

# Kunskap, metoder och verktyg vid utredningar i vattenmiljö med fokus på modeller

Anna Karlsson, Oceanograf

# Agenda

- Sammanställning av kunskap och metoder för olika typer av frågeställningar.
- Verktyg och metoder
- Kvalitet – är en modell bra?
- Etablerad metodik och pågående utveckling
- Exempel på uppsättningar i Sverige

# Om DHI

DHI är en oberoende, internationell konsult- och forskningsorganisation med mål att främja teknisk utveckling och kompetensutveckling inom områdena vatten, miljö och hälsa

- Spin-off från DTU i Danmark, 1964
- Sammanslagning av Danskt Hydrauliskt Institut, VattenKvalitetsInstitutet (2000) och Danska Toxicologiska Centret (2005)
- Forskningsbaserat (120 personår/år)
- > 1,100 anställda (85% BSc/MSc/PhD, 10% tekniker)
- Handledning av > 70 MSc/PhD-studenter årligen
- Omsättning 120 M€ (2/3 internationellt)
- Approved Technological Service Institute – Annual performance contract (~ 5 M€)
- Privat, oberoende, icke-vinstdrivande institut (likt en stiftelse)

# Om mig

- Fil. Mag. Oceanografi från Göteborgs Universitet/Flinders University (AU)
- 2000-2007 SMHI. Konsult, produktutvecklare, delmarknadsansvarig, gruppchef och enhetschef
- 2007- DHI. Senior expert rörande frågeställningar i vattenmiljö, såsom strömning i vatten, framtida vattennivåer m.m.
- Har jobbat med de flesta modeller för öppet vatten som används kommersiellt i Sverige idag.

Ge en så objektiv bild av modeller och verktyg som möjligt!

# Kort sammanställning av kunskapsläget



# Frågeställningar sjö/hav

Vattenkvalitet



Muddring



Utsläpp av ämnen/processvatten



Byggnation i vatten



MKB



Ekologisk påverkan



Vattenförsörjning

Dimensionering



Vattenförvaltning



# Kunskapsläget – vad kan vi om processer idag?

Mycket god kunskap

- Hydrodynamik – strömning och blandning
- Spridning av lösta ämnen och grundläggande vattenkvalité
- Sediment, partiklar och morfologi
- Näringsämnesomsättning
- Ekologi och näringsväv



Under utveckling

# Verktyg och metoder



# Verktyg och metoder



- Kvalificerade bedömningar
- Matematiska och numeriska modeller
- Fysiska modeller och laboratorieexperiment
- Mätningar

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i}{\partial x_i} = 0$$



# Bedömningar

- Bygger på enskild persons erfarenhet och kvalité på underlag
- Mest lämpat för enklare problem som lösts tidigare
- Bör betraktas med försiktighet
- Kan utgöra ett bra diskussionsunderlag i början av ett projekt
- Bör i de flesta fall kompletteras med andra metoder

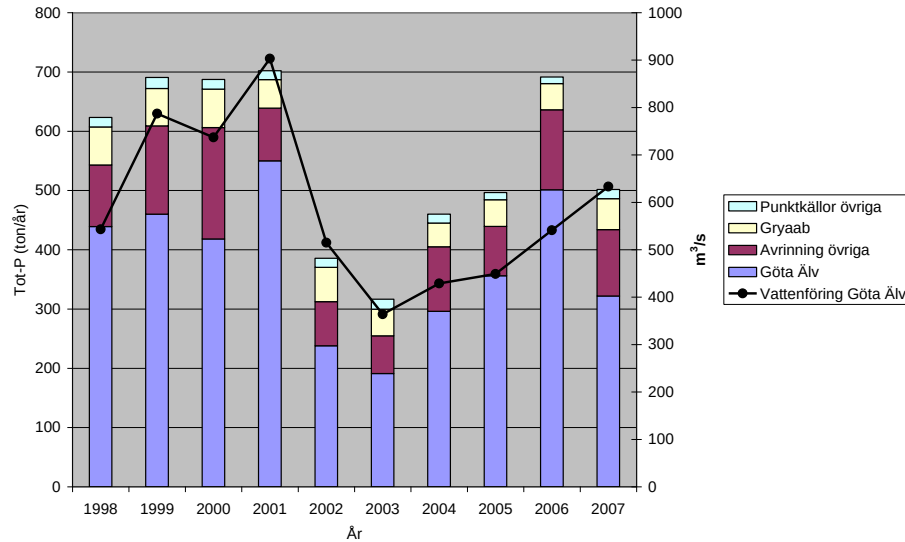
# Bedömningar - Exempel

- Problem: Övergödning av våra kustområden
- Fråga: Vilka är de viktigaste kväve- och fosforkällorna, naturliga och antropogena, och hur stora är de relativt varandra?
- Steg 1: Sammanställ befintliga data och redovisa på ett lättöverskådligt sätt.

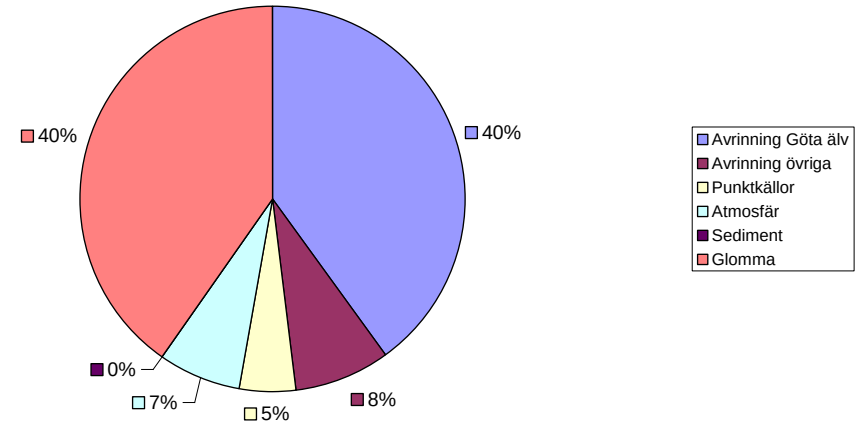
Havsområdesbudget:

|         | Q l/s           | Tot-P mg/l | Tot-P kg/månad | Tot-N mg/l | Tot-N kg/månad |
|---------|-----------------|------------|----------------|------------|----------------|
| ARV ref | 15              | 0.3        | 12             | 25         | 980            |
| Fall A  | 51              | 0.3        | 40             | 10         | 1 300          |
| Havet   | 100 000-400 000 | 0.03       | 8 000- 31 000  | 0.2        | 52 000-207 000 |
| Land    | 300             | -          | 80             |            | 2500           |

# Bedömningar - Exempel



Tot-N (mean for 1998-2007)



# Modell – definition av begreppet



WIKIPEDIA  
Den fria encyklopedin

Huvudsida  
Skriv en ny artikel  
Deltagarportalen  
Bybrunnen  
Senaste ändringarna  
Slumpartikel  
Ladda upp filer  
Stöd Wikipedia

Skapa ett konto  Logga

Artikel **Diskussion**

Visa **Redigera** Visa historik

Sök

## Modell

**Modell** har flera betydelser:

- **Vetenskaplig modell**, en vetenskaplig abstraktion eller försök till avbildning av verkligheten
- **Matematisk modell**, en abstrakt matematisk beskrivning av ett fenomen
- **Skalmodell**, en fysisk avbildning av ett motiv för presentation, hobby eller experiment
- Det finns flera olika modellyrken. En person som utgör motiv för **fotografering** är en **fotomodell**. En person som framvisar kläder inför publik är en **mannekång**. En person kan även utgöra motiv för skulptur, teckning och målarkonst - se **kroki**.
- **Modell (logik)**, begrepp inom **logiken**
- **Modell (version)**, en version av en produkt



Se även ordet "**modell**" på svenskspråkiga Wiktionary.

# Modell – definition av begreppet

## ***Generellt***

En matematisk beskrivning av en process eller ett system som kan användas för att beräkna olika storheter.

## ***I praktiken***

En eller ett antal matematiska ekvationer som bygger på grundläggande naturvetenskapliga lagar och som kan lösas exakt eller approximativt (analytiskt, t.ex. med papper och penna och numeriskt, ofta med hjälp av en dator).

# Varför modeller?



## Som beslutsunderlag

- För att minimera påverkan på miljön
- Genom att utvärdera olika alternativ - ta fram det mest (kostnads/miljö-) effektiva alternativet
- Inom förvaltning
- För att designa och dimensionera konstruktioner

## Som operationellt verktyg för planering och förvaltning

- Varnings- och olyckssystem för t.ex. höga/låga vattennivåer, starka strömmar, höga vågor, spridning av oljor och andra ämnen
- Vattenkvalitetskontroll - badvattenprognos



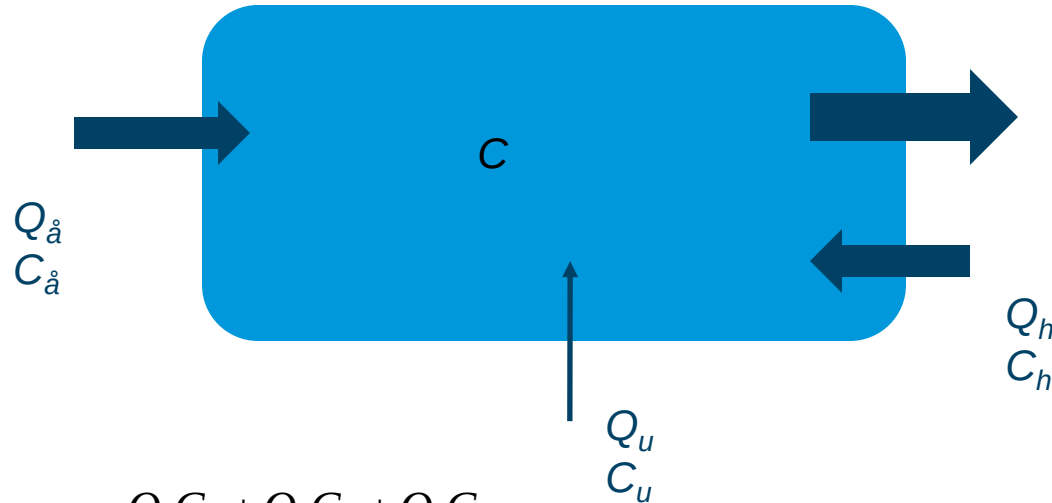
# Modeller - Typer

- A. **Analytiska** – kan vara papper o penna-lösningar men även datorbaserade program
- B. **Parametriserade modeller** – förenklade formler för specifika processer
- C. **Boxmodeller** – geografiska områden representeras av boxar
- D. **Primitiva ekvationsmodeller** – fullständiga lösningar av ekvation och högupplösta



