

# Översvämningssrisker för Lidköping – betydelsen av upplösningen hos höjddata

Flood risk assessment for Lidköping – importance  
of spatial resolution in height data

---

Daniel Erdal

## **REFERAT**

Översvämningsrisker för Lidköping – betydelsen av upplösningen hos höjddata

*Daniel Erdal*

Till december 2011 ska enligt översvämningsdirektivet alla avrinningsdistrikt i Sverige ha översiktliga översvämningskarteringar utförda. Eftersom det i Sverige redan finns översiktliga karteringar gjorda för flera stora vattendrag planerar Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB) att använda dessa för direktivets första steg. För Lidan som mynnar i Lidköping finns en sådan kartering utförd som visar översvämningsrisker i staden, men skepsisen mot resultatet är stor. Detta examensarbete undersökte därför vilket översvämningsunderlag som kunde skapas utifrån kommunens tillgängliga data och vilka skillnader som fanns mot den tidigare karteringen.

Resultatet visade att översvämningsrisken till följd av höga flöden i Lidan är liten, och att översvämningarna i Lidköping främst beror på höga vattennivåer i Väneren. Vattennivån i Lidan vid höga flöden skulle förvisso stiga längre uppströms i vattendraget, men inga översvämningar till följd av detta kunde identifieras i staden.

I översvämningsdirektivet anges att den översiktliga karteringen ska göras i en lämplig skala. Vad för skala som är lämplig skiljer sig från fall till fall och jämförelsen mellan den översiktliga och den detaljerade karteringen visade stora skillnader vid en skala runt 1:10 000, vilket ansågs vara en användbar skala för ett urbant område. På den av MSB rekommenderade skalan 1:50 000, i vilken en översvämning på mindre än 100 meter från åkanten blir i det närmaste försumbar, syns dock inga större skillnader mellan de två modellerna, utom på de platser där den översiktliga karteringen har angivet stora osäkerheter i höjddata. Från resultatet av detta arbete drogs slutsatsen att den översiktliga karteringen över Lidköping lämpar sig dåligt för att användas i den urbana miljön.

Att de översiktliga karteringarna är illa lämpade på ett ställe öppnar möjligheten att de är olämpliga för fler områden. Risken finns att ett område som felaktigt inte verkar översvämmas enligt de översiktliga karteringarna inte analyseras vidare. Detta kan till följd av oförberedheten orsaka stora skador om en översvämning inträffar. Slutsatsen är därför att riskerna med användandet av de översiktliga karteringarna kan vara stora och att det i och med den stora osäkerheten är mycket tveksamt om de översiktliga karteringarna är lämpliga i arbete med översvämningsdirektivet.

Nyckelord: översvämning, översiktlig kartering, höjddata, upplösning, HEC-RAS, Lidköping, Lidan

*Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten och landskapslära, Uppsala Universitet  
Villavägen 16  
SE-752 36 UPPSALA  
ISSN 1401-5765*

## **ABSTRACT**

Flood risk assessment for Lidköping – importance of spatial resolution in height data  
*Daniel Erdal*

By December 2011 all runoff districts in Sweden shall have summary flood risk assessments that comply with the flood directive. Since the late nineties summary flood risk assessment maps have been made, and the Swedish Civil Contingencies Agency is hoping to use these maps in the directive. For the river Lidån, which ends in Lidköping, such a summary risk map that shows a large risk for floods in the city has been produced. Since the results from the summary assessment are rather dubious this thesis looked at which assessments can that be made from the city's available material, and what differences there are between this assessment and the summary assessment.

The results showed that the risk for flooding due to high flows in Lidån is low since the water level is mainly controlled by the lake Vänern in which the river ends. Even though the water surface rose upstream in the system, no potential flood event was identified.

The flood directive states that the summary risk assessments should be completed in a suitable scale. What this means varies from case to case, and in the case of Lidköping the differences between the two models are quite large at around 1:10 000, a scale suitable for use in urban environments. At the scale recommended for usage of the summary assessment maps, 1:50 000, the differences, apart from in the areas with known uncertainties in the height data, are small. However, at this scale the results from a flood simulation are hardly usable for an urban area the size of Lidköping. This work showed that the summary assessment for Lidån is not useful for risk assessment in an urban environment.

That the summary flood risk assessment maps have been found unsuited for use in one area opens the possibility that they may also be unsuitable for use in other areas. The risk is that an area that wrongly gets assessed as a no risk zone by the summary assessment maps will be forgotten, and when a flood occurs the consequences may be dire. The conclusion is hence that the risk of using the already made summary flood risk assessment maps can be large, and that based on their low accuracy it is doubtful if they should be used within the flood directive.

Key words: Urban flooding, flood directive, summary flood risk assessment, spatial resolution, height data, HEC-RAS, Lidköping, Lidån

*Department of Earth Sciences, Program for Air, Water and Landscape Sciences,  
Uppsala University  
Villavägen 16  
SE-752 36 UPPSALA  
ISSN 1401-5765*

## FÖRORD

Detta är ett examensarbete för civilingenjörsprogrammet i Miljö- och vattenteknik vid Uppsala Universitet. Arbetet är beställt av Lidköpings kommun och utfört på WSP Samhällsbyggnad i Göteborg under våren 2009. Handledare var Mikael Bengtsson, avdelningen för Anläggningsteknik, WSP Samhällsbyggnad och ämnesgranskare var Sven Halldin, Institutionen för geovetenskaper, Luft-, vatten och landskapslära, Uppsala Universitet.

Jag vill tacka Lidköpings kommun för tillståndet att återge deras kartmaterial i figurerna 1, 6, 13 och 16-24 och Myndigheten för samhällsskydd och beredskap för tillståndet att återge den översiktliga karteringen i figurerna 21 och 22. Observera att figur 21 och 22 innehåller material från både Lidköpings kommun och MSB, där kommunen äger rätten till grundkartan och MSB till den översiktliga karteringen.

Det finns många att tacka efter ett avslutat exjobb, men för att inte i skrivandets stund göra misstaget att glömma någon tänker jag inte nämna någon med namn. Ingen nämnd och ingen glömd när jag säger: Tack för hjälpen!

Göteborg, juni 2009

Daniel Erdal

För det från MSB erhållna GIS-materialet gäller följande:

*Att mångfaldiga innehållet i den av Räddningsverket/MSB erhållna GIS-filen, helt eller delvis, utan medgivande av Räddningsverket/MSB är förbjudet enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk. Förbudet gäller varje mångfaldigande genom tryck, kopiering och digital bearbetning etc*

För det av Kommunen erhållna kartmaterialet gäller följande:

*Kommunen har upphovsrätt till kartprodukten och kopiering, digitalisering eller avritning av materialet är inte tillåtet. Kartprodukten eller bearbetning därav får ej visas på internet, annat än som pdf-publikation av den fullständiga rapporten. Kartprodukten är inte granskad eller godkänd för spridning av Lantmäteriet.*

Observera vid läsning att alla höjder som används i rapporten är angivna i Lidköpings lokala höjdsystem om ej annat anges. Det lokala höjdsystemet ligger ca 20 cm lägre än Rikets Höjdsystem 1970 (RH70), som är det höjdsystem som oftast används i den för arbetet använda litteraturen.

Copyright © Daniel Erdal och Institutionen för geovetenskaper, Luft- vatten- och landskapslära, Uppsala universitet.

UPTEC W 09 020, ISSN 1401-5765

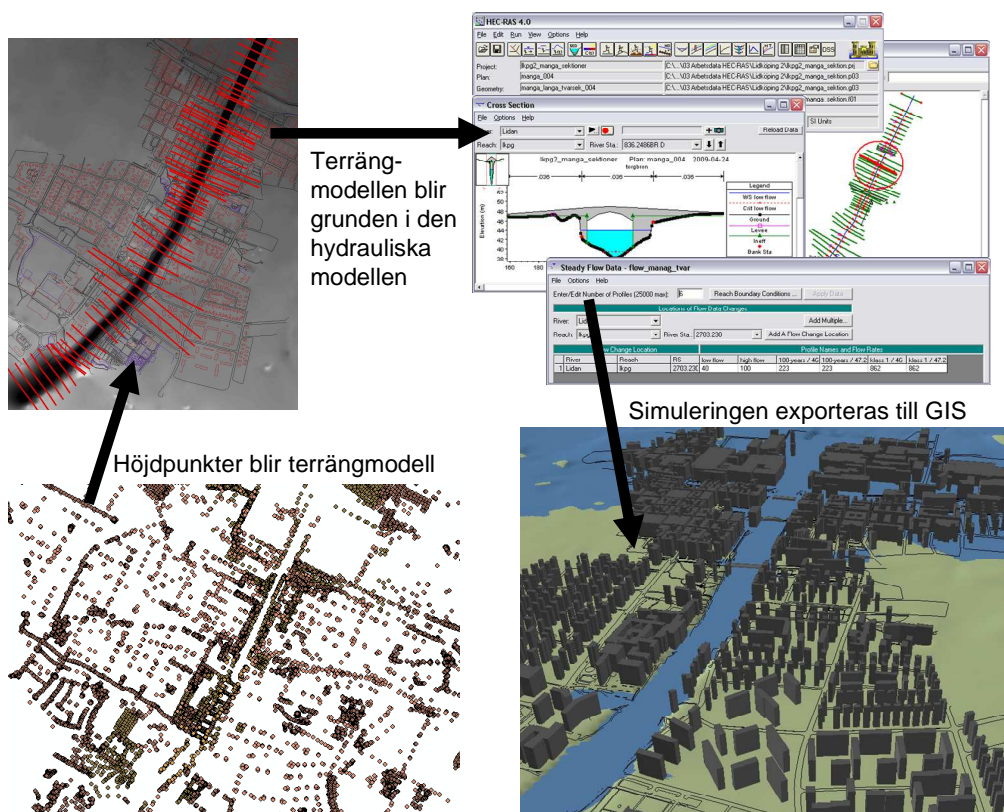
Tryckt hos Institutionen för geovetenskaper, Geotryckeriet, Uppsala universitet, Uppsala 2009

## POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Översvämningar är idag ingenting vi betraktar som konstigt eller ovanligt. Av och till hör vi på nyheterna om städer som ligger under vatten, både utomlands och i Sverige, med kostsamma och ibland även dödliga effekter.

För att förbättra Europas beredskap skapades inom EU översvämningdirektivet som anger att varje land ska kartera sina vattendrag för att identifiera risker. I ett senare skede ska också beredskapsplaner skapas för de utsatta områdena. För Sveriges del är det Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB, före detta Räddningsverket) som leder arbetet, och för att hitta områden i direkt risk planeras att använda översiktliga karteringar som utförts för 61 vattendrag i Sverige sedan 1998. Dessa karteringar är främst avsedda för att ge en indikation på vilka områden som är i riskzonen, och har kritiserats på olika håll för att vara baserade på för grovt underlag och rekommenderade i för dålig skala för att vara användbara. I detta examensarbete har därför en mer detaljerad hydraulisk modell över centrala Lidköping skapats och resultatet jämförts med MSBs översiktliga kartering.

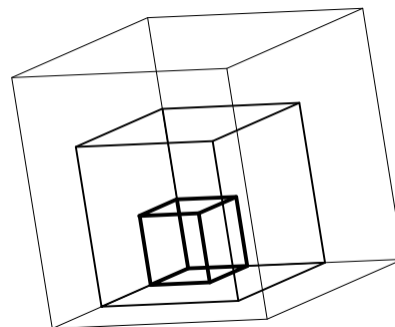
För simuleringen skapades en endimensionell hydraulisk modell i programmet HEC-RAS. Att modellen är endimensionell innebär att flöde endast kan ske i en riktning, nedströms i vattendraget, och att alla strömningar i sidled och höjdlid, t.ex. virvlar, inte finns med i programmet. Grunden för modellen är en så kallad terrängmodell, baserad på kommunens digitala geografiska höjdunderlag och skapad med GIS-programmet ArcMap. Via ett tillbehör till den hydrauliska modellen kan terrängmodellen importeras från GIS, representerad av tvärsnitt av ån.



© Copyright Lidköpings kommun. Kopiering, digitalisering eller avritning av materialet är inte tillåtet

För modellen över Lidan genom Lidköping utgjordes denna representation av 63 sektioner. I den hydrauliska modellen anges sedan för vilka flöden simuleringar ska utföras. Dessa flöden kombinerades med olika nivåer på Vänern för att kunna ge en uppfattning om riskerna för översvämning vid olika scenarier. Från den hydrauliska modellen exporteras sedan resultatet tillbaka till GIS-programmet för att kunna skapa lättillgängliga resultat.

De simulerade flödena valdes till ett medelflöde ( $18 \text{ m}^3/\text{s}$ ), ett flöde med beräknade återkomsttiden på 100 år ( $223 \text{ m}^3/\text{s}$ ) och ett högsta beräknade flöde ( $862 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Att ett flöde har en återkomsttid på 100 år innebär att sannolikheten att det ska inträffa ett visst år är 1 %, medan sannolikheten att det ska inträffa under en 100-årsperiod är 63 %. Det högsta beräknade flödet har ingen bestämd återkomsttid, men storleksordningen är 10 000 år, vilket innebär att det är ca 1 % sannolikhet att det inträffar under en 100-årsperiod. Båda dessa två flöden är tagna från MSBs översiktliga kartering, för vilka de har blivit beräknade med en avrinningsmodell. Att skillnaden mellan de olika flöden är ganska stor visar figuren till höger med en schematisk jämförelse där den minsta kuben motsvarar  $18 \text{ m}^3$  och de två andra 223 och 862.



Resultaten från undersökningen visar att riskerna för översvämning i Lidköping är stor, men att höga flöden i Lidan påverkar stadens översvämningsscenarier ganska lite, då vattennivån i den delen av ån som går genom staden till största delen styrs av vattennivån i Vänern.

Skillnaderna mellan MSBs översiktliga kartering och denna modell är i den av MSB rekommenderade upplösningen ganska små, förutom i de områden där den översiktliga karteringen har kända problem med höjddata. I denna skala är å andra sidan den översiktliga karteringen svår använd för Lidköping som stad, och tittar man närmare på materialet visar sig märkbara skillnader, där den översiktliga karteringen ger översvämningar som troligtvis inte finns. Anledning till dessa skillnader är främst att MSBs modell är baserad på lantmäteriets höjdkarta, som har en rutnätstorlek på  $50 \cdot 50 \text{ m}$  och ett medelfel på 2,5 m, vilket kan ge stora fel, framför allt i ett så pass flackt landskap som det i Lidköping.

För Lidköpings del är alltså MSBs kartering troligen överdriven, vilket skulle kunna leda till att pengar slösas på utredningar och åtgärder som inte behövs. Om ett område istället missas i de översiktliga karteringarna skulle effekterna kunna bli betydligt värre, då kommunen och dess beslutsfattare blir invaggade i en falsk trygghet om att inget kommer att hända. Slutsatsen från detta arbete är alltså att för Lidköpings del är den översiktliga karteringen ganska oanvändbar i rekommenderad skala och ger ganska överskattade översvämningar vid närmare in-zoomning. Hur det än förhåller sig för andra städer som blivit översiktligt karterade borde alltså resultatet tas med försiktighet och om det finns misstankar om att staden kan översvämmas bör en mer detaljerad studie utföras, oavsett vad de översiktliga karteringarna visar.

<b>1.</b>	<b>INLEDNING .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>BAKGRUND .....</b>	<b>2</b>
2.1	LIDKÖPING, LIDAN OCH VÄNERN.....	2
2.2	ÖVERSIKTLIG KARTERING .....	3
2.3	KLIMATFÖRÄNDRING .....	3
2.4	ÖVERSVÄMNINGSDIREKTIVET .....	3
<b>3.</b>	<b>MODELLTEORI.....</b>	<b>4</b>
3.1	ALLMÄNT OM MODELLEN .....	4
3.2	STATIONÄRT FLÖDE .....	4
3.3	BROAR I HEC-RAS.....	6
3.3.1	<i>Generellt upplägg</i> .....	6
3.3.2	<i>Beräkningsprocess vid lågt flöde</i> .....	7
3.3.3	<i>Beräkningsprocess vid högt flöde</i> .....	8
3.3.4	<i>Kontroll av placering av tvärsektioner i anslutning till broar</i> .....	9
3.4	HEC-GEORAS .....	10
<b>4.</b>	<b>MATERIAL OCH METODER.....</b>	<b>11</b>
4.1	PROGRAM.....	11
4.2	DATA .....	11
4.2.1	<i>GIS/Höjddata</i> .....	11
4.2.2	<i>Flöde/PULS</i> .....	12
4.2.3	<i>Lodning</i> .....	12
4.2.4	<i>Från ritningar, ansökningar och bygghandlingar</i> .....	12
4.2.5	<i>Digitalisering</i> .....	12
4.2.6	<i>Fältarbete</i> .....	13
4.3	HÖJDMODELLER.....	13
4.3.1	<i>Linjärinterpolering</i> .....	13
4.3.2	<i>Val av höjdmodell</i> .....	13
4.4	HEC-RAS LIDAN.....	16
4.4.1	<i>Terrängmodell med tvärsektioner</i> .....	16
4.4.2	<i>Broar</i> .....	18
4.4.3	<i>Flödesscenarier</i> .....	20
4.4.4	<i>Mannings tal</i> .....	20
4.4.5	<i>Kalibrering</i> .....	20
<b>5.</b>	<b>RESULTAT .....</b>	<b>21</b>
5.1	KÄNSLIGHETSANALYS .....	21
5.2	ÖVERSVÄMNINGSKARTERING .....	22
5.3	JÄMFÖRELSE MOT RÄDDNINGSVERKETS KARTERING .....	26
<b>6.</b>	<b>DISKUSSION.....</b>	<b>28</b>
6.1	JÄMFÖRELSE MOT DEN ÖVERSIKTLIGA KARTERINGEN.....	28
6.2	ÖVERSVÄMNINGSRISK FÖR LIDKÖPING .....	30
6.3	MODELLENS TROVÄRDIGHET .....	31
<b>7.</b>	<b>SLUTSATSER .....</b>	<b>31</b>
<b>8.</b>	<b>REFERENSER.....</b>	<b>32</b>

## 1. INLEDNING

Översvämningar som naturfenomen förkommer naturligt och kan orsaka stora skador på både miljö och ekonomi, speciellt i ett dåligt förberett område. Med syfte att minska riskerna och göra EU bättre förberett mot översvämningar antogs därför det så kallade översvänningsdirektivet som bland annat säger att tills december 2011 ska alla avrinningsdistrikt i ett land redovisa översiktlig kartering med avseende på översvämningar av sina vattendrag (Översvänningsdirektivet 2007/60/EG). I Sverige har SMHI för dåvarande Räddningsverket, som numera uppgått i Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap (MSB), utfört översiktlig översvänningskartering av 61 vattendrag, och detta föreslås ligga till grund för att enligt föreskrifterna i översvänningsdirektivet identifiera områden där det föreligger översvänningsrisker (Näslund-Landenmark & Widén 2009). För Lidan, som har sitt utlopp i Lidköping vid Vänern, har en sådan kartering gjorts som visar översvänningsrisker i staden (Räddningsverket 2003). Då Lidköpings kommun generellt är mycket skeptisk mot resultatet av karteringen undersökte detta examensarbete översvänningsrisken i Lidköping.

