floder.

Kartredovisning eller visualisering av utbredningen av översvämningar är i många studier den primära orsaken till att GIS används. Programmens kapacitet för rumsliga analyser kommer främst till användning i de studier som utifrån utbredningskartorna undersöker skadeverkningar av översvämningar. Sådana studier kan utföras oberoende av modelleringen av översvämning, men ofta behandlas båda användningsområdena för GIS i samma undersökning.

Modellering av risk och konsekvenser

För att utföra riskkartering för översvämningar behövs information dels om faran för översvämning, dels om värdet och sårbarheten av de tillgångar och aktiviteter som kan drabbas, inklusive sårbarheter socialt och miljömässigt. I förordningen om översvämningsrisker (SFS 2009) om genomförande av översvämningsdirektivet i Sverige föreskrivs att de länsstyrelser som har egenskapen av vattenmyndigheter ska utarbeta kartor över översvämningsrisker. I dessa ska framgå bland annat antal invånare samt ekonomiska och miljöfarliga verksamheter som riskerar att drabbas av översvämning. I riskhanteringsplaner ska mål utformas som syftar till att minska negativa följder av översvämningar för människors hälsa, miljön, kulturarvet och ekonomisk verksamhet.

Forskningsläget beträffande metodik som används för att undersöka översvämningskonsekvenser och hur detta kan kombineras med information om översvämningsfaran i riskkartering behandlas bland annat av FLOODsite (2007) och Nyberg (2008).

Översvämningsfaran, dvs sannolikheten för översvämning, kan bestämmas via information om återkomsttider för flöden av olika storlek beräknat från statistiska tidsserier över nederbörd och avrinning. 20-års- och 100-årsflöden samt så kallat dimensionerande flöde (klass 1-flöde) avseende en lång tidsperiod, cirka 10000 år, används ofta. Ett 100-årsflöde har en vattenföring som beräknas inträffa bara en gång på 100 år. Osäkerhet i dessa data påverkar givetvis riskbedömningen. Viktigt är också att en klimatförändring kan komma att påverka frekvensen av olika flöden, i vissa delar av Sverige mot kortare återkomsttid för större flöden.

Riskmodellering behöver förutom sannolikhet för översvämningar av olika storlek inkludera konsekvenserna av händelserna. GIS-metodik för analys av

detta är jämförelsevis lite utvecklad ännu. Programmens ökade användarvänlighet på senare år och funktioner för rumslig analys har emellertid gjort dem vanligare som åtminstone en integrerad del i programpaket för skadevärdering (FLOODsite 2007). Ett tidigt exempel på en studie där GIS utnyttjades för skadedömning var de Jonge m.fl. (1996) för översvämningen av den holländska floden Meuse 1993. Metoden var överlagringsanalys av översvämningssytor med olika dataskikt över skadekategorier baserat på markanvändning.

En anledning till att använda GIS i konsekvensbedömningen är att skadeuppskattningar kan göras mer rationellt och till lägre kostnad jämfört med direkta inspektioner i fält. Det förutsätter generaliseringar t.ex. användning av socio-ekonomiska normer om värdet av materiella tillgångar i bostadshus m.m. En annan motivering till behovet av GIS är att många studier hittills uppskattat skador områdesvis med liten hänsyn till småskalig geografisk variation (Kang m.fl. 2005). Rumslig variation i byggnadstyper, folktäthet, markslag m.m. kan i stället med GIS lätt kombineras med information om varierande vattendjup inom de översvämmade områdena vid skadevärderingen.

Dutta m.fl. (2001) beskriver översiktligt tillämpad metodik för skadeuppskattning internationellt. Några länder hade före sekelskiftet standardiserat arbetet, främst Storbritannien och Japan, men i de flesta fall användes varierande metodik. Generella rekommendationer om värdering av översvämningsskador har sammanställts av FLOODsite (2007). Kostnader uppskattas allmänt utifrån skadefunktioner mellan vattendjup och skadeverkan på olika objekt (fragility functions, stage-damage functions, loss functions). Uppskattningarna begränsas främst till kostnader genom *direkta* översvämningsskador medan *indirekta* effekter ofta bortses ifrån. Direkta skador kan exemplifieras av fysiska skador orsakade vid kontakt med det översvämmade vattnet. Indirekta skador utgörs av följdverkningar utanför det översvämmade området, som störningar i trafik, handel och olika serviceverksamheter. Problematiskt är så kallade "intangibile" – ej direkt ekonomiskt mätbara – effekter av översvämningar, t.ex. i efterföljande hälsoproblem hos drabbade människor eller förstörelse av kulturarvet.

De flesta studier av skadeverkningar från översvämningar handlar om inverkan på byggda strukturer, särskilt på bostadshus vilket ofta utgör den största direkta skadeeffekten. För att komma ifrån tidsödande skadevärdering byggnad för byggnad vid omfattande förstörelse har metoder utvecklats att klassindela

husobjekt efter uppskattade kostnader för deras återställande. Blong (2003) utvecklade ett skadeindex som uppskattar kostnaden i relation till återuppbyggnad av ett genomsnittligt familjehus på 80 m² markyta, vilket representerar en "husekvivalent". Andra hustypers skador värderas sedan i antal ekvivalentenheter. Fem skadeklasser urskiljs av Blong vilka förhåller sig till olika vattendjup enligt:

Light	vattendjup ej över golvnivån
Moderate	<0,3 m vattendjup
Heavy	>0,3 m vattendjup
Severe	>1,0 m vattendjup, skador på väggar av flytande bräte
Collapse	byggnad förstörd eller flyter iväg

Fedeski & Gwilliam (2007) har i en brittisk studie vidareutvecklat Blongs klassindelning genom att även beakta variation i naturhändelsens intensitet och i byggnadernas varierande sårbarhet (vulnerability). De beskriver risken för översvämningsskador på byggnader som en funktion av tre faktorer: översvämningsskadan (frekvens respektive storlek på översvämning), exponeringen (belägenhet och värde av byggnaderna), och byggnadernas sårbarhet eller motståndskraft mot skador. Elimineras eller minskas någon av faktorerna blir risken i motsvarande grad påverkad. Metoden ställer krav på tidsödande datainsamling på plats, fr.a. om byggnaders sårbarhet. Om en klassificering skapas av byggnadstyper efter värde och sårbarhet kan metoden tillämpas genom identifiering av typerna direkt från flygbildsmaterial inlagt i GIS.

Ett annat exempel på hur skadeuppskattningen kan utformas och bearbetas i GIS ges i en tysk studie av Büchele m.fl. (2006). De tar också upp fler faktorer än vattendjupet som kan vara av betydelse för skadeverkan vid översvämningar, t.ex. skador från föroreningar som sprids med vattnet eller hur vidtagna skyddsåtgärder mildrar skadorna. Statistiskt underlagsmaterial till analyser kan insamlas via intervjuer av drabbade hushåll, i det aktuella fallet från de stora översvämningarna i Tyskland år 2002.