# Analytiska modeller – exempel

Uppskatta koncentrationen av ett ämne C i en vik eller bukt efter lång tid. I viken mynnar en å och ett utsläpp (u). Viken utbyter vatten med havet (h).



$$C = \frac{Q_u C_u + Q_a C_a + Q_h C_h}{Q_u + Q_a + Q_h}$$

# Analytiska modeller – egenskaper

## Styrkor

- Snabbt
- Lätt att kontrollräkna
- Bygger på grundläggande naturlagar och kunskap
- Begränsade behov av indata
- Begripligt

## Svagheter

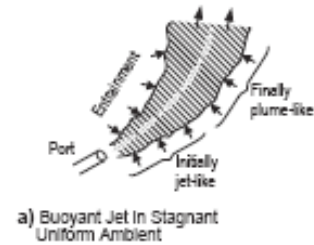
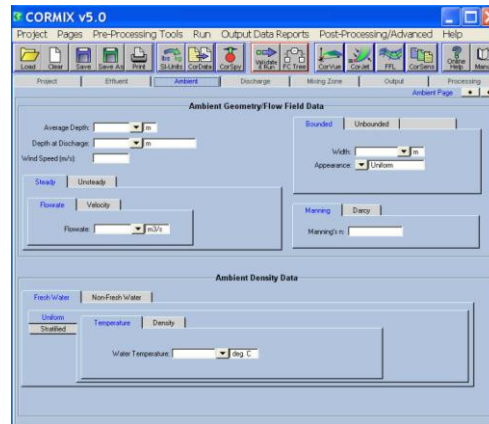
- Grov förenkling av verkligheten
- Beskriver sällan variationer i tid eller rum
- Ibland svårt att uppskatta vissa processer
- Ibland svårt att bekräfta förenklingarnas rimlighet

## Användningsområden

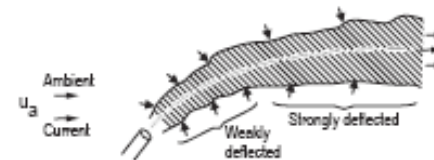
- Förstudier och bedömningar
- Storleksordningsuppskattningar (jfr modell)
- För specifika enklare områden och problem

# Parametriska modeller – exempel

Utspädning av utsläpp som sker som en jetstråle - närområdesanalys



a) Buoyant Jet in Stagnant Uniform Ambient



b) Buoyant Jet in Uniform Ambient Cross Current

# Parametriska modeller

## Styrkor

- Snabbt
- Relativt lättanvänt
- Bygger på välbeprövade formler
- Begränsade behov av indata
- Exakta resultat för väldefinierade situationer

## Svagheter

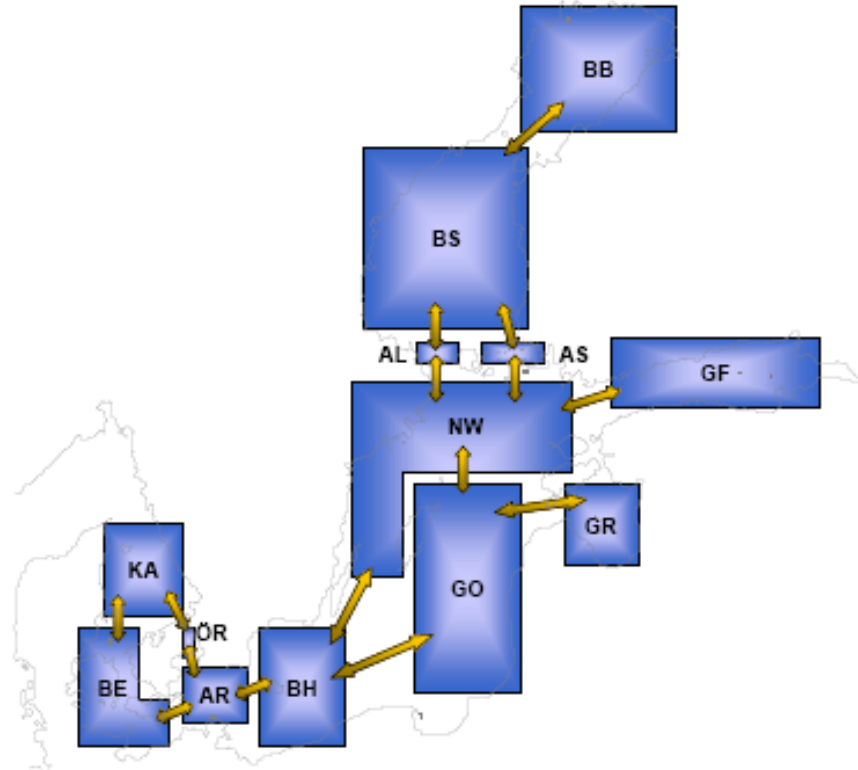
- Mycket förenklad beskrivning av omgivningen
- Begränsad giltighet (specifika situationer)
- Ibland svårt att tolka resultat
- Inte tänkta att beskriva hela system

## Användningsområden

- Dimensionering av konstruktioner/utsläpp
- Förhållanden nära konstruktioner/utsläpp
- För väldefinierade problem
- Som en första uppskattning
- Som indata till mer omfattande modeller

# Boxmodeller – exempel

SMHI:s PROBE-Baltic modell  
(SMHI, Oceanografi nr. 89)

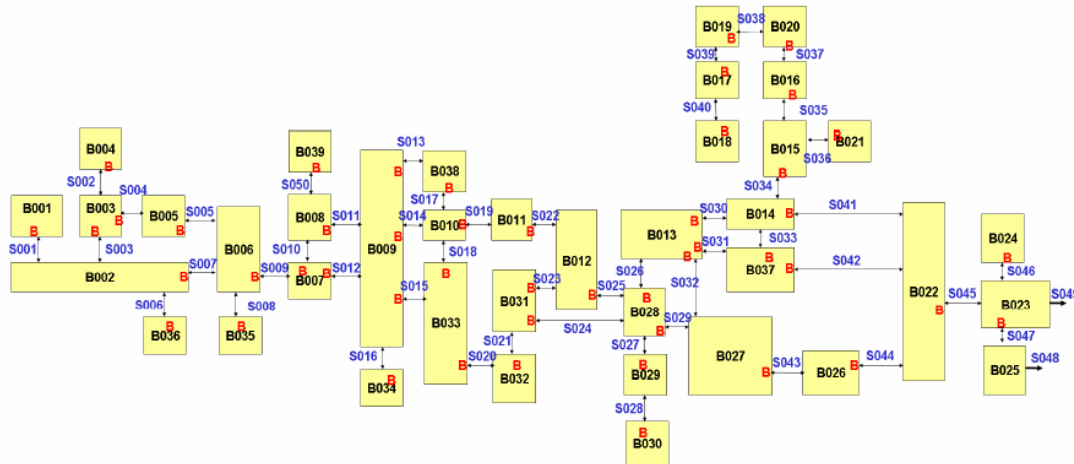


# Boxmodeller – exempel

Mälaren

Kustzonsmodellen Mälaren

39 Bassänger  
50 Sund

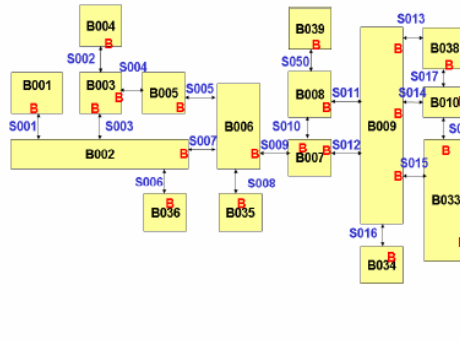


# Boxmodeller – exempel

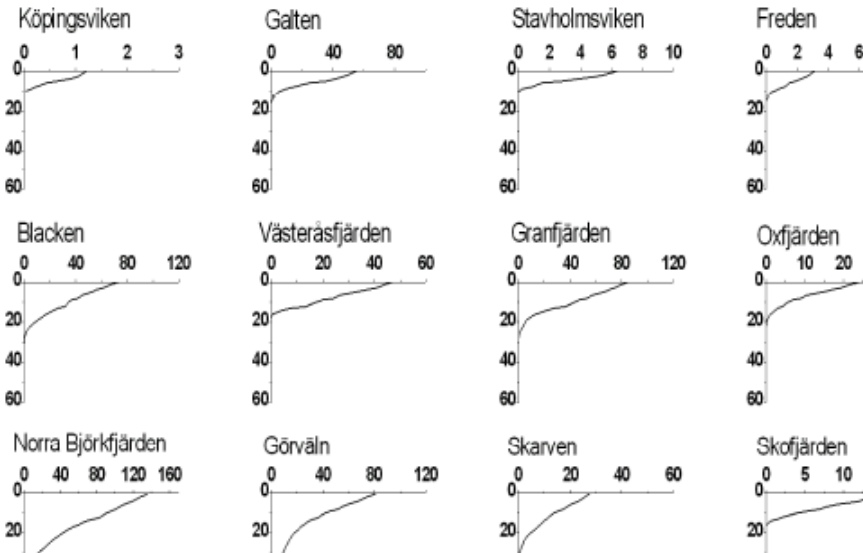
Mälaren

Kustzonsmodell

39 Bassänger  
50 Sund



## Mälarens hypsografer



# Boxmodeller – exempel

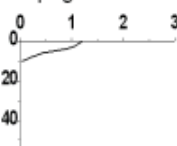
Mälaren

Kustzonsmodell

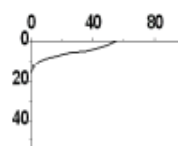
39 Bassänger  
50 Sund

Mälarens hypsografer

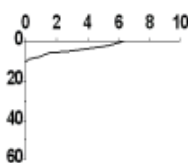
Köpingsviken



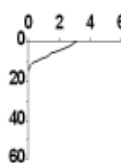
Gålten



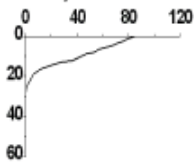
Stavholmsviken



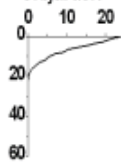
Freden



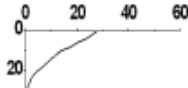
Granfjärden



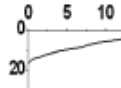
Oxfjärden



Skarven

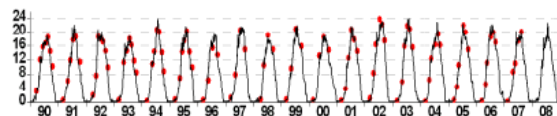


Skofjärden

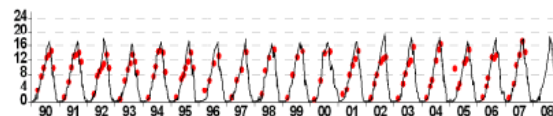


Blacken

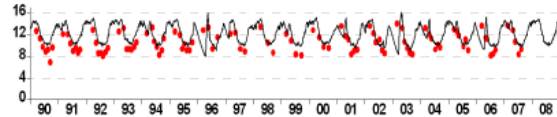
Temperatur ytan(°C)



