

Mälarens vattenvårdsförbund

En strömningsmodell för Mälaren – förstudie



Uppdragsnummer
12800254

Lund 2009-04-09

 <p>ISO 9001 1983 ISO/IEC 17021</p>	<p>LEDNINGSSYSTEM FÖR KVALITET ENLIGT ISO 9001:2000</p>	
<p>Projektets namn: Mälarmodell - förstudie</p>	<p>Projekt nr: 12800254</p>	
<p>Projektledare: Olof Liungman</p>	<p>Beställare: Mälardalens Vattenvårdsförbund</p>	
<p>Kvalitetsansvarig: Anna Karlsson</p>	<p>Beställarens ombud: Lars Edenman</p>	
<p>Handläggare: Charlotta Borell Lövstedt, Dick Karlsson, Anna Karlsson</p>	<p>Granskad av / datum: Anna Karlsson / 2009-04-09</p>	
<p>Rapport version: 1-1</p>	<p>Godkänd av kvalitetsansvarig / datum: Anna Karlsson / 2009-04-09</p>	

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	1
2	Indata	2
2.1	Tillhandahållet underlag	2
2.2	Djupdata.....	2
2.3	Tillflöden.....	4
2.4	Utflöden.....	9
2.5	Hydrografiska data	10
2.6	Meteorologiska data	12
3	Lösningförslag	14
3.1	Syfte.....	14
3.2	Metodik	14
3.3	Kostnadsuppskattning	18
3.4	Tidplan och leverans	18
3.5	Optioner	18
4	Användningsområden och framtida möjligheter	19
5	Referenser	21

1 Bakgrund

Mälarens vattenvårdsförbund är intresserade av att kunna modellera förhållanden i Mälaren utifrån ett antal synvinklar, bl.a. miljöstatus, åtgärder för att förbättra vattenmiljö, råvattenkvalité och vattenförsörjning, miljöutredningar, prognoser i samband med utsläpp, m.m. Som första steg har föreslagits en hydrodynamisk modellstudie med syfte att beskriva den övergripande cirkulationen och förhållandena i Mälaren och därmed bidra till ökad kunskap om Mälaren.

DHI Sverige AB (hädanefter DHI) har därför fått i uppdrag att genomföra en förstudie som ska utgöra ett underlag för en eventuell beställning av en hydrodynamisk modellstudie av Mälaren.

Syftet med denna förstudie är:

- Att översiktligt sammanställa befintligt underlag som behövs för att driva, kalibrera och validera en strömningsmodell över Mälaren, identifiera eventuella brister samt föreslå möjliga lösningar för att överkomma eventuella brister (se nästa punkt).
- Att ta fram ett förslag på utveckling av en strömningsmodell som uppfyller vattenvårdsförbundets behov inklusive kostnad och tidplan. Olika alternativ kommer att beaktas och eventuella förenklingar, kompromisser och andra överväganden redovisas. I detta ingår även en kunskapssammanställning, om än av begränsad omfattning.
- Att kortfattat redovisa nyttan av en strömningsmodell, hur resultaten kan användas och presenteras, samt hur man kan bygga vidare på strömningsmodellen för att skapa olika verktyg och system för beslutsstöd.

Mälarens vattenvårdsförbund har avgränsat uppdraget genom att det endast avser en modell för sjön Mälaren, d.v.s. i en första fas är en avrinningsmodell inte aktuell utan tillflödena från land ska bestämmas utifrån tillgängliga mätdata.

I denna rapport presenteras först en genomgång av tillgången på indata följt av ett förslag på en modellstudie. Slutligen presenteras olika användningsområden och framtida utvecklingsmöjligheter för en hydrodynamisk modell för Mälaren.

2 Indata

Strömningen i Mälaren beror av följande faktorer:

- Vindens friktion mot ytan
- Tillflöden från land
- Regleringen av utflödet till Östersjön
- Värmeutbytet med atmosfären (påverkar temperaturskiktningen, och därmed densitetsskiktningen, samt isläggningen)
- Nederbörden
- Bottentopografin

Detta innebär att för att modellera strömningen i Mälaren så krävs indata för de parametrar som beskriver ovanstående faktorer. Dessutom behövs mätdata för att kunna validera modellen, d.v.s. jämföra modellresultat med observationer. I detta avsnitt sammanfattas tillgången till indata och valideringsdata.

2.1 Tillhandahållet underlag

I Tabell 1 listas det underlag som dels tillhandahållits av Mälarens vattenvårdsförbund (ref. Magnus Edström) och dels har inhämtats av DHI från SLU:s databas och SMHI:s hemsida.

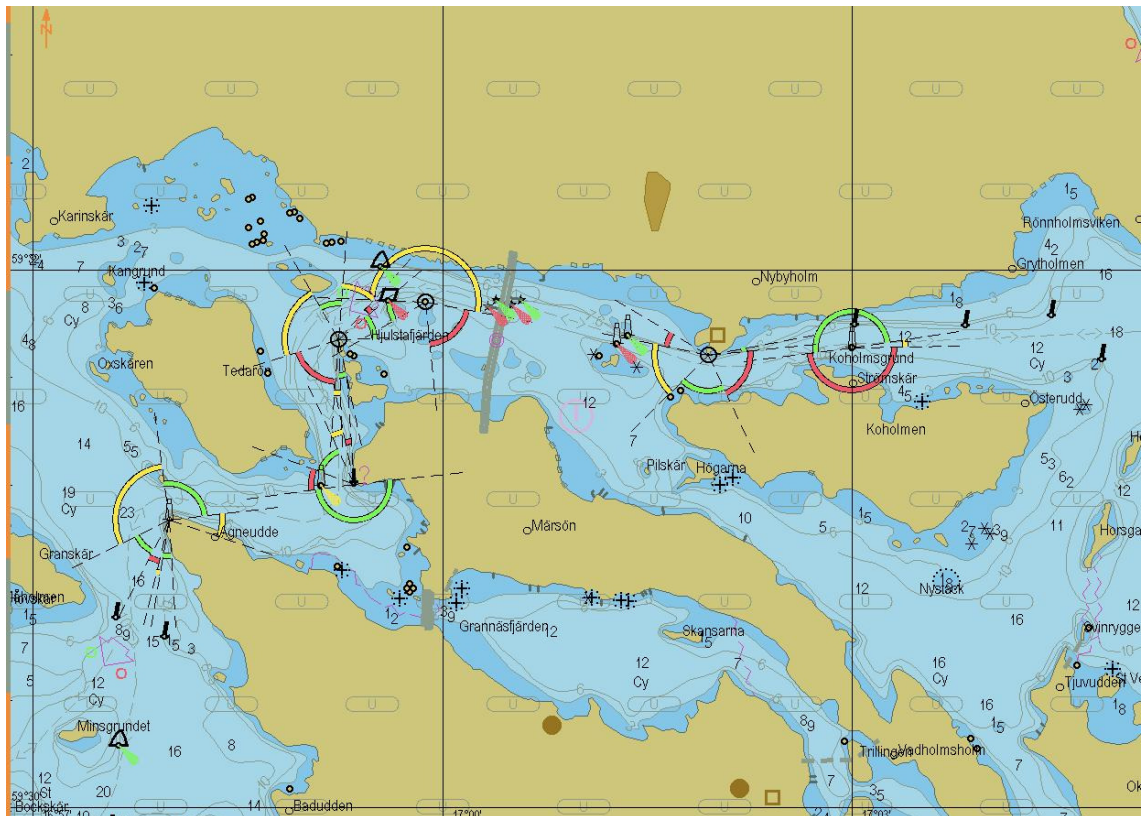
Tabell 1. *Tillhandahållet underlag samt ursprungskälla.*