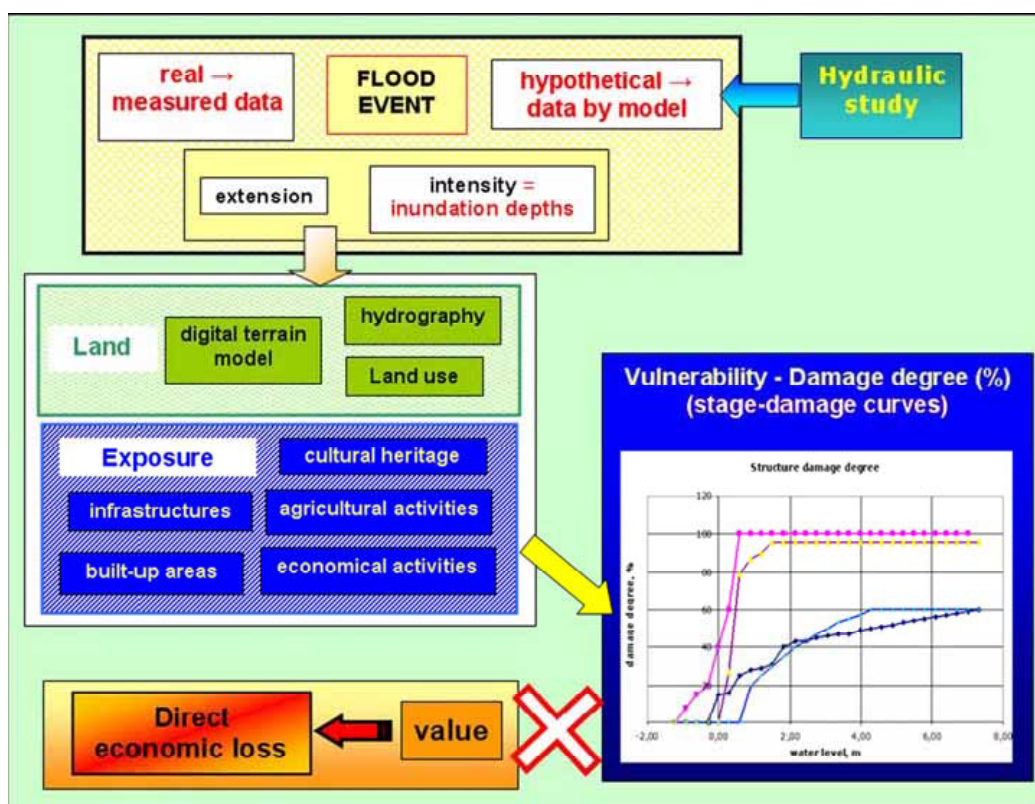
Direkta skadeeffekter på karterbara objekt är relativt lätt att hantera med GIS. Teknikens tillämpning för uppföljning eller modellering av översvämningseksekvenser i andra hänseenden som t.ex. följdverkan på transporter genom att vägar avskurits är mer besvärligt, och har inte utvecklats särskilt mycket ännu.

Räddningsmyndigheten FEMA i USA använder en GIS-baserad metod (programvaran HAZUS-MH) att uppskatta skador från naturkatastrofer inklusive vissa indirekta kostnader som inkomstbortfall i affärsverksamhet. Funktionerna baseras på amerikanska förhållanden och skulle behöva modifieras för att tillämpas i Sverige.

I det redan omnämnda arbetet av Dutta m.fl. (2001) utarbetades en metod att integrera hydrologisk simulering av översvämningsnivåer med en skadeuppskattning i GIS för ett område i Japan. Skadevärderingen indelades efter tre huvudkategorier, skador i bebyggda områden, skador i jordbruksområden respektive infrastrukturella skador. Skadefunktionerna kan ta hänsyn inte bara till vattendjup vid översvämning, utan även till varaktighet vilket kan ha betydelse för skadeverkan på jordbruksmark eller på ekonomiska aktiviteter (indirekta följder). Simulerat översvämningsdjup cellvis utgör input till skadeuppskattningen som baseras på olika parametrar. Som exempel tas för inverkan på jordbruket i underkategorin 'skador på grödor' hänsyn till uppkommen skada i proportion till opåverkat skördeutfall och total area för grödetypen. Skador på infrastruktur delas upp i direkta materiella skador respektive skadeverkan av störningar som uteblivna transporter ('service loss per day'). Följderna av vägavbrott undersöks med nätverksanalys på vägnätet i GIS och inkluderar bland annat parametrarna antal översvämmade vägsträckor, aktuella transportaktiviteter, väglängd för omdirigeringar av trafik, trafikflöde per vägnitt och varaktighet av vägöversvämning (Dutta m.fl. 2001).

Luino m.fl. (2009) redovisar utfallet av en GIS-baserad modell för att uppskatta direkt ekonomiskt mätbar skadeverkan i bebyggda områden vid översvämning, exemplifierat vid en mindre italiensk flod genom orten Cittiglio (fig. 2,4). Metodiken påminner i stort om Duttas japanska studie. Som underlag till en hydraulisk modellering framställdes först fotogrammetriskt en höjdmodell över flodloppet med hjälp av flygbilder. Från denna interpolerades vattendjup i ett rastergrid över området. Skadefunktioner upprättades via inspektion på platsen efter översvämningen. En kostnadsanalys utfördes genom matematiska operationer på rasterskikt av 1m-celler i GIS med värden som representerade översvämningsdjup, skadekostnad på bostadshus beroende på vattennivå, samt husens totalvärde. Modellen kan matas med uppmätta översvämningsnivåer men i studien användes simulerade värden från den hydrauliska modelleringen (fig. 4). Vid test mot en verklig översvämning i maj 2002 med dokumenterade skadeverkningar gav modellens beräkningar högre skadekostnad jämfört med inventerade kostnader. Dessa omfattade dock bara större skador och underskattade sannolikt totalkostnaden. GIS-metodiken bedöms därför som

användbar då en snabb approximativ ekonomisk värdering behöver göras av skador från naturolyckor (Luinio m.fl. 2009).



Figur 4. En konceptuell modell för uppskattning av ekonomiska förluster av en översvämning. Från Luinio m.fl. 2009.

De beskrivna arbetena har främst syftat till att utvärdera ekonomiskt mätbara konsekvenser. Aktuella tyska studier som försöker inkludera bredare konsekvenser är Meyer m.fl. (2009) och Kubal m.fl. (2009), som använder GIS-baserad multikriterie-analys (MCA) för att kunna uppskatta hur riskerna för såväl ekonomiska, sociala som miljömässiga faktorer fördelar sig rumsligt. Varje cell eller yta i landskapet i en rastermodell tilldelas värden i dataskikt för olika riskbidragande kriterier. Kartor för olika risker kan därigenom tas fram. Efter att kriterierna viktats genom att öka riskvärdet för de som bedöms ha störst betydelse, summeras en totalrisk och en slutlig riskkarta produceras. Som kriterium på sociala konsekvenser används antal personer årligen som i sina hem påverkas av översvämning samt sannolikheten för att sårbara objekt som sjukhus och äldreboenden påverkas. Miljömässiga kriterier utgörs av areal av föroreningshaltiga markområden som utsätts för erosion respektive avlagring i samband med översvämning, areal av översvämmade känsliga biotoper och

grönområden m.m. En ingående diskussion av indirekta ekonomiska, miljömässiga och sociala konsekvenser av översvämningar återfinns i FLOODSite (2007). Hur de skulle kunna tillämpas vid GIS-baserade analyser berörs dock bara marginellt.

Kostnadsuppskattningar kan följas av cost-benefit-studier av riskreducerande åtgärder mot översvämningar. I ytterligare en tysk studie berörs riskreducering på en storskalig flodsystem-nivå längs Elbe (de Kok & Grossman 2010). Med hjälp av GIS-analys kunde riskreduktionen utmed flodens lopp sättas i relation till insatta åtgärder uppströms. Här används en aggregerad representation av riskutsatta tillgångar längs flodloppet, i form av nationell statistik om olika ekonomiska tillgångar, kombinerat med översiktliga fjärranalysbaserade marktäckedata (CORINE). Fördelen med en GIS-baserad riskuppskattning i detta sammanhang är, enligt författarna, att det snabbt går att lokalisera var insatta åtgärder får god effekt. Det kan bidra till optimering av strategin för riskhantering inom olika delar av ett större flodområde med återkommande översvämningsproblem.