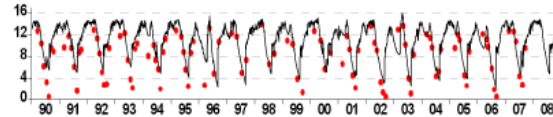
Temperatur botten(°C)



Syrgashalt ytan (ml/l)



Syrgashalt botten (ml/l)



Nitrat ytan (µg/l)



Nitrat botten (µg/l)





# Boxmodeller – egenskaper

## Styrkor

- Lätt att få fram massbalanser och utbyten
- Oftast kortare beräkningstid än 2D/3D-modeller
- Något lättare att tolka p.g.a. begränsad komplexitet
- Kan beskriva vertikalvariationer
- Kan kopplas ihop med fysik och biologi/kemi

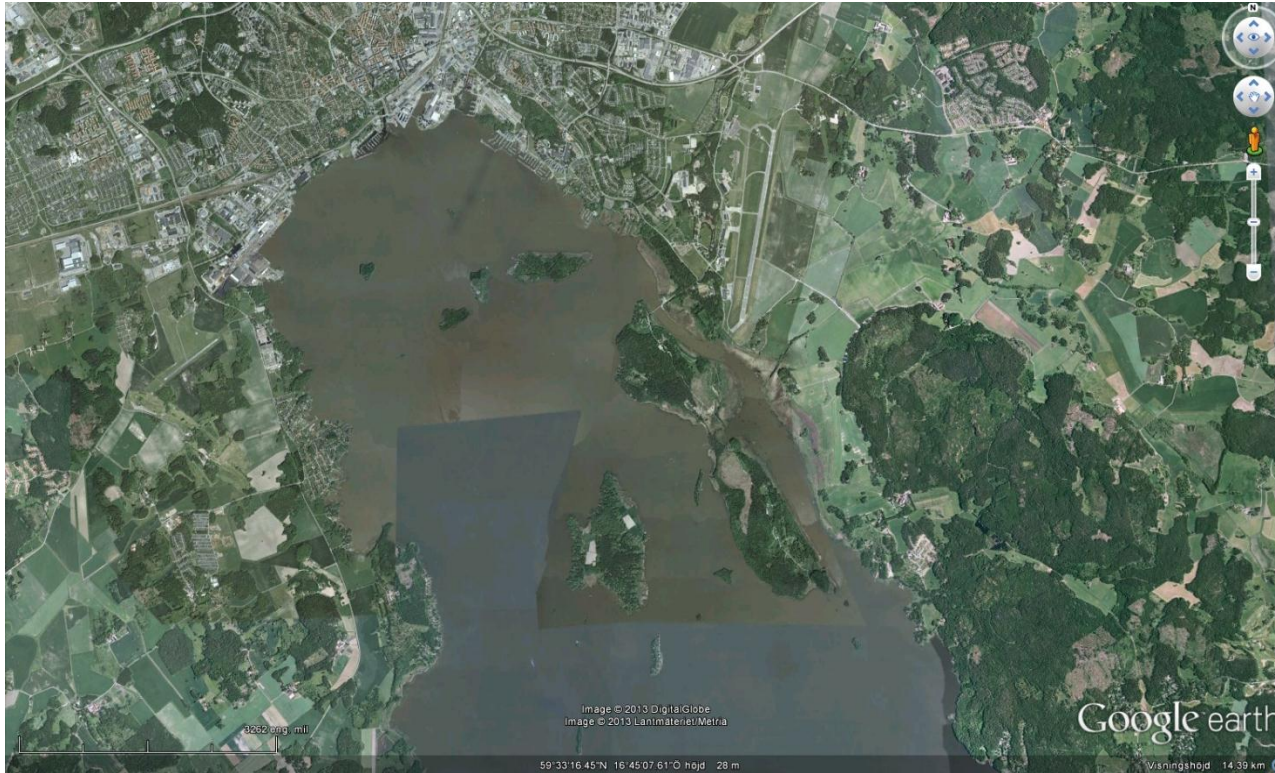
## Användningsområden

- Simuleringar av långa tidsperioder (decennier)
- Större vattenområden
- Övergripande frågeställningar
- Där rumsliga detaljer inte är av vikt

## Svagheter

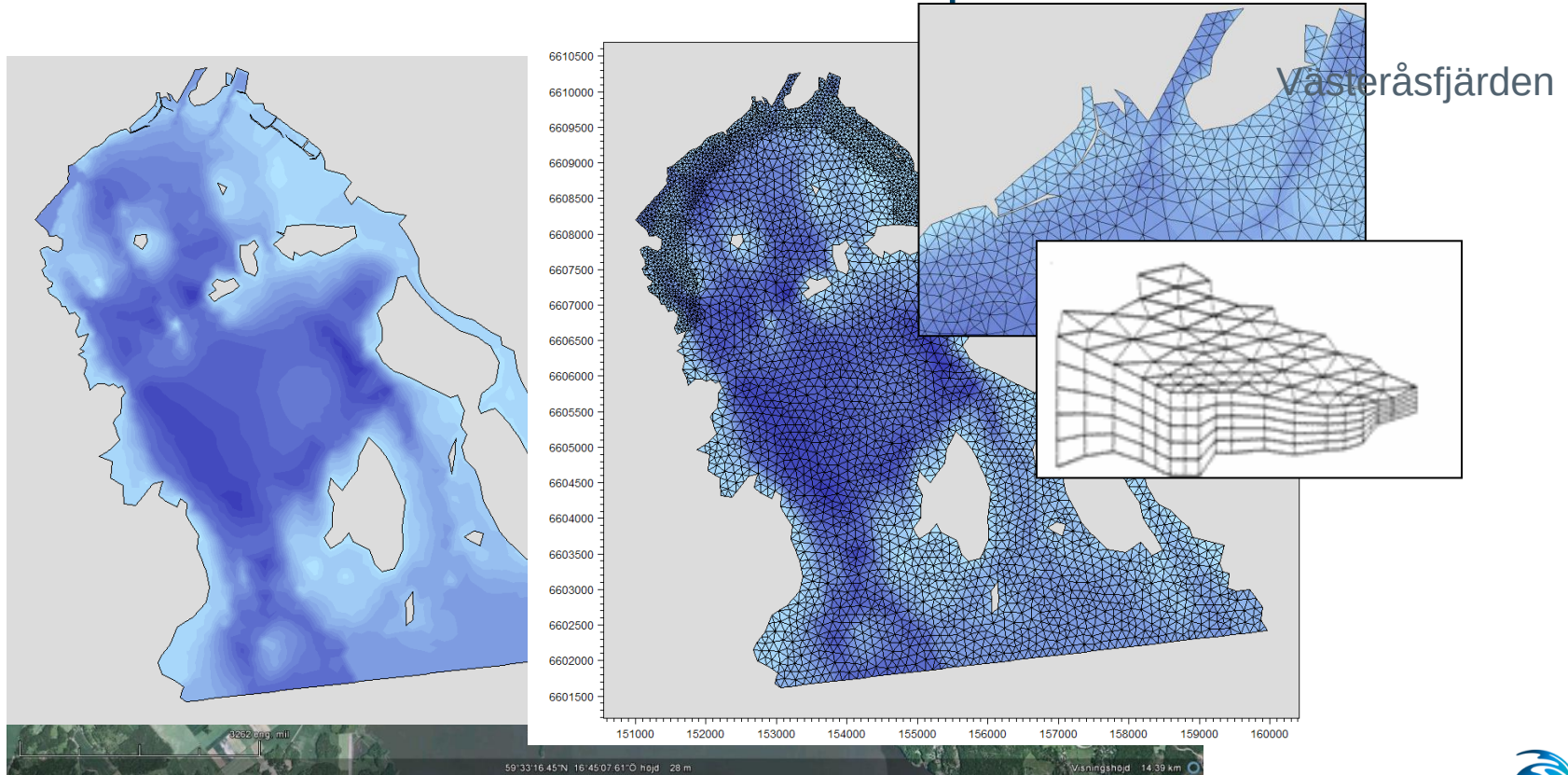
- Ingen horisontell variation inom varje box
- Kräver beskrivning av utbytet mellan boxarna
- Ofta relativt komplexa att sätta upp
- Svårt att få ett grepp om kvalitet/giltighet
- Ofta personberoende
- Kräver mycket indata
- Kräver validering och kalibrering

# Primitiva ekvationsmodeller – exempel

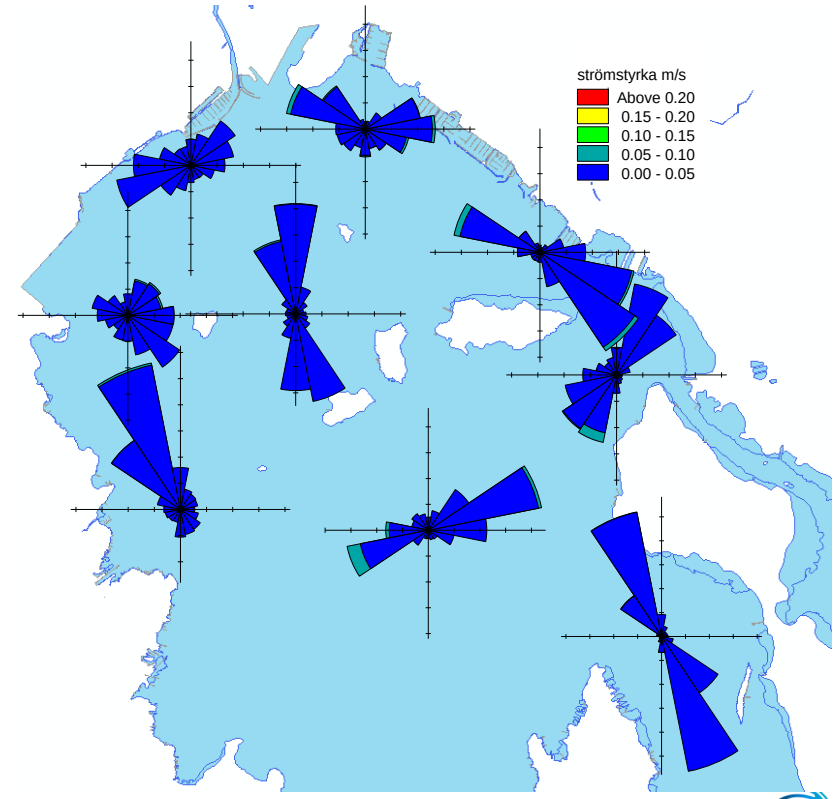
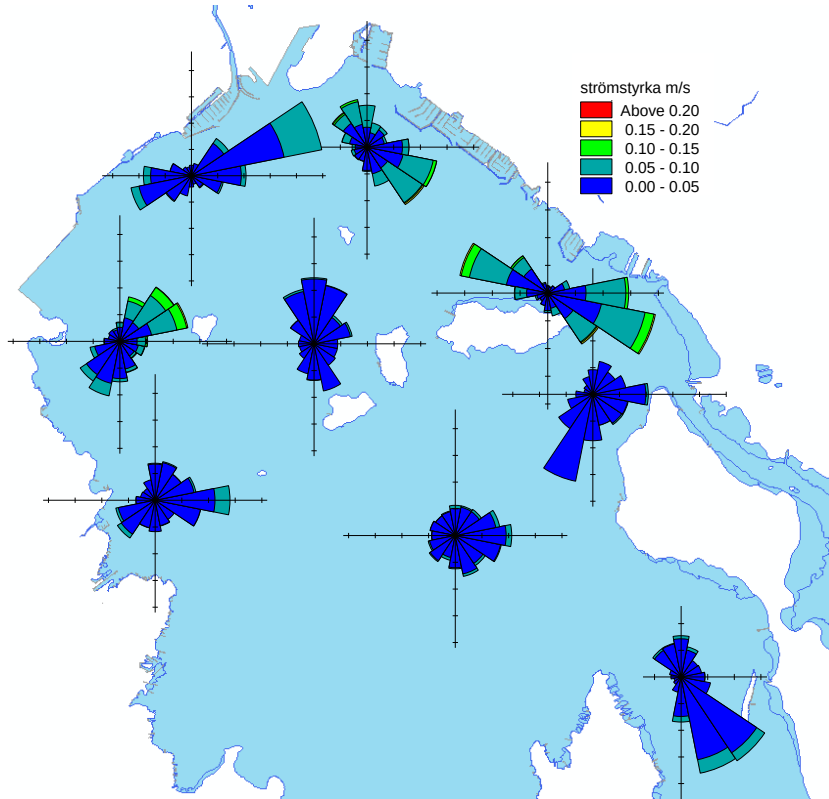