Beskrivning	Ursprung
Stationsnät för mätningar av vattenföring, vattenstånd, isläggning/islossning, sjö- och älvtemperatur	SMHI
Karta över områden där digital högupplöst djupdata finns tillgängligt	Sjöfartsverket
Meteorologiskt stationsnät inklusive metadata	SMHI
Stationer för temperaturmätningar	SLU

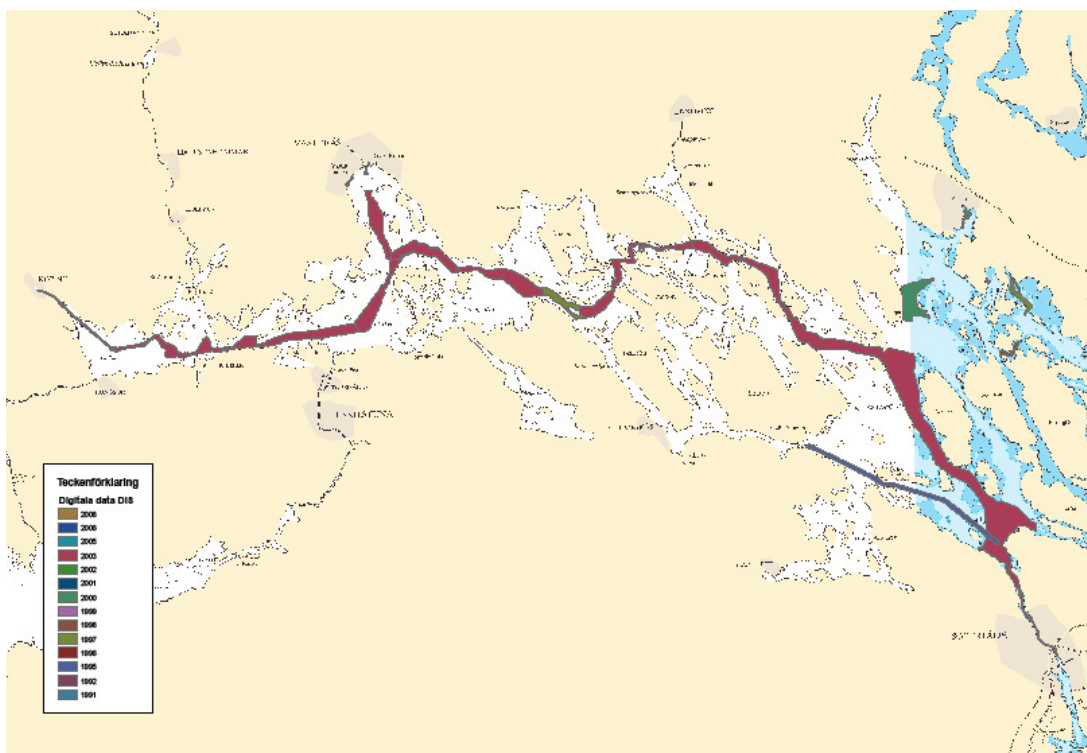
2.2 Djupdata

DHI har tillgång till Sjöfartsverkets sjökort för Mälaren i digitalt format (se Figur 1). Detta utgör en god grund, men kan i vissa fall innebära att djupet underskattas då sjökortsdjupen har tagits fram genom en bearbetning av lodade djup för att säkerställa säker sjötrafik. Dessutom är tillgången till djupdata låg i vissa områden. Sjöfartsverket kan tillhandahålla utdrag ur sina digitala databaser med hög upplösning och önskad bearbetningsmetod. Denna databas är dock begränsad till farlederna (se Figur 2). Kostna-

den för att inhämta högupplöst djupdata från Sjöfartsverket är något oklar, men bör ligga kring 10 000 kr.



Figur 1. Utdrag av digitalt sjökort i MIKE C-Map



Figur 2. Digitala djupdata tillgängliga i Mälaren (Sjöfartsverket).

Slutsats: De digitala sjökorten bör kombineras med de högupplösta djupdata från Sjöfartsverkets digitala databas. Anledningen är att de högupplösta djupdata täcker in sunden mellan de olika bassängerna, och hur dessa sunds tvärsnitt ser ut är ett viktigt underlag för att korrekt beskriva utbytet mellan bassängerna. Sjökortet utgör ett acceptabelt underlag i övriga områden.

2.3 Tillflöden

Mälarens huvudavrinningsområden visas i Figur 3 (ref. 1). Vattenföring och temperatur mäts av SMHI och finns tillgänglig hos Länsstyrelsen samt hos SLU.



Figur 3. Mälarens huvudavrinningsområden. Området mellan de namngivna avrinningsområdena (runt Mälaren) betecknas närområdet och består av ett antal mindre vattendrag.

Mälarens huvudavrinningsområden redovisas i Tabell 2.

Mätningarna av vattenföringen i tillflödena sker inte alltid nära utloppet. I Tabell 3 redovisas närmare datatillgången för de större tillflödena och i Tabell 4 redovisas datatillgången i mindre tillflöden, i båda fallen enligt SMHI.

Enligt uppgift görs mätningar ”kontinuerligt”, d.v.s. mätfrekvensen är hög och data kan tas ut på t.ex. timbasis.

Tabell 2. Mälarens tillflöden (ref. 1).

