PM - HYDRODYNAMISK MODELLERING AV HÖGVATTEN

UNDELRAG TILL KLIMATANPASSNINGSPLAN FÖR HELSINGBORGS STAD

UPPDRAGSNUMMER 1220237000

DATUM
2016-06-15

Förord

Sweco har fått i uppdrag av Helsingborgs Stad att genomföra en klimatanalys i syfte att utgöra underlag till en framtida klimatanpassning av Helsingborgs stad. Föreliggande PM är en detaljerad utredning av översvämning till följd av högvatten i Öresund. I denna del har Björn Almström varit delaktig i. Olof Persson har varit granskare.

Björn Almström
Uppdragsledare

Olof Persson
Kvalitetsansvarig

Innehållsförteckning

1	**Inledning och bakgrund**	**4**
1.1	Analys av framtida högvatten	4
2	**Metod**	**9**
2.1	Beskrivning av TELEMAC 2D	9
2.2	Modellavgränsning och beräkningsnät	9
2.3	Höjdmodell	10
2.4	Randvillkor	10
2.4.1	Simulerade havsnivåer	10
2.4.2	Simulerade flöden i Råån	11
2.5	Fara för hälsa och liv	11
3	**Resultat**	**13**
3.1	Översvämningar vid ett 100-årshögvatten år 2065 i kombination med ett 100-årsflöde i Råån	13
3.2	Extremhögvatten år 2100 i kombination med ett 200-årsflöde i Råån	14
4	**Diskussion och slutsatser**	**17**

Bilaga A Vattendjup vid 100-årshögvatten år 2065
Bilaga B Risk för drunkning vid 100-årshögvatten år 2065
Bilaga C Vattendjup vid extremhögvatten år 2100
Bilaga D Risk för drunkning vid extremhögvatten år 2100

1 Inledning och bakgrund

Helsingborgs stad arbetar sedan flera år med att studera hur förändringar av klimatet kan påverka staden. Föreliggande PM är en del av detta arbete. Sweco har givits i uppdrag att upprätta en klimatanalys med syfte att identifiera områden i staden som är riskutsatta vid högvatten, skyfall, högt grundvatten eller höga flöden i Råån. Undersökningsområdet är avgränsat till Helsingborgs tätort. Klimatutredningsarbetet har delats in i etapper enligt följande:

- Genomgång av kunskapsunderlag och rekommendationer om lämpliga scenarier för fortsatt arbete.
- Översiktlig analys och identifiering av högriskområden baserat på valda scenarier
- Detaljerad undersökning av utvalda högriskområden.
- Sammanställning av slutrapporter. Dessa kan användas som underlag för att ta fram en klimatanpassningsplan för staden.

Föreliggande PM utgör en detaljerad analys av översvämningsrisken med avseende på högvatten i Öresund. Modelleringen är utförd med programvaran TELEMAC 2D, som är beskriven i kapitel 2.1. Fördelen med att använda en hydrodynamisk modell jämfört med en statisk GIS-analys är att förutom vattendjup kan hastigheter och tidsförlopp av översvämningen simuleras. Tidsförloppet för en översvämning är intressant eftersom i vissa fall kan varaktigheten av högvattnet vara för kort för att hela området ska översvämmas.

1.1 Analys av framtida högvatten

Enligt klimatforskningen förutspås medelvattenytan att höjas till följd av varmare hav och smältande landisar. Enligt befintligt kunskapsunderlag förutspås medelvattenytan höjas med 0,5 m fram till år 2065 och med 1,0 m fram till år 2100 (SWECO, 2016). En höjning av medelvattenytan resulterar i att högvatten blir högre än idag. I denna analys har högvatten med 100-års återkomsttid samt högsta kända historiska högvatten (julstormen 1902) översvämningskarterats i en hydrodynamisk modell. 100-årshögvatten, som är 2,0 m över medelvattenytan, har tagits fram genom en frekvensanalys av SMHI:s station i Viken (SWECO, 2016). Den mest extrema storm som finns noterat är julstormen 1902. För denna storm finns inga vattenståndsobservationer runt Helsingborg eller i Öresund, men i tidningsartiklar från 1902 skrivs det om stora skador längs med Öresundskusten efter denna storm (HD, 2016). Det finns emellertid uppgifter om att vattennivån under julstormen steg med 2,4 m över medelvattenytan i Laholmsbukten (SMHI, 2015-12-07). Trots att nivåuppgiften får anses mycket osäker används den ändå för extremanalysen i brist på annat historiskt underlag om extremhögvatten. Till dessa högvattennivåer ska sedan havsmedelhöjningen adderas samt effekten av tidvatten (0,1 m). Vattennivån för framtida högvatten relativt höjdsystemet RH2000 kan ses i

Tabell ***1.1***.

Tabell 1.1 *Högvatten som analyserats i den översiktliga analysen. Samtliga nivåer relaterar till höjdsystemet RH2000.*

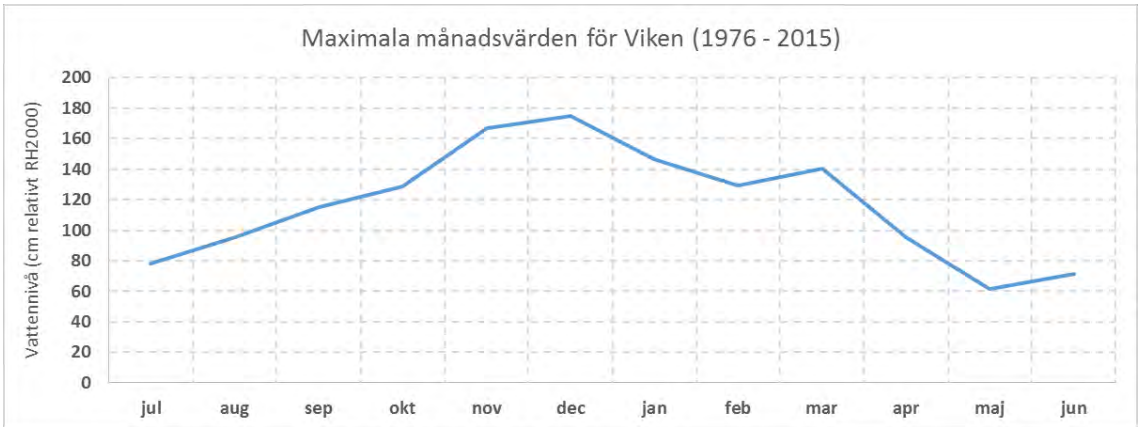
Återkomsttid	År 2065	År 2100
100-årshögvatten	+2,6 m	+3,1 m
Extremhögvatten	+3,0 m	+3,5 m

Ytterligare en följdeffekt av klimatförändringen är att högvatten kommer att bli vanligare i framtiden. I Tabell 1.2 har den ackumulerade sannolikheten för att olika nivåer ska inträffa under en 50-årsperiod sammanställts för en medelvattenyta år 2015, år 2065 och år 2100. Denna sammanställning visar att sannolikheten att det för studien dimensionerande 100-årshögvattnet år 2065 kommer att inträffa under de kommande 50 åren är 4%, beräknat utifrån att medelvattenytan skulle stannat på år 2015 års nivå. Eftersom medelvattenytan stiger höjs sannolikheten allteftersom. Med en medelvattenyta motsvarande år 2065 är sannolikheten 33% att samma vattenstånd ska inträffa och mellan år 2100 och 2150 är det 99% sannolikhet att nivån +260 cm relativt RH2000 ska inträffa.

Tabell 1.2. Förändring av ackumulerad sannolikhet under 50 år för högsta observerade nivån vid Viken (+175 cm inträffade under stormen Sven, 2013), 100-årshögvattennivån år 2015 (+200 cm), 100-årshögvattnet år 2065 (+260 cm), 100-årshögvatten år 2100 (+310 cm) och extremhögvatten år 2100 (+350 cm)

	+175 cm	+200 cm	+260 cm	+310 cm	+350 cm
MVY år 2015	85%	33%	3%	0.3%	0.04%
MVY år 2065	100%	100%	33%	3%	0.5%
MVY år 2100	100%	100%	99%	33%	6%

Högvatten över 100 cm inträffar vanligtvis under månaderna september till mars och under perioden 1976 till 2015 har nivån aldrig överstigit 1 m över normalvattenytan under månaderna april till augusti. I Figur 1.1 visas varje månads högsta observerade vattenstånd för SMHI:s station i Viken under perioden 1976 till 2015.



Figur 1.1 *Varje månads högsta observerade vattenstånd för SMHI:s station i Viken under perioden 1976 till 2015.*

Det finns inget i IPCC:s globala klimatmodeller som tyder på att detta säsongsmönster kommer att förändras, men samtidigt skulle en medelvattennivåhöjning på 1 m innebära att ett högvatten uppemot +2,0 m relativt RH 2000 kan komma att inträffa även under sommartid. Det faktum att 100-årshögvatten och extremhögvatten inträffar främst på senhösten eller vintern innebär att det är osannolikt för ett sådant högvatten att sammanfalla samtidigt med extrema skyfall, som vanligtvis inträffar under sommarmånaderna. Däremot finns det en möjlighet att 100-årshögvatten eller extremhögvatten sammanfaller med höga flöden i vattendrag (SWECO, 2016). Just detta inträffade under stormen Egon år 2015, då vattenståndet i havet var högt samtidigt som det var ett relativt högt flöde i Råån. Dock finns det inget samband mellan dessa händelser, utan de är två meteorologiskt skilda händelser.

Översvämningsmodellen inkluderar inte våguppspolningseffekten, utan utgår från en stillvattenyta. Våguppspolningen resulterar i att land närmast stranden kan översvämmas fastän stillvattenytan är lägre än marknivån. Våguppspolningseffekten kan ha en stor inverkan på översvämningssituationen vid högvatten och kan orsaka stora skador. Denna effekt fås emellertid endast i områden som är vågexponerade och effekten avtar relativt snabbt inåt land eller skyddade områden (Figur 1.2). I fall där ett låglänt område skyddas mot översvämning av ett mer höglänt område eller en vall kan våguppspolningen få stor betydelse för översvämningens utbredning, medan för områden där marken lutar uppåt från havet får våguppspolningen mindre påverkan på översvämningsutbredningen. Våguppspolningseffekten är emellertid av yttersta vikt vid dimensionering av översvämningsskydd.

Figur 1.2 Fotografi över Norra hamnen i Helsingborg under stormen Sven 2013. Notera skillnaden i våghöjd innanför och utanför hamnpirarna.

2 Metod

2.1 Beskrivning av TELEMAC 2D

Den hydrodynamiska modellen har upprättats i programvaran TELEMAC 2D. TELEMAC är en så kallad open-source mjukvara för att modellera ytvatten. TELEMAC 2D beräknar strömmar och vattendjup baserat på Saint Venants ekvationer, som beskriver vatten-rörelser i två dimensioner. Ekvationerna beräknar vattnets rörelse som en funktion av gravitations-, friktions- och tryckkrafter. Modellen använder ett ostrukturerat nät av finita element för att definiera upplösningen över den modellerade ytan (TELEMAC-MASCARET, 2015).

2.2 Modellavgränsning och beräkningsnät

Översvämningsmodellen är avgränsad efter höjdkurvan på +4 m eftersom modellen som högst ska simulera vattennivåer upp till +3,5 m. Denna begränsning har gjorts för att minimera storleken på beräkningsnätet.

Figur 2.1 Avgränsning av modellområde har gjorts utifrån 4-meters höjdkurvan (röd linje). Blå linje visar sträckan för vilken randvillkoret för Öresund har definierats och pilen indikerar inflödesranden för Råån.