Västeråsfjärden

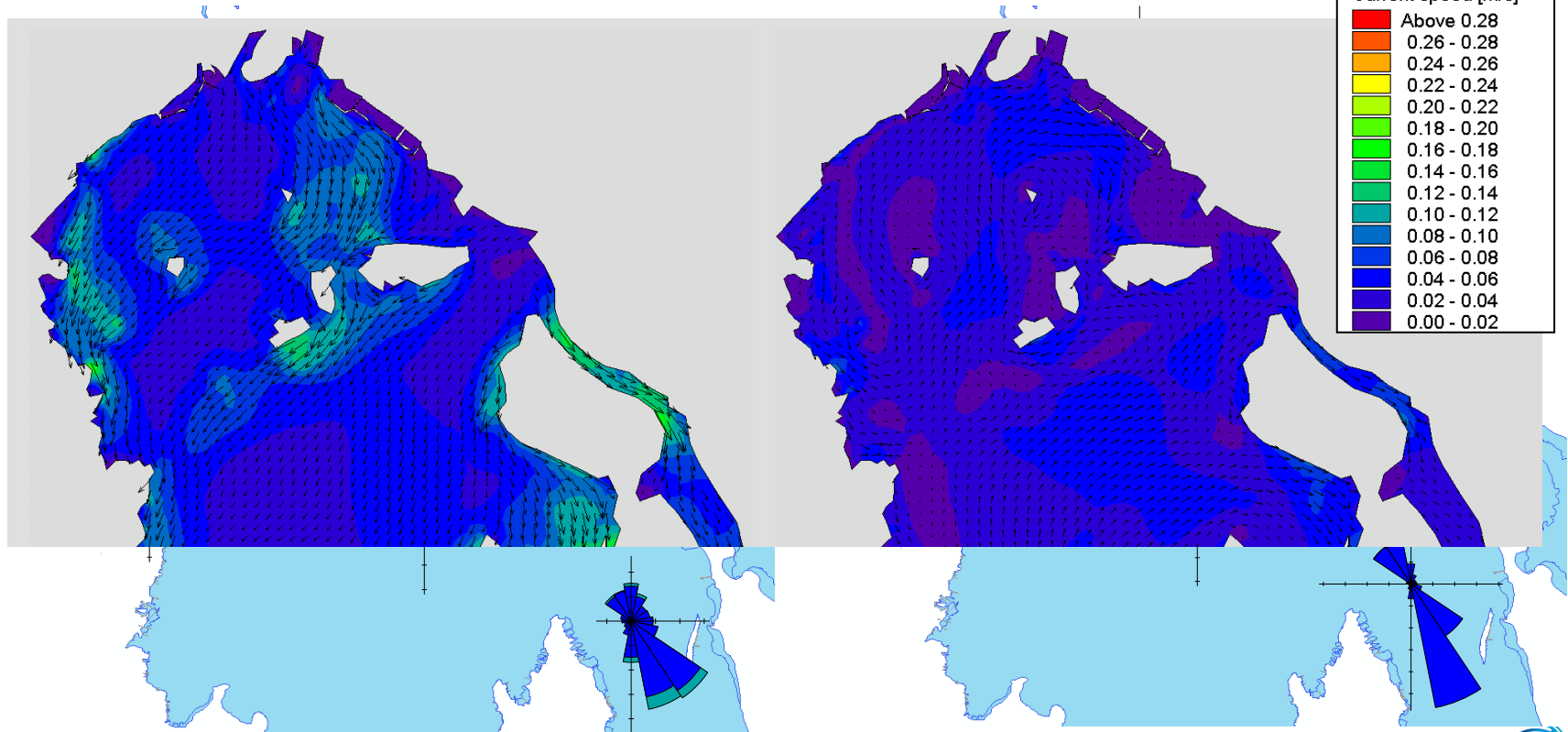
# Primitiva ekvationsmodeller – eksempel