De översiktliga karteringarna är baserade på Lantmäteriets rikstäckande digitala GSD-höjddata som har ett medelfel på 2,5 meter i höjddled och en interpolerad upplösning på 50 meter. Detta medför att en rekommenderad skala på högst 1:50 000 angivits för tolkningen av resultaten av de översiktliga karteringarna (Räddningsverket 2003). Skalan och osäkerheten gör att användbarheten av dessa karteringar starkt kan ifrågasättas, och Brandt (2009) visar liksom Vähäkari (2006) på stora skillnader mellan Räddningsverkets översiktliga modeller och mera detaljerade modeller, främst då området är flackt. En undersökning av Yacoub och Sanner (2006) visar dock på förvånansvärt små skillnader när en översiktlig kartering jämförs mot bättre material. Mot denna bakgrund ställde sig detta examensarbete frågan hur väl de översiktliga karteringarna stämmer överens med mer detaljerade modeller.

Detta examensarbete syftade därför till att utöka kunskapen om de översiktliga karteringarnas användbarhet inom ett urbant område genom att ställa följande frågor:

1. Är en kartering baserad på så grovt underlag som den översiktliga karteringen användbar för att översiktligt bedöma och identifiera risker för Lidköping, i enlighet med kraven i översvänningsdirektivet, inom det urbana området?
2. Vilket beslutsunderlag rörande översvämningar från Lidan går att skapa utifrån kommunens existerande material?

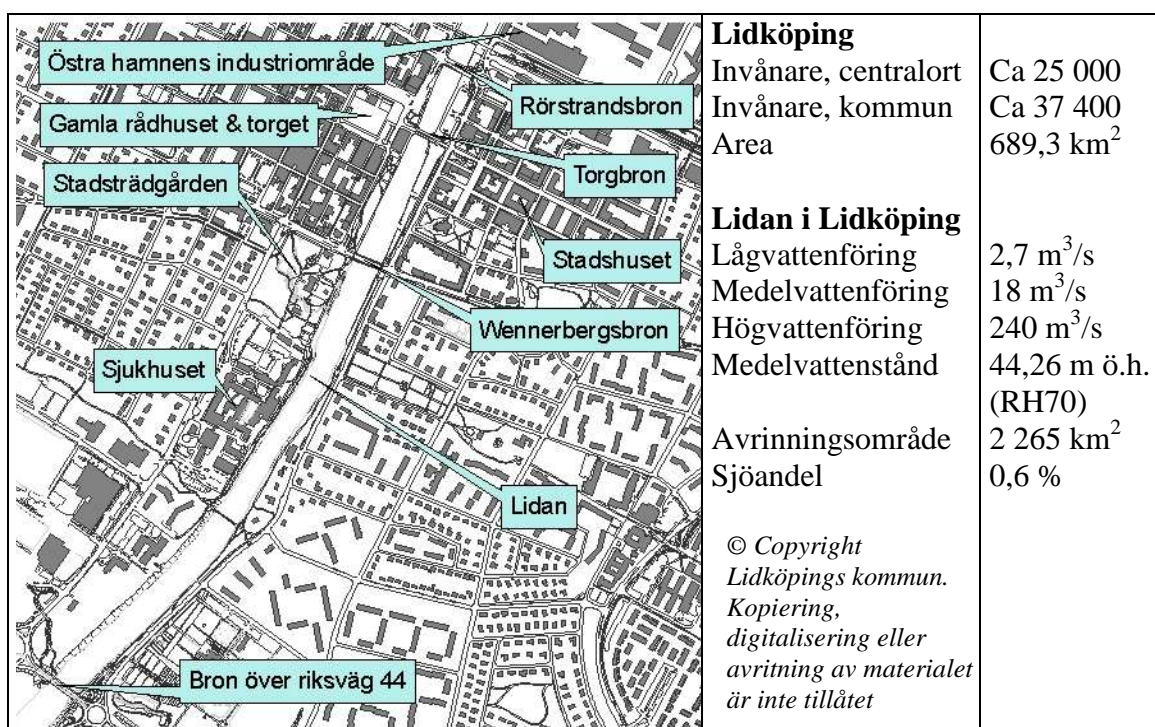
Frågorna besvarades genom att en hydraulisk modell över centrala Lidköping byggdes och flöden liknande de som beräknats i den översiktliga karteringen simulerades tillsammans med nivåer på Vänern liknande de föreslagna i Sårbarhetsutredningen (SOU 2006:94).



## 2. BAKGRUND

### 2.1 LIDKÖPING, LIDAN OCH VÄNERN

Staden Lidköping ligger vid Vänerns södra kust och har ungefär 25 000 invånare (Lidköping 2009). Genom Lidköping flyter ån Lidan, som har sitt utlopp till Vänern i stadens norra del. Figur 1 visar information om både staden och vattendraget och som kan ses varierar flödet kraftigt, vilket beror på den väldigt låga andelen sjöar i avrinningsområdet (Staffas & Sundqvist 1975). Då staden är flack och ligger lågt kan den bli väldigt utsatt vid en översvämning, och under vintern 00/01 när Vänerns nivå enligt Räddningsverket (2003) som mest låg på 45,95 m ö.h. (i höjdsystemet RH70), eller +1,7 m mot normalt medelvattenstånd (Almlöf 1994), skadades både hus och åkermarker i kommunen.



**Figur 1** Grundkarta över Lidköping och information om staden och avrinningsområdet (Lidköping 2009, Almlöf 1994 och Staffas & Sundqvist 1975). En större karta över Lidköping finns även i bilaga 2.

Vattenståndet i Lidan är beroende av vattenståndet i Vänern, som sedan 1937 är en reglerad sjö (Bergström m.fl. 2006). Regleringen sker i kraftverksdammarna i Trollhättan och hur mycket tappning som sker från sjön styrs av kraftverksägaren, Vattenfall AB, och den vattendom som beslutades 1937. Vattendomen för Vänern påverkar översvämningens risk för städerna runt om sjön då den, trots höga nivåer i sjön, inte tillåter tappning över 1030 m<sup>3</sup>/s för att skydda nedströms konstruktioner (SOU 2006:94). Trots detta har kraftverksdammarna och vattendomen lett till att översvämningar är färre och mindre omfattande än innan 1937, och som exempel beräknar Bergström m.fl. (2006) att översvämningen 00/01 skulle ha varit ca 40 cm högre om inte regleringen funnits.

## 2.2 ÖVERSIKTLIG KARTERING

SMHI har på uppdrag av Räddningsverket utfört en översiktlig kartering av översvämningsrisken i Lidan (Räddningsverket 2003). I denna rapport användes lantmäteriets höjdkarta, vilken har ett medelfel i höjddled på ca 2,5 meter. I ett flackt område som Lidköping kan detta innebära stora fel, och rapporten anger att noggrannheten i höjddata i staden på östra sidan om ån är dålig. De översiktliga karteringarna är enligt Räddningsverket inte avsedda att användas i skala finare än 1:50 000. Som flöden beräknades i rapporten 223 m<sup>3</sup>/s till ett flöde med återkomsttiden 100 år och 862 m<sup>3</sup>/s som högsta beräknade flöde enligt Flödeskommitténs riktlinjer för dammdimensionering i riskklass 1 (Räddningsverket 2003). Härfter benämns det första flödet 100-årsflöde och det senare klass 1-flöde. I bilaga 2 visas resultatet av denna kartering.

## 2.3 KLIMATFÖRÄNDRING

Den förväntade klimatförändringen kommer generellt sett att ge lägre flöden och mindre avrinning i Sverige, men i Vänerområdet och på västkusten skulle det troligen innebära det motsatta (Andréasson m.fl. 2007). För SMHIs underlag till sårbarhetsutredningen användes fyra klimatscenarier (två klimatmodeller och två utsläppsscenarier), framtagna på Rossby Centre i Norrköping (Bergström m.fl. 06). De fyra scenarierna visar att vattennivån i Väneren för en dimensionerande nivå (återkomsttid på mer än 10 000 år) kan komma att stiga med 0,1-1,0 meter, samt att dagens 100-årsnivå kan ändras till en återkomsttid på 5-40 år. Inom sårbarhetsutredningen har fokus legat på den genomsnittliga ökningen, för dimensionerande nivå 0,5 m vid seklets slut och en 100-årsnivå blir då en 20-årsnivå (SOU 2006:94).

Innan klimatförändringen är medtagen räknar sårbarhetsutredningen med en 100-årsnivå i Väneren på 45,8-46,5 m ö.h. beroende på vindpåverkan. En dimensionerande nivå är idag 46,2-46,9 beroende på vindpåverkan, men beräknas stiga till 46,7-47,4 till seklets slut (SOU 2006:94). Detta innebär att ingen nybyggnation bör läggas på nivåer lägre än 47,4 m ö.h. I centrala Lidköping innebär en nivå i Väneren på 47,4 att stora delar av norra staden, liksom delar av centrum, ligger under vattenytan redan innan effekter av flödet i Lidan har tagits med i beräkningarna.

## 2.4 ÖVERSVÄMNINGS DIREKTIVET

Under 2007 antogs EUs direktiv om bedömning och hantering av översvämningsrisker, eller översvämningsdirektivet som det vanligen benämns. Direktivet innehåller en detaljerad plan för vad varje land ska göra för att minska risken för översvämnningar. De tre första stegen kan i korthet beskrivas enligt följande (Översvämningsdirektivet 2007/60/EG):

1. Preliminär/översiktlig bedömning av översvämningsrisker. Till detta ska bland annat kartor i lämplig skala produceras för alla avrinningsdistrikt, historiska översvämnningar redogöras för och ekonomiska, topografiska och klimatmässiga aspekter bedömas. Första steget ska vara färdigt 22 december 2011 och som underlag planeras i Sverige att använda de av Räddningsverket beställda översiktliga översvämningskarteringarna (Näslund-Landenmark & Widén 2009).
2. Kartor över översvämningshotade områden och översvämningsrisker vid extrema, medelhögt sannolika och eventuellt även högt sannolika scenarier. Del

två ska vara färdigt 22 december 2013.

3. Planer för hanteringen av översvämningsriskerna, klart 22 december 2015.

För närvarande håller direktivet på att införas i svensk lag, och detta beräknas enligt planerna vara färdigt i november 2009 (Postgård, pers. medd.).

### **3. MODELLTEORI**

För denna sektion av rapporten har HEC-RAS Reference Manual (Brunner 2008b) använts som källa till både bilder och texter om inget annat uppges. Beräkningarna som visas är endast för förståelse av de grundläggande ekvationerna och för en mer ingående beskrivning av modellen hänvisas till manualen.

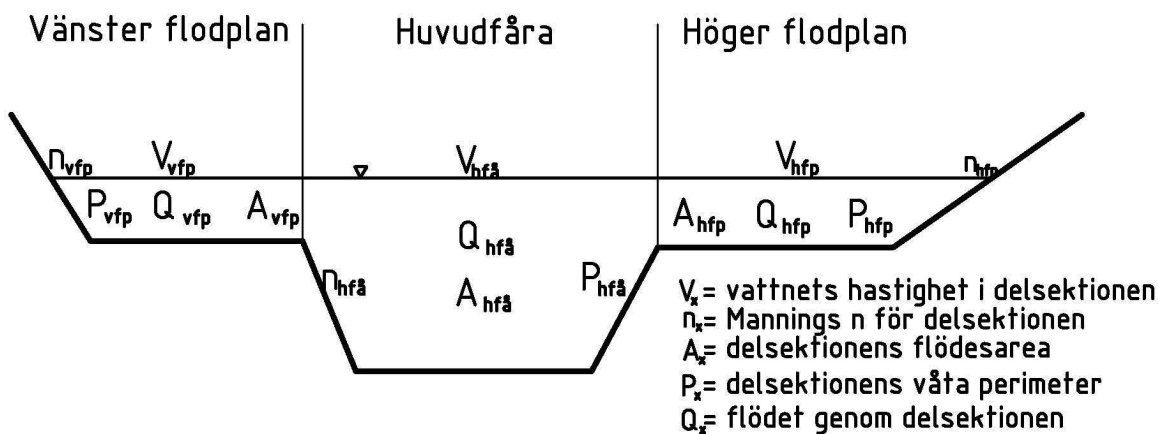
För simuleringarna valdes mellan tre modeller; Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC-RAS) från U.S. Army Corps of Engineers, Mike 11 från DHI Software och SOBEK från Delft Hydraulics. Till följd av saknaden av intern support valdes SOBEK bort. Mike 11 används till de översiktliga karteringarna (ex. Räddningsverket 2003) och av både SMHI (ex. Yacoub & Sanner 2006 och Eklund pers. medd.) och WSP (Stenström, pers. medd.) HEC-RAS är internationellt välkänd och används bl.a. i många olika, och främst stationära, flödessimuleringar (ex. Brandt 2009 och Shahrokhnia & Javan 2005) och även av både SMHI (ex. Eklund 2008 och Eklund pers. med.) och WSP (Stenström, pers. medd.). Då båda modellerna hade varit användbara för det aktuella projektet valdes HEC-RAS eftersom modellen är gratis och lättare att lära sig och använda för enklare modeller.

#### **3.1 ALLMÄNT OM MODELLEN**

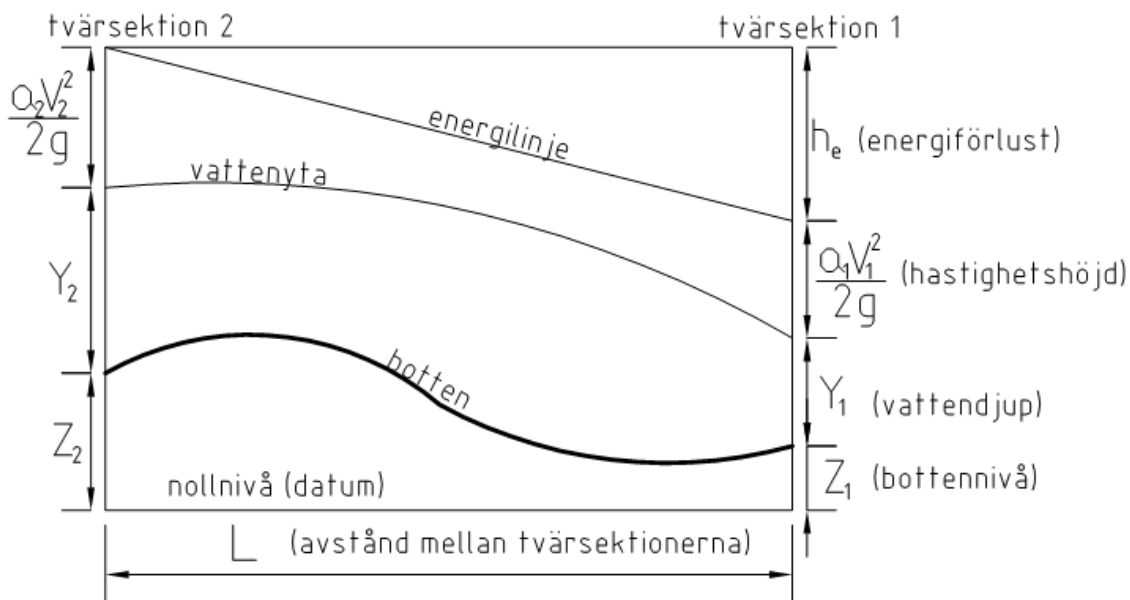
HEC-RAS är en endimensionell modell, vilket innebär att flödet i vattendraget endast beräknas i en riktning (Brunner 2008a). Programmet har rutiner för att beräkna stationärt flöde, variabelt flöde, sedimenttransport och vattenkvalitéanalys. Ett modellprojekt i HEC-RAS är uppbyggt av olika moduler, bestående av flödesdata (där de önskade flödena anges), terrängmodell (i vilken all geografisk information återfinns), plan (vilka moduler som använts i en viss körning) och projekt (sammankopplingen av olika moduler). Detta upplägg gör att det blir hanterbart att utföra och spara olika scenarier, t.ex. olika flöden i samma terrängmodell.

#### **3.2 STATIONÄRT FLÖDE**

Grunden i beräkning av stationärt flöde är lösningen av den endimensionella energiekvationen. Flöde beräknas mellan de olika tvärsektionerna som tillsammans bygger upp terrängmodellen och beräkningen baserar sig på energiförluster mellan tvärsektionerna. Vid stationärt flöde utgörs dessa förluster av friktionsförluster och expansions- eller kontraktionsförluster. Om stora förändringar sker i flödet, t.ex. en övergång från strömmande till stråkande flöde, används i beräkningarna rörelsemängd istället för energi. För mer information om detta hänvisas till manualen. Figur 2 och Figur 3 visar upplägget för lösningen av energiekvationen och förklarar också använda variabler och koefficienter som inte förklaras senare. Observera att ett vattendrag kan ha fler än tre delsektioner, men här visas endast tre då detta är vanligast förekommande.



**Figur 2** Uppdelning av en tvärsektion i tre delsektioner samt beskrivning av delsektionsspecifika parametrar. Mannings tal benämns på svenska även M och har de båda har relationen  $M=1/n$ .



**Figur 3** Illustration av innebörden av olika parametrar använda i HEC-RAS beräkningar av flödet mellan uppströms (2) och nedströms (1) tvärsektion.

Beräkningsprocessen i HEC-RAS arbetar genom att iterativt lösa följande steg för den okända vattenytan  $Y_2$  i den aktuella tvärsektionen (nr 2 i Figur 3).