Namn	Areal (km ²)	Medelvattenföring (m ³ /s)
Eskilstunaån	4187	24
Arbogaån	3802	43
Kolbäcksån	3093	29
Fyrisån	1982	13
Hedströmmen	1058	12
Sagån	865	7
Svartån	754	6
Örsundaån	727	5
Köpingsån	284	2
Räckstaån	239	1
Oxundaån	271	1,5
Närområdet	4244	26

Mälarenergi mäter födet genom sina vattenkraftstationer i Arbogaån, Hedströmmen, Kolbäcksån och Svartån. Däremot finns inte data lagrade mer än maximalt ”några år” tillbaka, beroende på station (ref. Göran Algoth). Troligtvis finns inga data lagrade för 90-talet eller tidigare.

För huvudavrinningsområdena framstår det som att datatillgången är tillfredställande. Dessa data innefattar dock bara ca 70 % av Mälarens totala avrinningsområde eftersom mätningarna ofta görs ganska långt uppströms respektive vattendrags mynning. Dessutom är läget oklart när det gäller det s.k. närområdet. Enligt Mats Wallin (SLU) finns en del data utspridda bl.a. hos IVL, men sannolikt krävs någon typ av beräkning eller modell för tillflödena från resterande 30 %.

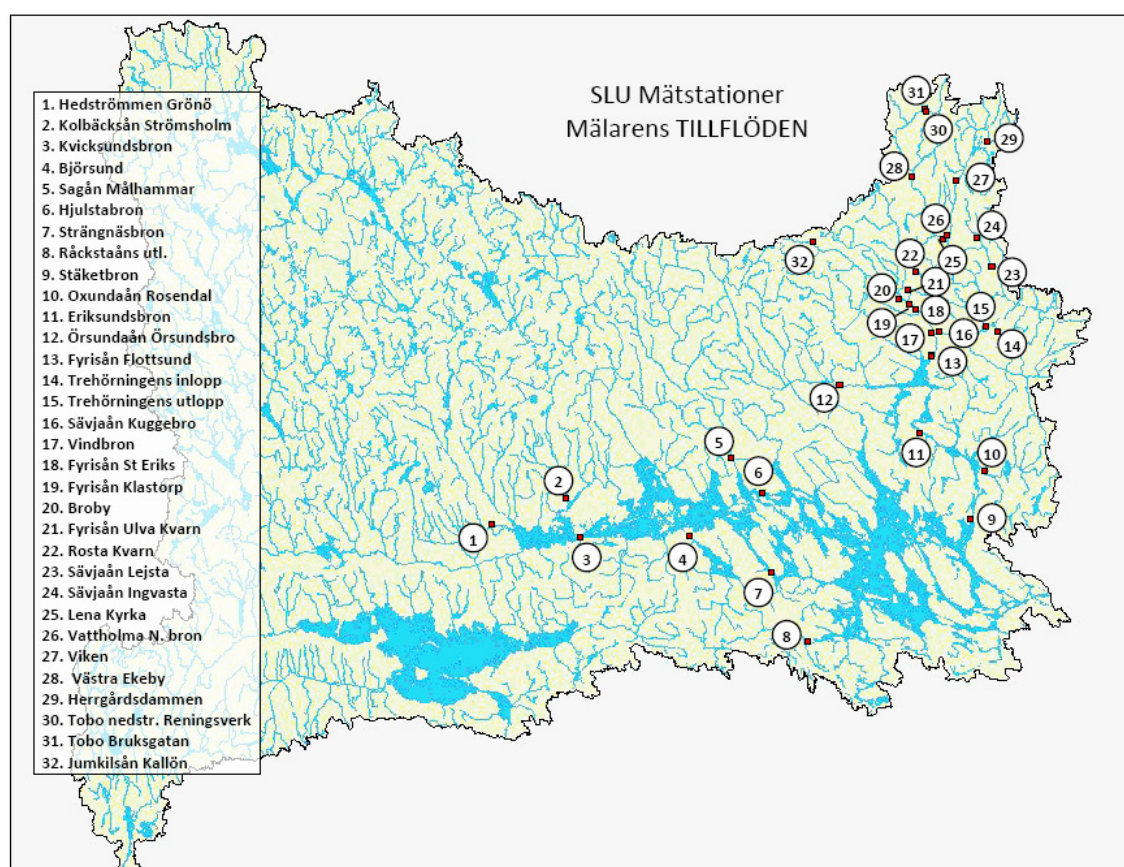
Tabell 3. Tillgång på vattenföringsdata i de största tillflödena till Mälaren (SMHI).

Vattendrag	Stationsnamn (biflöde)	Areal (km ²)	Mätperiod	Kommentar
Eskilstunaån	Övre Hyndevad	4044	1889–	Ca 20 km från mynning
Arbogaån	Dalkarlshyttan	1183	1978–	Ca 80 km från mynning
	Kåfalla (Sverkestaån)	413	1949–	Bidrar nedströms Dal- karlshyttan
	Fellingsbro (Åssingån)	298	1978–	Bidrar nedströms Dal- karlshyttan
Kolbäcksaån	Ramnäs krv	2849	1981–	Ca 35 km från mynning
	Berg (Svenbybäcken)	36,5	1980–	Bidrar nedströms Ram- näs krv
Fyrisån	Islandsfallet	1242	2000–	Ca 10 km från mynning
	Sävja (Sävjaån)	722	1979–	Bidrar nedströms Is- landsfallet
Hedströmmen	Dömsta	998	1978–	Ca 20 km från mynning
Sagån	Sörsätra	597	1978–	Ca 20 km från mynning
	Gränvad (Lillån)	167,5	1978–	Bidrar nedströms Sör- sätra
Svartån	Karlslund 2	1293	1974–	Ca 10 km från mynning
Örsundaån	Härnevi	312	1979–	Ca 20 km från mynning
Köpingsån	Odensvibron 2 (Kölstaån)	110	1978–	Ca 1,5 km från myn- ning
Råckstaån	Åkers Krutbruk	214	1979–	Ca 5 km från mynning

Tabell 4. Tillgång på vattenföringsdata i mindre tillflöden till Mälaren (SMHI).