# Primitiva ekvationsmodeller – eksempel

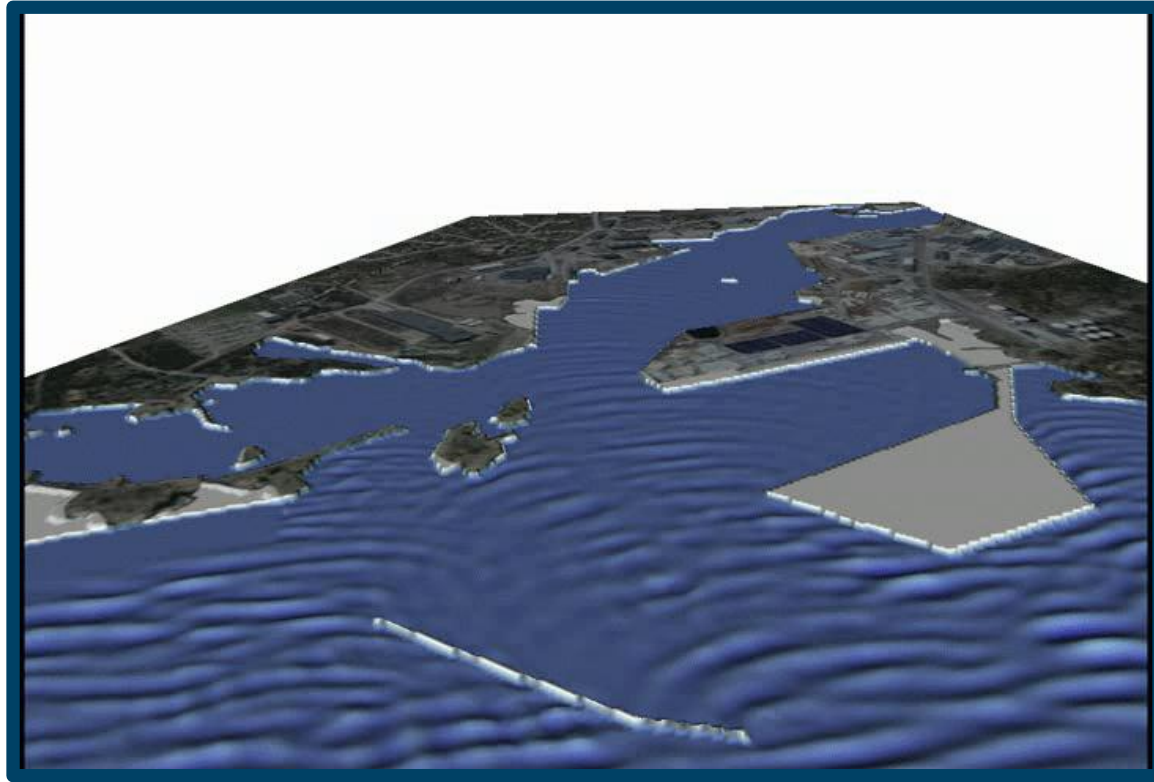


# Primitiva ekvationsmodeller – eksempel

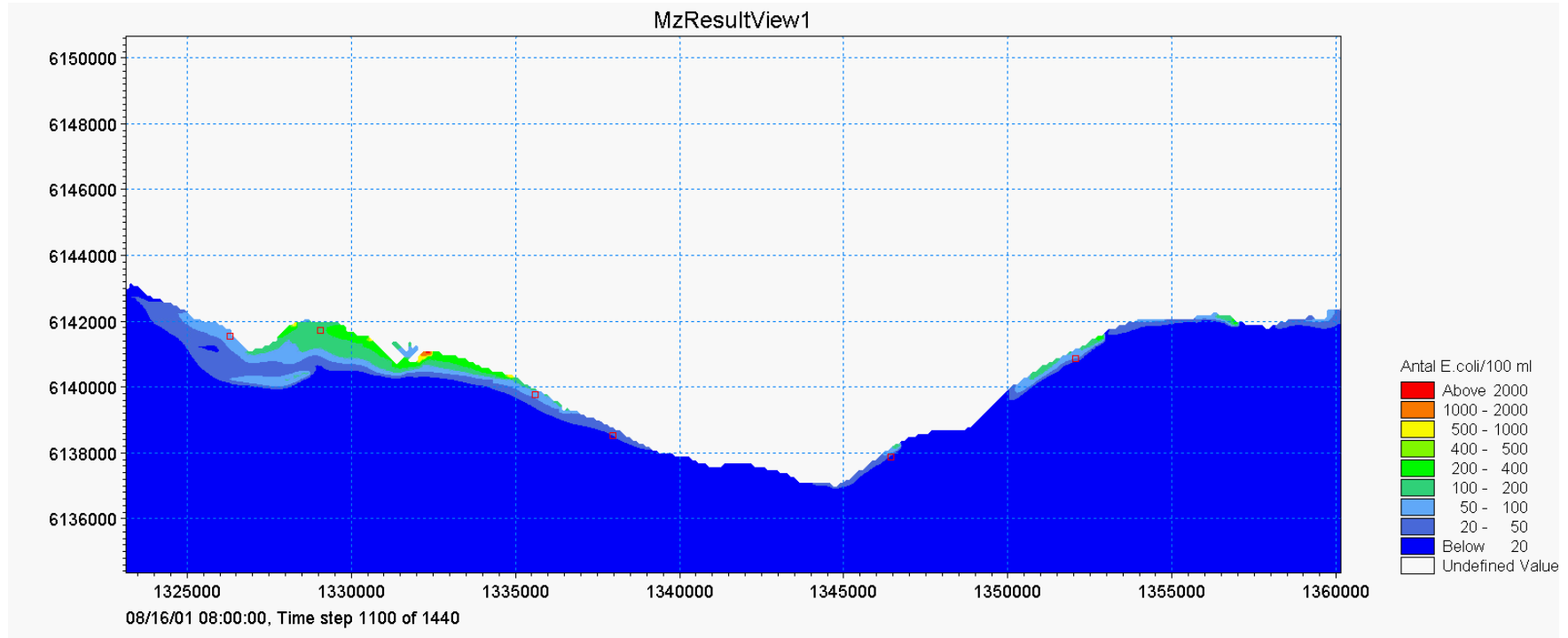




# Primitiva ekvationsmodeller – eksempel



# Primitiva ekvationsmodeller – eksempel



# Primitiva ekvationsmodeller – egenskaper

## Styrkor

- Valfri noggrannhet i tid och rum
- Ström beräknas utifrån grundläggande ekvationer
- Väl beprövade och dokumenterade programvaror
- Välutvecklade användargränssnitt
- Många pedagogiska presentationsverktyg
- Flera modeller i ett och samma system
- Ständig utveckling
- State-of-the-art

## Användningsområden

- Detaljerade simuleringar av hela vattenområden
- Stora och små vattenområden
- Korta till medellånga tidsperioder (år)
- Vågor, cirkulation, spridning, sediment, biokemi,...

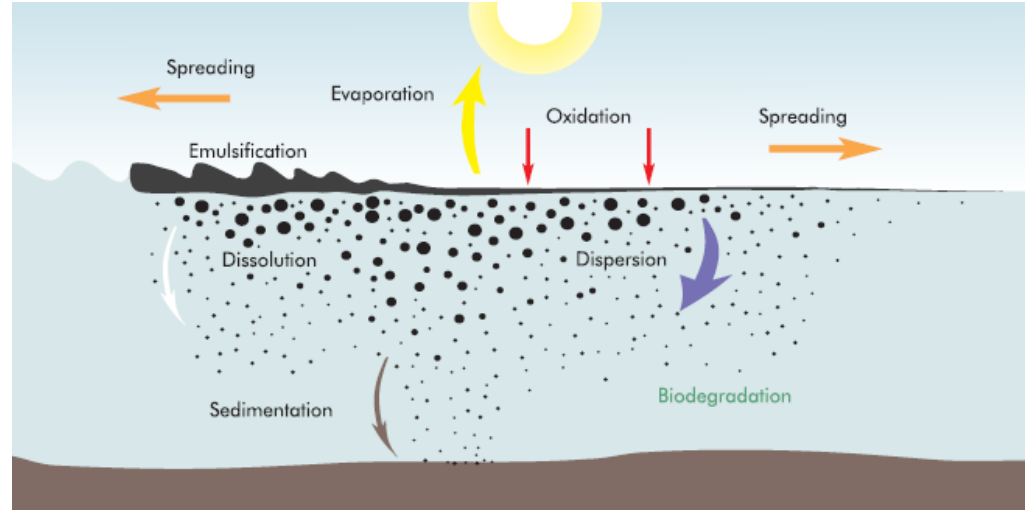
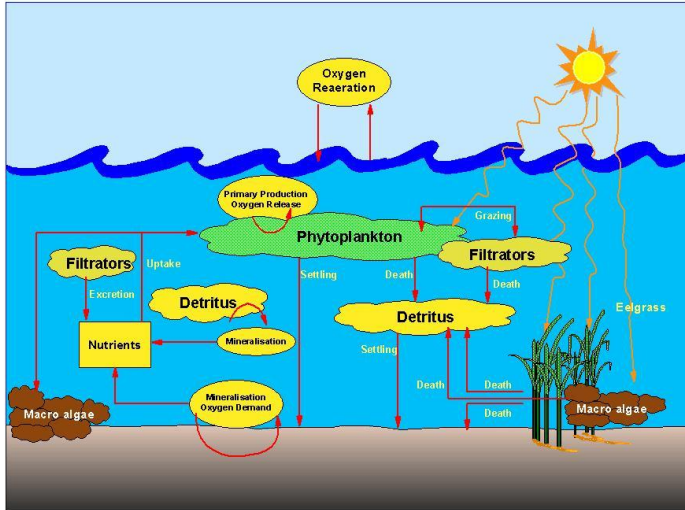
## Svagheter

- Kräver längre beräkningstid; mer datorkraft
- Hög detaljeringsgrad -> hög komplexitet i resultat
- Stora resultatdatamängder att analysera
- Viss känslighet i beräkningstekniken
- Kräver mycket indata
- Lätta att använda



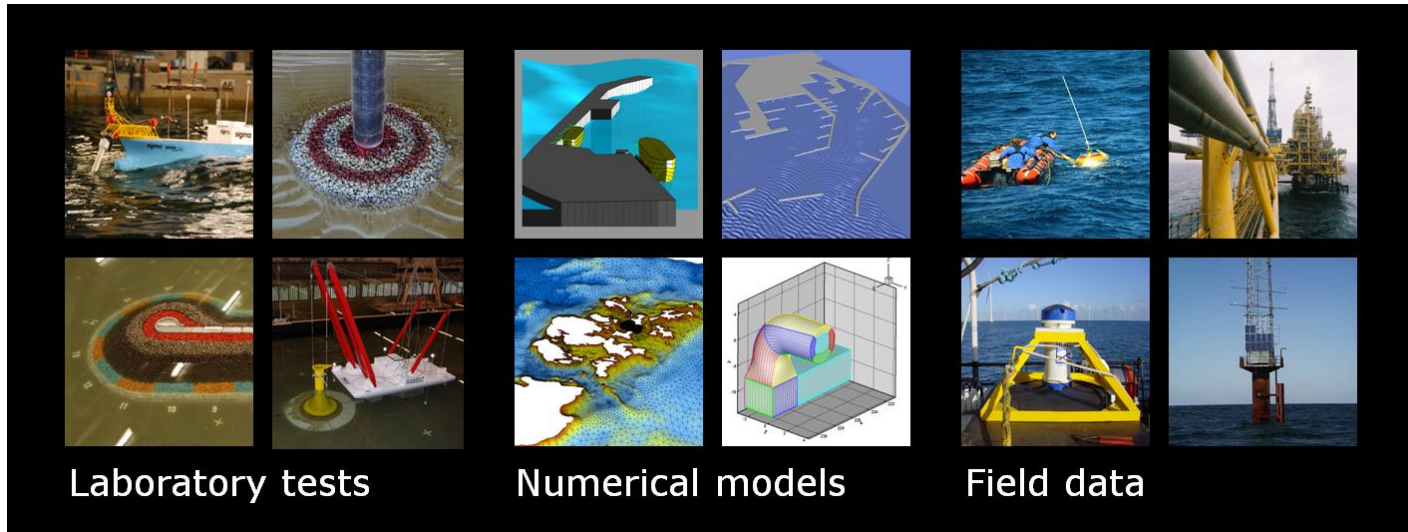
# Kopplade modeller

- Kopplade modeller: vågor – ström – sediment – bottenmorfologi – ekologi – näringsväv etc.



# Fysiska modeller/Lab test

- Viktiga för att utveckla och verifiera modeller
- Används för komplexa situationer där man har svårt att beskriva alla fysiska processer



# Mätningar

Beskriver verkligheten på en plats vid en tidpunkt:

- Strömhastighet och riktning
- Salthalt och temperatur
- Vattenstånd
- Syre
- Ljus
- Kemiska parametrar (kväve, fosfor, alkalinitet, etc.)
- Biologiska parametrar (klorofyll, POC, etc.)

# Mätningar - egenskaper

## Styrkor

- Långa tidserier kan visa trender och variationer
- Utvecklas snabbt: högre tillförlitlighet och autonomi
- Kan fånga händelser som modeller ännu inte kan
- Online-mätningar för operationell drift

## Användningsområden

- Skapa en bild av nuläget
- Analysera långsiktiga förändringar
- Kalibrering och verifiering av modeller
- Operationell drift

## Svagheter

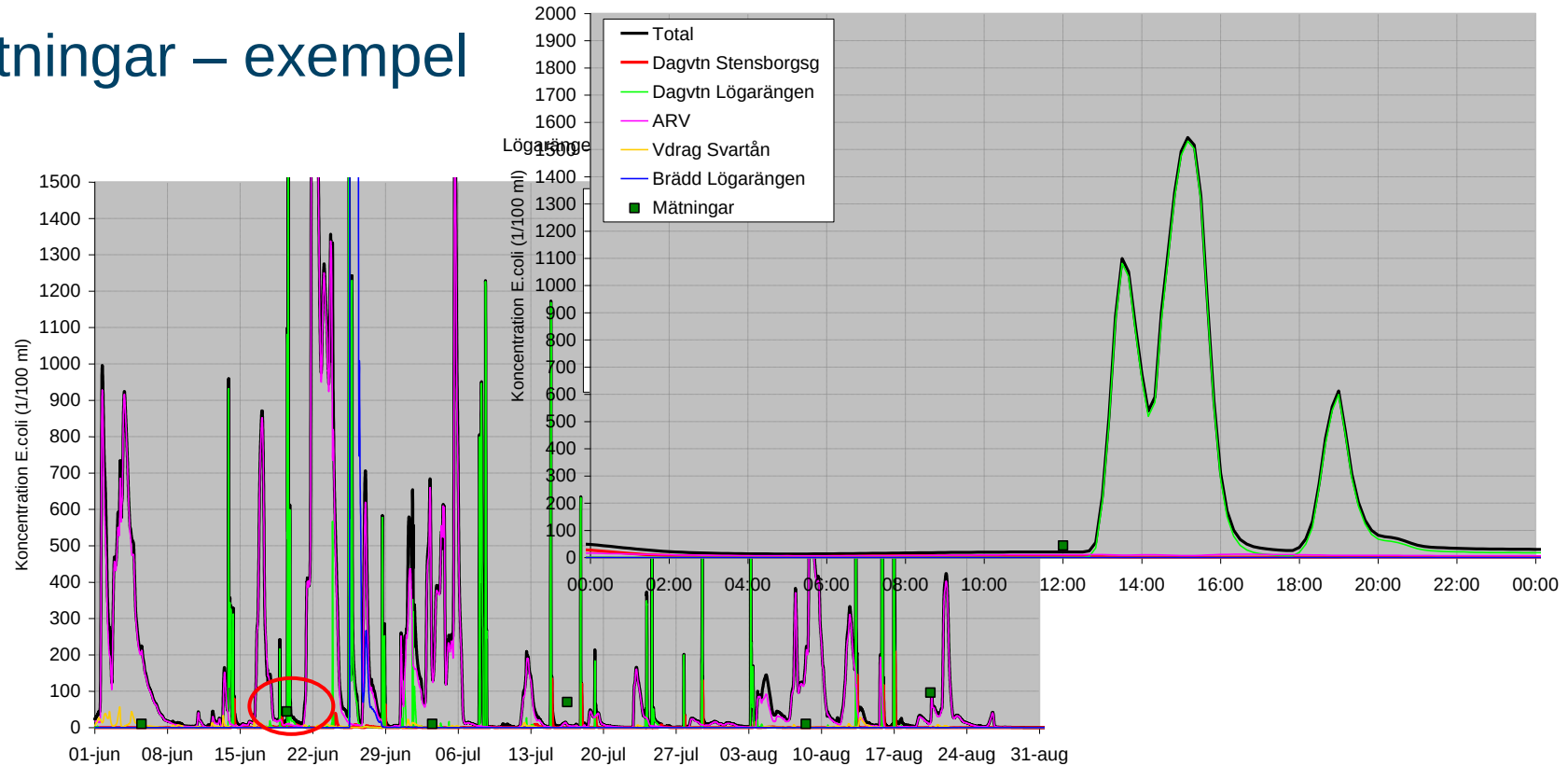
- Fortfarande känsliga (felaktiga värden)
- Kvalitetsgranskning ett måste
- Kräver fältarbete
- Dålig rumslig beskrivning
- Ibland dålig tidsupplösning
- Kan inte säga något om framtiden
- Svåra att tolka utan kunskap om fysiken
- Kotsamma