1. Antag ett värde på den uppströms tvärsektionens vattendjup,  $\hat{Y}_2$
2. Beräkna utifrån  $\hat{Y}_2$  hastighetskoefficienten  $a$  och transportkoefficienten  $K$  (eng. conveyance)

$$a = \frac{Q_{vfp} V_{vfp}^2 + Q_{hfå} V_{hfå}^2 + Q_{hfp} V_{hfp}^2}{Q \bar{V}^2} \quad (1)$$

$$K_{tot} = \sum_{i=vfp, hfå, hfp} \frac{1}{n_i} A_i R_i^{3/4} \quad \text{där } R = \frac{A}{P} \quad (2)$$

3. Från Manning formel ( $v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S_0}$ ) beräknas sedan:

$$\bar{S}_f = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad \text{där} \quad (3)$$

$S_f$  = friktionsförlusterna, som motsvarar lutningen på energilinjén (Figur 3)

4. och vidare

$$h_e = L \bar{S}_f + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right| \quad \text{där} \quad (4)$$

$h_e$  = energiförlusten mellan tvärsektionerna vilken är uppbyggd av friktionsförluster (första termen) och expansions- eller kontraktionsförluster (andra termen).

$C$  = expansions- eller kontraktionskoefficienten (angiven i terrängmodellen).

$C$  står för expansion om  $\frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} > 0$  och kontraktion om  $< 0$

$L$  = det viktade avståndet mellan tvärsektionerna, beräknat från de i terrängmodellen angivna längderna mellan delsektionerna  $L_{vfp}$ ,  $L_{hfä}$  och  $L_{hfp}$ :

$$L = \frac{Q_{vfp} L_{vfp} + Q_{hfä} L_{hfä} + Q_{hfp} L_{hfp}}{Q_{vfp} + Q_{hfä} + Q_{hfp}} \quad (5)$$

5. Efter detta beräknas ett värde på  $Y_2$  genom att energiekvationen löses:

$$Y_2 = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e - Z_2 - \frac{a_2 V_2^2}{2g} \quad (6)$$

6. Slutligen kontrolleras om  $\hat{Y}_2 - Y_2$  är mindre än det tillåtna felet. Annars itereras ett varv till med det nya värdet på  $Y_2$  som startvärde. Standardvärdet för godkänd skillnad är under 0,003 meter.

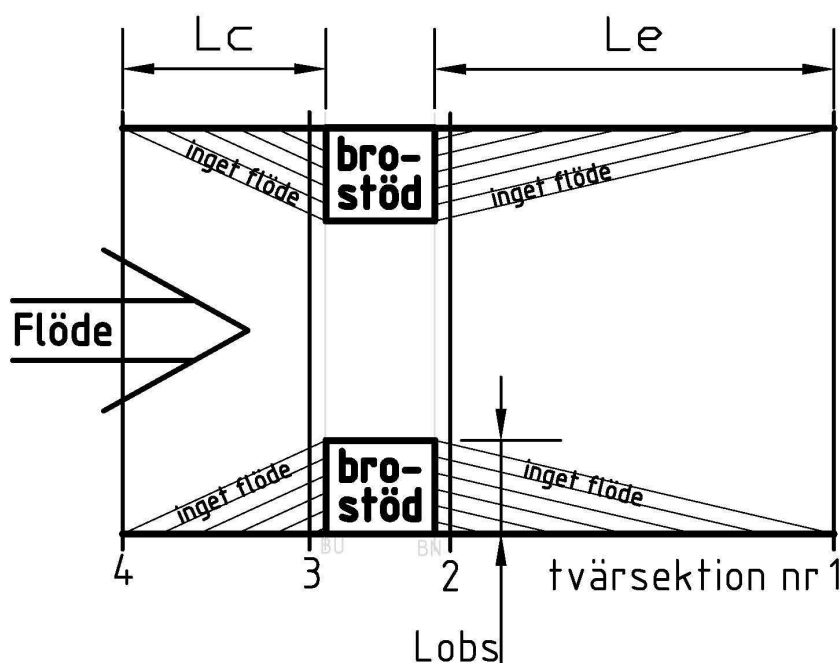
### 3.3 BROAR I HEC-RAS

#### 3.3.1 Generellt upplägg

En bro skapas i HEC-RAS genom att dess attribut, så som geometrisk information och materialegenskaper, läggs till i terrängmodellen. För att kunna modellera en bro måste fyra tvärsektioner definieras, två nära bron (inre tvärsektioner, 2 och 3) och två längre bort (yttre tvärsektioner, 1 och 4) och dessa visas i Figur 4. De inre sektionerna ska ligga så pass nära att inga större förändringar av flödet från bron har hunnit få effekt, medan de två yttre sektionerna ska ligga där expansion/kontraktion relaterad till bron inte har någon effekt. Hur långt ifrån bron dessa tvärsektioner ska ligga beror av brons geometri, flödet, lutningen på botten och förhållandet mellan Mannings tal i huvudfåran och på sidorna. Simuleringen av flödet genom bron blir flödet mellan de två inre sektionerna och en korrekt placering av varje bros fyra tvärsektioner är viktigt för

modellens noggrannhet. Eftersom inget vatten vid normalt flöde transporteras i de yttre delsektionerna (vänster och höger flodplan) av de inre tvärsektionerna (p.g.a. att bronns fundament hindrar detta) är det viktigt att i terrängmodellen tydligt specificera brofästernas utsträckning som områden där inget flöde sker (Figur 4).

HEC-RAS skiljer på två typer av flöden när det gäller broar: lågt och högt flöde. Med högt flöde menas flöden då större delen av brovalven (valbart hur mycket) är vattenfyllda, medan lågt flöde är allt under denna gräns. För varje typ av flöde finns ett antal valbara beräkningsmetoder som på olika sätt hanterar bronns påverkan på vattennivån uppströms och nedströms. De flesta metoder arbetar med expansions-/kontraktionsförluster när vattnet pressas ihop för att gå under bron, samt friktionsförluster mot kanter och brostöd. Kontraktions- och expansionskoefficienterna är ofta ungefär 0,2 steg (ca 50-200 %) högre för en typisk bro än för en gradvis förändring, och skall därför anges som högre när dessa koefficienter specificeras i terrängmodellen.



**Figur 4** Illustration av tvärsektioner runt en bro (1-4), vattnets kompaktion p.g.a. bron, HEC-RAS interpolerade tvärsektioner (BU och BN) samt avstånden till de yttre tvärsektionerna ( $L_c$  och  $L_e$ )

### 3.3.2 Beräkningsprocess vid lågt flöde

Vid beräkning av låga flöden finns för strömmande flöden genom hela bron (klass A-flöden) fyra metoder: Energiekvationen, Rörelsemängdsbalansmetoden, Yarnells ekvation, som är en empirisk metod för broar med stora brostöd, och WSPRO-metoden, utvecklad av amerikanska Federal Highway Administration. För flöden som går från strömmande till stråkande (klass B) och fullständigt stråkande används de två första metoderna. Nedan beskrivs schematiskt hur dessa två metoder fungerar.

### Energiekvationen

Energiekvationen för broar fungerar principiellt på samma sätt som den för öppna vattendrag, beskriven i sektion 3.2. Skillnaderna är att flödesarean minskas till den under bron och den våta perimetern ökas där vattnet är i kontakt med bron.

### Rörelsemängdsbalansmetoden

Metoden består av tre steg:

1. Beräkna en rörelsemängdsbalans mellan den inre nedre tvärsektionen (2) och nederkanten på bron (BN)
2. Samma beräkning mellan nedre (BN) och övre (BU) kanten på bron
3. Samma beräkning mellan överkanten på bron (BU) och den övre inre tvärsektionen (3)

De ekvationer som HEC-RAS använder för att lösa rörelsemängdsberäkningar är beskrivet översiktligt i bilaga 1, och en detaljerad beskrivning finns i Brunner (2008b) på sidorna 5-12 och 5-13. För att kunna använda rörelsemängdsbalansmetoden behövs en koefficient som anger det motstånd som brofästena utgör mot flödet,  $C_d$ . Typiska koefficienter för detta finns i litteraturen.

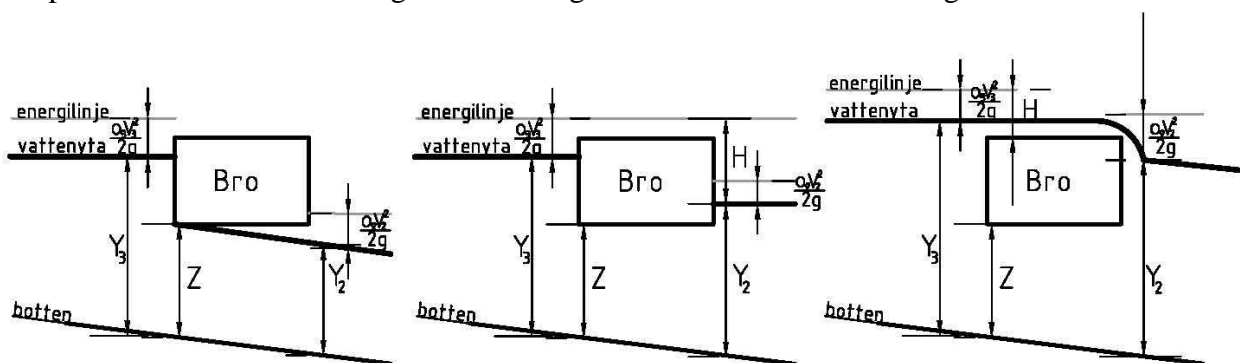
### 3.3.3 Beräkningsprocess vid högt flöde

Då brovalvet är översvämmat, d.v.s. då vattenytan når upp till valvets högsta punkt, byter HEC-RAS beräkningsprocesser. För högt flöde finns tre olika beräkningsmetoder:

- energimetoden
- tryckflödesmetoden
- mätöverfallsmetoden (fritt översatt från engelskans Weir Flow Method)

För energimetoden gäller samma som vid lågvatten, nämligen att flödet behandlas som flöde i öppet vatten, men kontaktytorna i bro och brovalv läggs till den våta perimetern.

Tryckflödesmetoden används för den del av vattnet som flödar genom brovalvet och delas in i två delar: när vattenytan nedströms bron är över respektive under högsta punkten i brovalvet. Detta ger sammanlagt tre olika fall som visas i Figur 5.



**Figur 5** De tre olika fallen som kan inträffa vid högt flöde: vatten över brovalv uppströms men inte nedströms (vänster), vatten över båda valven men inte över brokrönet (mitten) samt helt översvämmad bro (höger).

För det första fallet beräknas flödet genom broöppningen med följande ekvation som beskriver flöde i en dammöppning:

$$Q = C_d A_{BU} \sqrt{2g} \left[ Y_3 - \frac{Z}{2} + \frac{a_3 V_3^2}{2g} \right]^{1/2} \quad \text{där} \quad (7)$$

Q = flöde genom bron

$A_{BU}$  = broöppningsarea uppströms

$Y_3$  = hydrauliskt djup vid inre övre tvärsektionen (nr 3 i Figur 4)

Z = vertikalt avstånd mellan botten och högsta punkt i brovalvet

$aV^2/2g$  = hastighetshöjd

$C_d$  = tryckflödeskoefficient, uppskattas i relation till Y/Z och ligger i intervallet 0,27 till 0,5, med 0,5 som det vanligaste värdet.

Om vattennivån även övergår det nedre brovalvet används istället:

$$Q = CA\sqrt{2gH} \quad \text{där} \quad (8)$$

C = flödeskoefficient för fullt dränkt tryckflöde som varierar mellan 0,7 till 0,9 men oftast används som 0,8. Denna koefficient anges av användaren vid skapandet av modellen.

H = skillnaden mellan uppströms energilinje och nedströms vattenyta

A = arean av broöppningen

Då tryckflödet beräknar vatten genom broöppningen används istället mätöverfallsmetoden för att räkna ut flödet över bron (helt översvämmad bro i Figur 5). Följande ekvation beskriver detta flöde:

$$Q_{\text{över}} = CLH^{\frac{3}{2}} \quad \text{där} \quad (9)$$

$Q_{\text{över}}$  = totala flödet över bron

C = mätöverfallskoefficient

L = bronns längd

H = avståndet mellan brokrönet och uppströms energilinjen

### 3.3.4 Kontroll av placering av tvärsektioner i anslutning till broar

Hunt & Brunner (1995) föreslår i sin utförliga rapport om modellering av broar i HEC-RAS följande två empiriskt framtagna ekvationer som kan användas för att beräkna avståndet från brokant till de två yttre tvärsektionerna (Figur 4).

$$L_e = -90,8 + 78,3 \left( \frac{F_{c2}}{F_{c1}} \right) + 0,918 \bar{L}_{obs} + 0,0516Q \quad (10)$$

$$L_c = -80,2 + 11,8 \left( \frac{F_{c2}}{F_{c1}} \right) + 78,3 \left( \frac{Q_{ob}}{Q} \right)^2 - 17,9 \sqrt{\frac{n_{ob}}{n_c}} + 0,161 \bar{L}_{obs} \quad (11)$$

$L_e$  = expansionsområdeslängd (m)

$L_c$  = kontraktionsområdeslängd (m)

$F_{c1}$  = Froudes tal för tvärsektionen mest nedströms (tvärsektion nr 1)

$F_{c2}$  = Froudes tal för den nedströms tvärsektionen närmast bron (tvärsektion nr 2)



$L_{obs}$  = medelvärde av blockering som bron utgör i vattendraget (m)

$Q$  = flöde i hela vattendraget ( $m^3/s$ )

$Q_{ob}$  = flöde i de två kantsektionerna ( $m^3/s$ ) vid tvärsektion nr 4

$n_c$  = Mannings  $n$  för huvudfåran

$n_{ob}$  = Mannings  $n$  för kantsektionerna

Ekvationerna ovan har störst säkerhet för vattendrag som är ca 300 meter breda (inklusive flodplan), med broöppningar på mellan 30-150 meter och med flöde i området runt 150-850  $m^3/s$ . Om vattendraget är mindre än detta rekommenderas istället att följande ekvationer används:

$$\frac{L_e}{L_{obs}} = 0,421 + 0,485 \left( \frac{F_{c2}}{F_{c1}} \right) + 0,000636Q \quad (12)$$

$$\frac{L_c}{L_{obs}} = 1,4 - 0,333 \left( \frac{F_{c2}}{F_{c1}} \right) + 1,86 \left( \frac{Q_{ob}}{Q} \right)^2 - 0,19 \sqrt{\frac{n_{ob}}{n_c}} \quad (13)$$

Från samma studie (Hunt & Brunner 1995) finns även förslag på hur expansions- och kontraktionskoefficienterna för broar kan uppskattas. Traditionellt sätts dessa till 0,5 respektive 0,3 men detta ger enligt studien oftast en kraftig överskattning av energiförlusterna. Följande ekvation föreslås för expansionskoefficienten:

$$C_e = -0,09 + 0,570 \left( \frac{D_{ob}}{D_c} \right) + 0,075 \left( \frac{F_{c2}}{F_{c1}} \right) \quad (14)$$

$D_{ob}$  = hydrauliskt djup för kantsektionerna vid tvärsektion nr 1

$D_c$  = hydrauliskt djup i huvudfåran vid tvärsektion nr 1

För kontraktionskoefficienten framkom inget entydigt svar utan de flesta undersökta broar låg runt 0,1 i värde. Rekommendationen blev därför att värden mellan 0,1 och 0,5 är lämpliga.

### 3.4 HEC-GeoRAS

HEC-GeoRAS är, liksom HEC-RAS, utvecklad av U.S. Army Corps of Engineers och är ett tillägg till ArcMap som möjliggör export av geografisk information från detta program samt import av simuleringsresultaten. HEC-GeoRAS är kapabelt att exportera allt som behövs i en terrängmodell, men broar och liknande strukturer behöver alltid efterarbetas eftersom det är omöjligt att representera både toppen på bron, brovalv och bottenprofil i en exportfil. Vid inläsning av resultaten från en simulering tillbaka till ArcMap kan både en vattenyta och en översvänningskarta skapas, både som TIN och raster, om tvärsektionerna ligger korrekt (Ackerman 2005).

## 4. MATERIAL OCH METODER

### 4.1 PROGRAM

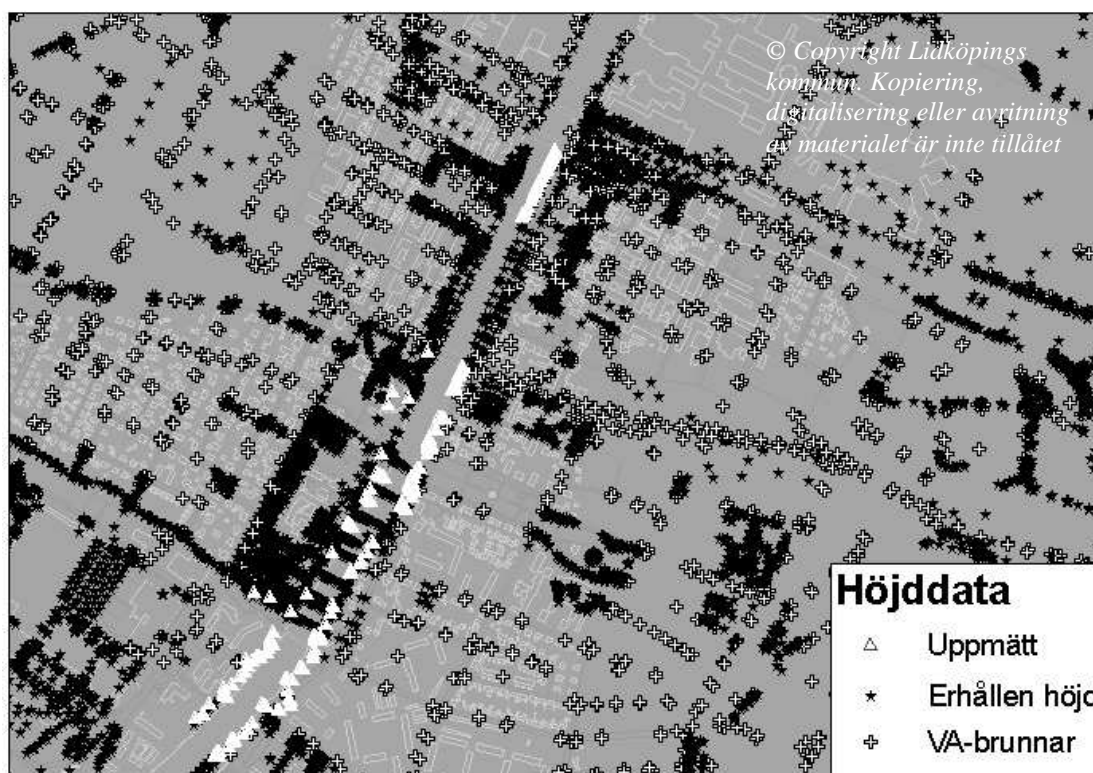
För skapandet av höjdmodellerna användes en kombination av AutoCAD 3D Map 2008 från Autodesk, och ArcGIS 9.3 paketet (ArcMap, ArcCatalog och ArcScene) från Environmental Systems Research Institute (ESRI). AutoCAD användes för digitaliseringsarbetet med de lodade sektionerna, medan övrigt arbete med geografisk data utfördes i ArcMap. Då AutoCAD inte utan konvertering kan arbeta med ArcGIS-filer, medan det däremot fungerar tvärtom, var kopplingen mellan de två programmen oftast enkelsidig, så de lager som skapades i AutoCAD användes i ArcMap. Förutom de uppräknade ArcGIS-programmen användes även tilläggen 3D Analyst, Spatial Analyst och HEC-geoRAS (se 3.4). Simuleringarna utfördes som tidigare beskrivits i HEC-RAS och resultaten analyserades med ArcGIS.