Upplösningen på modellens triangulära beräkningsnät, 2 m, har valts för att kunna nyttja all information från Lantmäteriets höjdmodell. I hamnbassänger och i Öresund har beräkningsceller upp till 100 m använts, för att minska antalet celler där det inte finns behov av lika hög upplösning. Totalt består beräkningsnätet av 2 100 000 beräkningsceller.

2.3 Höjdmodell

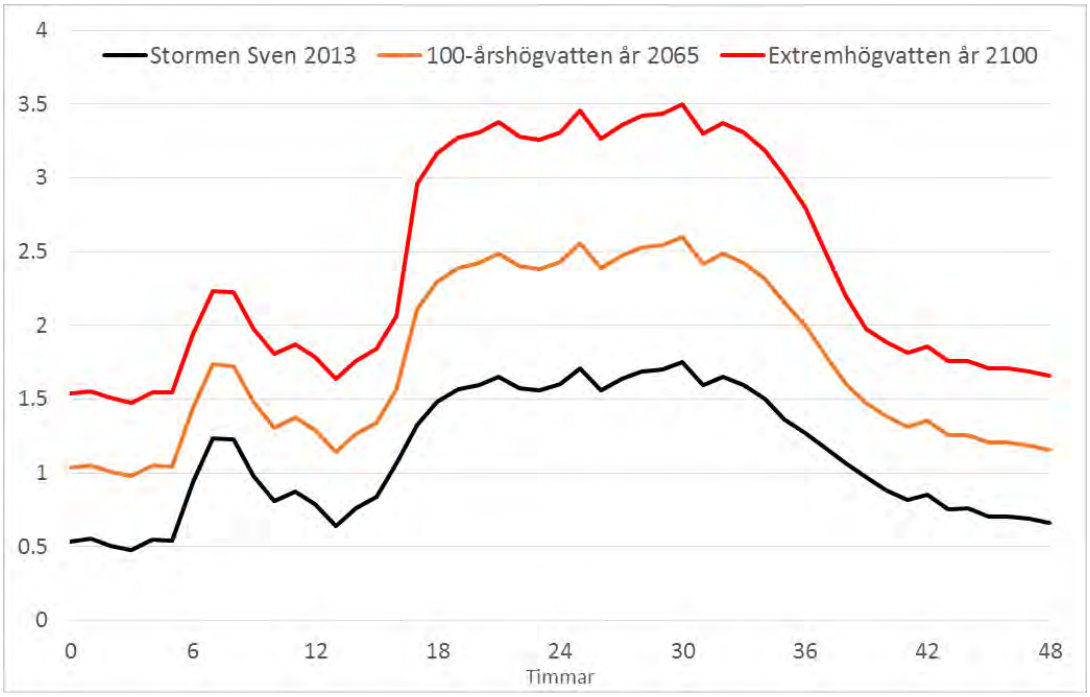
Lantmäteriets nationella höjdmodell med upplösningen 2x2 m har använts som underlag för topografin i modellen. Höjdmodellen har justerats för byggnader, som har höjts upp i höjdmodellen. Syftet med att höja upp dessa celler i modellen är att vatten inte ska kunna strömma igenom byggnader, utan att vattnet måste strömma runt. Genom att inkludera byggnader i modellen fås en mer realistisk översvämningshändelse där inflödet i staden delvis blir begränsat av byggnader samt att det lokalt kan uppstå högre vattenhastigheter i trånga passager mellan byggnader.

2.4 Randvillkor

Översvämningsmodellen över Helsingborg har två ränder; Öresund och Råån. Randen mot Öresund definieras av en vattennivå som varierar med tiden och randen i Råån definieras som ett konstant flöde.

2.4.1 Simulerade havsnivåer

Syftet med modelleringen har varit att simulera översvämningen vid ett 100-årshögvatten år 2065 och vid ett extremhögvatten år 2100. Vid dynamisk modellering är varaktigheten för högvattensituationen av stor betydelse för översvämningens utbredning. Den storm som haft högst vattenstånd såväl som längst varaktighet är stormen Sven i december 2013. Denna storm har därför valts som representativ, och dess hydrograf från SMHI:s mätstation i Viken har anpassats till de simulerade scenarierna (Figur 2.3).



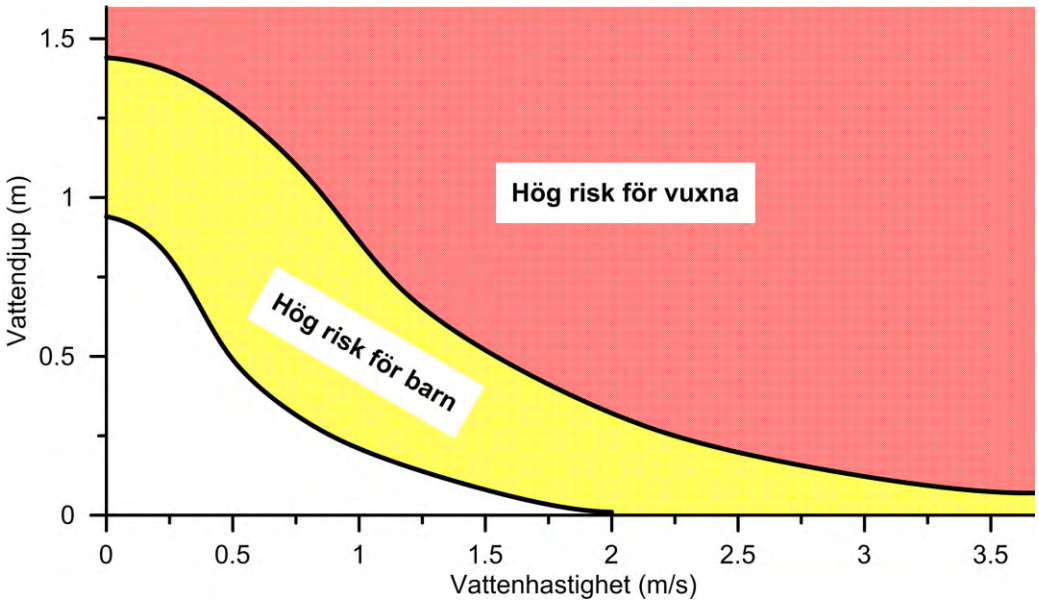
Figur 2.2 *De två simulerade högvattenscenarierna (100-årshögvatten år 2065 och extremhögvatten år 2100) jämfört med stormen Sven 2013.*

2.4.2 Simulerade flöden i Råån

En analys har gjorts av risken för att högvatten ska sammanfalla med höga flöden i Råån. Analysen visade att båda händelserna kan inträffa samtidigt, men att händelserna är meteorologiskt frikopplade från varandra. För att skapa ett konservativt scenario har Råån inkluderats i modellen och scenariot med 100-årshögvatten i havet år 2065 kombineras med ett 100-årsflöde i Råån (39 m^3/s). Scenariot med extremhögvatten år 2100 har kombinerats med ett 200-årsflöde (41 m^3/s).

2.5 Fara för hälsa och liv

De senaste årens översvämningar till följd av högvatten har bara resulterat i materiella skador, men översvämningar från havet skulle redan idag kunna innebära en fara för liv. Parametrar som i huvudsak avgör fara för liv är vattendjupet, strömhastigheten och eventuell våghöjd. I den amerikanska studien *Downstream Hazard Classification Guidelines* (1988) studerades risken för människoliv vid översvämningar längs med vattendrag. Studien resulterade i en funktion av vattendjup och vattenhastighet för att klassificera översvämningens risk för liv (figur 2.3). Denna klassificering för en översvämnings risk för liv har applicerats för modellresultaten.



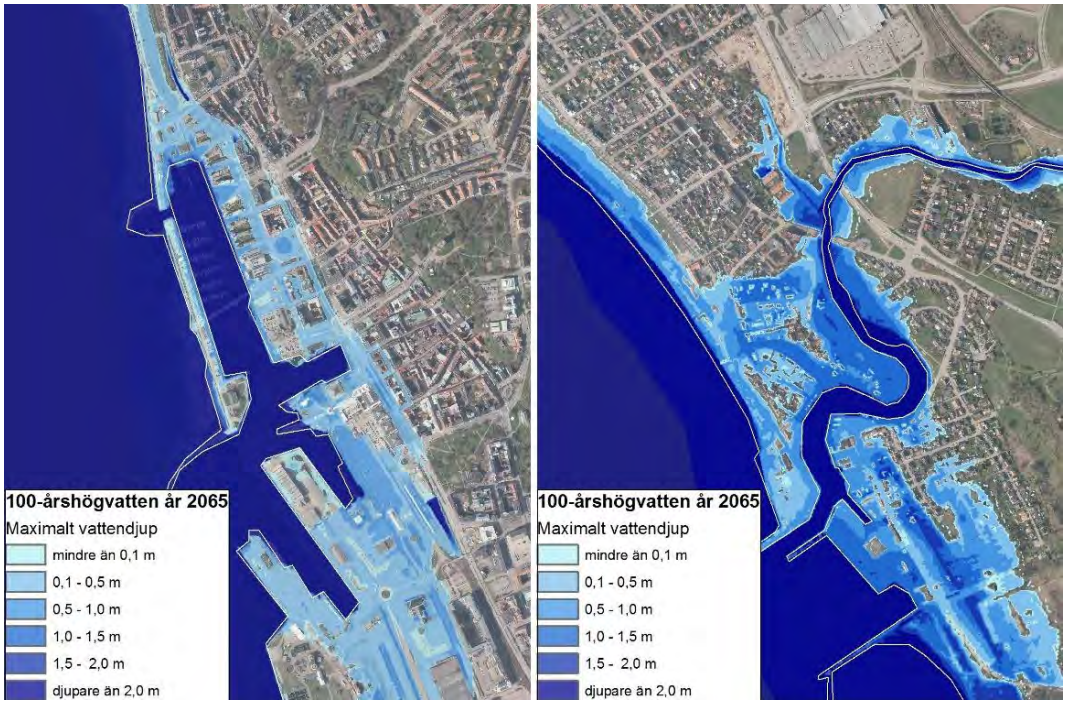
Figur 2.3 *Diagram som visar hur risken för människoliv som funktion av vattendjup och vattenhastighet för vuxna respektive barn (Assisstant commissioner - Engineering and Research, 1988).*

3 Resultat

3.1 Översvämningar vid ett 100-årshögvatten år 2065 i kombination med ett 100-årsflöde i Råån

Resultat från simuleringarna av 100-årshögvatten i havet år 2065 kan ses i bilaga A samt i Figur 3.1, där vattendjup längs med Helsingborgs kust framgår, och i bilaga C samt Figur 3.2, där risk för människoliv framgår.