De framhävda studierna om riskmodellering med GIS handlar främst om metodiken i att värdera olika tillgångar i riskområden, och mera sällan hur analysen utförs i programvaran. Detta görs ofta med ganska grundläggande metoder som överlagring med skärning mellan dataskikt. För analys av störningar i infrastruktur används nätverksanalys av framkomlighet, utryckningstider m.m. Mer specifikt metodinriktade är de studier som tar upp rasteranalys kopplat till MCA (multikriterieanalys). Rasteranalys används inte i stor utsträckning bland GIS-användare som inte arbetar med forskning, men funktionerna som sådana finns ofta tillgängliga i vanliga programpaket. Många GIS-program har också inbyggt stöd för viktningsförfaranden då olika faktorer eller kriterier skall jämföras, samt möjlighet till utformning av specialapplikationer via skript eller andra tillägg.

Exemplen om GIS-användning i risk- och konsekvenskartering visar på en metodutveckling internationellt med varierande angreppssätt. Detta är naturligt dels beroende på olika förhållanden i olika länder, dels på att vissa studier görs på detaljnivå med skadeanalys av individuella hus medan andra studier har ett regionalt perspektiv och utgår från aggregerade data i officiell statistik. Jämfört med länder som t.ex. Tyskland och Storbritannien där forskningen är ganska

långt kommen har endast få studier gjorts i Sverige om konsekvensanalyser av översvämningar. Några av dessa omnämns i följande avsnitt.

Svenska tillämpningar av GIS-teknik och geografisk information i översvämningssammanhang

De översiktliga karteringar med GIS-teknik över översvämningshotade områden i Sverige som tagits fram redovisas i en serie kartor och rapporter åtkomliga på internet (www.msb.se/). Översiktskartorna ska vara ett hjälpmedel i planeringen av räddningstjänst och i utveckling av kommunernas översiktsplaner. Karteringen använder den nationella höjddatabasen vars noggrannhet i höjddled anges till cirka 2,5 m (globalt medelfel). Kartorna kan i första hand tjäna som underlag till en fokusering på områden som bör studeras närmare.

Klimat- och sårbarhetsutredningen (2006, 2007a) redovisar översiktliga skadestadsberäkningar för bebyggelse vid översvämningar vid de större mellansvenska sjöarna samt längs vissa vattendrag och kuststräckor. För beräkningarna längs vattendrag har den översiktliga översvämningsskarteringens ytor för 100-årsflödet använts. Bebyggda arealer samt antal byggnader inom dessa har analyserats genom överlagring, uppdelat på olika bebyggelsemarkslag. Kostnadsbedömningen baserades på beräkningar från Länsförsäkringar från översvämningar år 2001. Det har även mer lokalt gjorts bedömningar av kostnader för översvämningsskador, t.ex. i Karlstad (SWECO 2006).

På uppdrag av Klimat- och sårbarhetsutredningen gjordes vid SGI en studie om miljömässiga konsekvenser genom potentiell förorenings-spridning vid översvämningar av dimensionerande flöde längs Dalälven och Ljungan (Andersson-Sköld m.fl. 2007). Metodiken var GIS-överlagring mellan de översiktliga översvämningsskarteringarna och lokaliseringen av potentiellt förorenande anläggningar samt förekomsten av känsliga objekt som kunde påverkas av föroreningar i samband med större översvämningar. Dit räknades brunnar och skyddsområden för vattentäkter.

Exempel på hur GIS kan användas för krishantering på kommunal nivå ges av bland annat leDuc och Sivertun (2007), Sveriges kommuner och Landsting (2009) och Lind (2010). Olika kommuner i Sverige har under senare år utfört

riskkartering eller översvämningsskartering, antingen översiktlig som beskrivits ovan, eller mer detaljerad kartläggning. Exempel på det senare kommenteras nedan.

Lantmäteriet tillsammans med andra myndigheter i Sverige undersökte "Geografisk information för risk- och krishantering" inom konceptet Kris-GIS som berört risk- och sårbarhetsanalyser (Nilsson m.fl. 2004). Översvämningssproblematik fokuserades genom ett antal detaljerade studier i Eskilstuna kommun med hydraulisk modelleringsteknik (Brandt 2005, Lantmäteriet 2005, Yacoub m.fl. 2005, Klang 2006). Bland annat studerades kvalitet på höjddata och annan geografisk information, såsom vilken noggrannhet som behövs för tillförlitlig simulering och kartläggning av översvämningar (Bergquist m.fl. 2008, Brandt 2009, Brandt & Bergquist 2009). Se vidare avsnittet om datakvalitet.

Karlstad hör till de svenska städer som pekats ut som särskilt känsliga för översvämning vid en klimatförändring genom sitt läge i ett deltalandskap vid Klarälvens utlopp i Vänern (Klimat- och sårbarhetsutredningen 2006). Kommunen har därför ett väl utvecklat förebyggande arbete mot översvämningar, där GIS är ett naturligt redskap. SMHI har på kommunens uppdrag utfört en översiktlig analys av översvämningssrisker i Karlstad (Bergström & German 2007). Riskerna är störst från Klarälven men även förknippade med höga vattenstånd i Vänern, varför den regleringsstrategi som tillämpas för sjön har stor betydelse. Studien rekommenderar att planering gällande vattennära områden bör utföras med större säkerhetsmarginaler än tidigare p.g.a. stadens utsatta läge. I en uppföljande studie beräknades emellertid mycket låg sannolikhet för samtidigt infallande extremsituationer med höga flöden i Klarälven, högt vattenstånd i Vänern samt kraftig vindorsakad vattenståndshöjning av sjöytan i Karlstadsområdet (Bergström & Andréasson 2009).

Inom delvis EU-finansierade regionala projekt har laserskanning gjorts av Karlstad och Kristinehamn som underlag till översvämningssplanering och utveckling av en översvämningssapplikation för Karlstad. Vattennivåer från flöden i Klarälven med olika återkomsttider har beräknats genom hydraulisk modellering med Mike11-metoden (Karlstad kommun 2009).

Samverkan runt översvämningssfrågor har under medverkan av Centrum för Klimat och Säkerhet utvecklats mellan länsstyrelser och kommuner runt Vänern. Här finns behov av fördjupad belysning av översvämningssproblematik

i frågor avseende exempelvis vattennära byggande runt Vänerns stränder. Detta har berörts bland annat i examensarbeten med GIS-tillämpning. Karlsson & Sjökvist (2009) utförde med tillgång till laserskannade höjddata en kartläggning av områden i Kristinehamn som riskerar att drabbas av översvämning utifrån olika scenarier baserade på klimat- och sårbarhetsutredningen samt historiska översvämningar. Med överlagringsteknik gjordes en konsekvensanalys i vilken undersöktes vilka objekt som påverkas vid olika vattennivåer. Redan vid förväntat vanligt förekommande översvämningar under ett förändrat klimat skulle skadorna kunna bli avsevärda. Pettersson & Thernström (2009) interpolerade en höjdmodell med 20 m celler utmed sjönära delar av Lidköping. Översvämningsutsatta områden visas men bättre höjddata från laserskanning ansågs behövliga för mer långtgående analys. Studien ville också belysa värdet av GIS för att åskådliggöra översvämningssituationer och kunna distribuera information på nätet via programvara som bygger på öppen källkod (OpenSource). Erdal (2009) studerade Lidans översvämningar i staden genom hydraulisk modellering, kompletterat med nya höjdmätningar. Upplösningen i höjdmodellen var därför högre (1 m) än i föregående studie. Resultatet indikerade att översvämningsrisken från ån är mindre akut jämfört med översvämning från Väneren.

En översvämning som rönt stor uppmärksamhet och dokumenterats och analyserats med hydraulisk modellering och GIS är vid Arvika och Byälven år 2000 (Svensson m.fl. 2002, Svensson & Midböe 2007). Orsaker och händelseförlopp vid översvämningen har kartlagts och tekniska skyddsåtgärder föreslagits. Genomförande av dessa beräknas kunna minska risken markant i samband med översvämningar i Byälvens vattensystem.