### 4.2 DATA

Data som användes i detta arbete delades in i tre kategorier: digitalt underlag erhållet från Lidköpings kommun, underlag som digitaliserats från rapporter och ritningar och höjddata som uppmätts under fältmätningar.

#### 4.2.1 GIS/Höjddata

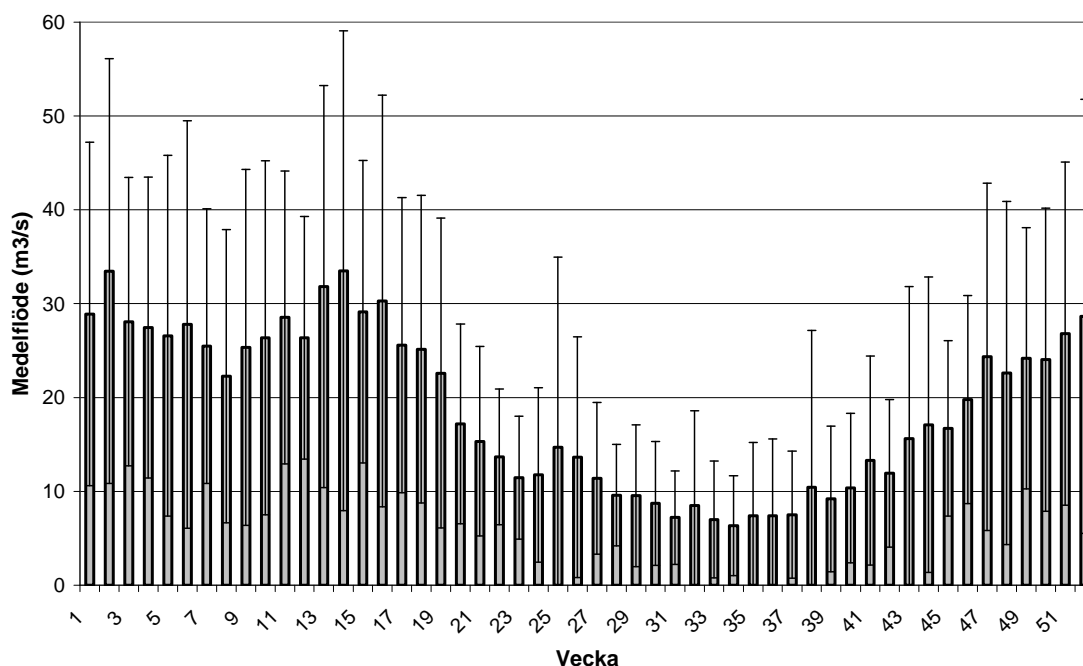
Erhållet underlag bestod av höjdmätningar på ca 15 000 punkter samt inmätningar av ca 2 300 VA-brunnar. I höjddata finns också lodade sektioner runt lasaretsområdet inlagda. När dessa sektioner lodats är okänt, men arbetet måste ha skett efter 1990 eftersom den tryckbank som då lades dit finns representerad. Data finns original i två format: Mapinfo (MIF) och ArcGIS (shapefile), och en kombination av de båda datauppsättningarna skapades (Figur 6).



**Figur 6** Distributionen av de olika typerna av höjdpunkter i centrala Lidköping. I Lidan syns också de av kommunen lodade tvärsektionerna (jfr Figur 1).

#### 4.2.2 Flöde/PULS

Från 1983 till 2003 finns simulerade flödesserier med veckomedelvärden, gjorda av SMHI för den punkt där Lidan korsas av riksväg 44 (se Figur 1). Simuleringarna är gjorda med SMHIs HBV-modell baserad på mätningar i fyra stationer uppströms i avrinningsområdet, nederbördsdata och geografisk information om området. Denna information, tillsammans med SMHI/Räddningsverkets uppskattning av extremflöden som behövs i enighet med översvämningdirektivet, har använts som indata till simuleringarna. Figur 7 visar ett medelvärde för varje vecka i de 20 åren. Från figuren syns att de två för simuleringen intressanta flödena (223 och 862 m<sup>3</sup>/s) ligger mycket över de normala värdena, vilket är helt i sin ordning då de är extrema flöden.



Figur 7 Veckovisa medelflöden och standardavvikelser för åren 1983-2003.

#### 4.2.3 Lodning

I samband med geotekniska undersökningar mellan 1990 och 1999 utförde dåvarande Mätkontoret lodningar av ett antal tvärsektioner i Lidan. Sektionerna återfinns i rapporterna Ottosson & Hermansson (1991a-c) och Andersson (1999) från SGI, och vissa är också införda i kommunens kartmaterial (se vidare Figur 6). De användbara tvärsektioner som inte var införda digitaliserades manuellt. Vid sjukhuset ligger sedan mitten på 90-talet en tryckbank, och denna är representerad i det erhållna underlaget.

#### 4.2.4 Från ritningar, ansökningar och bygghandlingar

Till Rörstrandsbron, Torgbron, Wennerbergsbron och bron på riksväg 44 finns ritningar, bygghandlingar och/eller ansökningshandlingar. Från dessa källor användes både information om broarnas geometri och om tvärsektioner i anslutning till broarna.

#### 4.2.5 Digitalisering

Från ritningar och bygghandlingar till de fyra broarna, samt från SGIs stabilitetsundersökningar hämtades information om tvärsektioner i ån. Dessa sektioner, nio till antalet, digitaliserades med AutoCAD. Källmaterialet har en tidsvariation på ca

50 år, där det framförallt är vissa ritningar som är daterade till 1950-talet. Eftersom modernare information inte finns att tillgå, användes alla dessa sektioner i originalskick.

#### **4.2.6 Fältarbete**

Under två dagar i fält mättes ca 200 höjdpunkter upp på platser med få mätningar, med en noggrannhet på ca 2 cm (Figur 6). Då mätningen skedde i höjdsystemet RH70 men kommunen använder ett lokalt system, har inmätta punkter sänkts 20 cm. Detta innebär att noggrannheten på 2 cm troligen blivit försämrad.

### **4.3 HÖJDMODELLER**

Alla höjdmodeller som använts skapades i ArcMap. För att få en tillräckligt detaljerad upplösning i åfåran användes en rutstorlek på 1 meter för rastermodellerna. Detta gav tillräcklig upplösning för att kunna återge detaljer så som kajkanter, utan att behöva skapa för stora filer.

#### **4.3.1 Linjärinterpolering**

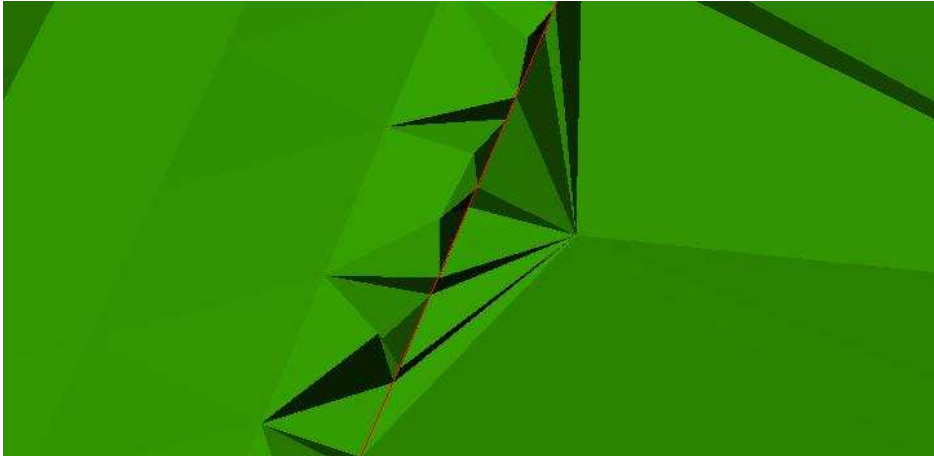
Då det intressanta området i höjdmodellen var ån, och denna representeras av tvärsektioner som är långt åtskilda i rummet jämfört med övriga höjddatapunkterna, lades linjära interpolationslinjer ut mellan vissa tvärsektioner. Detta resulterade i att höjdmodellen bättre kunde representera ån, som annars lätt skulle ha försvunnit som enstaka lågpunkter i terrängen. På samma sätt skapades även interpolationslinjer för toppen och botten på de lodräta kajerna. Alla skapade interpolationslinjer delades sedan upp i punkter innan höjdmodellen skapades.

#### **4.3.2 Val av höjdmodell**

Eftersom höjddatapunkterna var ojämnt fördelade över studieområdet var valet av interpolationsalgoritm viktigt. Då kajerna i vattendraget måste vara representerade som nästan lodräta behövdes en algoritm som kunde hantera kanter på ett acceptabelt sätt. Baserat på dessa kriterier valdes tre rasterbaserade metoder tillsammans med TIN ut för att utvärderas. I figurerna 10, 11 och 12 visas samma område för att underlätta jämförelsen, men mer avvikande strukturer återfanns för alla algoritmer.

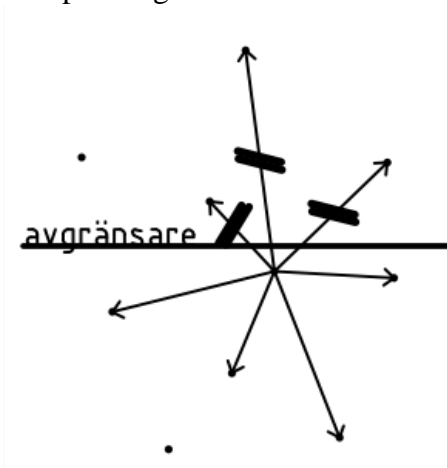
*Triangular Irregular Networks* (TIN) kan schematiskt beskrivas som en yta skapad genom att binda ihop höjdpunkter så att de bildar trianglar av olika storlek och lutning. Denna typ av terrängmodell har fördelen att den tar mycket mindre plats att spara än ett raster och att inget val behöver göras för upplösningen, då den beror på punkttätheten och alltså kan variera med terrängen.

För de tillgängliga data, där hög punkttäthet inte nödvändigtvis motsvarar stora förändringar i terrängen, utan mer kommunens behov av mätningar på platsen, visade sig TIN inte vara någon praktiskt metod. Figur 8 visar hur kajkanterna blir representerade då trianglarna skapar felaktiga ytor vid de i verkligheten lodräta kanten. Troligen kan TIN vara en användbar metod även för detta dataset, men metoden kräver då mycket arbete med att begränsa vissa trianglars utbredning samt skapa flera linjärinterpoleringslinjer.



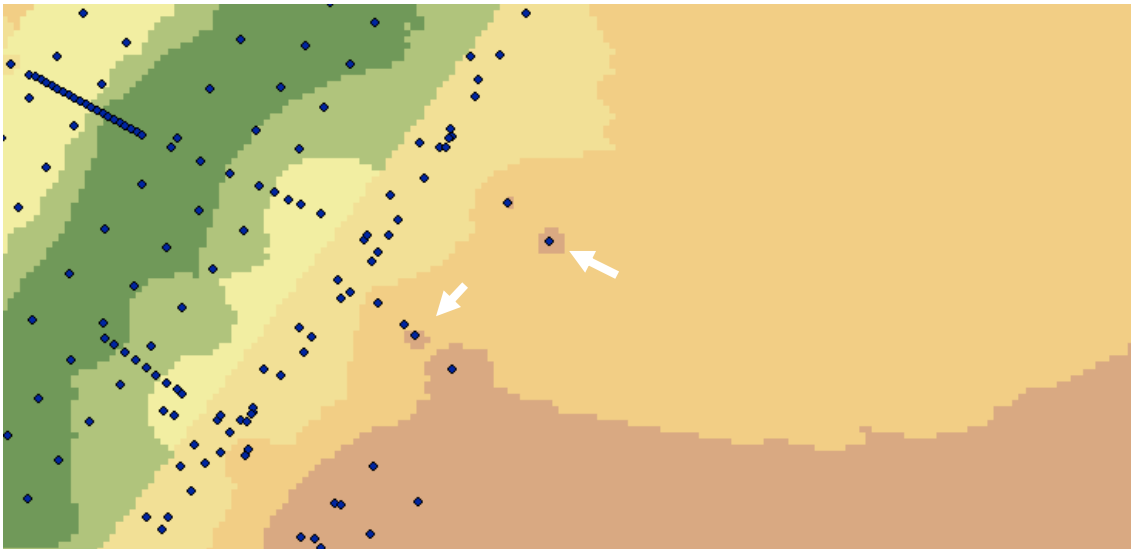
**Figur 8** En lodrät kant blir till underliga trianglar då för få punkter finns för att använda TIN.

*Inverse distance weighting* (IDW) bestämmer, som namnet antyder, en cells värde genom värdet hos datapunkterna inom ett visst område, och större tyngd ges åt datapunkter nära cellen. Denna metod kan även hantera avgränsare (eng. barriers), över vilka ingen sökning sker (Figur 9). Avgränsare som motsvarade kajerna användes vid interpolering med denna metod.



**Figur 9** Schematisk beskrivning av innebörden av en avgränsare vid rasterinterpolering. De överstrukna linjerna kommer inte att beaktas i beräkningen av värdet för cellen i fråga.

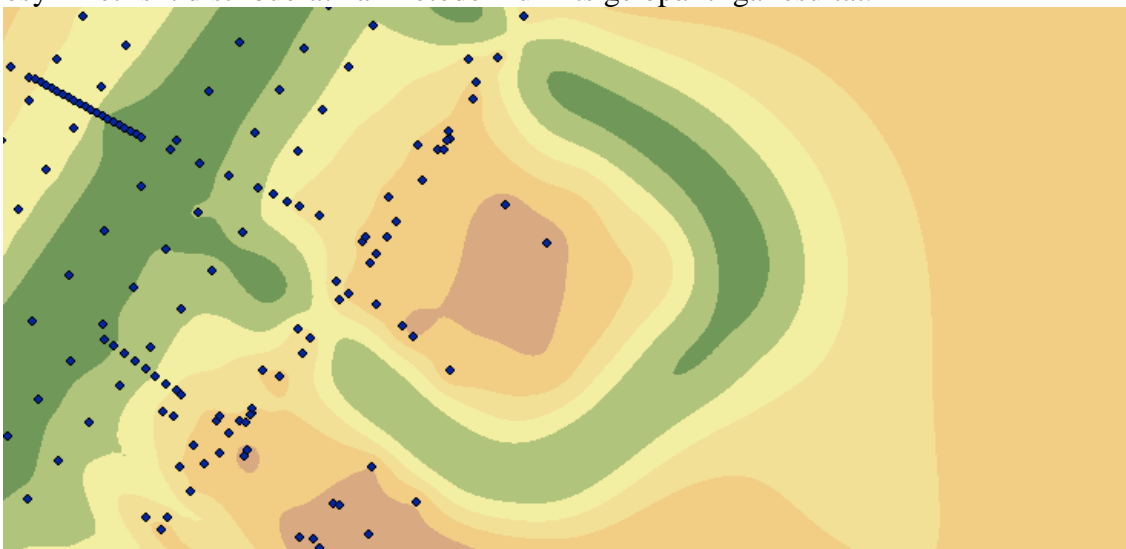
Resultatet från interpoleringen motsvarade inte uppfattningen av verkligheten. Liksom de flesta rasterinterpoleringsalgoritmer lämpar sig inte IDW för urbana miljöer med mycket plana och kantiga ytor då den gärna skapar runda former och lokala extrempunkter. Figur 10 visar tydligt punkter som borde ha varit sammankopplade, men istället blir ensamma höjder.



**Figur 10** Konstig tolkning i IDW algoritmen: de två markerade punkterna borde ha varit hopbundna istället för att bli enskilda höjder i terrängmodellen.

*Topo to Raster* (TtR) har en algoritm som i beskrivningen sägs göra en ”hydrologiskt korrekt interpolation”. Som indata kan metoden hantera punkthöjder och konturlinjer, som tillsammans med avgränsningar (boundary) och vattendragskaraktistiker (stream line, lake, sink) utgör basen för interpolationen. För det aktuella fallet användes en å-linje tillsammans med avgränsande kajer och höjddata i form av punkter.

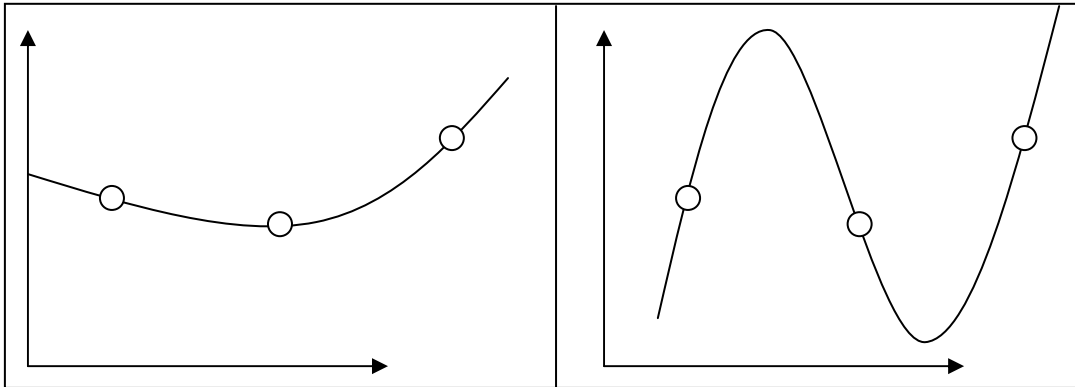
Resultatet från interpoleringen är utseendemässigt väldigt tilltalande, med mjuka former och tydligt sammanhängande höjder/sänkor (jfr IDW). Algoritmen har dock skapat mycket underliga och icke existerande biflöden till ån. Framst där åkanten sjunker något kan detta ge upphov till stora sänkor i terrängmodellen (Figur 11). I en liknande studie (Eklund 2008) användes uteslutande denna metod, men då data i detta fall är osymmetriskt distribuerat har metoden funnits ge opålitliga resultat.