Vattendrag	Stationsnamn (biflöde)	Areal (km ²)	Mätperiod	Kommentar
Täljeån	Almbro	454	1980–	Ca 20 km från mynning
Sävaån	Ransta	197	1979–	Ca 4 km från mynning
Hågaån	Lurbo	122	1979–	Ca 500 m från mynning
Oxundaån	Skällnora	58,5	1961–	Ca 20 km från mynning

Tillgången på data avseende temperaturen på tillflödena är relativt god och lätt tillgänglig via SLU:s databas. Där är data uppdelade i tre olika delmängder; en med data från mätstationer i sjön (förutom 1996, 1998 och 2004–2006), en med data från mätstationer i tillflöden (där 1996 och 1998 saknas för flera stationer), samt en med data för både mätstationer i sjön och i tillflödena för åren 1996, 1998 samt 2004–2006. De 32 mätstationerna i tillflödena visas i Figur 4. Observera att en del stationer klassats som gällande för tillflödena utifrån SLU:s synsätt, men som i samband med en modellstudie kommer att klassas som gällande för Mälarens sjövattnet, t.ex. stationerna 3, 4, 6 och 7.

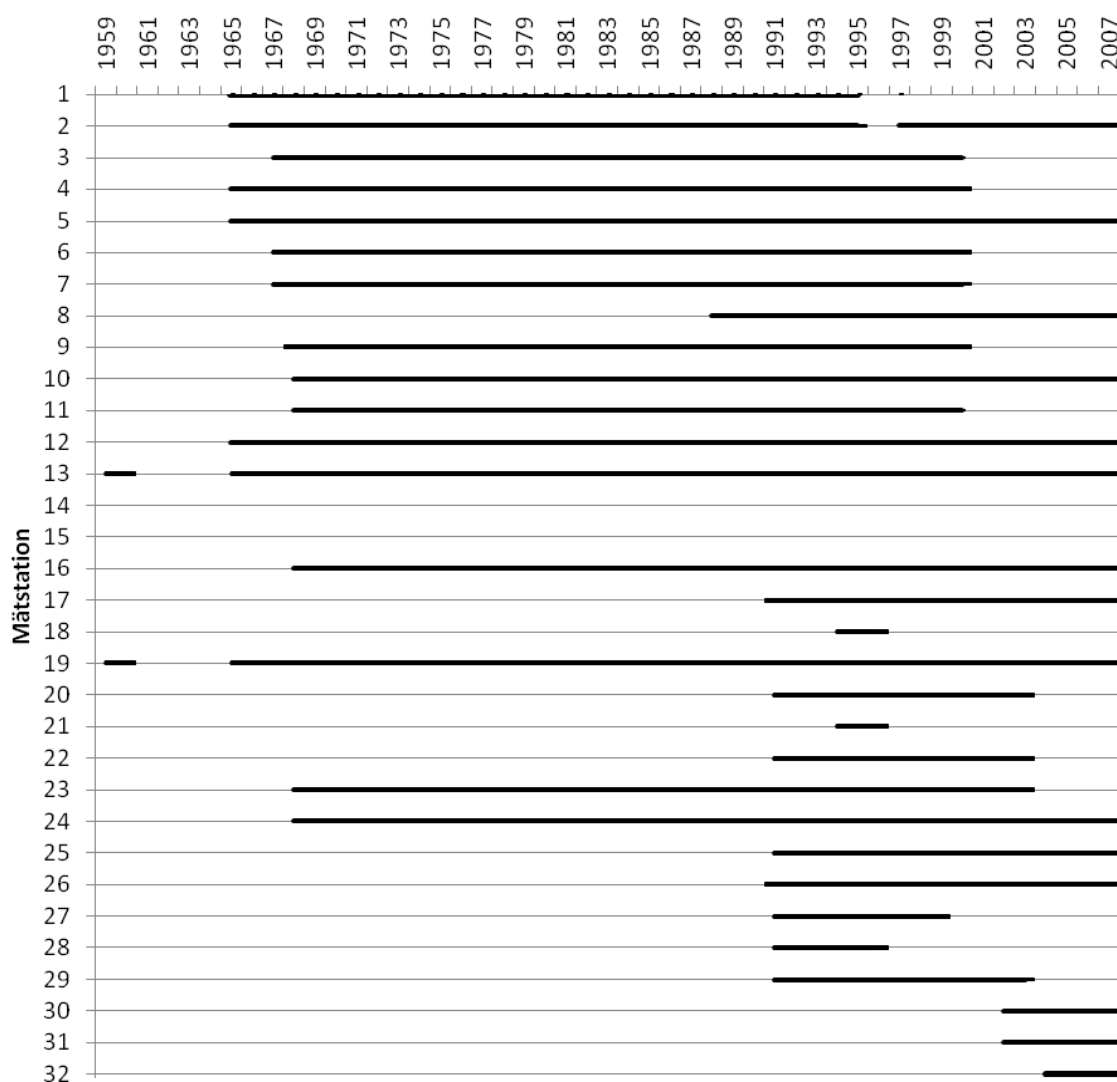


Figur 4. Mätstationer för temperatur i Mälarens tillflöden enligt SLU.

Mätperioderna för temperatur vid stationerna i tillflödena varierar kraftigt mellan stationerna (se Figur 5). Åtta stationer (2, 5, 10, 12, 13, 16, 19 och 24) har mätserier som sträcker sig från 60-talet till idag. Alla stationer är avlästa en gång per månad över hela året. Några av mätstationerna (3, 6, 7, 9 och 13) har dessutom mätningar från 2–3 olika djup t.o.m. 1995, därefter ett djup liksom på övriga stationer.

Det finns inga temperaturmätningar i SLU:s databas för de två största tillflödena (Eskilstunaån och Arbogaån). Temperaturmätningar saknas också i Svartån och Köpingsån. I Kolbäcksån, Fyrisån, Hedströmmen (mätserien slutar 1997), Sagån, Örsundaån och Räckstaån finns däremot användbara temperaturdata. Detta sammanfattas i Tabell 5.

En del kompletterande temperaturdata finns hos SMHI. I Eskilstunaån har SMHI mätt temperatur 1976–1997 ca 15 km från mynningen. Dessutom har SMHI mätt temperatur i Svartån ca 10 km från mynningen 1987–2002 och i Sävaån ca 3 km från mynningen 1988–2003.



Figur 5. Mätperioder för SLU:s temperaturmätningar i Mälarens tillflöden (stationsnumrering enligt Figur 4).

Tabell 5. Tillgång på temperaturdata för de största tillflödena till Mälaren (SLU).

Vattendrag	Stationsnamn	Mätperiod (<i>data saknas</i>)	Kommentar
Eskilstunaån			Mätningar saknas ¹
Arbogaån			Mätningar saknas
Kolbäcksån	Strömsholm	1965– (1996)	Ca 1 km från mynning
Fyrisån	Flottsund	1965–	Ca 500 m från mynning
Hedströmmen	Grönö	1965–1997 (1996)	Ca 4,5 km från mynning
Sagån	Målhammar	1965–	Ca 3 km från mynning
Svartån			Mätningar saknas ²
Örsundaån	Örsundsbro	1965–	Ca 4,5 km från mynning
Köpingsån			Mätningar saknas
Råckstaån	utloppet	1988–	Vid mynningen

¹SMHI har mätningar mellan 1976 och 1997 i Eskilstunaån ca 15 km från mynningen.