Näst Väneren är främst Hjälmarren-Mälaren de större svenska sjöar där översvämningsfrågor studerats på senare år (Klimat- och sårbarhetsutredningen 2006). Bland annat har utförts en kartering med GIS-teknik som visar översvämning av landområden och sårbarhet för avloppsnät i Stockholm vid en höjning av Mälarens nivå (Asplind 2006). Liknande karteringar finns eller är på gång för flera andra städer i regionen. Eskilstuna har redan omnämnts.

En annan stad med låglänt läge där översvämningsproblem varit svår-
bemästrade men hanterats framgångsrikt är Kristianstad. Kommunen utnyttjar GIS för planering inför översvämningsshot från Helge å (Carlsson-Kanyama m.fl. 2009). Fysiska skyddsåtgärder som vallar har konstruerats och applikationen Flood Watch har utvecklats som, baserad på hydraulisk beräkning av flöden och vattennivåer, ger möjlighet att erhålla varningar för översvämning och vidta åtgärder i god tid, som att starta pumpstationer. Nämnas kan också

att det har utförts kartering av översvämning i staden baserat på radarteknik (www.metria.se).

En mer ovanlig anledning till behovet av översvämningsmodellering återfinns i studien "Simulering av översvämningar i nedre Dalälven" (Vähäkari 2006). Översvämning förknippas i området runt nedre Dalälven med intensiv myggplåga och för effektiva bekämpningsåtgärder är det väsentligt att kunna förutsäga när och var översvämmade områden bildas sommartid. Metodiken i studien var hydraulisk modellering baserat på laserskannade höjddata med höjdupplösning 0.2 m samt areell redovisning i GIS.

I ytterligare ett examensarbete lämnar Lind (2010) förslag på klassificering av riskobjekt i översvämningshotade områden i Sverige. En indelning i tre prioritetsgrupper efter behov av skydd i akuta situationer föreslås, hög, medelhög respektive låg prioritet. Indelningen baseras på en bedömning av troliga konsekvenser om de valda riskobjekten blev utsatta för översvämning.

5 GIS i katastrofhantering av översvämningar

Förutom i förebyggande arbete mot översvämningar kan GIS komma till användning under direkta kris- eller katastrofsituationer som ett verktyg för beslutsfattande och uppföljning av utvecklingen under olika skeden av allvarliga översvämningar - framkomliga vägar kan visas, vägvalsalternativ kan utvärderas inför evakueringsinsatser. Användning av GIS i själva krisfasen av en översvämning har fördelar bland annat i möjligheterna att överblicka och visualisera insatsbehov. Mobilt GIS kan användas till att uppdatera information på platsen för snabb överföring till operativ central. Insamlad bildmaterial från marken eller luften kan utnyttjas till att överblicka omfattning av översvämningar. Med hjälp av information samlad i ett GIS kan räddningstjänst få flera typer av beslutsunderlag för insatser vid översvämningar (efter Gunes & Kovel 2000, här återgivet något avkortat):

- Information om potentiell eller verifierad omfattning av översvämning och därigenom utsatta objekt eller befolkningsgrupper
- Information om tillgång till och lokalisering av kritiska resurser för insatser och riskreducering / konsekvensmildring, såväl materiella som personella resurser
- Information om konstaterade skador med akuta eller mindre akuta insatsbehov

- Översikt av geografiska lägen för potentiellt miljöfarliga anläggningar
- Information om infrastrukturen med transportvägar, ledningsnätverk

Relativt få studier verkar ha gjorts över användning av GIS i direkta krislägen med översvämningar. Tekniken har dock utnyttjats vid flera katastrofhändelser där översvämning varit en av konsekvenserna, bland annat Katrina-katastrofen i USA. Curtis m.fl. (2006) beskriver nyttan och problemen med GIS i räddningsoperationerna, och finner att bristande förkunskaper och planering om hur programmen kan användas effektivt i realtid måste ses över som ett lärospår för framtiden. Produktion av ofta ganska enkelt kartmaterial och visualiseringar var av större betydelse för effektiva insatser än avancerade rumsliga analyser, vilka mer hör till efterföljande dokumentation av förloppet och förebyggande arbete för kommande händelser. Daglig uppdatering av översvämmade områden och farbara vägar, användbara landningsplatser för räddningshelikoptrar, eller läget för lokaler för omhändertagande av drabbad befolkning var bland de uppgifter som förmedlades med GIS, ofta presenterat via programmet Google Earth på webben.

Ett svenskt exempel på krishantering av översvämning där GIS varit av stort värde för prioritering av insatser är den välbekanta händelsen i Arvika hösten 2000. GIS användes för koordination av den kanske största räddningstjänstinsatsen i fredstid i Sverige och till att identifiera berörda fastighetsägare, som sedan kontaktades om åtgärder för att minska konsekvenser av översvämningen. I utvärdering av händelsen anges dock att kommunen bör satsa ytterligare på att utveckla sin GIS-verksamhet (www.arvika.se).

En översikt av GIS-tillämpningar inom katastrofhantering och i det tidigare berörda förebyggande arbetet med översvämningar har sammanställts i tabell 1.

Tabell 1. Översikt av GIS-tillämpningar i översvämningshantering

Förebyggande arbete : före / efter händelser				
Visualisering av vattennivå i höjdmodeller (översvämningsfara) metoder			Riskmodellering, sårbarhets- och konsekvensanalys (översvämningsrisk) metoder	
Kommunicering via			Överlagring	Rasteranalys
2D kartor	3D-vyer	Internet	Nätverksanalys	
Översvämningskartor	Animering av förlopp	Webbkarttjänster	söka fram riskobjekt	störningar i infrastruktur
buffertzoner som visar osäkerhet i översvämningsgränser			kartlägga skadesamband för riskobjekt till: -vattendjup -översvämningsvaraktighet m. m.	analysera effekter på transporter räddningstjänst m.m.
			analysera aggregerade data områdesvis / regional skadeverkan	
Katastrofhantering : realtid under händelser				
Insamling / uppdatering av information		Syntes	Produktion av	
fjärranalys fältdata (flyg- och markfoton m. m.)	översvämningsomfattning - utsatta objekt - störningar i infrastruktur - lokalisering av resurser	överblick av insatsbehov beslutsstöd om åtgärder	kartmaterial visualiseringar riskvarningar information via webb och utskick	

6 Datatillgång och datakvalitet

Som nämnts är höjddata och deras kvalitet av största vikt för att kunna utföra översvämningsmodellering. Förekomsten av olika kommunala höjdsystem måste också hanteras när större områden t.ex. Vänerområdet studeras, eftersom systemen ger olika nivåer och har varierande noggrannhet. En övergång till det nationella höjdsystemet RH2000 har inletts men det kan förmodligen dröja innan enhetlighet uppnås. För hydraulisk modellering är också tillgång till data om markanvändning, som påverkar friktion mot flöden, väsentligt, samt de hydrologiska data som behövs för flödesberäkningar. När det gäller konsekvenser och skadeverkan av översvämningar behövs olika typer av geografisk information som ofta finns i GIS-system på kommunnivå, eller i olika myndigheters databaser. Bebyggelse och infrastruktur kan vara sårbara och representerar stora ekonomiska värden. Vägnätets framkomlighet har betydelse för insatsmöjligheter vid händelser, t.ex. för att lösa evakueringsbehov av äldre och sjuka från deras hem eller vårdinrättningar. Hur infrastruktur som el-, vatten- och avloppsnät påverkas vid översvämning är också viktig information.