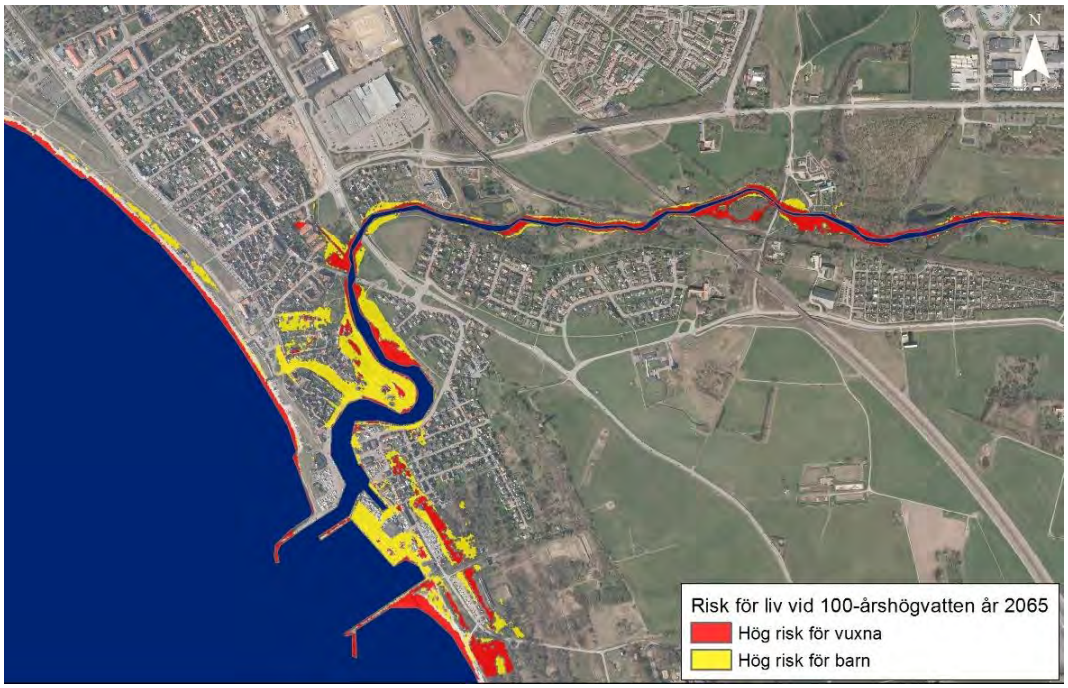
Ett 100-årshögvatten år 2065 har den maximala nivån +260 cm relativt RH 2000 och inkluderar även den förväntade medelvattennivåhöjningen fram till år 2065. En sådan händelse skulle orsaka relativt omfattande översvämning längs med Helsingborgs kust. Exempelvis hamnar båda tunnelöppningarna till Knutpunkten under vatten och stora delar av hamnen kommer att stå under 2 till 3 dm vatten. Råå är den del av staden där översvämningarna blir som störst med vattendjup upp till 1,5 m. Varaktigheten av översvämningarna blir ungefär 20 timmar då vattnet står som högst.



Figur 3.1 Resultat från översvämningsmodelleringen av ett 100-årshögvatten år 2065 i kombination med ett 100-årsflöde i Råån. Notera att det är stillvattenytan som visas.

Fara för människoliv har kartlagts utifrån metodiken beskriven i kapitel 2.5 och tar hänsyn till vattendjup i kombination med strömhastighet. Vid detta scenario är det i stort sett bara Råå där det förekommer områden där det föreligger fara för människoliv och då i huvudsak för barn. Det är ett relativt stort område i Råå som blir klassificerat som hög risk för barn att drunkna vid det studerade scenariot. Det bör även poängteras att områdena

där det finns en fara för liv utgör bostadsområden och det är troligt att människor vistas här under en storm. Det gör att risken för att någon faktiskt kan komma till skada ökar.

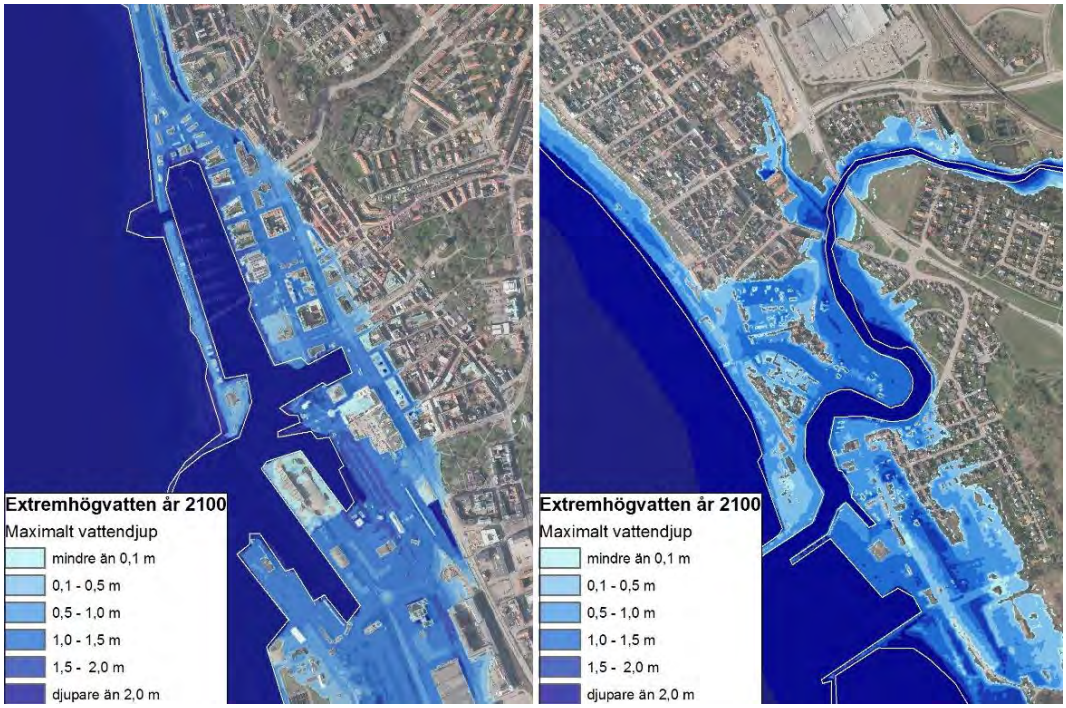


Figur 3.2 Risk för människoliv vid simulering av ett 100-årshögvatten år 2065 vid Råå i kombination med ett 100-årsflöde i Råån.

3.2 Extremhögvatten år 2100 i kombination med ett 200-årsflöde i Råån

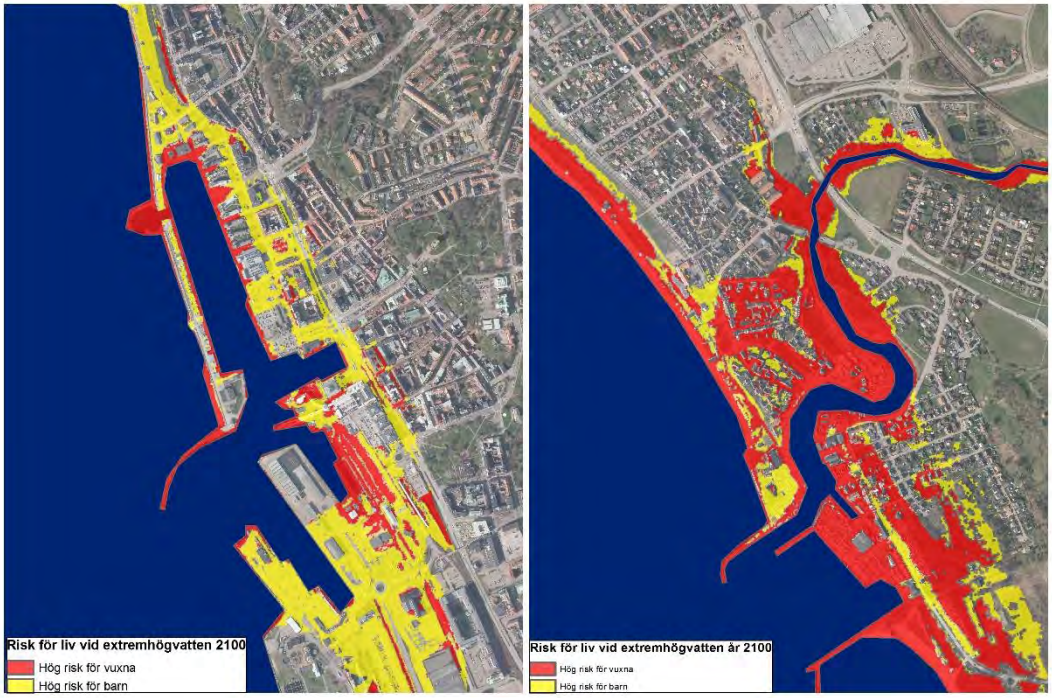
Resultat från simuleringarna av ett extremhögvatten år 2100 kan ses i bilaga B samt i Figur 3.3, där vattendjup längs med Helsingborgs kust framgår, och i bilaga D samt i Figur 3.4, där risk för människoliv framgår.

Vid detta scenario blir översvämningsutbredningen något större i plan än då 2065-scenariot studerades, medan vattendjupen blir betydligt större.



Figur 3.3 Vattendjup vid en översvämning orsakat av ett extremhögvatten år 2100 (+350 cm) i kombination med ett 200-årsflöde i Råån, vid Norra hamnen och Råå. Kartor för hela kuststräckan kan ses i bilaga B..

Områden där det finns risk för hälsa och liv vid ett översvämningstillfälle är betydligt större vid ett extremhögvatten år 2100 jämfört med ett 100-årshögvatten år 2065. Det kan i huvudsak förklaras med att vattendjupet är så mycket större vid detta scenario. Vid ett högvatten på +350 cm blir stora delar av Råå klassificerade som högrisk områden för människor, men även i centrum förekommer områden som har samma klassificering. I centrum är även stora delar klassificerade som högriskområden för barn avseende drunkningsrisk.



Figur 3.4 Områden där det finns risk för att vuxna respektive barn drunknar vid ett extremhögvatten år 2100 i kombination med ett 200-årsflöde i Råån.

4 Diskussion och slutsatser

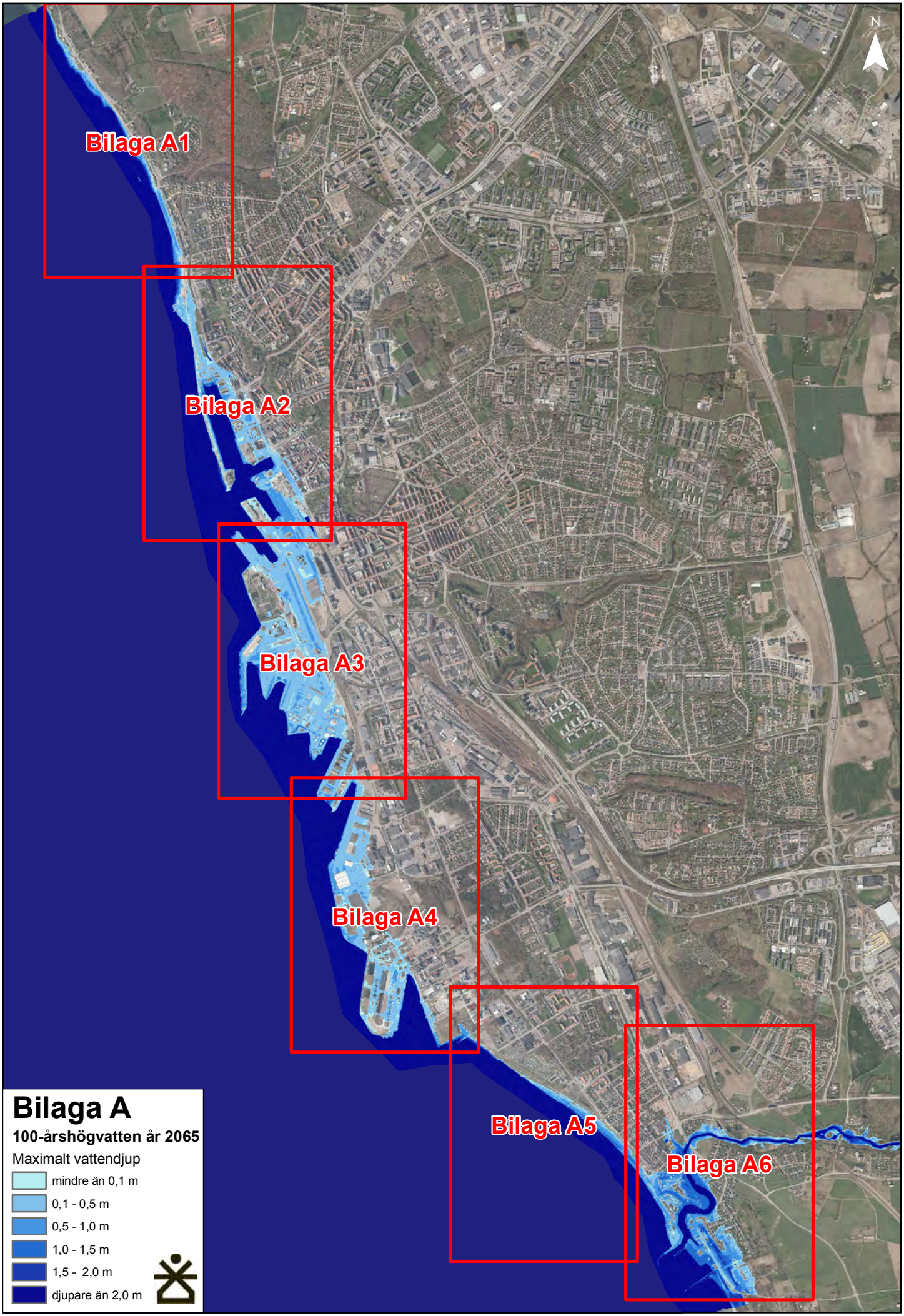
Modelleringen av 100-årshögvatten år 2065 i kombination med ett 100-årsflöde i Råån och extremhögvatten år 2100 i kombination med ett 200-årsflöde i Råån visar att Helsingborg kommer att vara utsatt för översvämningar vid dessa scenarier. Vid ett 100-årshögvatten år 2065 inträffar de största översvämningarna i Råå. Samtidigt påverkas stora delar av hamnen med vattendjup på upp till några decimetrar, till exempel läggs båda tunnelmynningarna till Knutpunkten under vatten vid denna händelse.