²SMHI har mätningar mellan 1987 och 2002 i Svartån ca 10 km från mynningen.

Sammanfattningsvis är tillgången på temperaturdata tillräcklig om man antar att temperaturen i de vattendrag som saknar mätningar kan approximeras utifrån mätningarna i de vattendrag där data finns.

Slutsats: Tillflödenas temperatur bör kunna beskrivas tillfredställande utifrån tillgängliga data. Däremot saknas i nuläget tillfredställande indata för ca 15-20 % av det totala medelflödet till Mälaren. Att försumma en så pass stor andel kommer att påverka resultaten från en hydrodynamisk modell märkbart. För att avhjälpa detta krävs dels en djupare inventering av datatillgång hos andra aktörer, t.ex. kommuner, kraftbolag, IVL, m.fl., dels sannolikt någon typ av förenklad beräkning utifrån arealer eller modellering utifrån nederbördsdata.

2.4 Utlöden

Enligt gällande vattendom uppger SMHI (ref. 2) följande tappningsvägar beroende på vattenståndet (nivåer i Mälarens höjdsystem; RH1900-3,84 m):

1. Vattenstånd under 4,10 m: Samtliga utskov stängda
2. Vattenstånd mellan 4,10 och 4,20 m: Tappning genom Riksbro- och Stallkanalsdammarna för att eftersträva 4,15 m
3. Vattenstånd högre än 4,20: Riksbro- och Stallkanalsdammarna helt öppna.

4. Vattenstånd högre än 4,25: Även avtappningskanal vid Karl Johans torg och kulvert vid Skanstull helt öppna.
5. Vattenstånd högre än 4,50: Även Karl Johanslussen ("Slussen") helt öppen.
6. Vattenstånd högre än 4,60: Även Hammarby- och Södertäljesslussarna öppna så att 70 m³/s tappas genom vardera.

Mätningar av utflödet sker en gång per dag och data finns hos Stockholms Hamn AB, samt även hos SMHI och Stockholm Vatten (ref. Christer Lännergren). Dessutom har DHI redan tillgång till data från Södertäljesslussarna.

Slutsats: Tillgången på data är god avseende utflödena från Mälaren.

2.5 Hydrografiska data

Med hydrografiska data avses parametrar som gäller i själva Mälaren, d.v.s. mätningar av vattenstånd, strömmar och temperatur. Dessa behövs dels för att skapa ett initialtillstånd att starta en numerisk modell från (temperatur och vattenstånd), dels kalibrera och validera modellen (temperatur, vattenstånd och strömmar). Dessutom är det av numeriska skäl lämpligt att använda observerade vattenstånd som randvillkor, d.v.s. styrande villkor som beskriver förhållandena på någon av modellens begränsningsytor (ränder) mot omgivande vatten. I detta fall bör observerade vattenstånd användas som randvillkor antingen för utflödet via Stockholm eller för utflödet via Södertälje.

2.5.1 Vattenstånd

Stockholms Hamnar mäter sedan lång tid tillbaks vattenståndet vid Slussen i Stockholm, i Västerås samt Södertälje en gång per dag (ref. Hans Bergström). Observationerna kvalitetsgranskas och lagras hos SMHI (ref. Lena Eriksson). Mätningarna saknar tidsangivelse, d.v.s. det uppmätta vattenståndet antas vara representativt för hela det aktuella dygnet. Endast hela cm lagras.

Dessutom mäter Sjöfartsverket vattenståndet i Köping samt vid Hjulstabron (ref. Henrik Tengbert). I nuläget är det dessutom Sjöfartsverkets mätare i Linasundet norr om Södertäljes slussar som används av Stockholms Hamnar. Sjöfartsverkets data finns tillgängliga men behöver kvalitetsgranskas.

Slutsats: Tillgängligheten på vattenståndsdata är rimligt god, även om det kan kräva lite arbete att granska och bearbeta den. Observera däremot att den begränsade mätfrekvensen innebär att händelser som går fortare än några dygn inte fångas av observationerna.