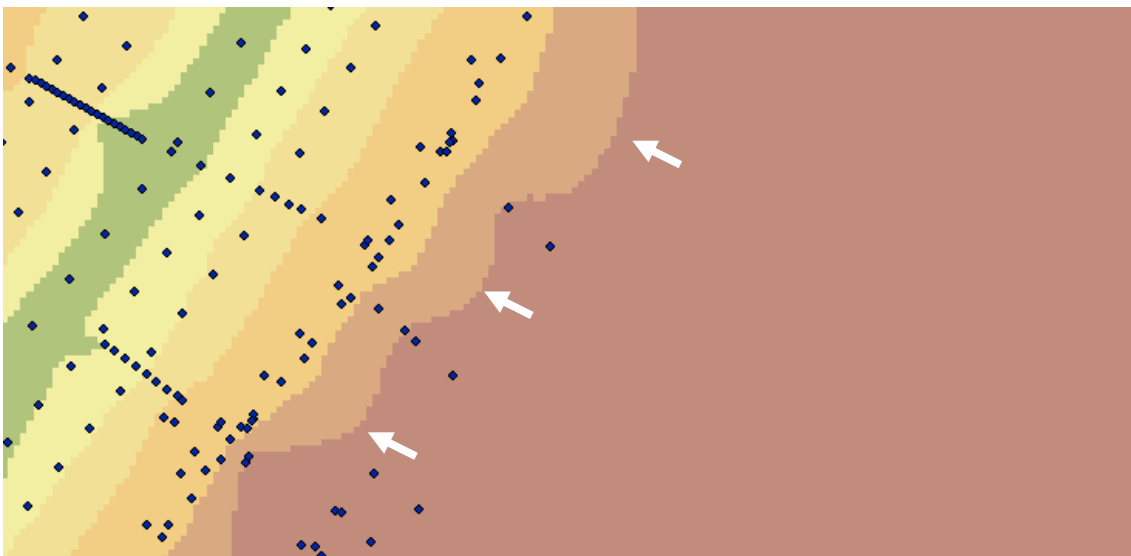
**Figur 11** Icke existerande biflöde (grön halvcirkel) skapad av TtR algoritmen.

*Splines with Barriers* (SwB) är baserad på interpolationsalgoritmen Spline som skapar en yta som måste gå exakt genom alla punkter och som minimerar lutningen mellan punkterna. Splines with Barriers fungerar på samma sätt men innehåller också avgränsningar som markerar att det finns abrupta avbrott i terrängen som ska tas hänsyn

till. Risken med att använda SwB är att istället för att enskilda mätpunkter blir max/min i terrängen (se t.ex. IDW) så kan området mellan punkterna drabbas av en kurveffekt som skapar terrängvariationer som inte finns. Figur 12 visar ett schematiskt exempel på hur detta kan inträffa i två dimensioner. Principen är densamma för SwB men istället för en kurva som ska anpassas till punkterna är det ett plan. Vid interpoleringen användes punktdata och kajer som avgränsare och resultatet visas i Figur 13.



**Figur 12** Både den högra och den vänstra kurvan går igenom alla punkter, men deras utseende är väldigt olika. Risken i SwB är att verkligheten ser ut som vänstra bilden medan modellen interpolerar som den högra.



**Figur 13** SwB interpolation av höjddata med tydliga kurvor.

Resultatet från interpoleringen med SwB var det som visuellt bäst representerade verkligheten, även om denna interpolation också skapade vissa avvikande strukturer. Till följd av resultaten ovan valdes SwB som interpolationsmetod för projektet.

#### 4.4 HEC-RAS LIDAN

##### 4.4.1 Terrängmodell med tvärsektioner

Utgående från en exportfil från HEC-geoRAS (se 3.4) skapades grunden för HEC-RAS Lidans terrängmodell. Den information som saknades eller inte kunde skapas i GIS-miljö, t.ex. broar, skapades manuellt i HEC-RAS grafiska editor.

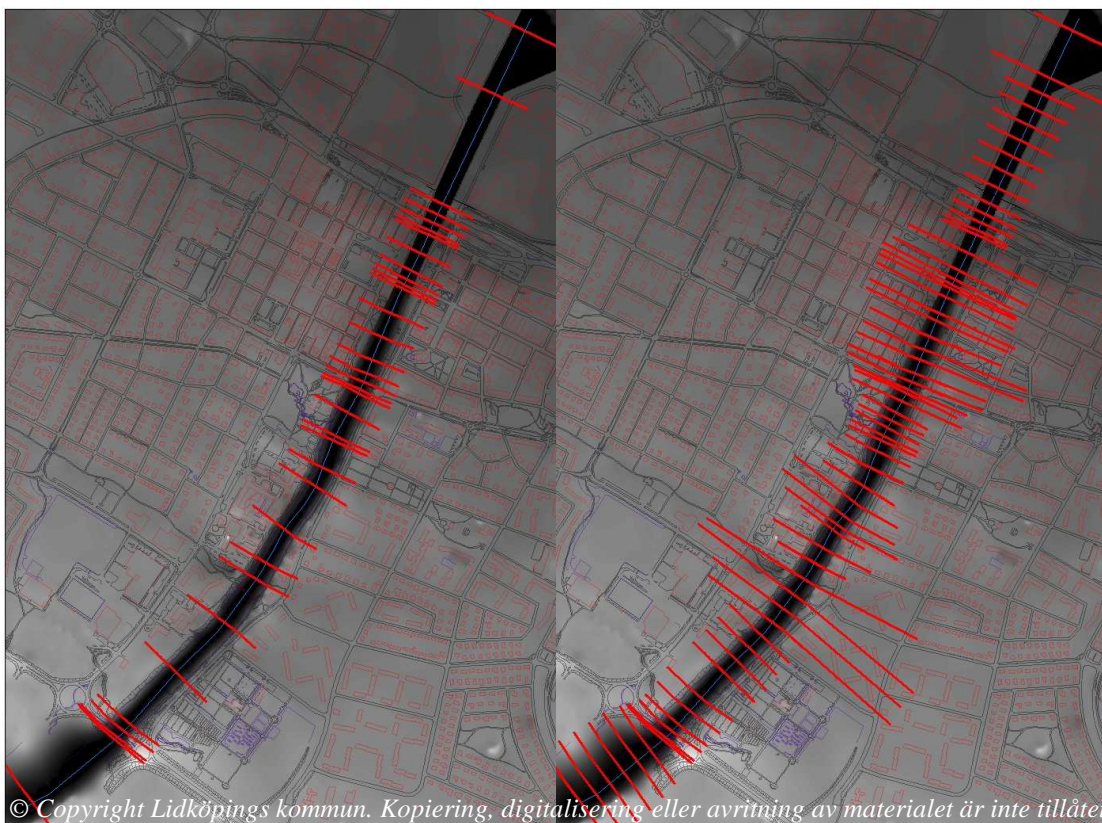
Tvärsektionerna lades från början upp på sådant sätt att de alla hade ungefär samma bredd (ca 200-250 meter) och representerade ån på ett bra sätt. Detta resulterade i grundmodellen som hade 34 tvärsektioner och stäckte sig från strax söder om bron på väg 44 fram till där ån vidgar sig vid industrihamnen (se Figur 1 och Figur 6). Tvärsektionerna placerades så att förändringar i ån var väl representerade, samt att broarna hade de tvärsektioner som de behövde, placerade på korrekta platser.

Baserat på förändringar i tvärsektionerna skapades tre olika terrängmodeller, alla baserade på samma höjdmodell.

*Modell 1* – en modell baserad på rasterhöjdmodellen. Använder restriktiva (men möjliga) värden för både Mannings tal och friktionsförluster i broarna. Modell 1 är den modell som ovan benämns som grundmodellen.

*Modell 2* – en modell med fler och längre tvärsektioner. Grundar sig på samma uppställning som grundmodellen, men har fler och ofta längre tvärsektioner importerade från GIS. Denna modell skapades efter inledande testkörningar och har en betydligt mer skräddarsydd uppsättning av tvärsektioner. I Figur 14 visas en översikt över terrängmodell 1 och 2 för jämförande.

*Modell 3* – en modell med varierande Mannings tal. För att skapa en uppfattning om inverkan av valet av Mannings tal skapades även en modell där detta tal varierar beroende på terrängen (se mer nedan). I övrigt är modell 3 identisk med modell 2.



**Figur 14** Upplägg av tvärsektioner i grundmodellen (vänster) och modellen med många och skräddarsydda tvärsektioner (höger).



#### 4.4.2 Broar

Över den studerade delen av ån går 6 broar. Utav dessa har 4 tagits med i modellen (Figur 15), 1 utelämnats (gångbron) och en modellerats som ett ensamt stöd i vattnet (järnvägsbron). Utav de 4 tvärsnitt som behövs för att modellera en bro i HEC-RAS (Figur 4) placerades de två inre 3 meter från bron. De yttre tvärsnitten placerades i förhållande till bronns möjlighet att blockera flöde ( $L_{obs}$ ) och förhållandet 1:1 för uppströms tvärsnitt (nr 4) och 1:4 för nedströms tvärsnitt (nr 1) användes som riktmärke. Enligt Hunt & Brunner (1995) ger dessa förhållanden en överdriven energiförlust. Ett initialt värde på 15 meter uppströms och 30 meter nedströms valdes. Dessa värden kontrollerades med hjälp av ekvationerna 10-13 och eftersom ekvationerna har ett beräknat fel på +/- 29 m (Hunt & Brunner 1995) och eftersom Lidan troligen är att räkna som ett mindre vattendrag har inga tvärsnitt flyttats (Tabell 1).

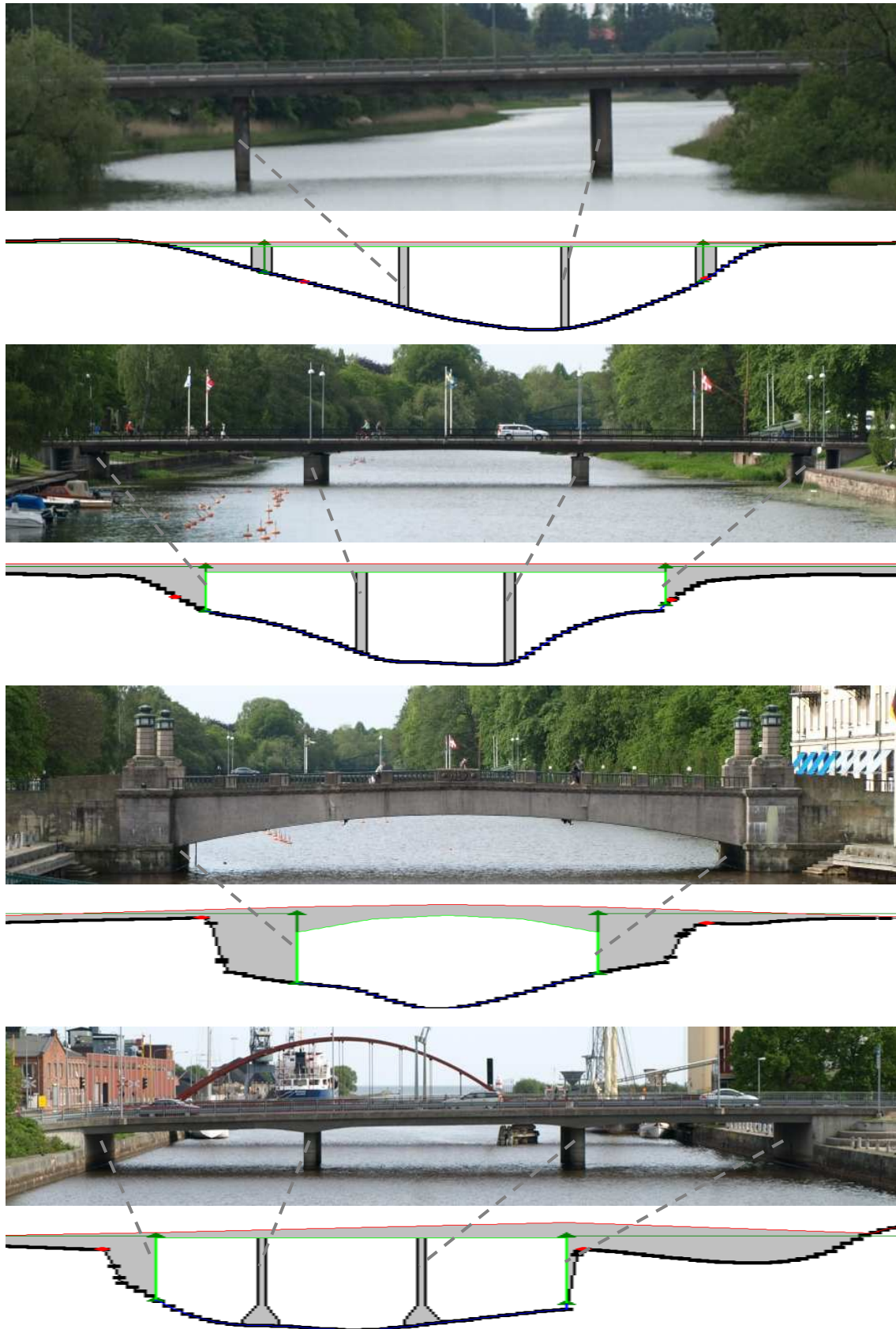
**Tabell 1** Data och resultat för kontroll av tvärsnittens placering. Översta delen innehåller data från simuleringen, andra delen beräkningar av  $L_c$  och  $L_e$  med ekvation 10 och 11 och nedersta delen beräkningar med ekvation 12 och 13. I tabellen används termen "L<sub>x</sub> ok?" med betydelsen att nej innebär att det beräknade värdet ligger utanför felmarginalintervall medan ja innebär att värdet ligger inom intervallet.

<i>Data från simulering</i>									
	Q (m <sup>3</sup> /s)	$L_e$ (använt)	$L_c$ (använt)	$F_{c2}$	$F_{c1}$	$L_{obs}$ (m)	$Q_{ob}$ (m <sup>3</sup> /s)	$n_{ob}$	$n_c$
Torgbron	862	30	15	0,50	0,36	20	3,0	0,04	0,04
Wennerbergs-bron	862	30	15	0,29	0,27	20	18,1	0,04	0,04
Rörstrandsbron	862	30	15	0,31	0,25	40	31,8	0,04	0,04
Bron över 44an	862	30	15	0,24	0,27	20	21,1	0,04	0,04

<i>Originalekvationer</i>								
	$L_e$ (beräknat)	$L_e$ (min)	$L_e$ (max)	$L_e$ ok?	$L_c$ (beräknat)	$L_c$ (min)	$L_c$ (max)	$L_c$ ok?
Torgbron	80,79	51,53	110,05	Nej	-78,49	-49,23	-107,75	Nej
Wennerbergs-bron	56,14	26,88	85,40	Ja	-82,17	-52,91	-111,43	Nej
Rörstrandsbron	87,49	58,23	116,75	Nej	-76,92	-47,66	-106,18	Nej
Bron över 44an	41,64	12,38	70,90	Ja	-84,34	-55,08	-113,60	Nej

<i>Mindre vattendrag</i>								
	$L_e$ (beräknat)	$L_e$ (min)	$L_e$ (max)	$L_e$ ok?	$L_c$ (beräknat)	$L_c$ (min)	$L_c$ (max)	$L_c$ ok?
Torgbron	16,64	-12,62	45,90	Ja	14,95	44,21	-14,31	Ja
Wennerbergs-bron	15,35	-13,91	44,61	Ja	17,06	46,32	-12,20	Ja
Rörstrandsbron	32,06	2,80	61,32	Ja	31,98	61,25	2,72	Ja
Bron över 44an	14,59	-14,67	43,86	Ja	18,30	47,56	-10,96	Ja

För alla broar beräknades vid lågt flöde, som var det enda aktuella i alla scenarier, både resultat från energiekvationen och ekvationen för rörelsemängdens bevarande (se 3.3.2). I den senare sattes alla friktionskoefficienter ( $C_d$ ) till 0,6, vilket motsvarar ett elliptiskt stöd med förhållandet längd till bredd 2:1 (Brunner 2008b). Expansions- och kontraktionskoefficienterna för sektionerna precis innan och precis efter en bro höjdes också till 0,5 respektive 0,3 och den förra testades även föreslagen algoritm (ekv. 14). Eftersom resultaten (Tabell 2) är lägre än de antagna värdena på 0,5 behölls dessa antagna värden.



**Figur 15** Foto och HEC-RAS beskrivning av de fyra broarna. Uppifrån och ned visas Bron på riksväg 44, Wennerbergsbron, Torgbron och Rörstrandsbron. Då skalorna på fotona och HEC-RAS beskrivningarna inte är samma visar de grå streckade linjerna hur foto och beskrivning relaterar till varandra.

**Tabell 2** Data och resultat för kontrollberäkning av expansionskoefficienterna  $C_e$  baserade på Froudes tal,  $F$ , och hydrauliska djup,  $D$  (ekv. 14).

	$F_{c2}$	$F_{c1}$	$D_{ob}$	$D_c$	$C_e$
Torgbron	0,5	0,36	0,3	6,1	0,0422
Wennerbergsbron	0,29	0,27	0,95	5,9	0,0823
Rörstrandsbron	0,31	0,25	0,15	7,4	0,0146
Bron över 44an	0,24	0,27	1,2	6,9	0,0758

#### 4.4.3 Flödesscenarier

Sex olika flödesscenarier skapades, alla för stationärt flöde. Som randvillkor användes Vänerns vattenstånd vid antaget normalvattenstånd (44 m), det högsta värdet under översvämningarna 00/01 (45,8 m) (Räddningsverket 2003) samt dimensionerande nivå enligt Sårbarhetsutredningen (47,2 m) (SOU 2006:94). Tabell 3 visar kombinationerna som simulerats. De två högre flödena och mellannivån på vattenståndet (scenario 3 och 5) är samma som använts i räddningsverkets kartering av området (se 2.2).