Det finns några publikationer som ger någorlunda färsk information om tillgängliga data för GIS-tillämpningar om översvämningsproblematik i Sverige. Möjligheterna att använda geografisk information generellt i samband med klimatrelaterade kriser studerades av Carlsson-Kanyama m.fl. (2009). Syftet var att bidra till att utveckla kommunernas och regionernas arbete med klimatanpassning. I undersökningen gjordes en sammanställning av aktuella svenska potentiella databaser till GIS för krishantering, vilket inkluderade bland annat Lantmäteriets lägenhetsregister, Konsumentverkets servicedatabas, Naturvårdsverkets databas över avloppsreningsverk samt SMHI:s register över översvämningskänsliga områden och dammbyggnadsregister. Det betonades att tillgång till relevanta data är av avgörande betydelse för GIS-analysers kvalitet.

I en kunskapsöversikt speciellt om översvämningsrisker i Sverige sammanställde Lind (2010) ett antal exempel på riskobjekt och vilka data som behövs för karakterisering av dessa. Officiella kartdatabaser/kartserier samt databaser hos kommuner och olika myndigheter utgör huvudkällorna. En överblick av olika typer av geodata i relation till EG-direktivet INSPIRE har sammanställts av SIS/Stanli (2008) i en rapport "Definition och avgränsning av geodata och tillhörande tjänster". Sverige har inletts en reformering av infrastrukturen för geografisk information med utgångspunkt från en ny "Nationell geodatastrategi" (www.geodata.se). Syftet är att samordna den tekniska och

datamässiga infrastrukturen för geodata för effektivare samverkan mellan länder. Genomförandet av INSPIRE kan underlätta hantering av gränsöverskridande krishändelser i Europa, vilket kan vara viktigt när översvämningar korsar nationsgränser.

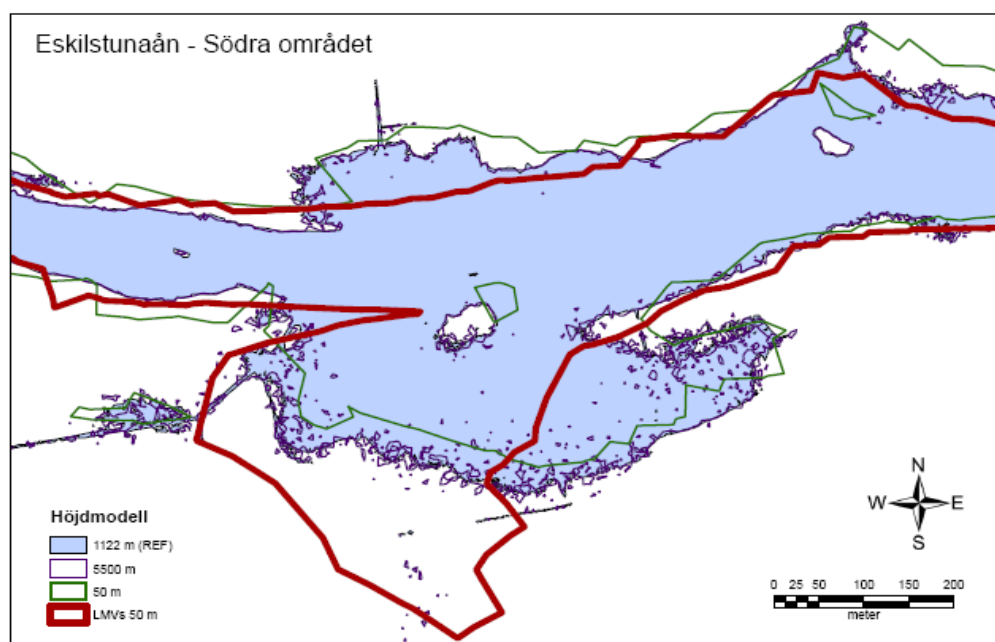
Av översiktarna om datatillgång framgår att det finns en stor tematisk bredd men också många olika ansvariga datavärdar vilket inte underlättat åtkomst och samutnyttjande av geodata. Med ökad samordning på europeisk nivå kan förhoppningsvis även tillgängligheten nationellt förbättras för geografisk information, bland annat är en Geodataportal för dataåtkomst och webbaserade tjänster under utveckling.

De viktigaste svenska forskningsstudierna med bäring på datakvalitet i översvämningshantering ligger under konceptet Kris-GIS där tillämpningen av geografisk IT, fjärranalys m.m. utvärderades. Fokus i flera studier låg på kvalitet hos höjddata. I översvämningstudier är kraven höga att även kunna modellera mindre strukturer i landskapet, såsom diken och vallar. Exempelvis större vägar kan fungera som barriärer mot översvämning genom att vägbanken är förhöjd i förhållande till omgivande terräng, vilket ofta inte finns återgivet i grövre höjddata. Det har visat sig att väsentligt annorlunda översvämningssyfte kan erhållas beroende på graden av detaljåtergivning hos höjddata. I många länder sker därför förnyad insamling av detaljerade höjddata med användning av laserskanning eller interferometrisk radar (Hunter m.fl. 2007). I Sverige pågår flygburen laserskanning till en ny nationell höjddata vilken förbättrar den rumsliga upplösningen (cellstorleken) till ca 2,5 m jämfört med 50 m i den äldre modellen, samt minskar det geometriska medelfelet i höjd från 2,5 till bättre än 0,5 m, kanske neråt 0,1-0,2 m på hårda ytor. De insamlade laserdata kommer att vara tillgängliga som ett georefererat punktmoln, varigenom olika användare även kan ta fram egna bearbetningar av höjddata (Lysell 2008).

Klang & Klang (2009) sammanfattar rön från Kris-GIS om användning av höjddata i översvämningssmodellering. Flygburen laserskanning utfördes av Eskilstunaån från 300 m höjd med en punkttäthet på mer än en träff per m². Från detta interpolerades höjddata med cellstorlekar strax under metern. I fortsatta studier testades hur stegvis degenerering av höjddata, introduktion av systematiska fel i höjddata samt tillämpning av olika markfriktionsvärden mot vattenströmning påverkade översvämningssutbredning.

Skillnader i modellering av översvämning beroende på höjddatas noggrannhet redovisas av Brandt (2009), se fig. 5. Avvikelser mot såväl större som mindre översvämningsutbredning påvisades vid jämförelse mellan laserskannade data och den nationella höjdmodellen. Låg noggrannhet hos denna jämfört med mer detaljerade höjddata, med markanta effekter i översvämningsmodellering, rapporteras också av Vähäkari (2006) och Erdal (2009). För bedömning av översvämningsrisk rekommenderar Brandt (2009) högst 1 m cellstorlek, helst mindre vid flacka strandsluttningar. Följaktligen uttrycker Brandt & Bergquist (2009) i en artikel om översvämningskarteringars tillförlitlighet i Sverige tvivel om lämpligheten i att använda de översiktliga översvämningskarteringarna baserade på den gamla nationella höjdmodellen i arbeten med översvämningsdirektivet.

Cook & Merwade (2009) studerade hur resultat av översvämningskarteringar i USA varierade som funktion av topografiska data och modelleringsmetodik. Vid jämförande karteringar fann de i motsats till de svenska studierna att utsträckningen av översvämningsområden tenderade att minska då mer detaljerade höjddata utnyttjades i modelleringen.