Vid ett extremhögvatten blir översvämningarna än mer omfattande. Utbredningen i plan blir inte mycket större än för ett 100-årshögvatten år 2065, men vattendjupen blir nästan en meter djupare. Det medför att konsekvensen av ett högvatten blir mycket värre än för ett 100-årshögvatten år 2065.

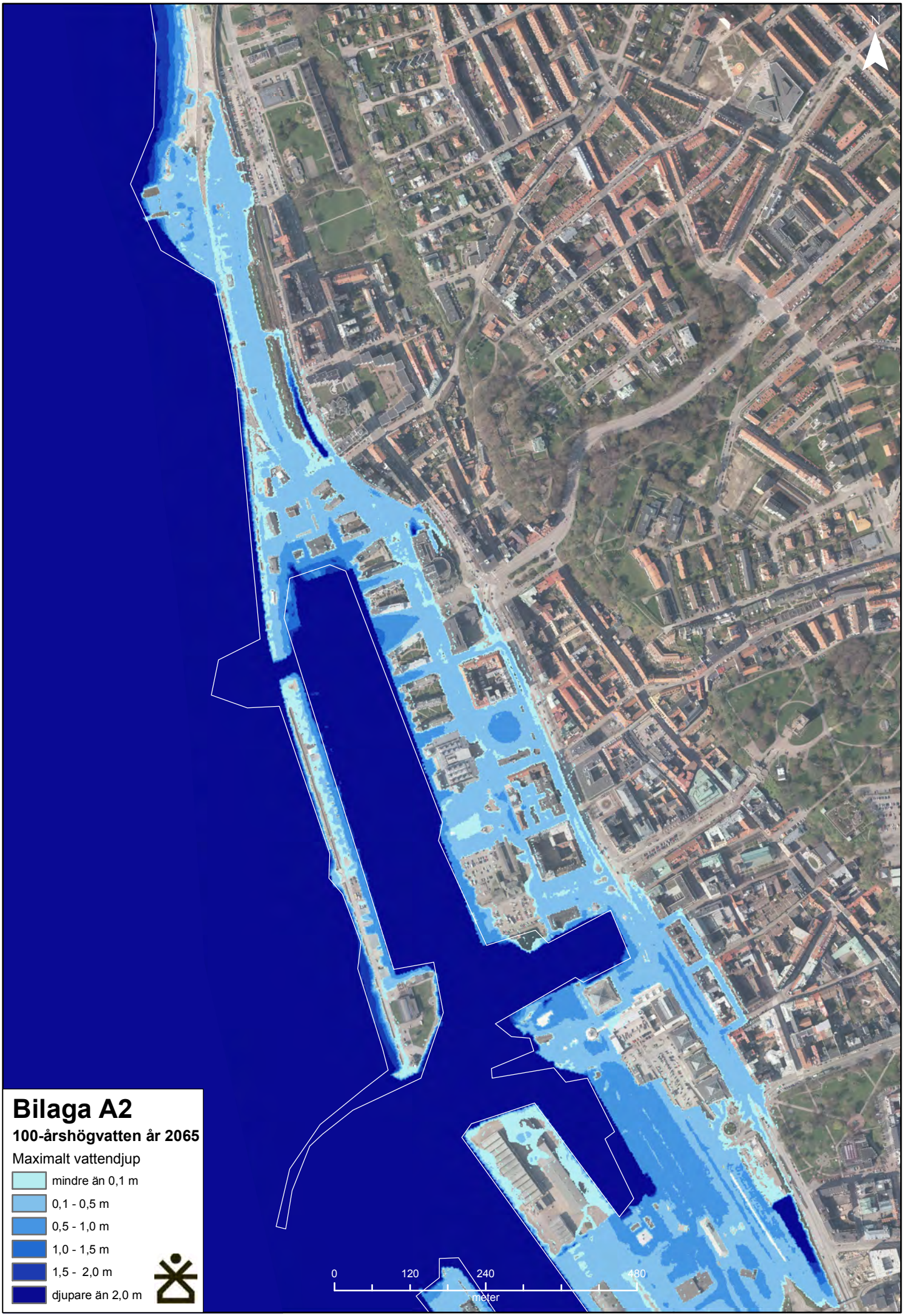
Modelleringen visar även att det finns fara för människors hälsa och liv i samband med översvämningar vid ett 100-årshögvatten år 2065 och ett extremhögvatten år 2100. Särskilt utsatt är Råå, men vid ett extremhögvatten år 2100 utgör även stora delar hamnen en riskzon. Då modellen inte tar hänsyn till vågor kan kartan av över områden där det föreligger fara för människoliv anses vara i underkant. Vågornas höjd klingar emellertid av snabbt inåt land och modellens resultat avseende risk för liv är därför bara missvisande i det område som är beläget närmast strandlinjen och där det kan förväntas vågor.

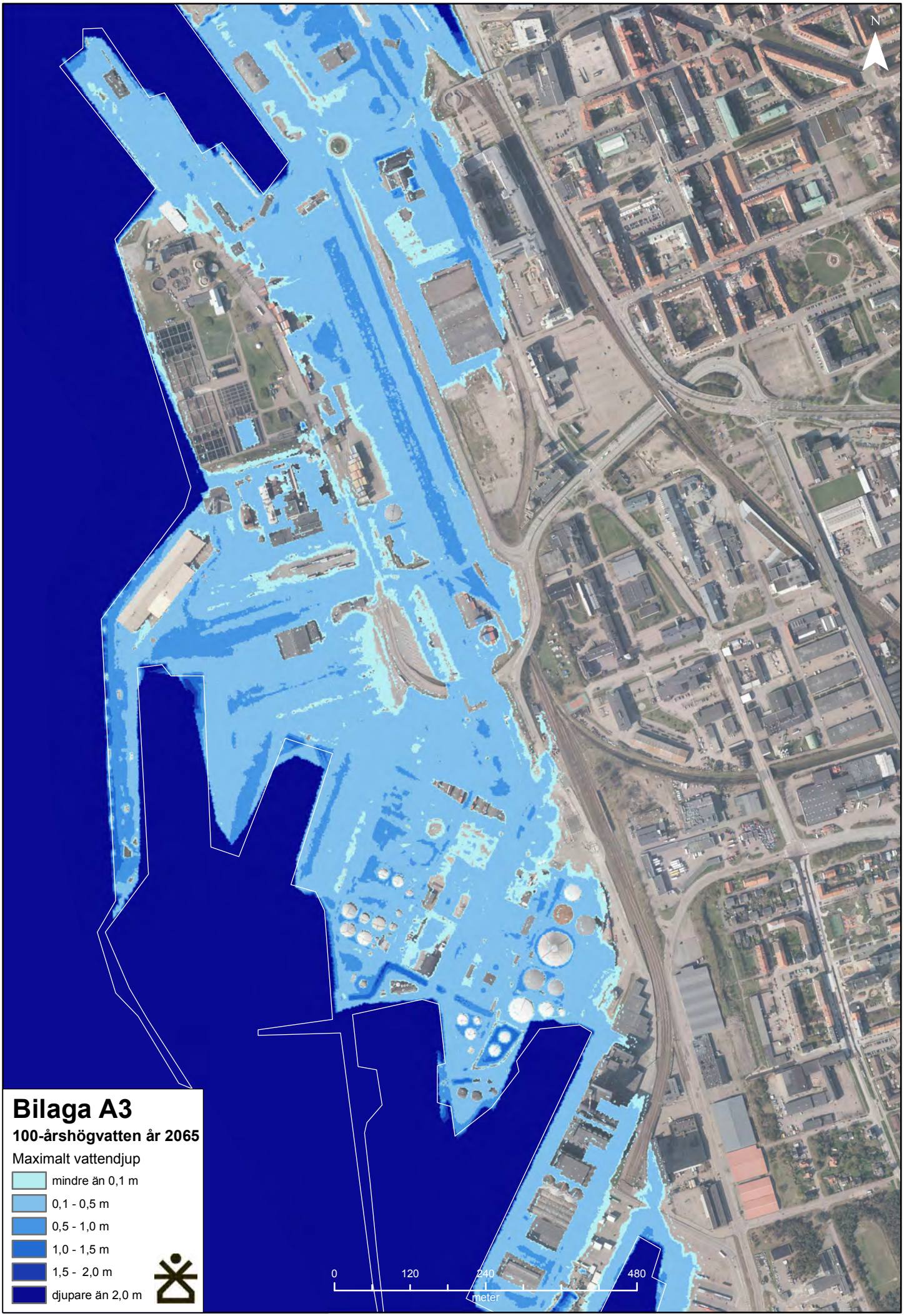
Den begränsade upplösningen av Lantmäteriets höjdmodell, 2x2 m, innebär en osäkerhet i modellresultaten. Antagligen blir resultaten något konservativa jämfört med en mer högupplöst höjdmodell, eftersom med den aktuella upplösningen kan trottoarkanter, murar och liknande strukturer missas, som i verkligheten skulle kunna hålla vatten utanför ett visst område.