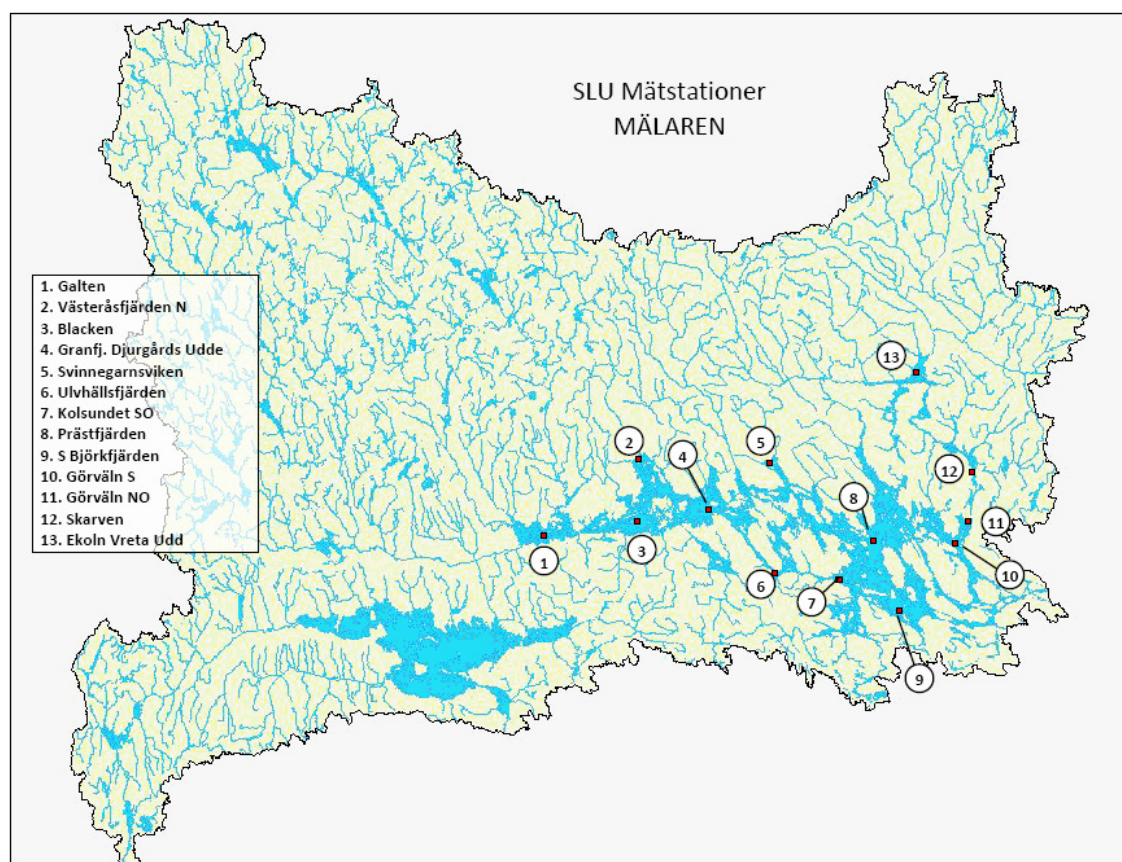
2.5.2 Strömshastighet och strömriktning

Hos SMHI finns diverse äldre strömmätningar i Mälaren lagrade (ref. Bo Juhlin). Dessa härstammar från diverse olika projekt som SMHI genomfört i Mälaren och enskilda mätinsatser sträcker sig sällan över en tidsperiod längre än någon eller några månader. De senaste mätningarna tycks härstamma från 80-talet. Data finns lagrade hos en enskild person i varierande format och det är dessutom oklart om tillgången, då detta är data som inhämtats i samband med uppdrag för olika kunder.

Slutsats: Det finns mycket lite strömdata från Mälaren och det är tveksamt om det som finns går att få tillgång till för en rimlig kostnad och arbetsinsats, särskilt med tanke på att de data som finns är från flera decennier sedan. Det är tämligen meningslöst att försöka jämföra modellresultat från ett år med strömdata från ett annat. Däremot skulle en genomgång av äldre rapporter där mätningar ingått kunna bidra till den samlade bilden av cirkulationen i Mälaren.

2.5.3 Vattentemperatur

Som framgår i avsnitt 2.3 så är tillgången på temperaturdata i Mälaren relativt god och lätt tillgänglig via SLU:s databas. I Figur 6 visas de 13 mätstationerna i sjön.



Figur 6. Mätstationer för temperatur i Mälaren enligt SLU.

Temperaturdata från mätstationerna i Mälaren sträcker sig från 1964 för samtliga stationer utom S Björkfjärden och Granfj. Djurgårds Udde som startar 1967, samt Kolsundet SO där data endast finns från 2001 och 2003. Från Görväln NO finns data endast för perioderna 1964–1965 och 1988–1996. Mätperioderna varje år sträcker sig från mars till september eller oktober med ca en mätning per månad för samtliga stationer utom för Görväln NO där temperaturen endast uppmätts en gång per år (mars). Temperaturen är mätt på tre till sju olika djup beroende på djupet vid stationen. Sammantaget finns data från åtminstone 1967 till idag uppmätt på 11 stationer i Mälaren.

Slutsats: Tillgången på temperaturdata i Mälaren är tillräcklig för att kunna konstruera ett tredimensionellt initialtillstånd samt validera modellerade temperaturer, även om

data för vintermånaderna hade varit önskvärt. Underlaget kräver dock en hel del bearbetning innan det kan användas i modellen.

2.5.4 Is

Det finns 17 stationer i Mälaren där datum för isläggning och islossning mäts (SMHI). Endast fem stationer har noteringar från 1990-talet eller senare. De senaste noteringarna är från Skarven 2007, Kyrkfjärden 2005 och Svartsjöviken 2003, vilka alla är grunda skyddade vikar eller små delbassänger. Även tidigare mätningar är från stationer i skyddade vikar eller små delbassänger. Hos SMHI finns alltså inte data på isläggning/islossning i någon större omfattning för Mälarens öppna vattenområden. Utöver detta så sammanställer istjänsten på SMHI isläget såsom det rapporteras från sjöfarten till Sjöfartsverket. Detta lagras i form av koder för isläget och beskriver förhållandena i farlederna. Dessutom sammanställer SMHI isläget i form av kartor för hela Sveriges farvatten, vilket innebär att Mälaren i praktiken representeras med ett enda isläge. Dessa kartor finns tillgängliga på SMHI:s hemsida från 2003 och framåt. SMHI publicerar varje år "Sammanfattning av isvintern", en publikation som endast finns i tryckta exemplar och som beställs från SMHI. Slutligen finns information hos de olika skridskoklubbarna runt Mälaren (ref. Magnus Edström).

Slutsats: Det saknas sammanställda, detaljerade isdata för Mälaren. Däremot finns en hel del information men i olika format och med olika innehåll. En sammanställning av detta material borde utgöra ett användbart underlag men kommer att kräva en hel del arbete samt olika former av bedömningar och kanske t.o.m. gissningar.

2.6 Meteorologiska data

Det finns sex väderstationer i SMHI:s regi i Mälarens närhet (se Tabell 6). Datatillgången från mitten av 1990-talet är tämligen god när det gäller temperatur, vind och luftfuktighet. Tillgången på nederbörds- och molnighetsdata är något sämre.

Som alternativ finns databaser på SMHI som innehåller analyserade fält av meteorologiska parametrar, med en upplösning på några mil upp till drygt tio mil. Dessa fält byggs på en kombination av observationer och modeller. För att avgöra om direkta observationer eller analyserade fält är att föredra kan en jämförande analys krävas, som i så fall får genomföras i samband med att indata bearbetas. Alternativt kan SMHI uppdras att bedöma vilken data som bör väljas.

Slutsats: Tillgången på meteorologiska data är relativt god och borde vara tillräcklig för att driva en hydrodynamisk modell, åtminstone för år efter 1990-talets mitt.

Tabell 6. Startår, parametrar och antal mätningar per dag för meteorologiska mätstationer i Mälarens närhet (SMHI).

Namn	Startår	Temperatur	Nederbörd	Vind	Luftfuktighet	Molnighet
Stockholm-observatoriet	1756	3	2	3	3	3
Stockholm Arlanda	1996	8	-	-	8	-
Stockholm Bromma	1961	8	-	8	8	-
Adelsö	1995	8	2	8	8	-
Eskilstuna	2008	8	2	8	8	8
Enköping	2007 ¹	8	-	8	8	8

¹Startade i september.