# Mätningar och modeller

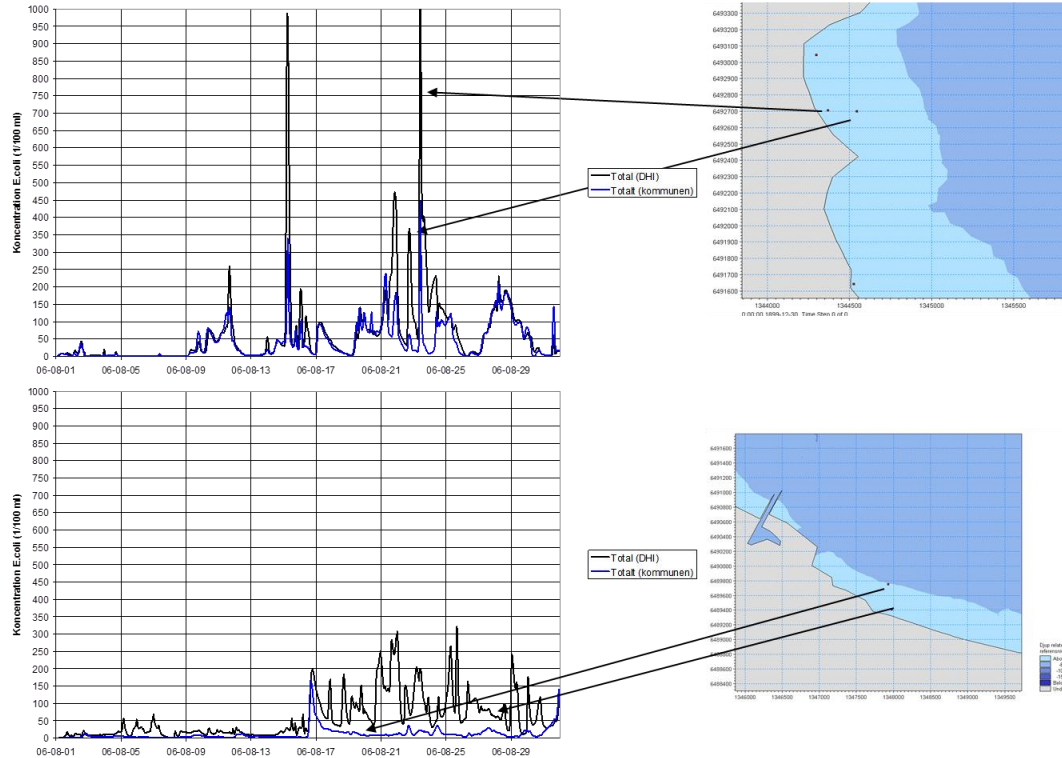
Kombinera modeller och mätningar!

- ✓ Mätningar används för att kalibrera och verifiera modeller
- ✓ Mätningar används för att planera modellstudier
- ✓ Modeller används för att interpolera mätdata i tid och rum
- ✓ Modeller används för att tolka data och vice versa
- ✓ Modeller används för att simulera framtida förändringar

# Mätningar – exempel



# Mätningar – exempel

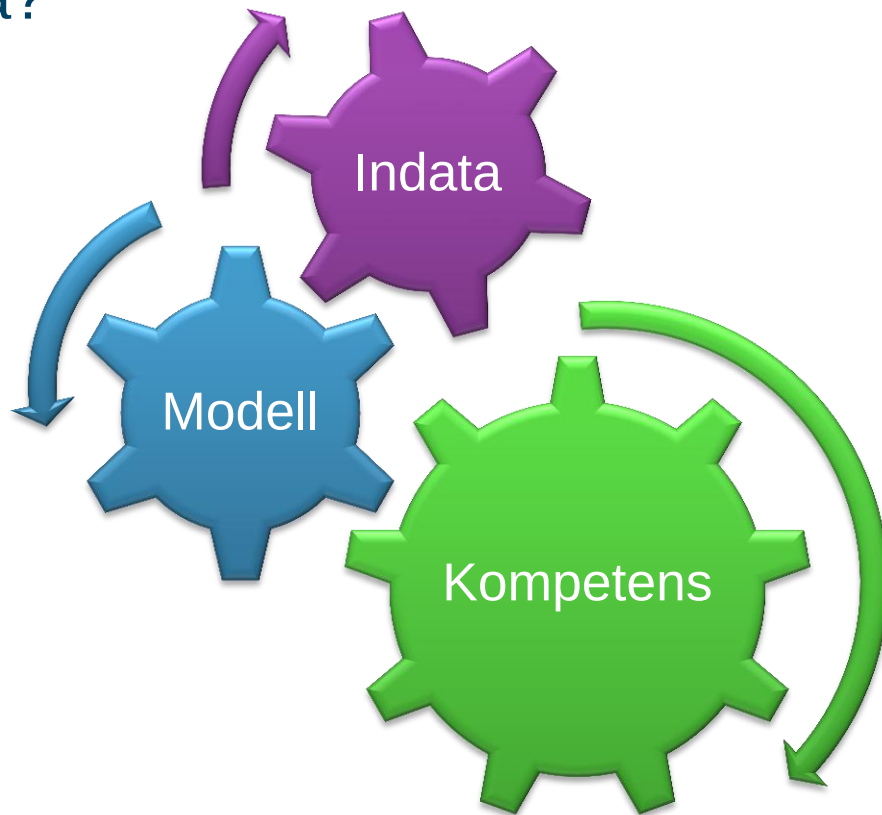


**Kvalitet – är en modell bra?**





# Är en modell bra?



# Exempel – vilken modell/metod är bäst?

1. Överslagsberäkning (A)
2. Ingenjörmodell (B)
3. Boxmodell (C)
4. Högupplöst modell (D)

Påhittat fall där de fyra olika metoderna/modellerna används för samma fråga, räkna fram utspädningsgraden av ett utsläpp från en punkt.

# Exempel – Utsläpp i en vik/ett mynningsområde



# Exempel – Budgetanalys (A)



# Exempel – Budgetanalys

- Medelvattenföring 3 m<sup>3</sup>/s (0.3 – 10) sött vatten
- Utsläpp 10 l/s (0.01 m<sup>3</sup>/s) 1007 kg/m<sup>3</sup>
- Utbyte mot havet? (vind, vattenstånd, tidsberoende)

$$C = \frac{Q_s C_s + Q_{in} C_{in} + Q_0 C_0}{Q_s + Q_{in} + Q_0}$$

$C / C_0$  är ett relativt begrepp och  $C$  varierar med  $C_0$ . Det spelar ingen roll vad koncentrationen är

# Exempel – Budgetanalys

- 55 ggr utspädning: lågvattenföring och inget utbyte med Öresund
- 400 ggr utspädning: medelvattenföring och inget utbyte med Öresund
- 1600 ggr utspädning: högvattenföring och inget utbyte med Öresund
  
- 850 ggr utspädning: medelvattenföring kombinerat med motsvarande utbyte med Öresund

Sammanfattningsvis kan utspädningen ligga mellan 50 och drygt 1000 ggr.



# Exempel – Ingenjörsmodell (B)



# Exempel – Ingenjörsmodell

Variation av recipientförhållanden

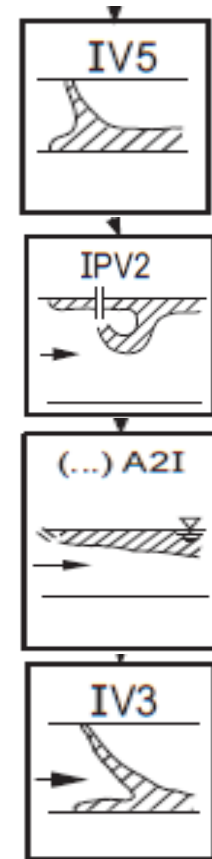
| Ström (m/s) | Densitet (kg/m <sup>3</sup> ) |        |        |
|-------------|-------------------------------|--------|--------|
|             | 999,0                         | 1006,0 | 1011,2 |
| 0,005       | I                             | D      | H      |
| 0,01        | B                             | A      | C      |
| 0,05        | F                             | E      | G      |