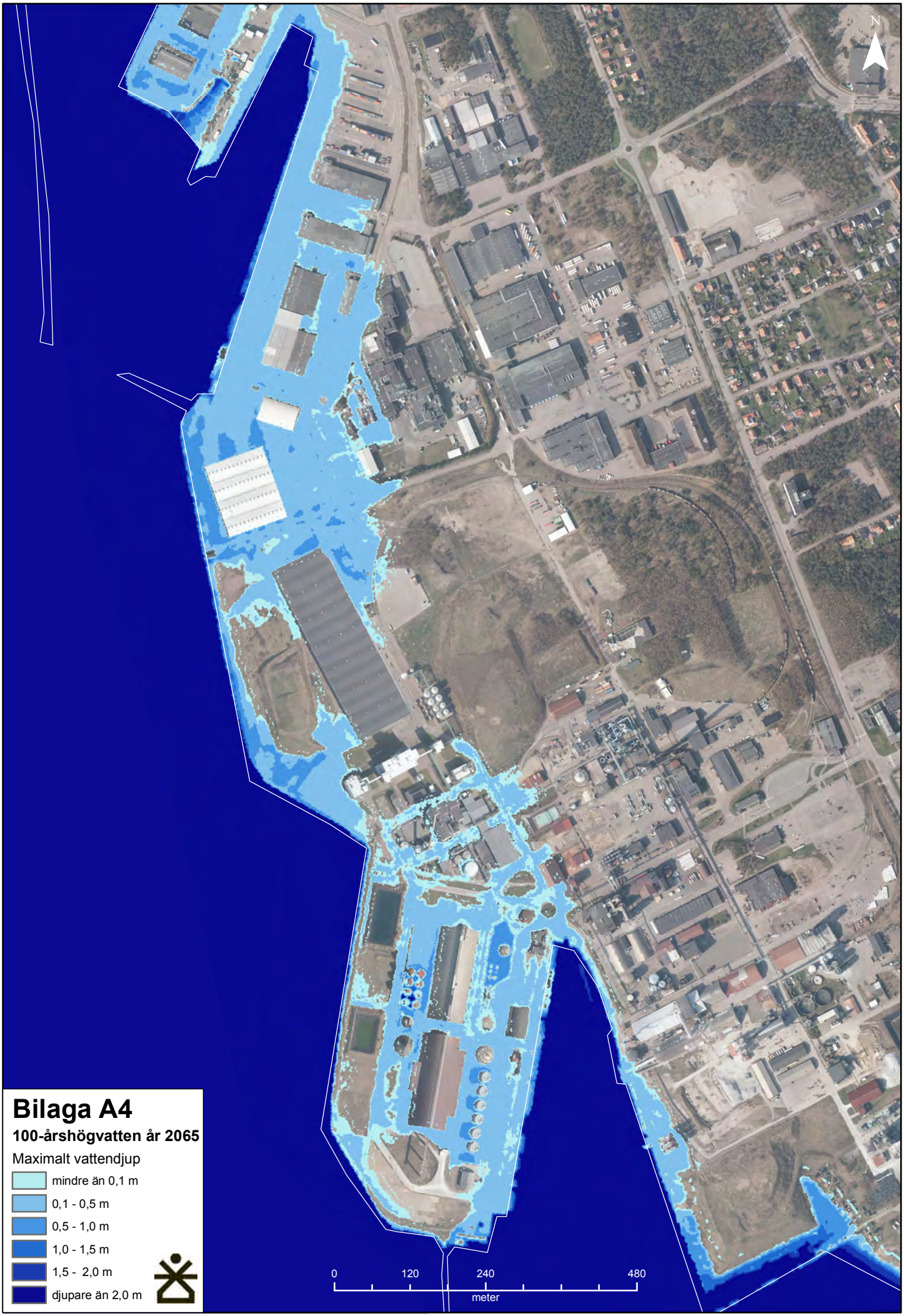
Vid höga vattenstånd i Öresund är Helsingborg utsatt för översvämningar och åtgärder bör vidtas. Resultat från översvämningsmodelleringen kommer att användas i riskanalysen av vilka samhällsviktiga funktioner som riskerar att drabbas. Resultaten i form av GIS-lager bör även läggas in i kommunens planeringsverktyg.


N
Bilaga A1
Bilaga A2
Bilaga A3
Bilaga A4
Bilaga A5
Bilaga A6
Bilaga A
100-årshögvatten år 2065
Maximalt vattendjup
mindre än 0,1 m
0,1 - 0,5 m
0,5 - 1,0 m
1,0 - 1,5 m
1,5 - 2,0 m
djupare än 2,0 m

N
Bilaga A1
100-årshögvatten år 2065
Maximalt vattendjup
mindre än 0,1 m
0,1 - 0,5 m
0,5 - 1,0 m
1,0 - 1,5 m
1,5 - 2,0 m
djupare än 2,0 m
0
120
240
480
meter

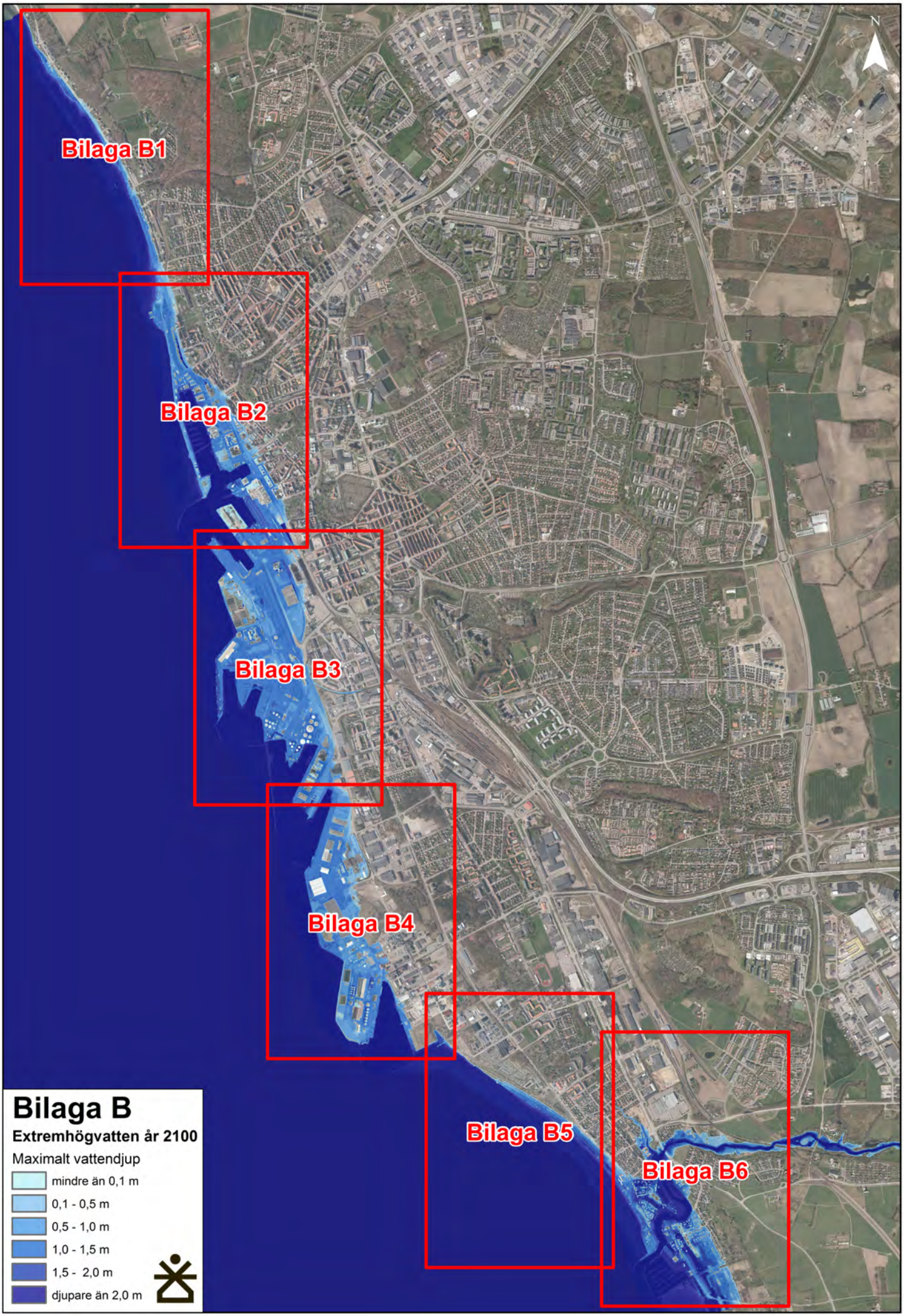

N
Bilaga A2
100-årshögvatten år 2065
Maximalt vattendjup
mindre än 0,1 m
0,1 - 0,5 m
0,5 - 1,0 m
1,0 - 1,5 m
1,5 - 2,0 m
djupare än 2,0 m
0
120
240
480
meter


N
Bilaga A3
100-årshögvatten år 2065
Maximalt vattendjup
mindre än 0,1 m
0,1 - 0,5 m
0,5 - 1,0 m
1,0 - 1,5 m
1,5 - 2,0 m
djupare än 2,0 m
0
120
240
480
meter


N
Bilaga A4
100-årshögvatten år 2065
Maximalt vattendjup
mindre än 0,1 m
0,1 - 0,5 m
0,5 - 1,0 m
1,0 - 1,5 m
1,5 - 2,0 m
djupare än 2,0 m
0
120
240
480
meter

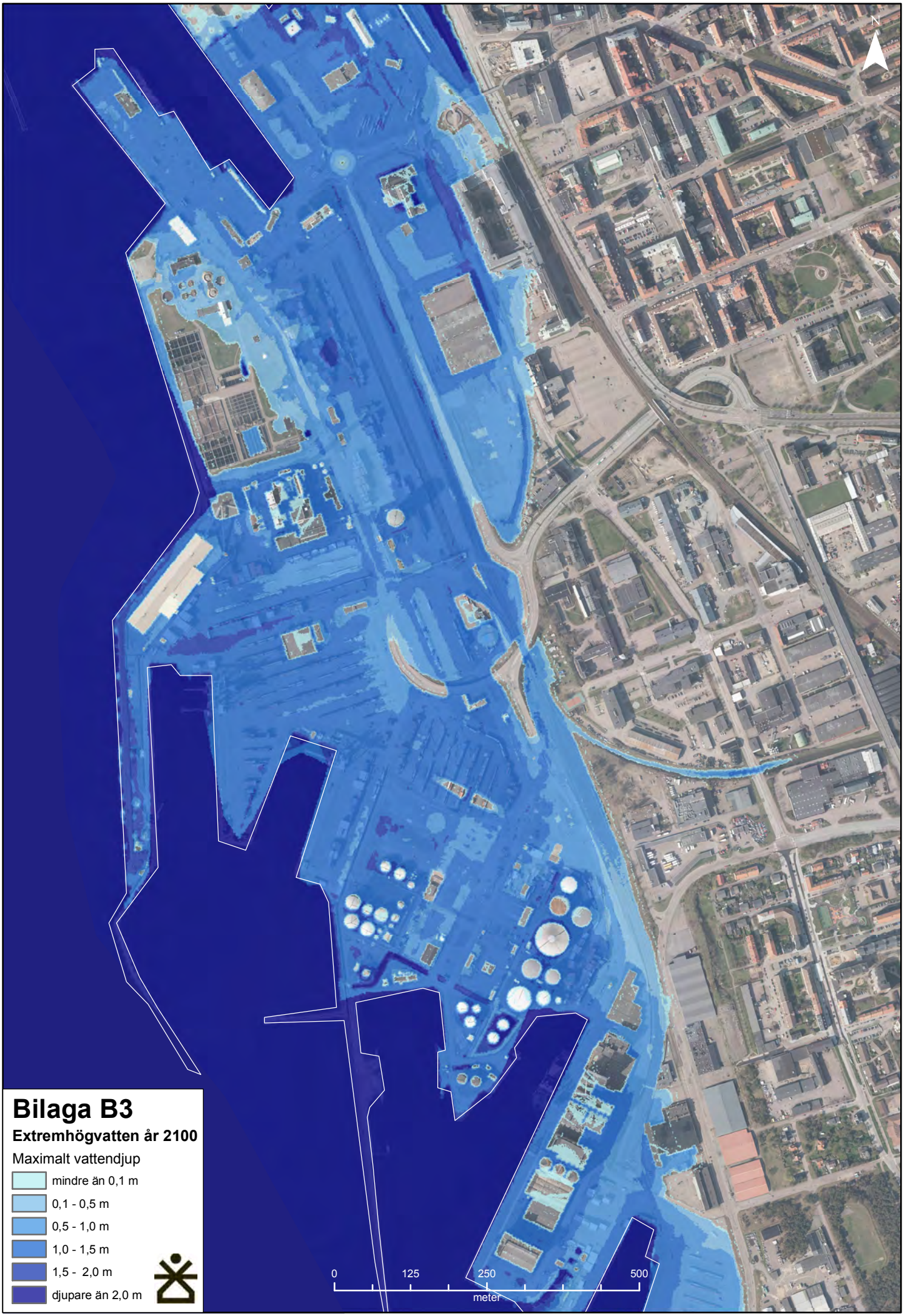
N
Bilaga A5
100-årshögvatten år 2065
Maximalt vattendjup
mindre än 0,1 m
0,1 - 0,5 m
0,5 - 1,0 m
1,0 - 1,5 m
1,5 - 2,0 m
djupare än 2,0 m
0
120
240
480
meter