3 Lösningsförslag

Utifrån de önskemål som Mälarens vattenvårdsförbund framfört samt det underlag som gått igenom föreslår DHI en lösning baserad på en modellstudie. Förslaget utgår ifrån en ambitionsnivå som ska medföra att studien till en rimlig kostnad dels ger en god beskrivning av Mälarens dynamik, dels utmynnar i en modell som ska gå att vidareutveckla för framtida behov.

3.1 Syfte

Syftet med den studie som här föreslås är följande:

1. Att öka kunskapen om den övergripande cirkulationen i Mälaren, d.v.s. beskriva dynamiken i de fysiska förhållandena med avseende på strömmar och skiktning samt hur dessa beror av olika drivande faktorer, med fokus på vattnet som transporterande medium.
2. Att ta fram ett modellverktyg som kan återanvändas för framtida studier och applikationer av olika slag.

3.2 Metodik

För att kunna beskriva cirkulationen i Mälaren samt studera olika fenomen föreslås en modellstudie. Detta innebär att en detaljerad tredimensionell numerisk modell sätts upp för hela Mälaren i DHI:s modellsystem MIKE 3 och används för att simulera hydrodynamiken under ett år. Beroende på hur beräkningskrävande modellen blir så simuleras antingen ett verkligt historiskt år eller typiska säsonger var för sig. Modellen kalibreras och valideras mot tillgängliga mätdata. Modellresultaten analyseras med avseende på strömmar, vattenstånd, skiktning, m.m. och presenteras dels övergripande – i form av medelvärden och säsongsvariationer – men även i detalj för specifika händelser eller fenomen.

Ett användbart mått för att förstå cirkulationen i ett vattenområde är vattnets ”ålder”, d.v.s. hur lång tid ett visst vattenpaket i medeltal befinner sig inom ett visst område. Detta är ett bra mått på hur fort vatten i olika områden byts ut. Detta kan beräknas på ett enkelt sätt med hjälp av en extra modul i MIKE 3 kallad ECO Lab.

Slutresultatet blir en genomarbetad rapport som ska beskriva strömningen i Mälaren över ett år, hur dessa resultat tagits fram med hjälp av en modell samt analyser av tillgängliga mätdata. Dessutom finns vid projektets avslut en numerisk modell som kan återanvändas för ytterligare studier eller operationaliseras för att leverera prognoser. Observera att beroende på användningsområdet så kan modellen behöva modifieras, t.ex. förändra upplösningen för att hantera längre simuleringsperioder. Eventuellt kan även utvalda data från modellberäkningarna tillhandahållas på lämpligt format.

3.2.1 Modellsystemet MIKE 3

MIKE 3 är ett tredimensionellt numeriskt modellsystem för beräkning av strömning och transport i vatten. Det aktuella området beskrivs i modellen av ett tredimensionellt nät

av beräkningsceller. I varje cell beräknas strömmarna till riktning och styrka, densiteten (som funktion av temperatur och salthalt), den turbulenta blandningen, lösta ämnens koncentrationer och andra parametrar som efterfrågas.

MIKE 3 består av flera delmoduler. Den grundläggande modulen är den som beräknar de hydrodynamiska processerna (HD), d.v.s. hur vattnet rör sig utifrån de drivande krafterna. Denna modul bygger på välkända hydrodynamiska ekvationer som löses så exakt som beräkningsnätets upplösning och noggrannheten i de drivande krafterna och andra indata tillåter. MIKE 3 HD tar hänsyn till alla de viktigaste processerna, vilka är:

- Transport av salt och värme
- Drivning på grund av variationer i densitet
- Bottenfriktion
- Vindens drivning på ytan
- Drivning på grund av vattenståndsvariationer
- Tillflöden och utsläpp från land
- Värmeutbyte med atmosfären
- Turbulens
- Coriolis-effekten

Mälaren är en mycket flikig sjö med både stora öppna vattenområden och grunda trånga sund. Detta innebär mycket varierande rumsskalor. För sådana fall rekommenderas MIKE 3 FM (Flexible Mesh) som använder ett ostrukturerat beräkningsnät bestående av triangulära prismor, vilka kan variera fritt i storlek. Den senaste versionen har dessutom en ny vertikal struktur för att korrekt beskriva skiktningen i t.ex. sjöar.

MIKE 3 är idag det enda marina modellsystemet i Sverige som lämpar sig både för utredningar som den som föreslås här och s.k. operationell verksamhet, d.v.s. att modellen används för att löpande ge prognoser.

3.2.2 Modellområde och simuleringsperiod

Den numeriska modellen föreslås täcka hela Mälaren från Köping i väst till Stockholm i öster (Slussen) och från Linasundet strax norr om Södertälje i söder till Stäket i norr.

För att få med dels säsongsvariationer och dels olika typer av förhållanden så rekommenderas att antingen ett helt år simuleras eller att flera utvalda perioder på ca en månad som representerar olika säsonger simuleras. En kortare simuleringsperiod medger högre detaljrikedom men riskerar att inte inkludera relevanta situationer. En längre simuleringsperiod ger ett bättre statistiskt underlag men innebär att detaljrikedomen i modellen måste minskas.

Ett års data väljs ut på basis av tillgången på data samt representativitet med avseende på meteorologiska och hydrologiska förhållanden. Det valda året ska därmed inte utgöra ett extremt ovanligt år men ändå innehålla en stor variation i omgivningsförhållanden. Valet görs genom att indata analyseras och jämförs med statistik för längre perioder.

3.2.3 Indata

Som framgår av avsnitt 2 så finns det i huvudsak tillräckligt med indata för att sätta upp och köra en modell av Mälaren. Det som saknas är detaljerade uppgifter om avrinningen från närområdet samt strömmätningar för validering av modellen.

Avrinningen från närområdet kan beräknas med hjälp av en hydrologisk modell, men då detta hamnar utanför de avgränsningar Mälarens vattenvårdsförbund satt upp för denna förstudie så föreslås en förenklad beräkning där den areaspecifika avrinningen från närområdet antas vara densamma som för de avrinningsområden för vilka data finns.

Vad gäller avsaknaden av strömmätningar för senare år så är det inte mycket att göra åt. Antingen simuleras ett år då strömmätningar finns tillgängliga och den kostnad och det arbete det innebär att få fram mätdata från SMHI inkluderas i studien, med reservation för att det inte är säkert att detta tillför valideringen särskilt mycket. Det beror på strömmätningarnas kvalitet, placering, m.m. Alternativt genomförs ett skräddarsytt mätprogram. Inget av dessa två alternativ betraktas som högprioriterat och kommer därmed inte att utvärderas ytterligare inom denna förstudie. Det bör påpekas att det är mycket svårt att validera en modell mot strömmätningar, på grund av strömmens stora rumsliga variation, förutom i sund där strömmen är relativt homogen över tvärsnittet. Ett alternativ till strömmätningar är s.k. driftmätningar där man följer en specialbyggd boj under en viss tid.