# Exempel – Ingenjörsmodell

## Resultat

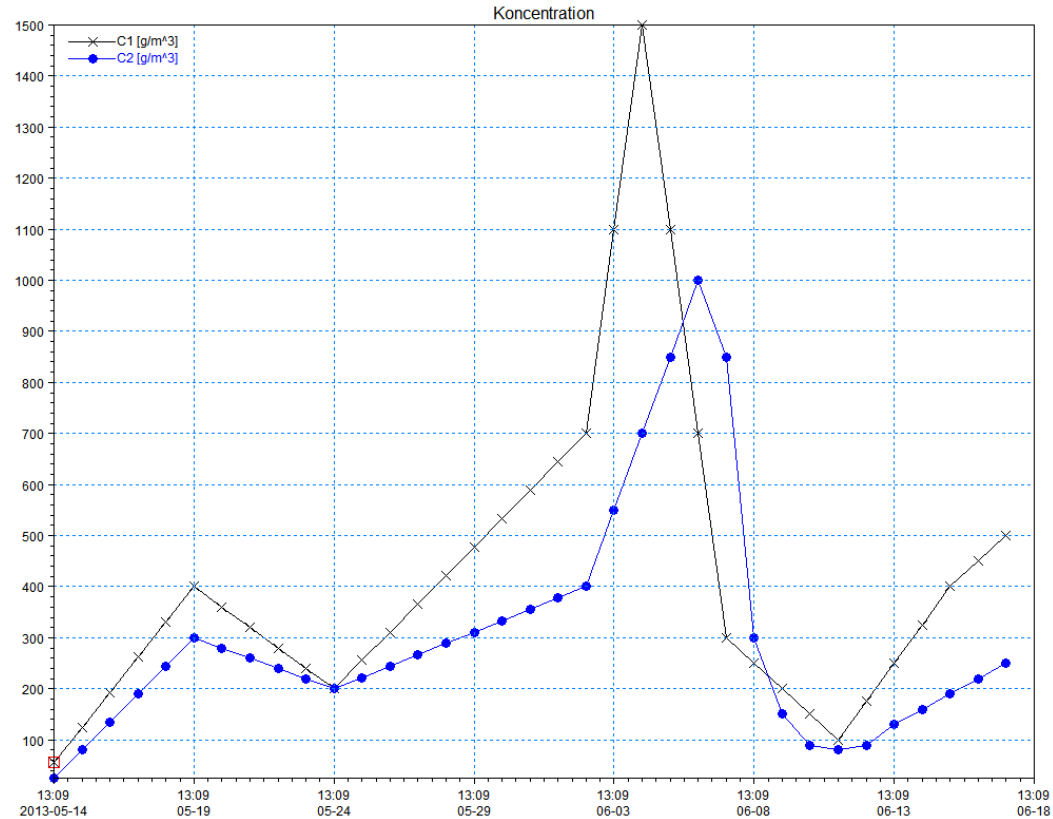
| Fall | Närfältets<br>längd ned-<br>ströms (m) | Utspädning nedströms utsläppet |      |      |       |       |       |       |
|------|----------------------------------------|--------------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|
|      |                                        | 10 m                           | 20 m | 50 m | 100 m | 200 m | 400 m | 600 m |
| A    | 21                                     | 71                             | 102  | 191  | 246   | 248   | 252   | 256   |
| B    | 67                                     | 55                             | 160  | 400  | 463   | 464   | 466   | 468   |
| C    | 25                                     | 35                             | 64   | 110  | 267   | 402   | 404   | 407   |
| D    | 58                                     | 60                             | 150  | 350  | 350   | 350   | 350   | 350   |
| E    | 4                                      | >18                            | 2700 | 2700 | 2700  | 2700  | 2700  | 2700  |
| F    | 2                                      | 14                             | 16   | 27   | 66    | 246   | 1170  | 1531  |
| G    | 0,5                                    | 4                              | 5    | 12   | 38    | 180   | 840   | 846   |
| H    | 63                                     | 45                             | 110  | 285  | 285   | 285   | 285   | 285   |
| I    | 178                                    | 30                             | 60   | 300  | 800   | 1200  | 1200  | 1200  |



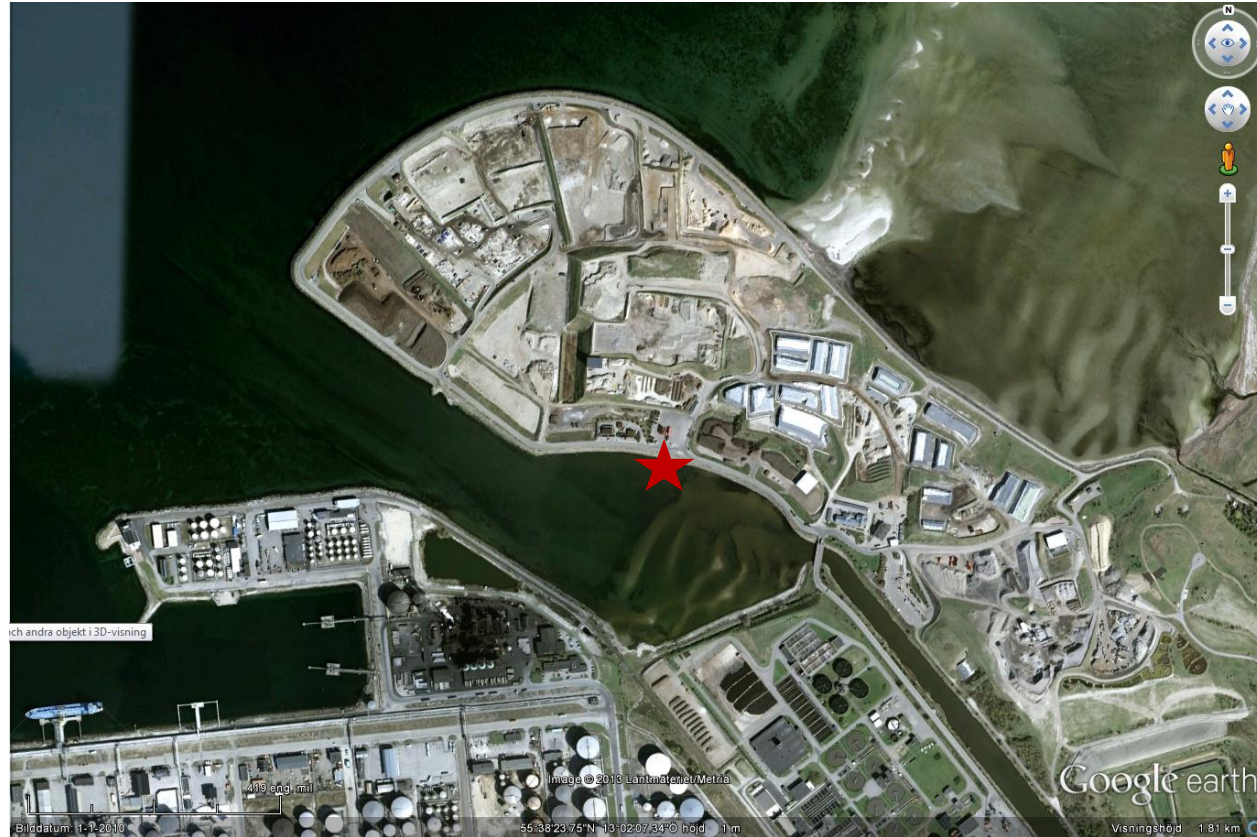
# Exempel – Boxmodell (C)