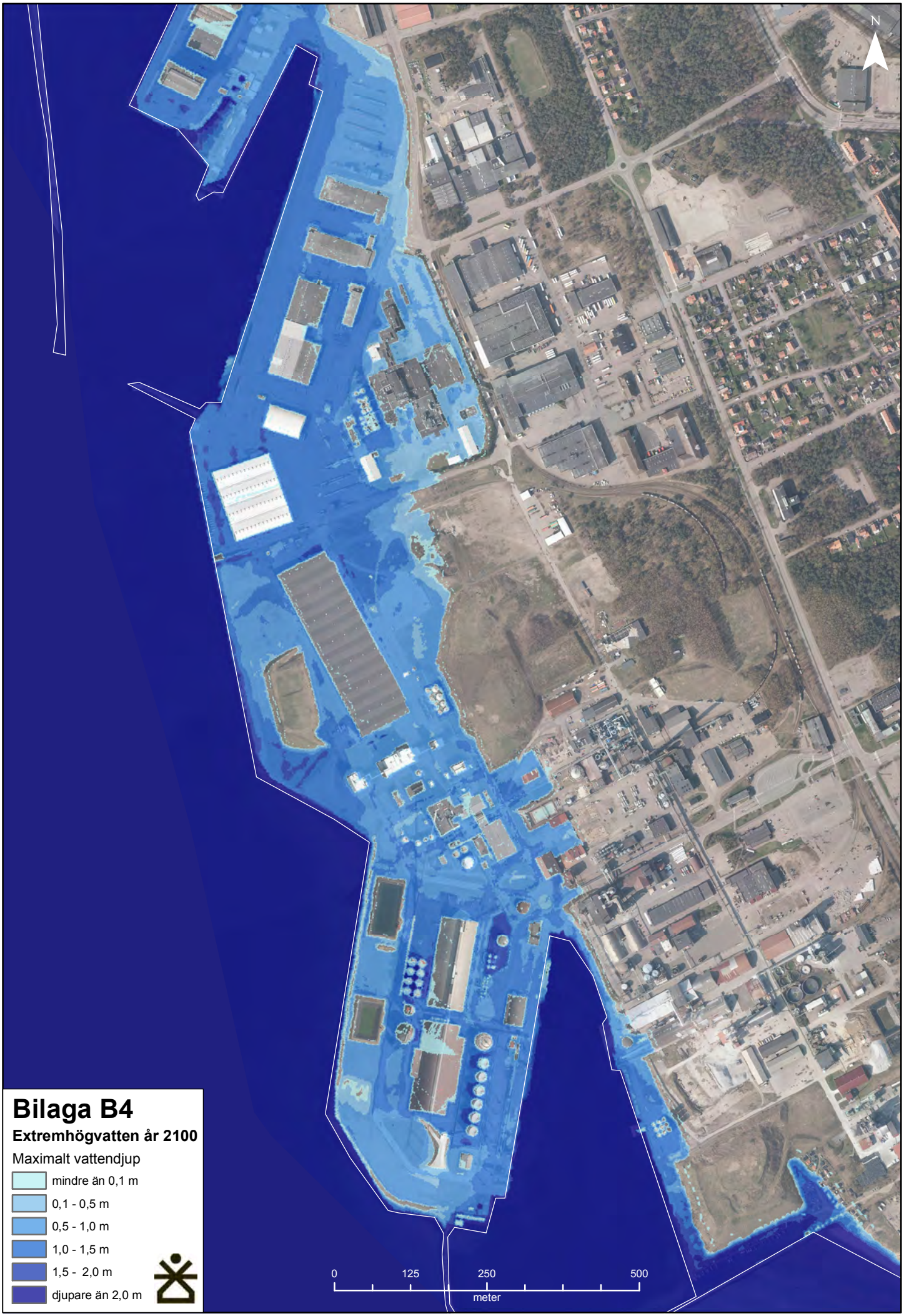
N
Bilaga A6
100-årshögvatten år 2065
Maximalt vattendjup
mindre än 0,1 m
0,1 - 0,5 m
0,5 - 1,0 m
1,0 - 1,5 m
1,5 - 2,0 m
djupare än 2,0 m
0
120
240
480
meter


N
Bilaga B1
Bilaga B2
Bilaga B3
Bilaga B4
Bilaga B5
Bilaga B6
Bilaga B
Extremhögvatten år 2100
Maximalt vattendjup
mindre än 0,1 m
0,1 - 0,5 m
0,5 - 1,0 m
1,0 - 1,5 m
1,5 - 2,0 m
djupare än 2,0 m

N
Bilaga B1
Extremhögvatten år 2100
Maximalt vattendjup
mindre än 0,1 m
0,1 - 0,5 m
0,5 - 1,0 m
1,0 - 1,5 m
1,5 - 2,0 m
djupare än 2,0 m
0
125
250
500
meter

N
Bilaga B2
Extremhögvatten år 2100
Maximalt vattendjup
mindre än 0,1 m
0,1 - 0,5 m
0,5 - 1,0 m
1,0 - 1,5 m
1,5 - 2,0 m
djupare än 2,0 m
0
125
250
500
meter


N
Bilaga B3
Extremhögvatten år 2100
Maximalt vattendjup
mindre än 0,1 m
0,1 - 0,5 m
0,5 - 1,0 m
1,0 - 1,5 m
1,5 - 2,0 m
djupare än 2,0 m
0
125
250
500
meter


N
Bilaga B4
Extremhögvatten år 2100
Maximalt vattendjup
mindre än 0,1 m
0,1 - 0,5 m
0,5 - 1,0 m
1,0 - 1,5 m
1,5 - 2,0 m
djupare än 2,0 m
0
125
250
500
meter

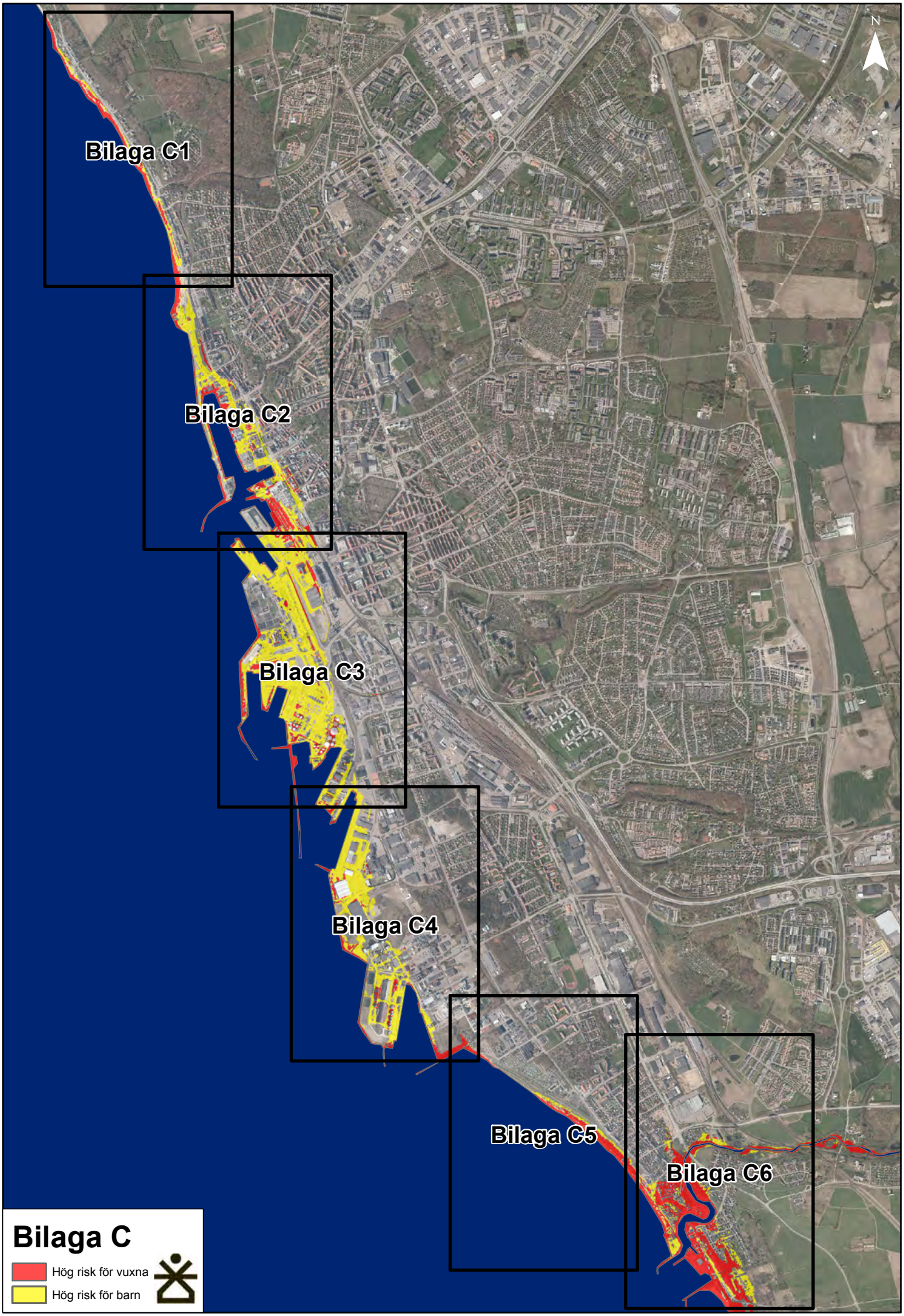
Bilaga B5

Extremhögvatten år 2100

Maximalt vattendjup

- mindre än 0,1 m
- 0,1 - 0,5 m
- 0,5 - 1,0 m
- 1,0 - 1,5 m
- 1,5 - 2,0 m
- djupare än 2,0 m

N
Bilaga B6
Extremhögvatten år 2100
Maximalt vattendjup
mindre än 0,1 m
0,1 - 0,5 m
0,5 - 1,0 m
1,0 - 1,5 m
1,5 - 2,0 m
djupare än 2,0 m
0
125
250
500
meter


N
Bilaga C1
Bilaga C2
Bilaga C3
Bilaga C4
Bilaga C5
Bilaga C6
Bilaga C
Hög risk för vuxna
Hög risk för barn