**Tabell 3** Flödesscenarier för simulering av Lidan.

Scenario	Namn	Flöde ( $m^3/s$ )	Vattenstånd (m)
1	Normalt flöde	18	44
2	Högt flöde	100	45,8
3	100-årsflöde – låg	223	45,8
4	100-årsflöde – hög	223	47,2
5	Klass 1-flöde – låg	862	45,8
6	Klass 1-flöde – hög	862	47,2

#### 4.4.4 Mannings tal

Varje tvärsnitt är indelat i minst tre delsektioner (Figur 2); åfåran samt höger och vänster flodplan (eng. flood plain eller overbank). För varje delsektion måste ett värde på friktionsförlusten i Mannings ekvation, Mannings tal (Mannings  $n$ ), specificeras. För terrängmodell 1 och 2 har ett värde på 0,04 använts, vilket motsvarar en årfåra med en del svängar och områden av stillastående vatten; dvs. en klart överdrivet vald parameter jämfört med hur verkligheten ser ut med en rak å utan stillastående vatten (Tabell 4). I terrängmodell 3 har istället 0,03 använts i årfåran, 0,035 för grässlänterna, 0,05 för de trädbevuxna slänterna (långt uppströms) samt 0,02 för de hårdgjorda ytorna.

**Tabell 4** Olika typer av vattendrag och vilka Mannings tal de motsvarar (från Brunner 2008b)

Vattendragstyp	Mannings tal
Rakt, rent, homogent vattendrag	0,030
Samma som ovan, men med mer sten och växtlighet	0,033
Rent, snirklande vattendrag med visst stillastående vatten	0,040
Samma som ovan, men med mer sten och växtlighet	0,045
Igenvuxet vattendrag	0,070
Betongkanal (olika typer)	0,013-0,027

#### 4.4.5 Kalibrering

Eftersom kombinationen av uppmätt flöde och vattenstånd inte har varit tillgänglig har ingen faktiskt kalibrering utförts. Istället har Mannings tal, som vanligtvis är den parameter som en modell kalibreras med, satts till ett värde som generellt kan anses som för högt för Lidan. Genom detta förfarande antas att den hydrauliska modellen HEC-

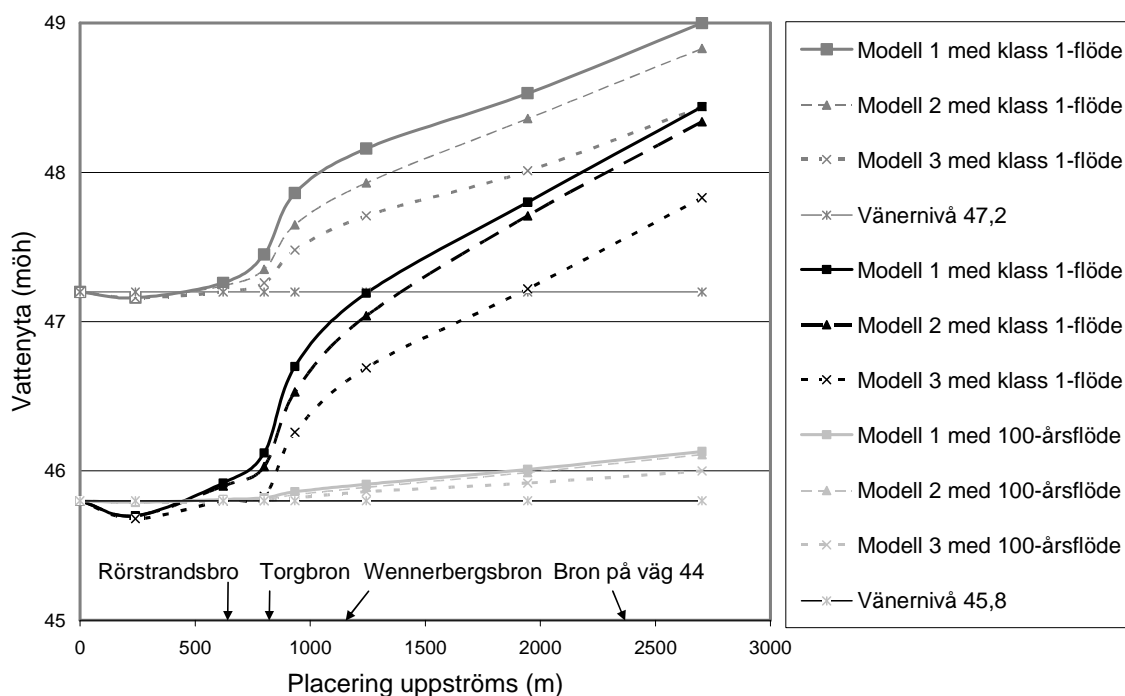
RAS Lidan inte kommer att underskatta risken för översvämningarna, utan tvärtom överdriva både risken och utbredning av en eventuell översvämning.

Den modell som skapats med varierade och mer troliga värden på Mannings tal (modell 3) har således inte heller kalibrerats och resultaten ska därför tolkas med försiktighet!

## 5. RESULTAT

### 5.1 KÄNSLIGHETSANALYS

Figur 16 visar vattenståndet som funktion av avståndet från utloppet (0) till högsta uppströms punkt (2703), ca 2,7 km från utloppet, för olika modeller, flöden och nivåer på Vänern. Noterbart är att skillnaderna mellan de olika modellerna är ganska konstant uppströms Torgbron. Figuren visar också tydligt att sänkningen av Mannings tal har haft en påverkan (jfr modell 3 med modell 1) samt att ett högt flöde påverkar vattenytan uppströms mer om nivån på Vänern är låg.



**Figur 16** Vattennivåerna för olika modeller och med olika flöden och olika nivåer på Vänern.

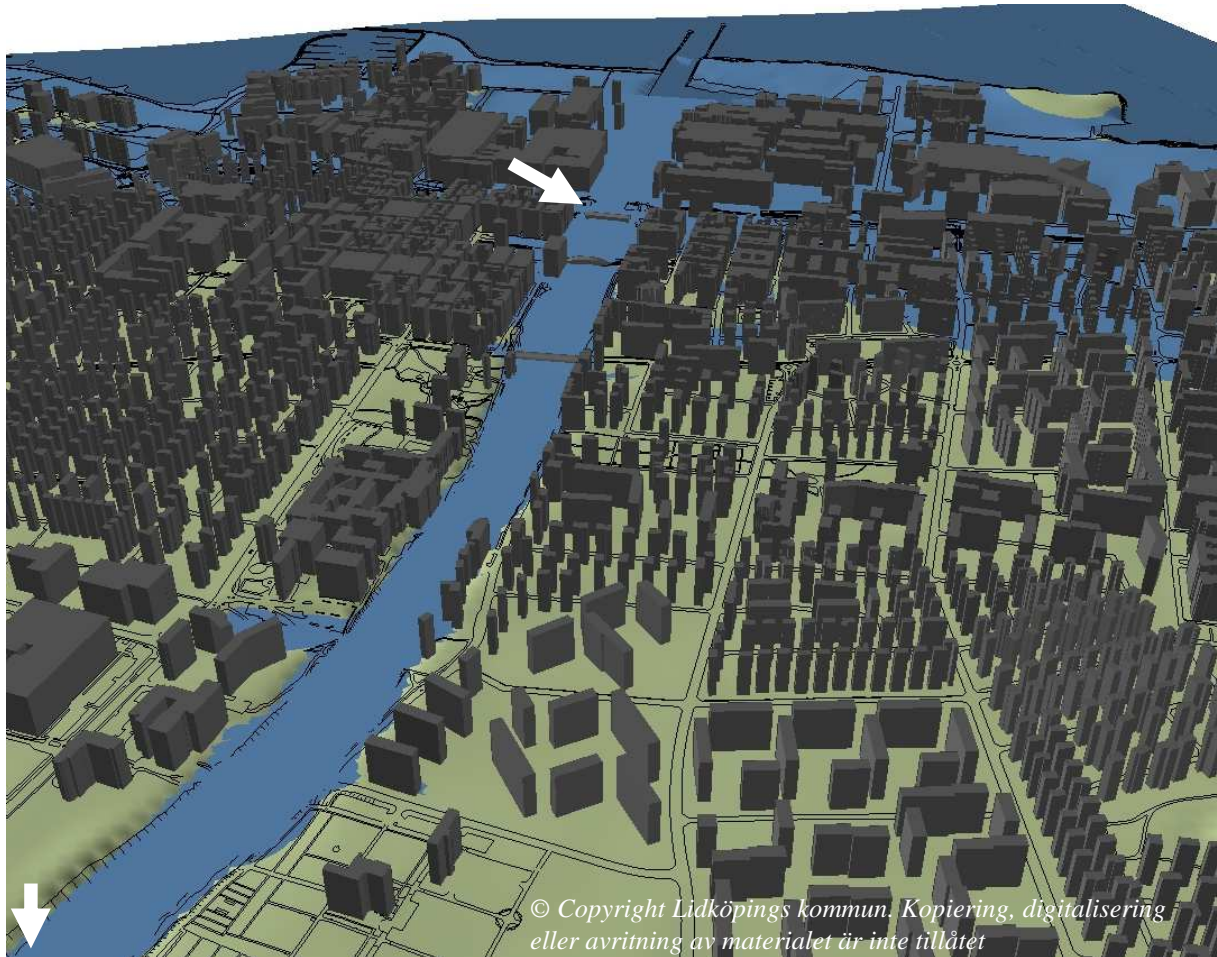
För modell 2 utfördes även en ändring av Mannings tal på +/- 10 %, varpå vattenytan i den mest uppströms tvärsektionen jämfördes för ett klass 1-flöde. Resultatet (Tabell 5) ger samma linjära samband som tidigare studier funnit (Brandt 2009).

**Tabell 5** Känslighetsanalys med avseende på Mannings tal för modell 2.

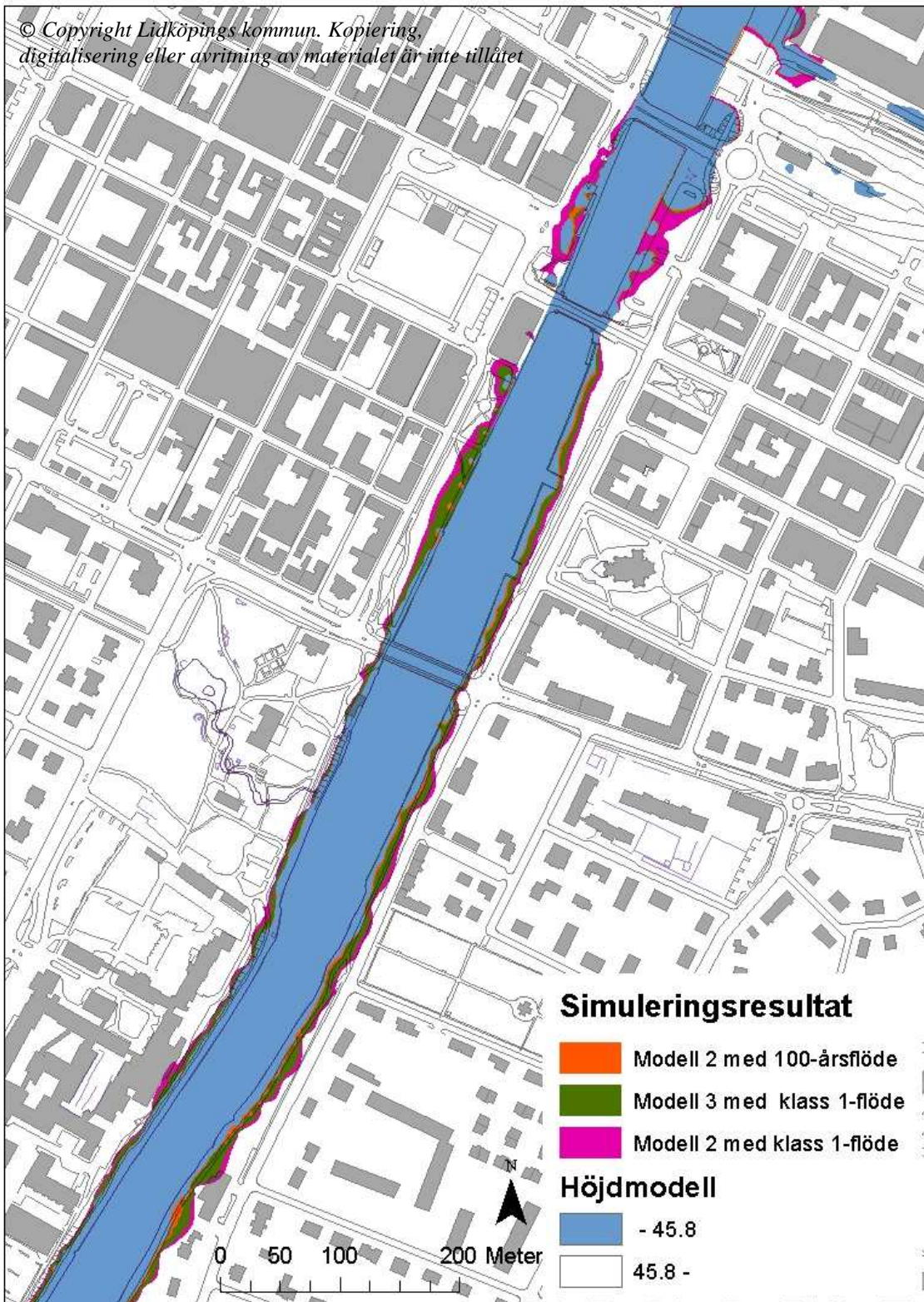
Mannings tal n	Vattenyta (m ö.h.)	Vattenyta (m över Vänern)	Vattenyta (%, relativt n = 0,04)
0,044	49,00	1,80	10,43
0,04	48,83	1,63	0
0,036	48,67	1,47	-9,82

## 5.2 ÖVERSVÄMNINGSKARTERING

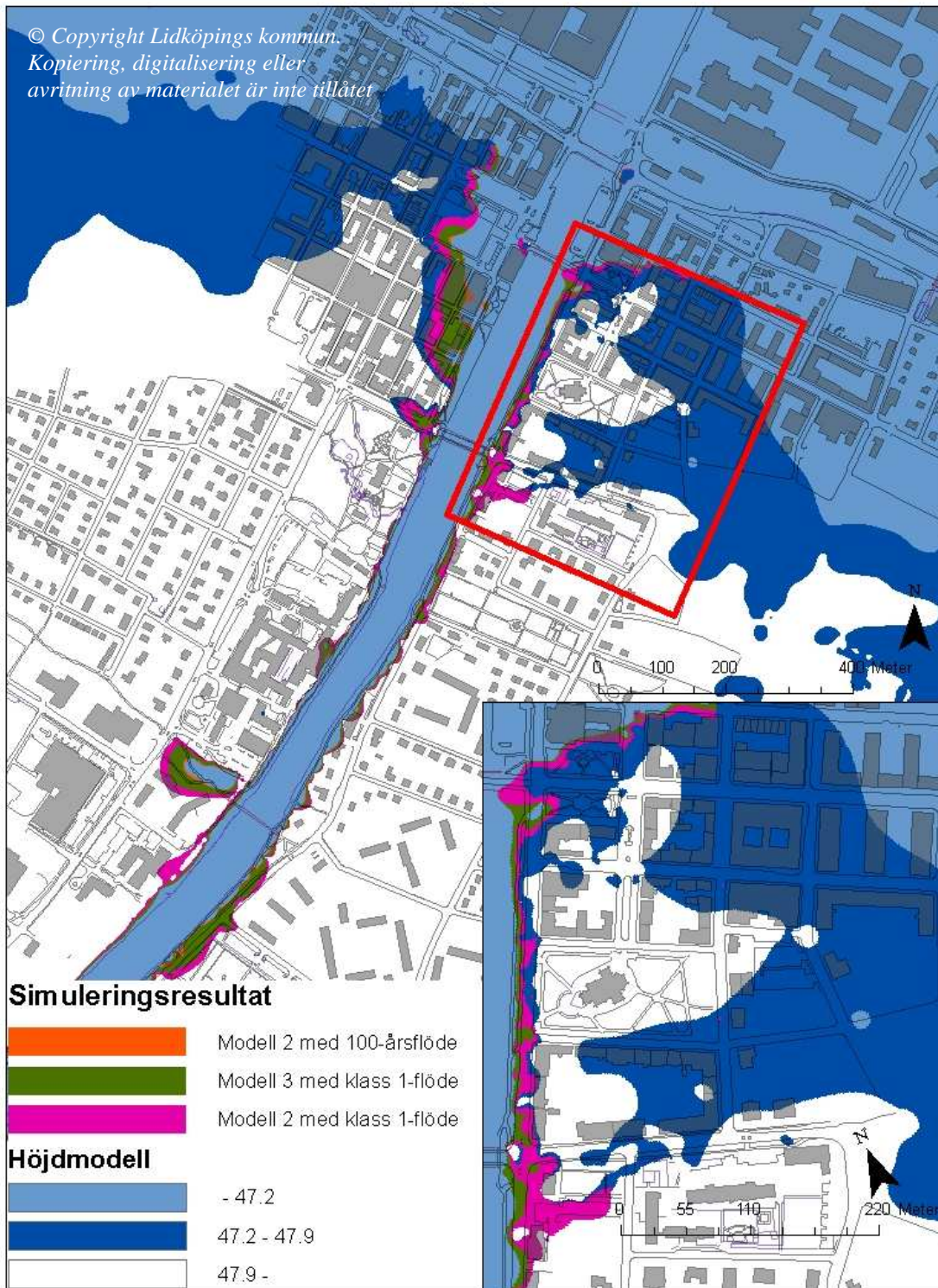
Resultatet från den genomförda karteringen visas nedan i figurerna 17-21. Observera att eftersom 100-årsflödet inte visade några synliga skillnader mellan de olika modellerna, visas nedan endast resultatet från modell 2 för detta flöde. Viktigt när resultatet studeras är också att känna till att det primärt intressanta området för modellen är mellan Rörstrandsbron och bron på väg 44.