# Exempel – Boxmodell

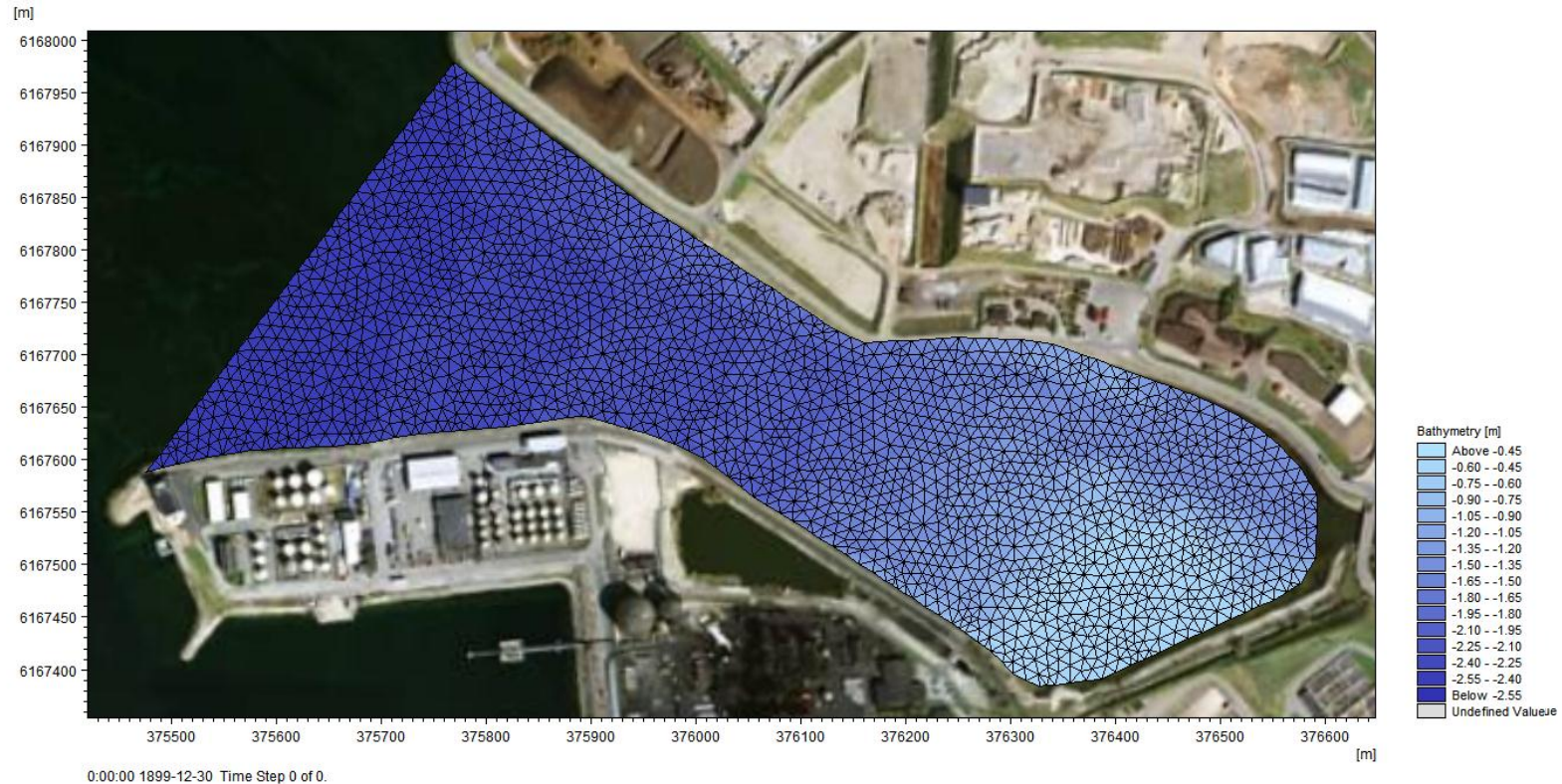


# Exempel – Högupplöst modell (D)

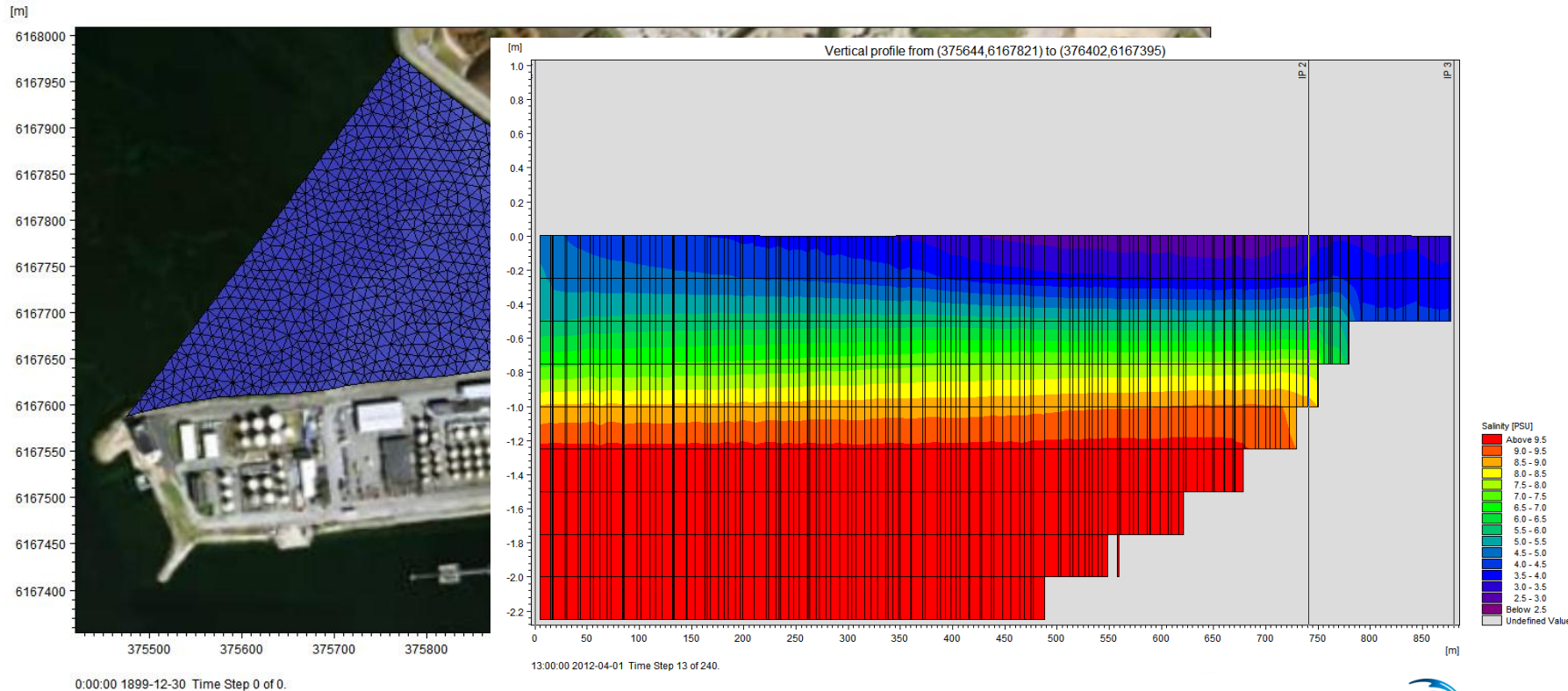




# Exempel – Högupplöst modell



# Exempel – Högupplöst modell



# Exempel – Högupplöst modell



# Exempel – Högupplöst modell





# Exempel – Sammanfattning

- Frågeställningen är viktig för hur man bygger upp en modell. Budgetanalys och Box-modell är horisontellt homogena och kan inte beskriva plymer.
- State-of-the-art idag är att kombinera ingenjörsmoell med högupplöst modell.
- Budgetanalys är alltid bra att göra föra att skapa en förståelse för rimligheten i ett resultat.

# Etablerad metodik och pågående utveckling



# Etablerad metodik

Muddring



Vattenförvaltning



Ekologisk påverkan



MKB

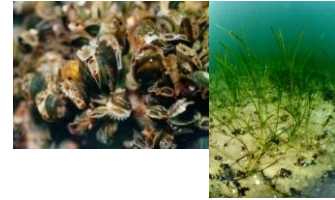


Utsläpp av ämnen/processvatten

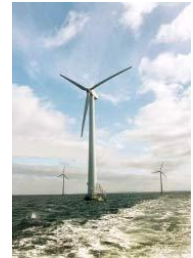


Dimensionering

Vattenkvalitet



Byggnation i vatten

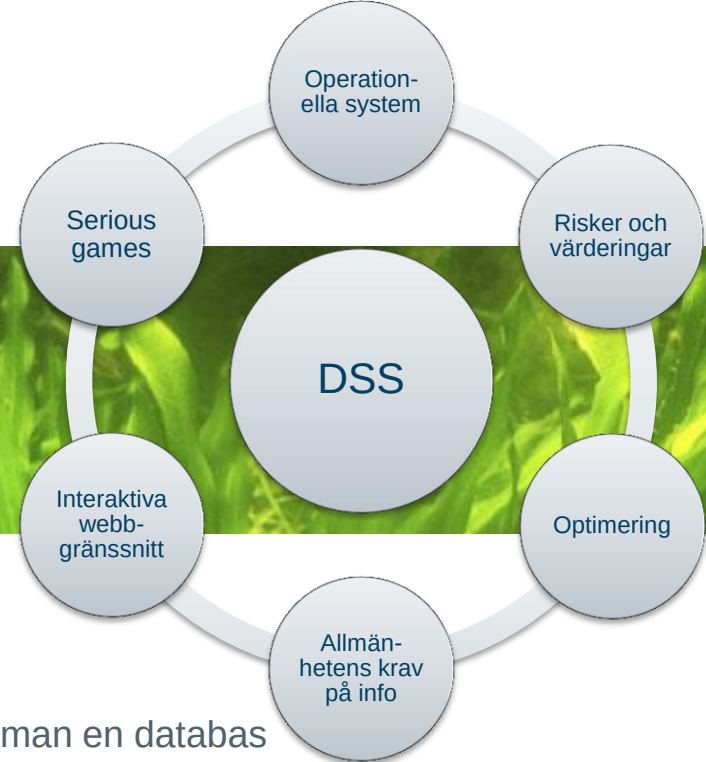


Vattenförsörjning

# Etablerad metodik

- Allt från enkla bedömningar till avancerade numeriska modeller
- Fysiska aspekter mer vanligt och sedan länge (ex. vis dimensionering)
- Kopplade modeller: vågor – ström – sediment – bottenmorfologi – ekologi – näringsväv etc.
- Vattenkvalitet – numeriska modeller på frammarsch i Sverige

# Definition av DSS



“ett beslutstödssystem (DSS) är ett ramverk som kopplar samman en databas och miljö för bearbetning, ett kunskaps- och informationssystem, modellering och analys samt kommunikation. En sådan uppsättning av verktyg är sömlöst länkade och skräddarsydd till sitt sammanhang. Ett DSS har ett öppet gränssnitt och kan komma åt modeller från olika leverantörer, vilket möjliggör systemet att ha tillgång till indata och modellparametrar samt lagra relevanta modellresultat.”

# Ett beslutsstödssystem kan omfatta följande:

- Hantera, analysera, presentera, använda och dela data och information **för att underlätta beslut**
- Baserat på data och modeller kan man **jämföra olika scenarier** och **optimera beslutsfattande**
- **Prognoser och varningssystem** baserat på mätdata och prognosmodeller





# ABM - Agent Based Modeling

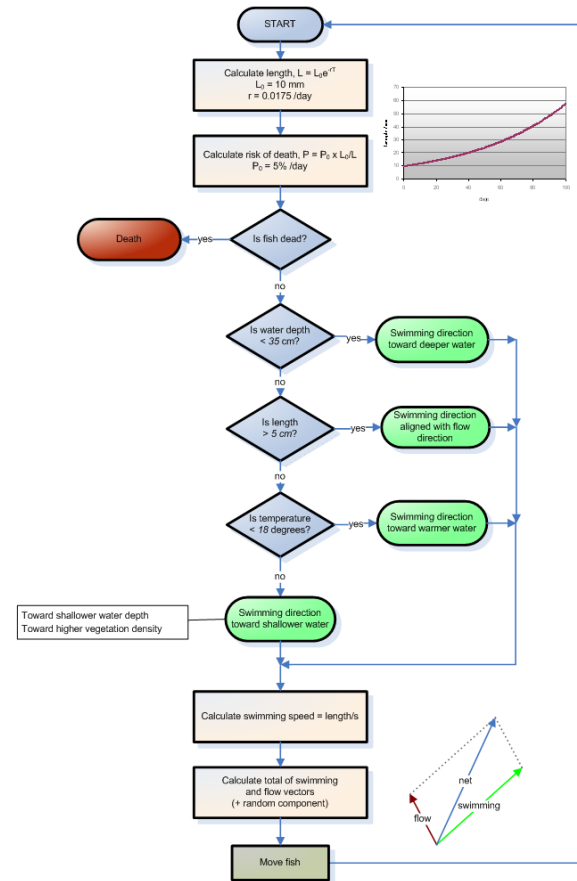
Beskrivning av individer, ex. vis. fisk och andra organismer som förflyttar och betar sig utifrån preferenser och hydrodynamiska förhållanden

# Houting (Näbbsik)

- Undersöka överlevnadsgraden av larver för olika åtgärder i vattenförekomsten



## Houting model





**Modellering av ämnen och processer begränsas inte av den tekniska implementeringen av ny kunskap**

**Begränsningarna ligger i kunskapen om ekosystem, ämnen och deras processer**

# Exempel på modelluppsättningar i Sverige

# Prognosmodeller

- HIROMB, Swan (<http://produkter.smhi.se/OceanWeb/> )
- MIKE3HD, MIKE SW, MIKE ECOLab (<http://www.waterforecast.com/> )
- Seatrack Web

# Boxmodeller

- Probe-Scobi (Kustzonmodellen, ingår i HOMEVatten)
- PROBE-Baltic
- Flera lokala uppsättningar av t.ex. universitet och enmanskonsulter

# Tredimensionella numeriska modeller (primitiva)

- HIROMB, RCO, Delft3D, MIKE3, PHOENICS

# Vågmodeller

- Swan, MIKE SW, MIKE BW

# Slutligen..

- Olika modeller besvarar olika frågor
- Rätt problemformulering är A och O!
- Modeller är ett stöd, inte absolut sanning



# Tack!

Anna Karlsson  
[anna.karlsson@dhi.se](mailto:anna.karlsson@dhi.se)

031-80 87 95