Bilaga C1

Risk för liv vid 100-årshögvatten år 2065

Hög risk för vuxna

Hög risk för barn

Bilaga C2

Risk för liv vid 100-årshögvatten år 2065

Hög risk för vuxna

Hög risk för barn

Bilaga C3

Risk för liv vid 100-årshögvatten år 2065

Hög risk för vuxna

Hög risk för barn

Bilaga C4

Risk för liv vid 100-årshögvatten år 2065

Hög risk för vuxna

Hög risk för barn

Bilaga C5

Risk för liv vid 100-årshögvatten år 2065

Hög risk för vuxna

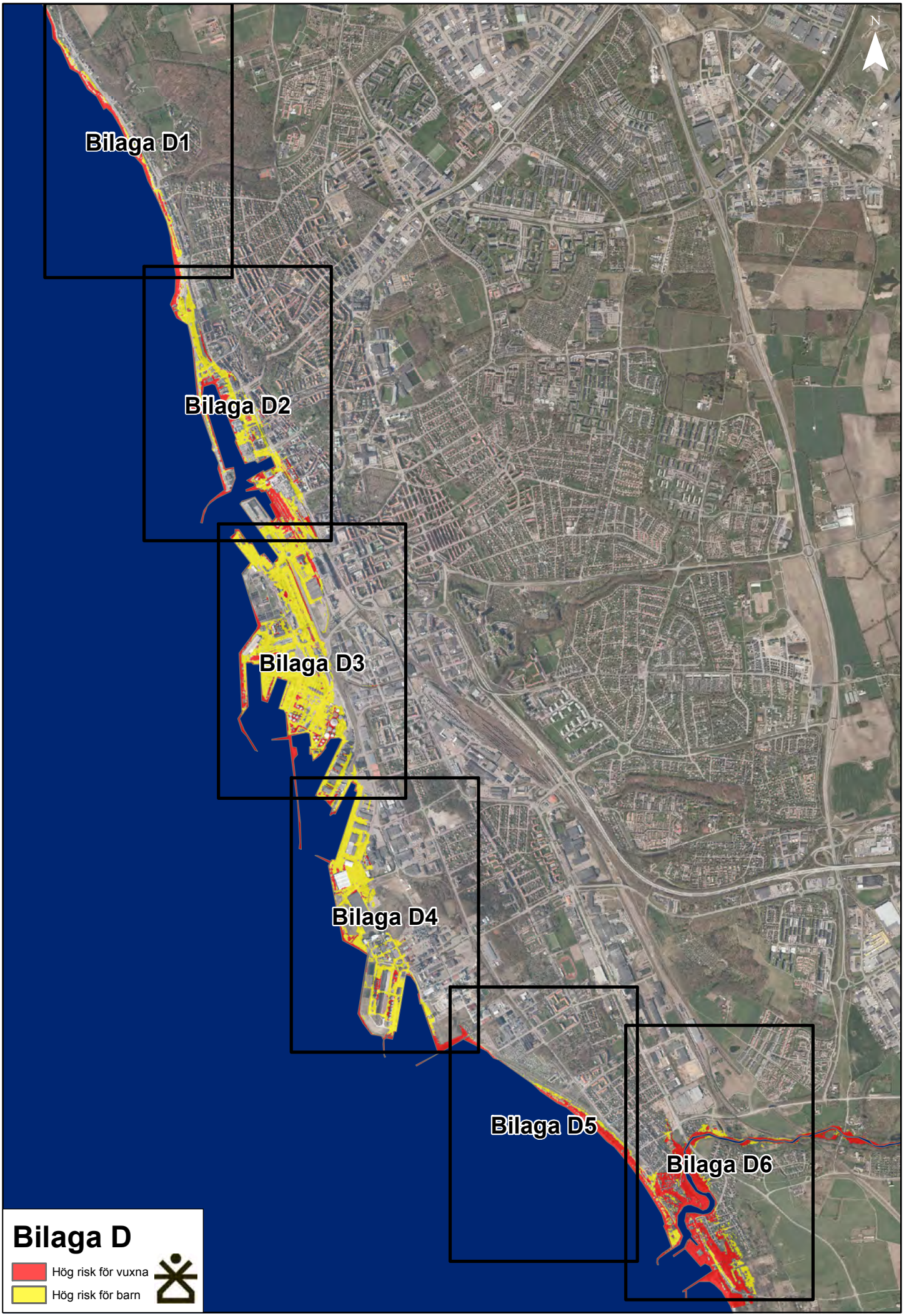
Hög risk för barn

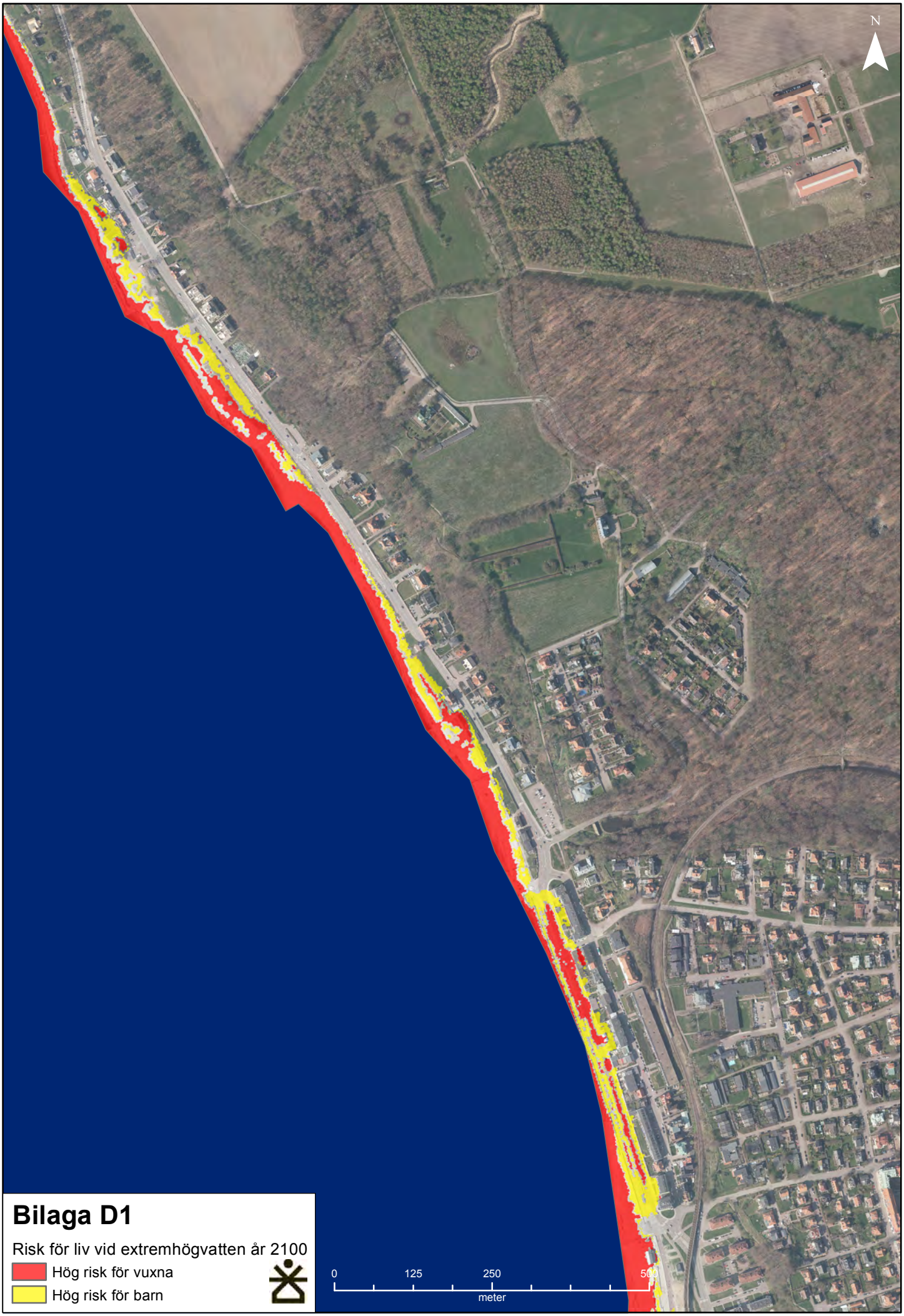
Bilaga C6

Risk för liv vid 100-årshögvatten år 2065

Hög risk för vuxna

Hög risk för barn


N
Bilaga D1
Bilaga D2
Bilaga D3
Bilaga D4
Bilaga D5
Bilaga D6
Bilaga D
Hög risk för vuxna
Hög risk för barn