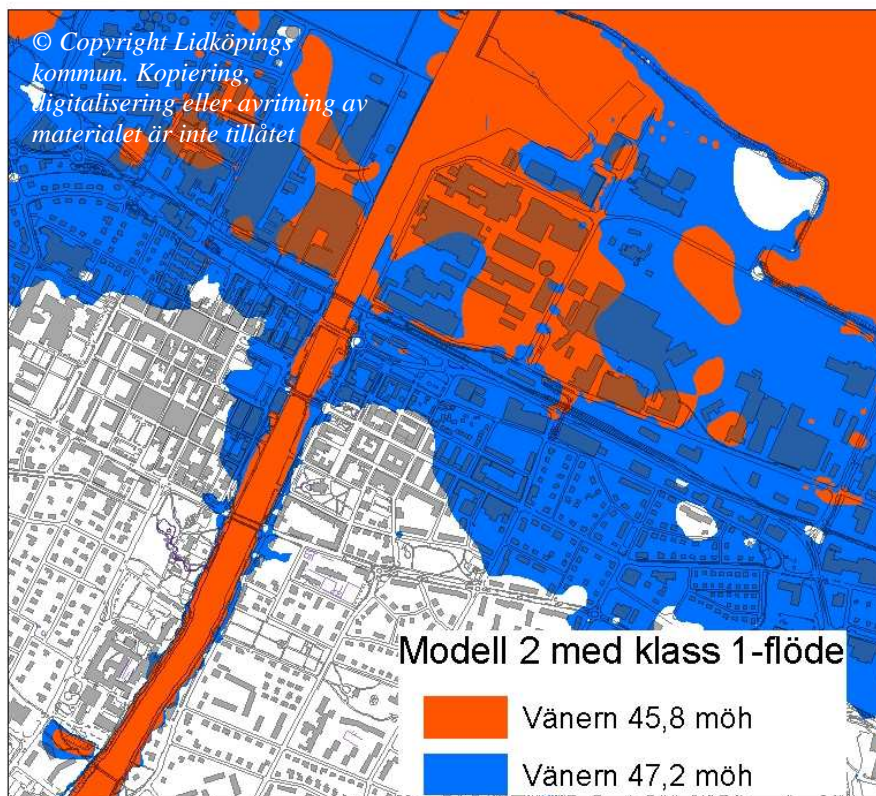
**Figur 17** Schematisk 3D-framställning av en översvämning av Lidköping då Vänern är på nivån 47,2 m ö.h. och flödet i Lidan är s.k. klass 1-flöde (scenario 6, här visat för modell 2). Pilarna markerar de två broarna som utgör gränserna för det primärt intressanta området.



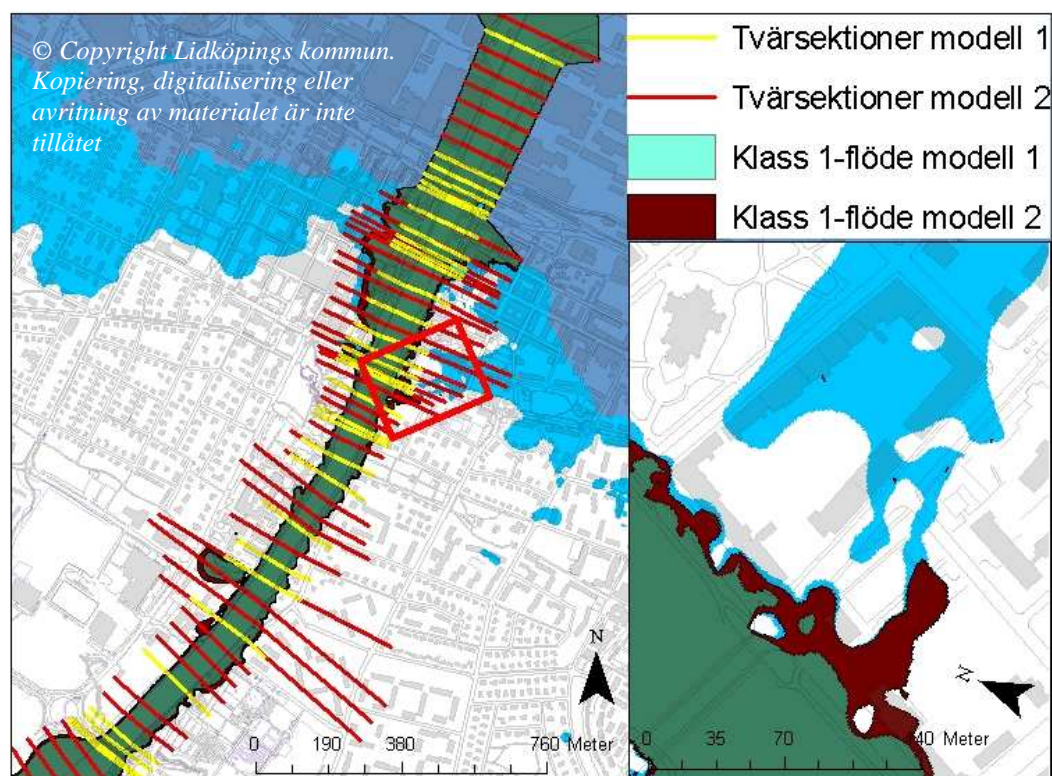
**Figur 18** Översvämning av centrala Lidköping då Vänerns nivå är 45,8 m ö.h., den enligt Räddningsverkets rapport högsta uppmätta nivån under översvämningarna 2000/2001. Simuleringsresultaten visar utbredningen utanför den av Väneren skapade höjningen.



**Figur 19** Översvämning av centrala Lidköping då Vänern är 47,2 m ö.h. (den s.k. dimensionerande nivån enligt SOU (2006)). Mörkblåa fält markerar de områden som eventuellt kan översvämmas om Lidan går över kanten strax söder om Wennerbergsbron, som visat i lilla bilden nere till höger. Simuleringsresultaten visar utbredningen utanför den av Vänern skapade höjningen.



**Figur 20** Jämförelse mellan översvämningarnas omfattning för samma flöde, men med Vänerns yta på olika nivåer.

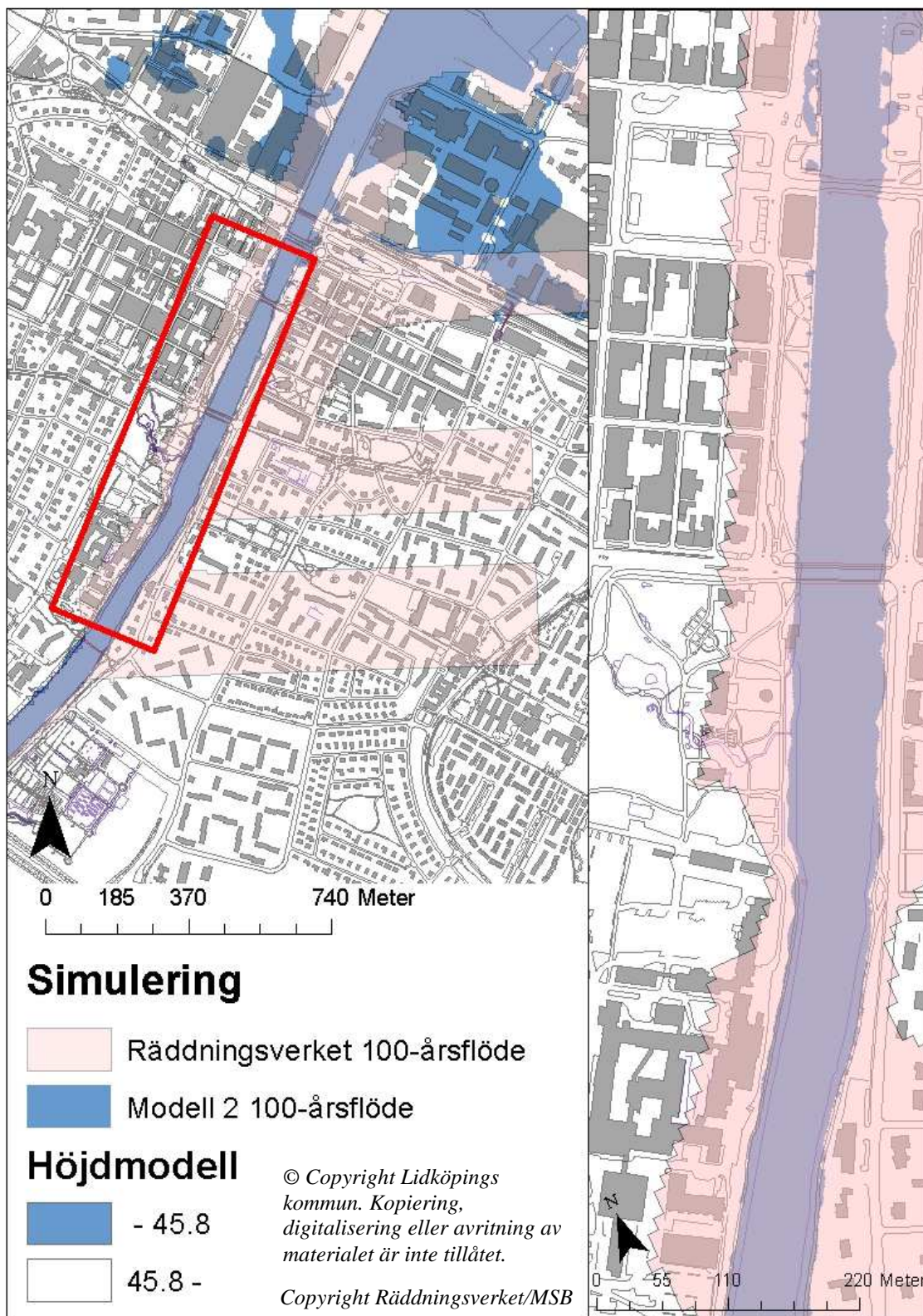


**Figur 21** Skillnad mellan modell 1 och modell 2 för klass 1-flöde. Bilden till höger visar en förstoring av det område där modellerna har störst skillnad, och där en potentiell översvämning skulle ha kunnat missas med modell 1 (obs. samma bakgrund som Figur 19).

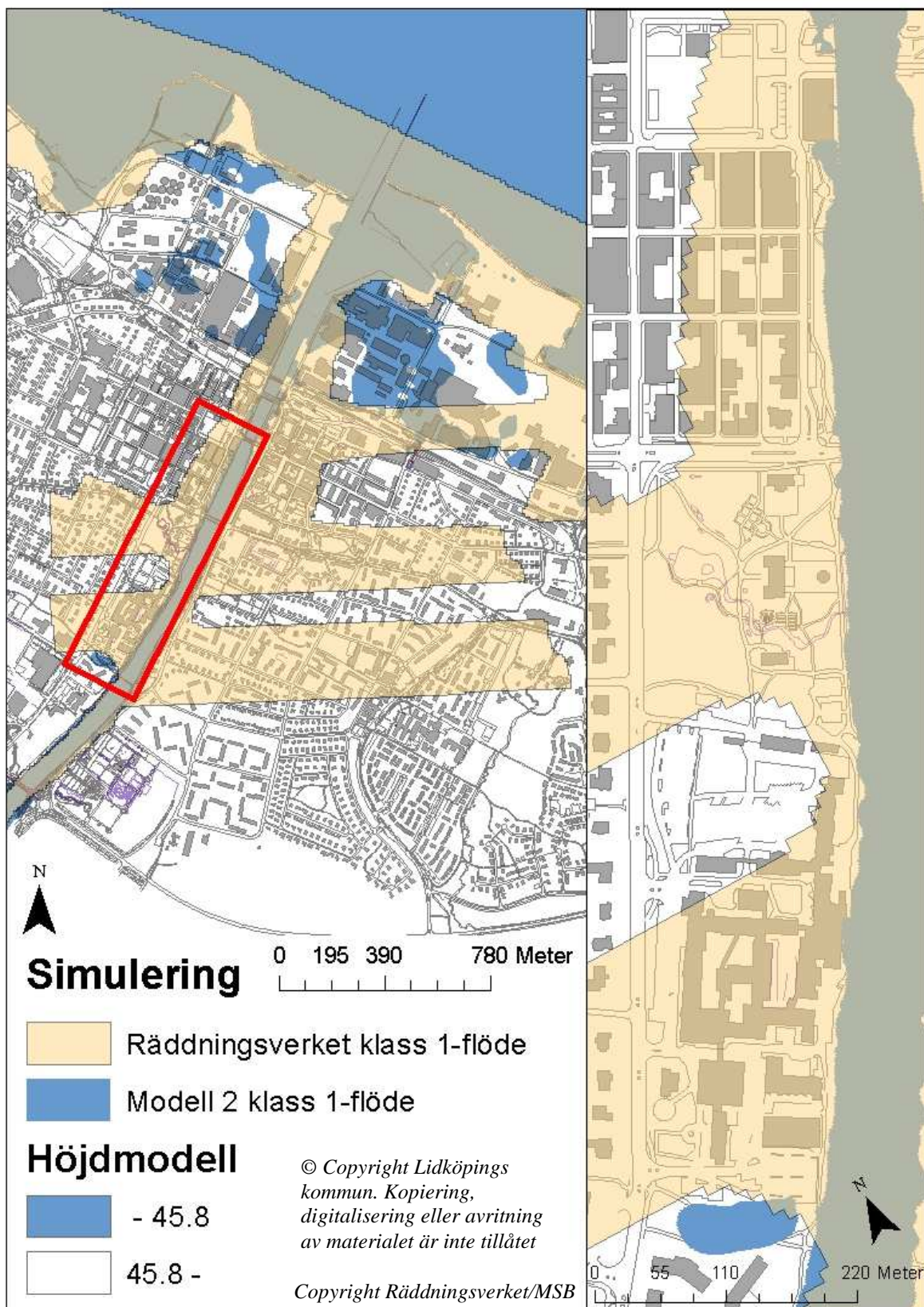


### 5.3 JÄMFÖRELSE MOT RÄDDNINGSVERKETS KARTERING

Figur 22 och Figur 23 visar jämförelsen mellan Räddningsverkets översiktliga kartering och resultatet från modell 2. Observera för dessa figurer att Räddningsverkets material är förstorat över de rekommendationer som anges för materialet (max 1:50 000) och att de fyrkantiga polygonerna i materialet markerar stora osäkerheter i höjddatabasen.



Figur 22 Jämförelse mellan Räddningsverkets simulering och resultatet från modell 2 då flödet i Lidån motsvarar ett 100-årsflöde.

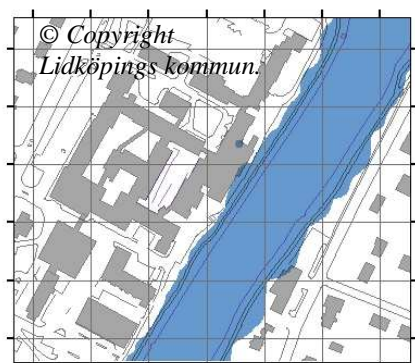


**Figur 23** Jämförelse mellan Räddningsverkets simulering och resultatet från modell 2 då flödet i Lidán motsvarar ett klass 1-flöde.

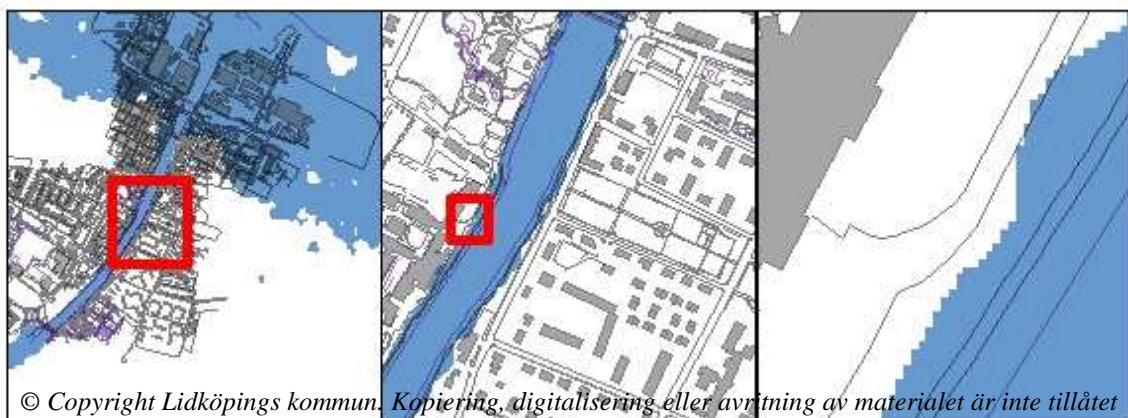
## 6. DISKUSSION

### 6.1 JÄMFÖRELSE MOT DEN ÖVERSIKTLIGA KARTERINGEN

Den skepsis som finns mot Räddningsverkets översiktliga karteringar verkar inte vara grundlös. Resultaten av jämförelsen mellan de översiktliga karteringarna och modell 2 (Figur 22 och Figur 23) visar stora skillnader i översvämmade ytor. Intressantast är resultatet för 100-årsflödet, eftersom klass 1-resultatet i de översiktliga karteringarna anger stora osäkerheter i höjddata. För 100-årsflödet sträcker sig, som synes i Figur 22, den översiktliga karteringens resultat ofta 50-100 meter längre upp på strandkanten, och t.ex. delar av sjukhuset ligger under vatten i modellen. Eftersom Lantmäteriets höjdkarta, som är underlaget till den översiktliga modellens terrängmodell, har en interpolerad upplösning på 50 meter är variationer i denna storleksordning inte konstiga. För att lättare kunna uppskatta grovleken i underlaget visar Figur 24 området runt sjukhuset med ett rutnät med storleken 50·50 meter. Mot bakgrunden av att endast en höjdangivelse finns i varje ruta och att denna har ett medelfel på 2,5 m, jämfört med en höjdmodell med upplösningen 1 meter och mätpunkter med betydligt mindre osäkerhet, blir det uppenbart att Räddningsverkets modell har svårt att återge terrängen i detta område. I specifikationerna till modellen finns dock en tydlig hänvisning till att modellen inte är tänkt för användning i högre upplösning än 1:50 000, vid vilket ett fel på 50-100 meter endast representeras av 1-2 mm, dvs. knappt urskiljningsbart. För att data ska kunna användas i en stad som Lidköping, dvs. en medelsvensk småstad, måste dock en skala om minst 1:10 000 användas om det inte föreligger risk för väldigt stora översvämningar. Figur 25 visar för Lidköping en jämförelse mellan skalorna 1:50 000, 1:10 000 och 1:1 000. En liknande jämförelse finns också i bilaga 2.



Figur 24 Sjukhuset i Lidköping med ett rutnät med storleken 50 meter.



Figur 25 Jämförelse av skalorna 1:50 000 (vänster), 1:10 000 (mitten) och 1:1 000 (höger) för centrala Lidköping. Rektangeln i de två större skalorna markerar den mindre skalans utbredning.

Enligt översvänningsdirektivet ska varje land göra en översiktlig kartering av alla avrinningsdistrikt i landet för att bedöma riskerna, och detta ska göras i ”lämplig skala” (Översvänningsdirektivet 2007/60/EG). Vad som menas med lämplig skala går inte att säga generellt, då ett stort vattendrag som Donau har en annan lämplig skala än en liten å som Lidan, men frågan är om skala 1:50 000 är lämplig ens för att identifiera var vidare utredningar ska göras i ett område som det undersökta. Generellt är det nog få städer i Sverige som har vattendrag där en så grov skala som den av Räddningsverket föreslagna kan användas, men förhoppningen från Myndigheten för samhällsskydd och beredskap är att de översiktliga karteringarna ska kunna användas till direktivets första steg (Näslund-Landenmark & Widén 2009), och att det sedan är kommunernas ansvar att gå vidare och göra detaljerade analyser i områden där det föreligger risker (Postgård, pers. medd.).