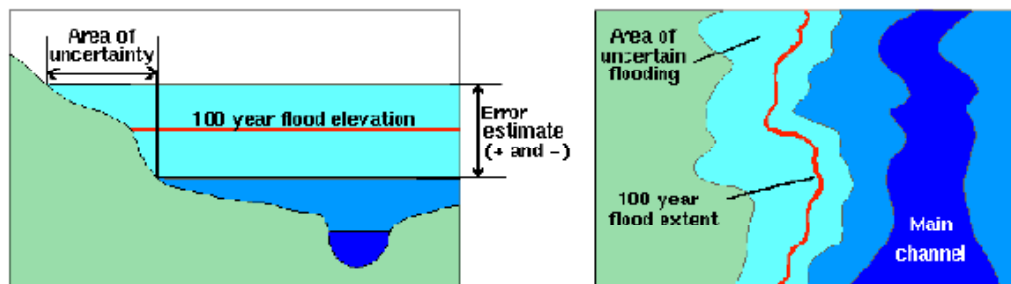


Figur 5. Exempel på tester av olika höjddatas betydelse för modellering av översvämningsytor. Tjocka linjen visar avgränsning efter lantmäteriets nationella höjdmodell (50 m celler). Övriga avgränsningar är baserade på data från flygburen laserskanning av väsentligt högre noggrannhet. Från Brandt 2009.

Orsaker till osäkerhet i användningen av översvänningskartor som beslutsunderlag i USA sedan lång tid har också undersökts av Downton m.fl. (2005). De fann fr.a. fyra orsaker:

1. inneboende osäkerhet i meteorologiska och hydrologiska prognoser
2. fortlöpande förändringar i både naturmiljö och samhälle
3. förändringar i forskningens kunskapsnivå
4. motstridiga åsikter/resultat från experter och modeller.

Osäkerhet i karteringarna kan få konsekvenser vid beslutsfattande om åtgärder mot översvämningar, och bör därför kunna förmedlas tydligt från forskare till beslutsfattare. Om en beräkning av vertikal osäkerhet i vattennivå kan anges kan detta visas som en potentiell översvänningszon (fig.6). Bredden på en sådan buffertzona blir större ju flackare strandlutningen är och ju sämre upplösningen i använd höjdmodell är (Brandt 2009).



Figur 6. Osäkerhet i modellering av översvänningsnivå. Exempel från Jones m.fl. (1998).

Beaktande av osäkerhet i gränsdragningen för olika översvänningsnivåer har ännu inte gjorts i Sverige, när t.ex. rekommendationer för fysisk planering tagits fram av länsstyrelserna i mellansverige och restriktioner för nybyggnation baseras på översvänningszoner för olika flöden (ÖSAM – Länsstyrelserna i Mellansverige 2006). Dock anges att osäkerhet existerar bland annat genom att klimatförändringen inte inräknats i flödesberäkningar, och att rekommendationerna därför ska ses som en miniminivå som inte bör underskridas.

Klimatet utvecklas enligt prognoserna i vissa områden mot fuktigare förhållanden med högre vattennivåer som följd, d.v.s. ökad risk. Också sårbarheten i samhället förändras, och kan exempelvis öka genom vattennära byggande, eller minska genom åtgärder för att höja beredskapen och skyddet

mot översvämningar. Den parameter som beskriver terrängens räheter vilket påverkar vattenflöden och nivåer, kan också förändras, med betydelse för översvämningsmodellering speciellt i flacka områden (Brandt 2005). Här finns fortfarande endast få studier. Användning av fjärranalys för att uppskatta räheter är en tänkbar metod med utgångspunkt från flygfoton eller högupplösta satellitbilder (Wiman 2006). Förändringsaspekterna gör att det är viktigt att GIS-databaser för översvämningsstudier uppdateras för att reflektera aktuell situation (Büchele m.fl. 2006). Äldre riskkarteringar kan behöva göras om även om de ursprungligen hade en hög tillförlitlighet.

7 Webbaserade kart- och GIS-tjänster

En trend under senare år är att allt fler tjänster om geografisk information utvecklas på Internet. Såväl myndigheter som allmänheten kan utföra sökningar och i viss mån analyser utan att behöva ha egna GIS-program installerade. GIS-tekniken används t.ex. inom områden som informationsspridning och riskvarning via webbtjänster. Webbtillämpningar som Google Earth ger möjlighet att enkelt förmedla kartinformation från GIS om översvämningar, något som kom till användning i Katrina-katastrofen i USA (Boyd & Mills 2007). Den engelska sajten Dartmouth Flood Observatory ger kontinuerlig information om pågående översvämningar globalt och även möjlighet att få översiktlig kartinformation om ekonomiska följder (www.dartmouth.edu). Interaktiva översvämningskartor på Internet har utvecklats i Frankrike och Nederländerna (FLOODsite 2008). Tillgång till översiktliga översvämningskartor via Internet finns i många länder, däribland Sverige. Beskrivande information om inträffade översvämningar i Sverige kan även erhållas via en naturolycksdatabas med kartgränssnitt (www.msb.se).

I projektet Risk-EOS (www.riskeos.com) har utvecklats en riskanalystjänst för översvämningar baserat på främst satellitdata. I produkterna ingår bedömningar av möjliga skadeverkningar från översvämning, både utifrån verkliga eller simulerade översvämningsdata. Skadebedömningen bygger på data över markanvändning samt statistik. Svenskt deltagande i projektet har berört översvämningsrisker i Sundvalls- och Kristiansstadsområdet. Ett likartat projekt är PREVIEW, där SMHI deltagit med utveckling av prognoser om sannolikheten för höga vattenflöden. Även i detta fall är syftet att utnyttja geografisk informationsteknik för att stödja myndigheters arbete med naturolyckshantering av bland annat översvämningar (fig.7). Kristiansstads kommun har deltagit vid utveckling av applikationen Windstorms – en

webbtjänst för prognoser över vindstyrkor och vindriktningar. Tjänsten kan ge kommunen förvarning om kommande stormar som stöd vid planeringen av krishantering (Carlsson-Kanyama m.fl. 2009).



Figur 7. Exempel på GIS-baserat online-informationssystem om översvämningar utvecklat inom ramen för EU-projektet PREVIEW (Prevention and Early Warning). www.floodrisk.eu/FloodServer.

8 Diskussion om kunskapsbehov

Kunskapsläget beträffande behovet av tillräckligt noggranna höjddata för översvämningsmodellering har förbättrats avsevärt under senare år (Brandt & Bergquist 2009). Det kommer dock framöver att finnas behov av studier som utvärderar användning av den nya nationella höjddatabasen vid översvämningsstudier. God tillförlitlighet i modelleringen är en förutsättning för att ha ett bra utgångsmaterial i analyser av konsekvenser från översvämningar. Den äldre nationella höjddatabasen har hittills varit den svaga länken i översvämningsmodelleringen. Med den nya höjddatabasen och successiv övergång till enhetligt höjdsystem i landet bör samtidigt tidigare problem med skilda kommunala höjdsystem i samband med studier över kommungränser på sikt minska.

Kunskapsbehov vid översvämningsmodellering kvarstår om hur markytans friktion mot vattenströmning bäst skall hanteras. Studier av hur byggnader

m.m. inverkar behöver vidareutvecklas. Här kan även inkluderas hur vatten- och avloppssystem i bebyggda områden "klarar av" en översvämning, samt hur stor betydelse vattenuppträngning genom rörsystem eller genomsläpplig jord har vid översvämning.

Med tillförlitlig översvämningsmodellering som grund kan studier av konsekvenser göras mer noggrant. Metoder för analys av rumslig variation i sårbarhet mot översvämning med hjälp av GIS har stor utvecklingspotential. Rasteranalyser är användbara bland annat för att kunna värdera även icke-materiella konsekvenser av översvämningar. GIS-baserad multikriterieanalys med viktade rasterdataskikt är en lovande metod (Meyer m.fl. 2009), som dock kräver expertmedverkan för att utveckla bra kriterier. Osäkerhet i riskuppskattningar måste kunna kommuniceras eftersom inte bara datakvalitet utan också strategin vid val och viktning av kriterier påverkar resultatet. En gemensam struktur nationellt för att identifiera och prioritera riskobjekt skulle underlätta fortsatt utveckling av metodik för riskuppskattning (Lind 2010). Ett utökat samarbete mellan myndigheter, kommuner och landsting kan också förväntas öka förutsättningarna för framgångsrik tillämpning av tekniken (Andersson 2009). Det finns emellertid begränsad kunskap om synergieffekter av utvidgad eller effektivare användning av GIS i hantering av översvämningar (jfr Nilsson m.fl. 2004) och således också ett behov av studier av sådana aspekter på GIS-tillämpning i sammanhanget.