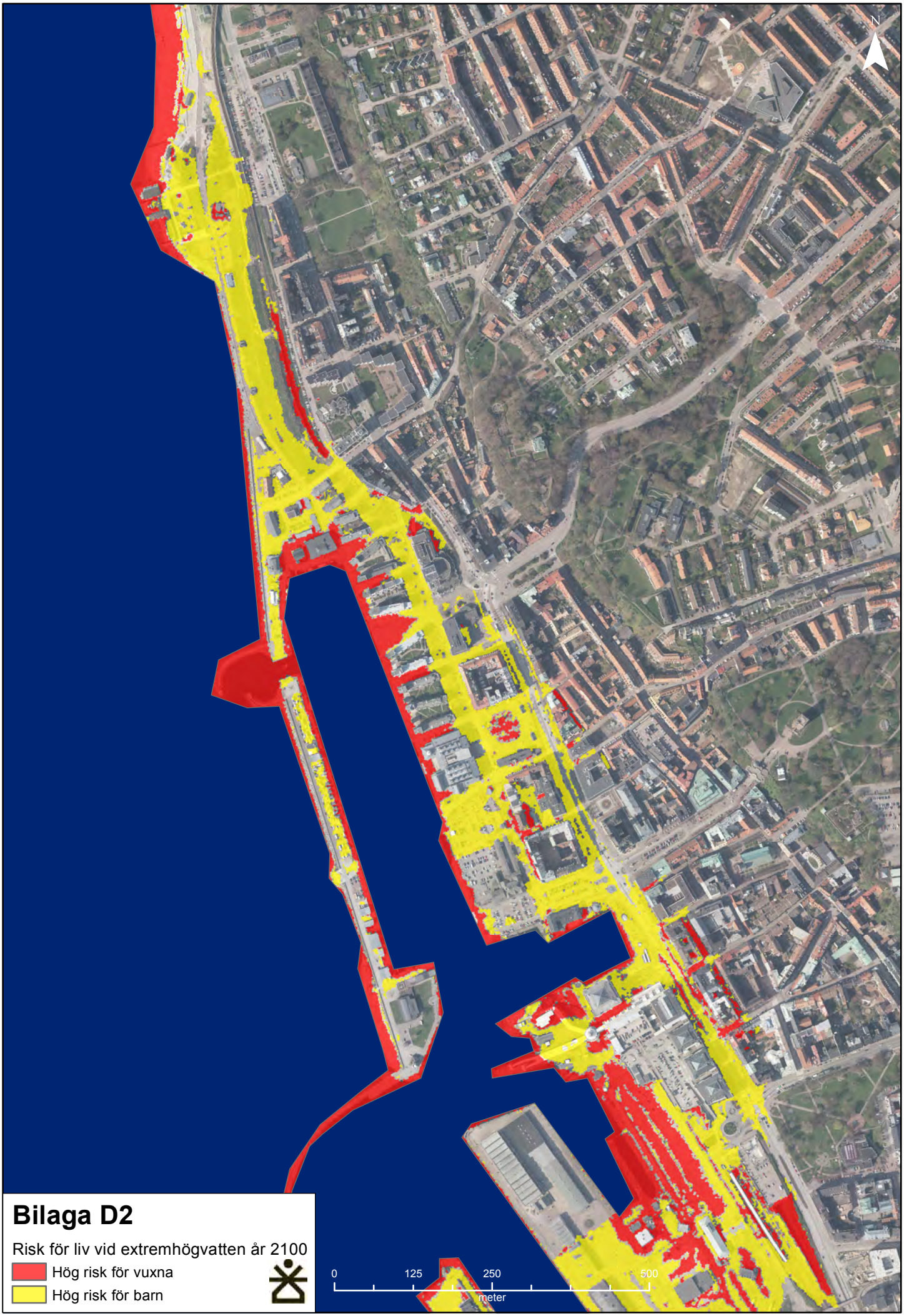


Bilaga D1

Risk för liv vid extremhögvatten år 2100

Hög risk för vuxna

Hög risk för barn

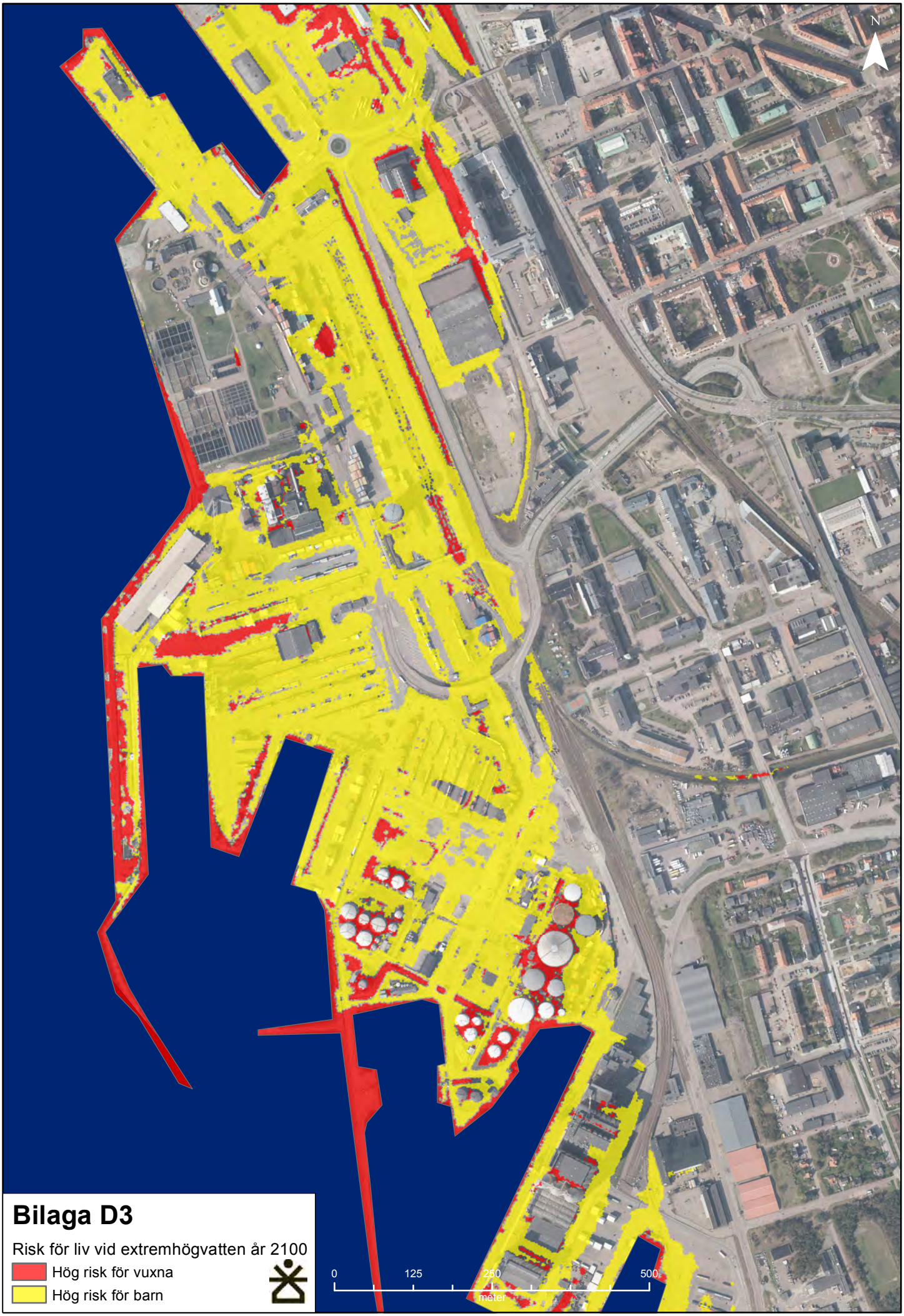


Bilaga D2

Risk för liv vid extremhögvatten år 2100

Hög risk för vuxna

Hög risk för barn



Bilaga D3

Risk för liv vid extremhögvatten år 2100

Hög risk för vuxna

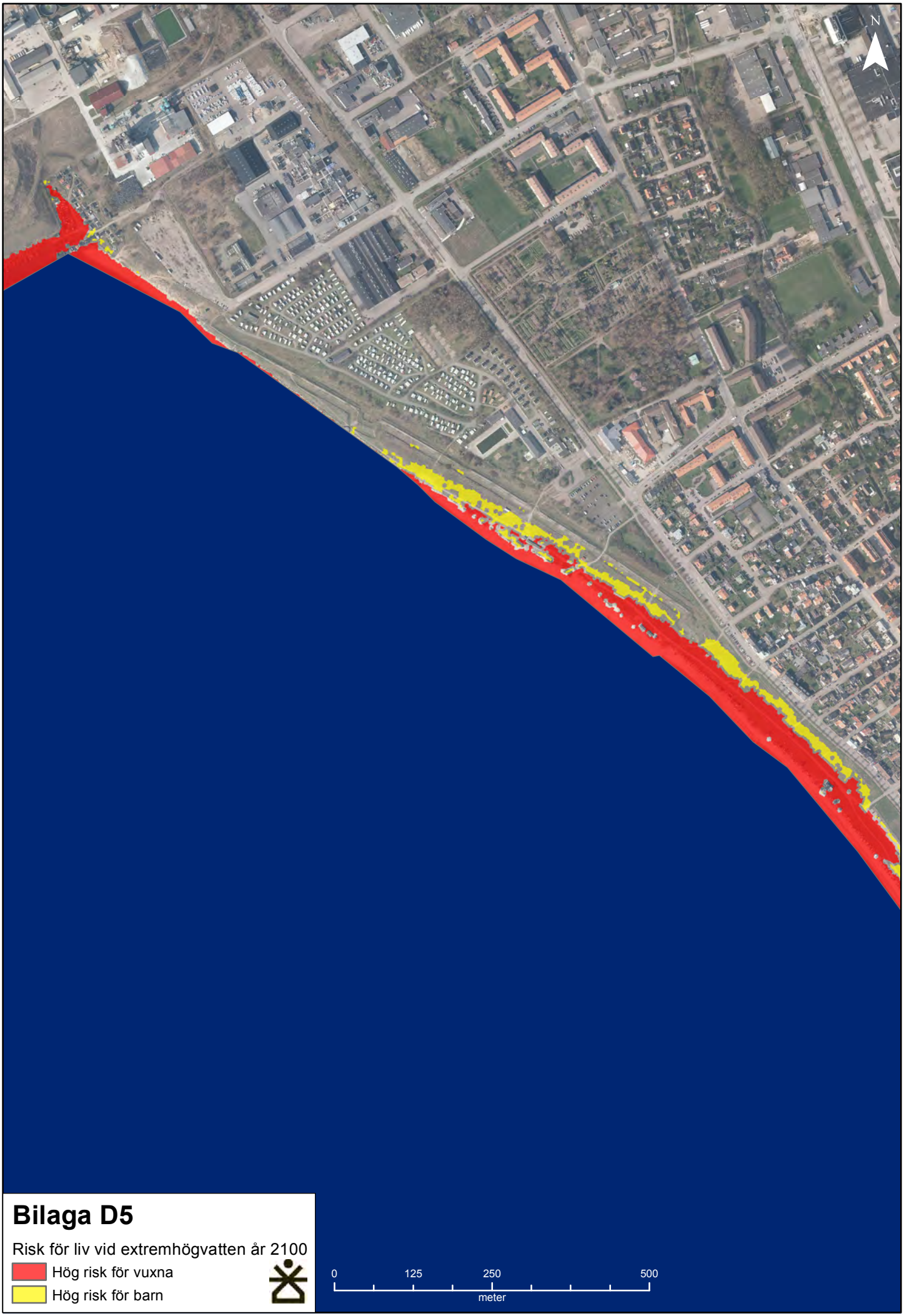
Hög risk för barn

Bilaga D4

Risk för liv vid extremhögvatten år 2100

Hög risk för vuxna

Hög risk för barn

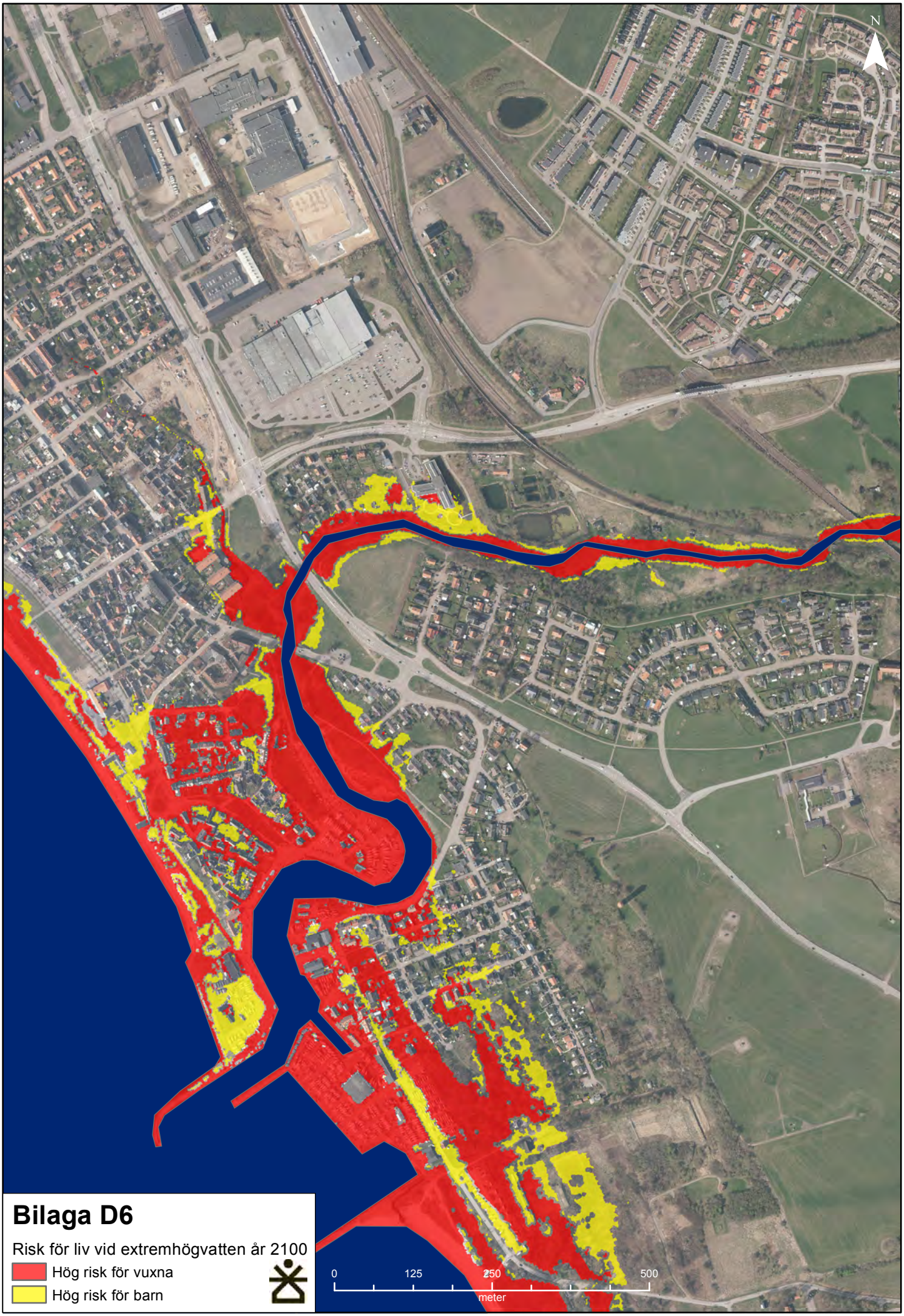


Bilaga D5

Risk för liv vid extremhögvatten år 2100

Hög risk för vuxna

Hög risk för barn



Bilaga D6

Risk för liv vid extremhögvatten år 2100

Hög risk för vuxna

Hög risk för barn