Hur väl de översiktliga karteringarna stämmer med mer detaljerade verkar skilja sig från fall till fall. En rapport från SMHI visar på förvånansvärt bra överensstämmelser (Yacoub & Sanner 2006), medan Brandt (2009) och Vähäkari (2006) visar på stora fel jämfört med en modell baserad på det väldigt högupplösta underlaget som erhålls från en laserscanning. Brandt visar i sin undersökning att felet i utbredning av ett översvänningsområde påverkas i större utsträckning än vattennivån när noggrannheten i höjddled minskas och förklarar därmed delar av skillnaderna mellan de olika rapporterna, då Yacoub och Sanner (2006) tittar på vattennivå medan Vähäkari (2006) behandlar utbredning. Som underlag till en översiktlig kartering föreslår Brandt (2009) att en upplösning på 10-25 m används om ett område inte är flackt. I ett flackt område krävs högre upplösning. Skillnaden mellan Brandts rekommendationer och Lantmäteriets höjdkarta är dessutom betydligt större än de 4 ggr som rutnätstorleksskillnaden mellan 25 och 50 meter ger. Brandt utgår från ett högupplöst underlag och degraderar detta till lämplig upplösning, medan Lantmäteriets karta är baserad på ett grovt underlag som sedan interpolerats till upplösningen 50 m.

Att de översiktliga karteringarna visar på risker som inte verkar troliga jämfört resultaten från detta arbete ger ytterligare tyngd åt argumentet att det skulle kunna finnas fler områden där dessa karteringar har dålig överensstämmelse. Att använda de översiktliga karteringarna till översvänningsdirektivet kan alltså starkt ifrågasättas. Den stora risken är i områden, likt de i Vähäkari (2006), där de översiktliga karteringarna underskattar översvänningsrisken och området missas helt. Den stora faran med detta scenario är att ett område som inte föreslås för vidare utredning kan glömmas bort i en falsk säkerhet, och när den icke förväntade översvämningen till sist inträffar är området dåligt förberett, med i värsta fall allvarliga mänskliga och ekonomiska konsekvenser som följd. I det motsatta scenariot, likt det i Lidköping, då riskerna istället verkar överskattade blir konsekvenserna mindre påtagliga. Åtgärder eller vidare utredningar kostar tid och pengar, men människors liv och egendom riskeras inte på samma sätt.

Slutsatsen av jämförelsen var således att det verkar vara behäftat med stora osäkerheter att dra slutsatser angående översvämningar från de översiktliga karteringarna, framför allt i urbana områden. Att därför använda dessa för första steget i översvänningsdirektivet kan vara att ge kommunerna onödigt jobb, eller i värsta fall att invagga dem i en falsk säkerhet. Det är alltså mycket tveksamt om de översiktliga karteringarna är lämpliga för användning i översvänningsdirektivet.

## 6.2 ÖVERSVÄMNINGSRISK FÖR LIDKÖPING

Att översvämning är ett problem för Lidköping är ett välkänt fenomen, inte minst efter vintern 00/01 då vattennivån i Vänern medförde översvämningar i kommunen. För Lidan innebar denna vattennivå att vattnet var nära att översvämma befintliga kajer runt centrum av staden. I Klimat- och sårbarhetsutredningen anges en nivå på 1,4 meter högre än nivån 00/01 som dimensionerande nivå för Vänern, vilket innebär att ingen nybyggnation bör läggas på en lägre nivå än denna. För Lidköpings del innebär den dimensionerande nivån att befintlig bebyggelse så som t.ex. reningsverk och järnväg är översvämmade. Sannolikheten att den dimensionerande nivåns översvämningar skulle inträffa var med dåvarande reglerstrategi ganska låg, och då en ny reglerstrategi antogs i oktober 2008 (Länsstyrelsen Västra Götalands län & Vattenfall AB 2008) har sannolikheten minskat ytterligare. Diskussioner pågår även om att helt ändra vattendomen som styr maximal tappning från Vänern, vilket ytterligare skulle kunna sänka extremnivåerna.

Översvämningar relaterade till flödet i Lidan var dock inte troliga. Om de uppkommer påverkar de inte översvämningssituationen mer än marginellt, då vattennivån i Lidan i norra delen av staden styrs främst av Vänerns nivå och befintliga kajer och sluttningar längs ån mer uppströms är höga. Som Figur 18 - Figur 21 visade medförde ett 100-årsflöde på  $223 \text{ m}^3/\text{s}$  endast en mycket liten höjning av vattenytan uppströms, och någon risk för att vattennivån skulle bli högre än de befintliga sidorna på ån syntes inte. När flödet istället lades på högsta beräknade nivå (klass 1-flöde) syntes en märkbar höjning av vattenytan uppströms i ån. Med modell 2 erhöles, vid en nivå på Vänern på 45,8 m ö.h. en höjning på i snitt 0,9 m/km. Eftersom en betydande dämning skedde i modellen vid Torgbron tog större delen av höjningen plats efter denna bro (Figur 15). Dämningen berodde på att Torgbron är smalare än ån, både uppströms och nedströms, och på det låga elliptiska valv som utgör själva brokonstruktionen.

Uppströms från Torgbron, före Wennerbergsbron, finns på östra sidan av ån en lågpunkt i terrängen. En extremnivå på Vänern och ett högt flöde i Lidan skulle där kunna resultera i att Lidan skulle kunna översvämmas. Vilka effekter ett genombrott på detta ställe skulle kunna få för Lidköping visades i Figur 19. Eftersom modellen inte var kalibrerad och resultatet troligtvis var överdrivet gentemot en verklig situation är det inte troligt att ens flöden vid den aktuella nivån skulle kunna få Lidan att gå över kanten, och osäkerheten i om effekterna i så fall skulle blir som i figuren är också stora. Detta resultat ska dock inte misstolkas som att Lidan inte kommer att stiga vid en översvämningssituation. Om Vänern stiger med 2 meter stiger även Lidan med minst lika mycket. Vid 100-årsscenarioet låg t.ex. cykelbanorna vid ån helt under vatten, och risken för t.ex. erosion av kanterna, vilket är ett problem redan i nuläget, kan tänkas öka.

Som slutsats konstaterades ändå att Lidköping i framtiden riskerar stora problem med översvämningar och att mycket arbete kan läggas ner på att minimera riskerna, men att de direkta översvämningssriskerna främst kommer från Vänern och inte från Lidan. Ändrade strategier för tappningen från Vänern skulle kunna sänka vattennivåerna, men utan att flödena i vattendragen som rinner till sjön minskar. I ett framtida klimat finns en risk för att extremflöden och extremnivåer blir vanligare, och då kan kombinationen av låg vattennivå i Vänern och höga flöden i Lidan bli aktuella som översvämningssrisk.

### **6.3 MODELLENS TROVÄRDIGHET**

HEC-RAS Lidan var som tidigare nämnts flertalet gånger inte kalibrerad. Detta medförde att Mannings tal sattes högt jämfört med rekommendationer för liknande vattendrag. Som både känslighetsanalysen och Brandt (2009) visade är sambandet mellan vattennivå och Mannings tal någorlunda linjärt. Mannings tal är alltså en viktig parameter som i stor utsträckning påverkar resultatet. I modellen användes 0,04 som Mannings tal, medan 0,035 troligen var närmare sanningen. Detta innebär att vattennivån i punkten högst uppströms i systemet troligen ligger ca 10-12 % lägre än vad modellen beräknat. Eftersom även detta val av Mannings tal simulerats och skillnaderna dels är små dels går åt beräknat håll, antas valet av Mannings tal i modell 1 och modell 2 som det, givet situationen, mest lämpliga.

Tillgången på höjddata och valet av beräkningsalgoritm för att skapa höjdmodellen styr också modellens trovärdighet. I detta fall är det dock svårare att sätta siffror på osäkerheterna och felen kan vara svåra att identifiera. Utifrån det resonemang som givits angående höjdmodeller antas valet vara det som bäst representerar verkligheten då höjddata ser ut som i detta fall. Stora möjligheter finns dock för att göra en bättre inmätning av staden, t.ex. med laserscanning, och då kan en bättre höjdmodell, kanske med en annan beräkningsalgoritm, skapas.

Slutligen styrs också trovärdigheten hos modellen av om botten på vattendraget är återgiven korrekt. I fallet Lidan är det mycket svårt att avgöra vad som är rätt och fel eftersom datatillgången är sparsam och linjärinterpoleringen mellan de lodade sektionerna utgör en stor del av åns GIS-underlag. Resultatet skulle ha blivit betydligt säkrare om ån varit mera systematiskt lodad, t.ex. genom en ekolodning, men eftersom kalibreringsdata saknas och översvämningar till följd av flödet i ån är osannolika skulle troligen en bättre återgiven åfåra inte ge ett annorlunda resultat.

## **7. SLUTSATSER**

Slutsatserna från detta examensarbete var att:

1. Den översiktliga karteringen över Lidköping lämpade sig dåligt för att användas som underlag för att analysera vidare översvämningar i staden.
2. Det finns risk för att de översiktliga karteringarna inte lämpar sig för användning inom översvämningdirektivet.
3. Översvämningensriskerna för Lidköping beror främst av nivån på Väneren och inte av flödet i Lidan.

## 8. REFERENSER

- Ackerman, C.T. (2005). *HEC-GeoRAS. An extension for support of HEC-RAS using ArcGIS*. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Centre (HEC), CPD-83
- Almlöf, K. (1994). *Ansökan VD*, Lidköpings kommun, ansökan till Vänersborgs tingsrätt, vattendomstolen, 1994-05-05
- Andersson, Hjärdi (1999). *Härenevägen. Detaljerad stabilitetsutredning. Delrapport 1. Rapport avseende geotekniska fält- och laboratorieundersökningar*, Statens geotekniska institut, Objekt 2-9708-090
- Andréasson, J., Hellström, S-S., Rosgren, J., Bergström, S. (2007). *Översiktlig kartpresentation av klimatförändringars påverkan på Sveriges vattentillgång – Underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen*, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, Hydrologi nr. 106
- Bergström, S., Hellström, S-S., Andréasson, J. (2006). *Nivåer och flöden i Vänerns och Mälarens vattensystem – Hydrologsikt underlag till Klimat- och sårbarhetsutredningen*, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, Reports Hydrology No. 20
- Brandt, A. (2009). *Betydelse av höjdmodellens kvalitet vid endimensionell översvämningsmodellering*, Institutionen för teknik och byggd miljö, Ämnesavdelningen för samhällsbyggnad, Högskolan i Gävle, FOU-rapport Nr 35, ISSN 1403-8749
- Brunner, G.W. (2008a). *HEC-RAS, River Analysis System User's Manual, Version 4.0*, U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Centre (HEC), CPD-68
- Brunner, G.W. (2008b). *HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual, Version 4.0*, U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Centre (HEC), CPD-69
- Eklund, D. (2008). *Rationell produktion av detaljerad översvämningskartering*, Institutionen för geovetenskaper, Programmet för luft-, vatten- och landskapslära, Uppsala Universitet, UPTEC W08 014
- Hunt, J.H., Brunner, G.W. (1995). *Flow Transitions in Bridge Backwater Analysis*, U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Centre, RD-42
- Länsstyrelsen Västra Götalands län & Vattenfall AB (2008). *En ändrad tappningsstrategi för Väneren – överenskommelse mellan Länsstyrelsen Västra Götalands län och Vattenfall AB*, diarienummer 450-11125-2008
- Näslund-Landenmark, B., Widén, B. (2009) "Översiktlig översvämningskartering och riskhantering" *Tillsyns nytt*, Naturvårdsverket, Nr 2 april 2009, 18-20

Ottosson, E., Hermansson, J. (1991a). *Lidköping. Lidans strandslänter inom tätorten. Stabilitetsutredning*, Statens geotekniska institut, Uppdrag 2-260/90

Ottosson, E., Hermansson, J. (1991b). *Lidköping. Slänt mot Lidan vid Skölmatorp 1:2. Stabilitetsutredning*, Statens geotekniska institut, Uppdrag 2-260/90

Ottosson, E., Hermansson, J. (1991c). *Lidköping. Slänt mot Lidan vid lasarettet och Ågårdskolan. Stabilitetsutredning*, Statens geotekniska institut, Uppdrag 2-260/90

Räddningsverket (2003). *Översiktlig översvämning längs Lidan och Flian*, Räddningsverket, Projekt: Översiktlig översvämningsskartering, Rapport nr 42

Shahrokhnia, M.A., Javan, M (2005). "Performanceassessmentof Doroodzan irrigation networkbysteadystatehydraulic modeling" *Irrigation and Drainage Systems*, 19 :189–206

Staffas, B., Sundqvist, P. (1975). *Vattendraget Lidan. Hydrologi samt förorenings- och regleringsförhållanden*, Institutionen för Vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola, 1975:2

SOU (2006:94). *Översvämningshot. Risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaran och Väneren. Delbetänkande av Klimat- och sårbarhetsutredningen*, Statens offentliga utredningar, SOU 2006:94

Vähäkari, A. (2006). *Simulering av översvämningar i Nedre Dalälven*, Institutionen för geovetenskaper, Luft- och vattenlära, Uppsala Universitet, UPTEC W06 019

Yacoub, T., Sanner, H. (2006). *Vattenståndsprognoser baserade på översiktlig skartering. En fallstudie*, Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, Hydrologi nr. 100

Översvämningdirektivet (2007/60/EG). "Europaparlamentets och Rådets direktiv 2007/60/EG av den 23 oktober 2007 om bedömnings och hantering av översvämningssrisker." *Europeiska unionens officiella tidning*. L 288/27-34

Internet

Lidköping (2009). <http://www.lidkoping.se/serviceochtjanster/omkommunen>, besökt mars 2009

Mejlbaserade

Postgård, Ulrika; Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap; maj 2009

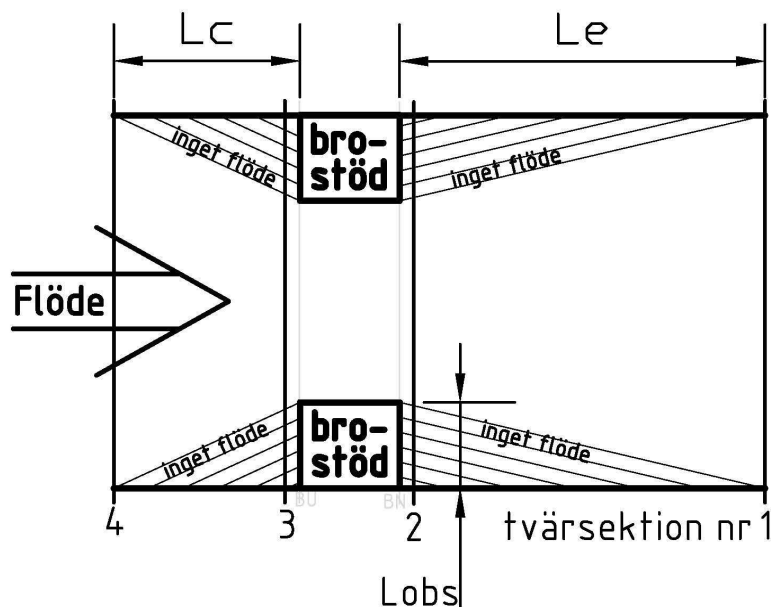
Eklund, Dan; Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut; juni 2009

Stenström, Petter; WSP Vattenbyggnad; juni 2009



## BILAGA 1

### BERÄKNING AV RÖRELSEMÄNGD VID FLÖDE GENOM BROAR



Metoden består av tre steg:

4. beräkna en rörelsemängdsbalans mellan den inre nedre tvärsektionen och nederkanten på bron
5. beräknas samma sak mellan nedre och övre kanten på bron
6. beräkna samma sak mellan överkanten på bron och den övre inre tvärsektionen

De tre ekvationerna som löses är följande

$$A_{BN} \bar{Y}_{BN} + \frac{\beta_{BN} Q_{BN}^2}{gA_{BD}} = A_2 \bar{Y}_2 + \frac{\beta_2 Q_2^2}{gA_2} - A_{P-BN} \bar{Y}_{P-BN} + F_f - W_x$$

$$A_{BU} \bar{Y}_{BU} + \frac{\beta_{BU} Q_{BU}^2}{gA_{BU}} = A_{BD} \bar{Y}_{BD} + \frac{\beta_{BD} Q_{BD}^2}{gA_{BD}} + F_f - W_x$$

$$A_3 \bar{Y}_3 + \frac{\beta_3 Q_3^2}{gA_3} = A_{BU} \bar{Y}_{BU} + \frac{\beta_{BU} Q_{BU}^2}{gA_{BU}} + A_{P-BU} \bar{Y}_{P-BU} + \frac{1}{2} C_d \frac{A_{P-BU} Q_3^2}{gA_3^2} + F_f - W_x$$

där

A = arean för aktivt flöde i tvärsektionen

$A_{P-}$  = area nedströms som hindras av brostöden

$\bar{Y}$  = vertikalt avstånd mellan vattenytan och gravitationscentrum i flödesarean A

$\bar{Y}_{P-}$  = vertikalt avstånd mellan vattenytan gravitationscentrum i den våta arean av de nedströms brostöden

$\beta$  = hastighetsavvägd koefficient för rörelsemängdsekvationen

Q = flöde

g = gravitationsacceleration

$F_f$  = extern friktionskraft per enhet vatten

$W_x$  = kraft i flödesriktningen till följd av vattnets vikt

$C_d$  = tryckflödeskoefficient



## BILAGA 2

### KARTA ÖVER LIDKÖPING

I kartorna visas grundkartan över Lidköping, den av Räddningsverket utförda översiktliga karteringen samt två olika nivåer på Vänern. Kartan till vänster visas i lämplig arbetsskala (1:10 000) medan kartan ovan visas i den av Räddningsverket högsta rekommenderade upplösningen (1:50 000) för användning av de översiktliga karteringarna.

### Räddningsverkets översiktliga kartering

-  Dimensionerande flöde (862 m<sup>3</sup>/s)
-  100-årsflöde (223 m<sup>3</sup>/s)

### Vattennivåer

-  Normalvattenstånd (<44)
-  Dimensionerande nivå (44-47,2)

Observera att osäkerheten i höjdmodellen ökar när avståndet från ån ökar, då denna dessa områden inte är manuellt kontrollerade.

Obersvara också att kartmaterialet varken täcker nedre vänstra hörnet i kartan till vänster eller södra delen på kartan ovan.