Tillkännagivande

Ett tack framförs för tillstånd att återge illustrationer till figurerna vilket har erhållits från F.Luinio, M.Sjökvist, A.Brandt, M.Tinz (infoterra-global.com) samt ©Lantmäteriet Gävle 2010. Medgivande I 2010/0042.

Referenser

Rapporter och artiklar

- Andersson, J. (2009). *Utmaningar kring vatten hanteras fördelaktigt med GIS*. ULI aktuellt nr 2, 2009, 4-6.
- Andersson-Sköld, Y., Nyberg, H. & Nilsson, G. (2007). *Föroreningsspridning vid översvämningar. Etapp 1*. Statens Geotekniska Institut, Varia 576.
- Asplind, B. (2006). *GIS-teknik kan förhindra översvämning*. Nordisk Geomatik 3, 26-27.
- Bergquist, A., Brandt, A. & Klang, D. (2008). *Vad är optimal kvalitet på geografisk information som underlag för detaljerad översvänningskartering*. Kart- och Bildteknik 2008:4.
- Bergström, S. (1992). *The HBV model - its structure and applications*. SMHI Reports RH, No. 4, Norrköping.
- Bergström, S. & German, J. (2007). *Analys av översvänningsrisker i Karlstad*. SMHI Rapport nr 46.
- Bergström, S. & Andréasson, J. (2009). *Analys av samvariation mellan faktorer som påverkar vattennivåerna i Karlstad*. SMHI Rapport nr 54.
- Blong, R. (2003). *A new damage index*. Nat. Hazards 30, 21-23.
- Boyd, K.A. & Mills, J.W. (2007). *GIS Applications during Response to Hurricane Katrina: Small, Local Government and State Government experiences*.
www.directionsmag.com/article.php?article_id=2466
- Brandt, A. (2005). *Översvänningsmodellering i GIS. Betydelse av höjdmodellens upplösning applicerat på Eskilstunaån*. Institutionen för Teknik och Byggd Miljö, Avdelning Samhällsbyggnad, Högskolan i Gävle. FoU Rapport 27.
- Brandt, A. (2009). *Betydelse av höjdmodellens kvalitet vid endimensionell översvänningsmodellering*. Högskolan i Gävle, FoU-rapport nr.35.
- Brandt, A., & Bergquist, A. (2009). *Översvänningskarteringars tillförlitlighet*. Kart & Bildteknik 2009:4, 33-35.
- Büchele, B., Kreibich, H., Kron, A., Thicken, A., Ihringer, J., Oberle, P., Merz, B. & Nestman, F. (2006). *Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks*. Nat.Hazards Earth Syst. Sci. 6, 485-503.

- Carlsson-Kanyama, A., Bergquist, A., Johansson, A-K., Johansson, A. Knutsson, I., Linell, A. & Öberg, H. (2009). *Att använda geografisk information vid väderkriser för att bistå sårbara grupper i ett förändrat klimat*. Totalförsvarets forskningsinstitut rapport FOI-R--2762--SE.
- Cook, A., & Merwade, V. (2009). *Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping* Journal of Hydrology 377, 131-142.
- Curtis, A., Mills, J.W., Blackburn, J.K. & Pine, J.C. (2006). *Hurricane Katrina: GIS Response for a Major Metropolitan Area*. Quick Response Research Report 180, Natural Hazards Center, Univ. of Colorado.
- De Jonge, T., Kok, M. and Hogeweg M. (1996). *Modeling of Floods and Damage Assessment using GIS*; HydroGIS 96, IAHS Publication, No.235, 299-306.
- De Kok, J-L. & Grossman, M. (2010). *Large-scale assessment of flood risk and the effects of mitigation measures along the Elbe river*. Nat. Hazards 52, 143-166.
- De Moel, H., van Alphen, J. & Aerts, J.C.J.H. (2009). *Flood maps in Europe – methods, availability and use*. Nat.Hazards Earth Syst. Sci.9, 289-301.
- Downton, M.W., Morss, R.E., Wilhelmi, O.V., Grunfest, E. & Higgins, M.L. (2005). *Interactions between scientific uncertainty and flood management decisions: Two case studies in Colorado*. Environmental Hazards 6, 134–146.
- Dutta, D., Herath, S. & Musiaka, K. (2001). *Direct flood damage modeling towards urban flood risk management*. ISUS/INCEDE Report 1, 127-143. Bangkok.
- EG (2007). *Översvämningsdirektivet*. EU-parlamentet och rådet direktiv 2007/60/EG, 23 okt 2007.
- Erdal, D. (2009). *Översvämningsrisker för Lidköping – betydelsen av upplösningen hos höjddata*. Examensarbete UPTEC W09020. Miljö- och vattenteknik, Uppsala Univ.
- Fedeski, M. & Gwilliam, J. (2007). *Urban sustainability in the presence of flood and geological hazards: The development of a GIS-based vulnerability and risk assessment methodology*. Landscape and Urban Planning 83, 50-61.
- FEMA (Federal Emergency Management Agency) (2006). *Flood map modernization. Mid course adjustment*. [www.fema.gov/ library/mm_mca\[1\].pdf](http://www.fema.gov/library/mm_mca[1].pdf)
- FLOODsite (2007). *Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods*. Report T09-06-01. www.floodsite.net.
- FLOODsite (2008). *Review of flood hazard mapping*. Report T03-07-01. www.floodsite.net.

- Gunes, A.E. & Kovel, J.P. (2000). *Using GIS in emergency management operations*. Journal of Urban Planning and Development, Vol. 126, No. 3, 136-149.
- Hallin, P.-O. & Olofsson, N. (2005). *Instrument för riskhantering I*: Olsson, L. (red.), Geografiska informationssystem. Tillämpningsexempel. Formas. 69-86.
- Hunter, N.M., Bates, P.D., Horritt, M.S. & Wilson, M.D. (2007). *Simple spatially-distributed models for predicting flood inundation: A review*. Geomorphology 90, 208-225.
- Jones, J. L., Haluska, T. L., Williamson, A. K., Erwin, M. L. (1998). *Updating flood maps efficiently: building on existing hydraulic information and modern elevation data with a GIS*. U.S. Geological Survey Open-File Report 98-200.
- Joyce, K.E., Bellis, S.E., Samsonov, S.V., McNeill, S.J. & Glassey, P.J. (2009). *A review of the status of satellite remote sensing and image processing techniques for mapping natural hazards and disasters*. Progress in Physical Geography 33(2), 183-207.
- Kang, J.-L., Su, M.-D., & Chang, L.-F. (2005). *Loss functions and framework for regional flood damage estimation in residential area*. Journal of Marine Science and Technology, Vol. 13, No. 3, 193-199.
- Karlsson, A. & Sjökvist, M. (2009). *Översvämningskartering i Kristinehamn. Översiktlig konsekvensanalys*. Examensarbete 2009:2, GIS-ingenjörsprogrammet, Karlstads Univ.
- Karlstad kommun (2009). *Beräknade vattennivåer i Klarälvsdeltat*. Teknik- och fastighetsförvaltningen, Diarienummer TFN-2008-125. www.karlstad.se/
- Klang, D. (2006). *KRIS-GIS projekt i Eskilstuna. Kvalitet i höjdm modeller*. LMV Rapport 2006:4.
- Klang, D. & Klang, K. (2009). *Analys av höjdm modeller för översvämningsmodellering*. [www.svenskgeoinfo.se/ upload/rapport2009/ Analys%20av%20hojdm modeller _ Slutversion_1.0.pdf](http://www.svenskgeoinfo.se/upload/rapport2009/Analys%20av%20hojdm modeller_Slutversion_1.0.pdf).
- Klimat- och sårbarhetsutredningen (2006). *Översvämningshot. Risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Vänern*. SOU 2006:94. Delbetänkande. Stockholm.
- Klimat- och sårbarhetsutredningen (2007a). *Översiktlig sårbarhetsanalys för översvämnning, skred, ras och erosion i bebyggd miljö i ett framtida klimat*. Rapport.
- Klimat- och sårbarhetsutredningen (2007b). *Sverige inför klimatförändringarna. Hot och möjligheter*. SOU 2007: 60. Slutbetänkande. Stockholm.
- Kubal, C., Haase, D., Meyer, V. & Scheuer, S. (2009). *Integrated urban flood risk assessment – adapting a multicriteria approach to a city*. Nat.Hazards Earth Syst.Sci.9, 1881-1895.

- Lantmäteriet (2005). *KRIS-GIS i Eskilstuna kommun: Rapport från ett samverkansprojekt om stöd för krishantering*. Rapport, FoU-projekt, 2005-06-22, Dnr: 606-2004/572.
- Lastra, J., Fernandez, E., Diez-Herrero, A. & Marquinez, J. (2008). *Flood hazard delineation combining geomorphological and hydrological methods: an example in the Northern Iberian Peninsula*. *Nat Hazards* 45:277–293.
- leDuc, M. & Sivertun, Å. (2007). *Implementering av geografisk information för kommunal krisberedskap*. Svensk Geoinfo, Stockholm.
- Lind, J. (2010). *Översvämningsrisker i Sverige – en kunskapsöversikt*. Examensarbete Inst f geovetenskaper, Uppsala Univ. UPTEC W10 010.
- Luino, F., Cirio, C.G., Biddoccu, M., Agangi, A., Giulietto, W., Godone, F. & Nigrelli, G. (2009). *Application of a model to the evaluation of flood damage*. *Geoinformatica* 13, 339–353.
- Lysell, G. (2008). *Ny nationell höjdmmodell*. Nyhetsbrev nr 2. Lantmäteriet. www.lantmateriet.se.
- Länsstyrelsen Västra Götalands län (2009). *Stigande vatten i samhällsplaneringen. Rekommendation för planering av bebyggelse vid Vänern, Bohuskusten och i inlandet*. Prel. Rapport 2009-10-13.
- Merwade, V., Cook, A. & Coonrod, J. (2008). *GIS techniques for creating river terrain models for hydrodynamic modelling and flood inundation mapping*. *Environmental Modelling & Software* 23(2008) 1300-1311.
- Meyer, V., Scheuer, S & Haase, D. (2009). *A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany*. *Nat Hazards* 48: 17-39.
- Nilsson, S., Trnka, J., Le Duc, M., Sivertun, Å. (2004). *Aspekter på GI och GIS-användning i krishantering vid översvämnningar i Sverige (fallstudie)*. Dep. of Computer and Information Science, Linköpings univ.
- Nyberg, L. (2008). *Översvämnningar och riskhantering – en forskningsöversikt*. MSB. Publ.nr.MSB 0013-09.
- Näslund-Landenmark, B. & Widén, B. (2009). *Översiktlig översvämningskartering och riskhantering*. Tillsynsnytt Nr.2, April, s.18-20. www.naturvardsverket.se/upload/03_lagar_och_andra_styrmedel/tillsyn_och_egenkontroll/nyhetsbrevet_tillsynsnytt/TillsynsNytt_2009/TillsynsNytt_2009_02.pdf.
- Pender, G. & Néelz, S. (2007). *Use of computer models of flood inundation to facilitate communication in flood risk management*. *Environmental Hazards* 7, 106-114.

- Pettersson, E. & Thernström, A. (2009). *Lidköping och vattnet. Hur en kommun kan använda geografiska informationssystem inför en översvämningssituation*. Examensarbete 2009:3, GIS-ingenjörsprogrammet, Karlstads Univ.
- Räddningsverket (1994). *Geografiska informationssystem (GIS): principer för geografiskt informationssystem för riskanalys, olycksprevention och skadebegränsande åtgärder*. FoU rapport.
- Räddningsverket (2000). *Översiktlig översvämningsskartering för Vänern*. Rapport nr 16.
- Räddningsverket (2003). *Handbok för riskanalys*. Räddningsverket, Karlstad.
- Sanders, R., Shaw, F., MacKay, H., Galy, H. & Foote, M. (2005). *National flood modelling for insurance purposes: using IFSAR for flood risk estimation in Europe*. Hydrology and Earth System Sciences 9(4), 449-456.
- Schubert, J.E., Sanders, B.F., Smith, M.J. & Wright, N.G. (2008). *Unstructured mesh generation and landcover-based resistance for hydrodynamic modeling of urban flooding*. Advances in Water Resources 31, 1603-1621.
- SFS (2009). *Förordning om översvämningssrisker*. Försvarsdepartementet Stockholm. SFS 2009:956.
- SIS/Stanli (2008). *Definition och avgränsning av geodata och tillhörande tjänster*. Slutrapport SIS/TK 512/AG 3 N 018.
- Skidmore, A.(ed.) (2002). *Environmental modelling with GIS and Remote Sensing*. Taylor and Francis, New York.
- Sommer, T., Karpf, C., Etrich, N., Haase, D., Weichel, T., Peetz, J.-V., Steckel, B., Eulitz, K. & Ullrich, K. (2009). *Coupled modelling of subsurface water flux for an integrated flood risk management*. Nat.Hazards Earth Syst. Sci. 9, 1277-1290.
- Svensson, T., Andersson, J-O., Blumenthal, B., Forsberg, J., Hedelin, B. (2002). *Projekt Byälven – Översvämningssrisker, förebyggande åtgärder och konsekvenser*. Nationellt centrum för älvskadeteknik, Karlstads univ.
- Svensson, T. & Midböe, F. (2007). *Projekt Byälven – efter översvämningen hösten 2000*. Vatten 63, 29-40. Lund.
- Sveriges kommuner och Landsting (2009). *Hanteringen av vattenfrågorna är avgörande – om att klimatanpassa den fysiska planeringen*. www.skl.se.
- SWECO (2006). *Bedömning av riskkostnad vid översvämning i Karlstads tätort*. Rapport inom FLOWS, WP3. Karlstad 2006-06-20.
- Vähäkari, A. (2006). *Simulering av översvämningar i nedre Dalälven*. Examensarbete UPTec W06019. Miljö- och vattenteknik, Uppsala Univ.

- Wiman, S. (2006). *VHR satellitdata som underlag för översvämningsmodellering*. Rapport för Enheten för Beredskap och Säkerhet, Lantmäteriet inom projektet KRIS-GIS®, Metria RAPPORT ÄHS-nummer: 04/05427.3
- Yacoub, T., Westman, Y., Sanner, H., & Samuelsson, B. (2005). *Detaljerad översvämningskarta för Eskilstunaån. Ett projekt inom KRIS-GIS*. SMHI Hydrologi Nr 98.
- ÖSAM – Länsstyrelserna i Mellansverige (2006). *Översvämningsrisker i fysisk planering – rekommendationer för markanvändning vid nybebyggelse*. http://www.lansstyrelsen.se/NR/rdonlyres/F10BB790-C024-4DC2-AD1D-FDC761CBB79F/0/Rapport_Agris_webb.pdf