3.2.4 Analyser

Beskrivningen av cirkulationen i Mälaren utifrån modellresultaten kommer framför allt baseras på ett antal statistisk bearbetningar. Förslag på sådana är:

- Strömrosor för olika platser och säsonger – visar fördelningen av strömhastighet och riktning för en given tidsperiod.
- Temperaturskiktningen i form av medelsprångskikt djup för olika månader samt språngskikt djupets variabilitet.
- Volymflödet mellan olika bassänger, både medelflöden (netto och brutto) samt variabilitet.
- Vattenståndsvariationernas variabilitet och extremvärden, eventuellt även varaktighet.
- Medelutbyttestiden (vattnets medelålder) för olika djupintervall och säsonger.

Andra sätt att beskriva cirkulationen finns också. Lämpligen bestäms i samråd med Mälarens vattenvårdsförbund vilka analyser som ska göras. Resultaten beskrivs i text och presenteras i tabeller eller som kartor.

3.2.5 Arbetsmoment

Följande arbetsmoment ingår i den föreslagna modellstudien:

1. Insamling av indata.
2. Statistisk analys av meteorologisk och hydrologisk data för att val av simuleringsperiod (år).
3. Bearbetning och sammanfogning av djupdata.
4. Utformning av ett beräkningsnät och interpolering av en bottentopografi (bathyometri). Detta är till viss del en iterativ process där preliminära beräkningar (i samband med kalibrering) kan komma att medföra modifieringar av beräkningsnätet.
5. Bearbetning av drivdata samt kalibrerings- och valideringsdata. Detta innebär kvalitetsgranskning, omformattering till DHI:s filformat, sammanfogning, interpolering där så behövs, skapa initialfält, etc.
6. Förenklad beräkning av tillflödet från det s.k. närområdet, baserat på arealspecifikt flöde för kända tillflöden.
7. Uppsättning av modell i MIKE 3.
8. Preliminära tester samt kalibrering mot observationer för en kortare period, lämpligen ca en månad.
9. Slutlig simulering av hela det utvalda året.
10. Analys av modellresultat.
11. Rapportskrivning.
12. Ett avrapporteringsmöte.
13. Löpande kvalitetsgranskning under överinseende av kvalitetsansvarig.
14. Projektadministration inklusive avstämningar och kontakter med Mälarens vattenvårdsförbund.

Erfarenhetsmässigt har det visat sig att de arbetsmoment som är mest omfattande är 4, 5, 8, 10 och 11. Det som oftast är orsaken till eventuella förseningar är arbetsmoment 1 samt om ändringar sker under projektets gång.

3.2.6 Begränsningar

Mänskliga utsläpp eller intag (industrier, reningsverk, vattenverk, dagvatten, etc.) tas inte med i modellen då dessa antas ha minimal påverkan på den generella cirkulationen.

För att få en stabil modell med rimliga beräkningstider kommer olika sunds påverkan på strömningen utvärderas och vissa mindre vattenområden kan komma att exkluderas från modellen.

Is beräknas inte utan ses som indata. Då ett vattenområde är istäckt så påverkar det utbytet med atmosfären.

3.3 Kostnadsuppskattning

En uppskattning av omfattningen på de 14 arbetsmomenten ovan slutar på drygt åtta (8) manveckor (42 mandagar). Detta motsvarar en kostnad på lite drygt 360 000 kr, beroende på den exakta bemanningen av projektet. Moms tillkommer. Utöver detta tillkommer utlägg för data, resekostnader och övriga utlägg på ca 10-15 000 kr, där vi uppskattat kostnaden för de digitala djupdata från Sjöfartsverket till ca 5-10 000 kr.

3.4 Tidplan och leverans

Till ovan nämnda åtta manveckor ska läggas datortid för själva simuleringskörningarna. En ett-årskörning kan ta omkring en vecka på en snabb quad-core arbetsstation. Dessutom tar de preliminära testkörningarna samt kalibreringskörningarna en del kalendertid. Å andra sidan kan vissa arbetsmoment göras parallellt. Sammanfattningsvis är leverans ca tre månader efter beställning en rimlig uppskattning, med reservation för förseningar i leverans av indata. Däremot kan slutlig leverans sannolikt inte ske före oktober innevarande år p.g.a. tidigare åtaganden samt semestrar.

DHI levererar en rapport med fokus på resultaten, d.v.s. hur Mälarens hydrodynamik ser ut. Rapporten ska ha som syfte att utgöra ett underlag för beslutsfattare och handläggare inom olika områden som behöver veta mer om de generella förhållandena i Mälaren, vilket kräver att rapporten är pedagogisk och lättförståelig men samtidigt omfattande och gedigen vad gäller faktainnehållet. Därför är det viktigt att utformningen av rapporten tas fram i samråd med Mälarens vattenvårdsförbund. Rapporten kommer även att innehålla en beskrivning av metodiken, särskilt vilka förenklingar som gjorts och hur tillförlitliga resultaten är. DHI presenterar rapporten vid ett möte hos Mälarens vattenvårdsförbund.

3.5 Optioner

Eventuella ytterligare arbetsmoment som skulle kunna genomföras inom ramen för den föreslagna lösningen är:

- A. Leverans av utvalda modellresultat i ASCII- eller Excel-format. Resultat kan även tas fram i GIS-format samt som animationer (video).
- B. En kunskapssammanställning utifrån befintlig litteratur.
- C. En förkortad, mer ”populärvetenskaplig” version av slutrapporten.
- D. Ytterligare presentationer i samband med t.ex. möten inom Mälarens vattenvårdsförbund.

Dessa arbetsmoment ingår inte i kostnadsuppskattningen eller tidplanen ovan.

4 Användningsområden och framtida möjligheter

Som framförts ovan finns två syften med den föreslagna studien. Den kunskap som sammanställs i rapporten ska kunna användas som underlag i samband med mer översiktliga bedömningar och analyser som berör Mälaren. Finns det ett behov att göra mer kvantitativa beräkningar så kan de flöden och strömmar som beräknats av modellen extraheras (se avsnitt 3.5 Optioner ovan) och användas, t.ex. för beräkning av bassängbudgetar för ett ämne.

Den modell som tas fram kan sedan användas och anpassas för ett flertal användningsområden. Till att börja med kan modellen användas för att göra studier av specifika problemställningar. Nedan följer ett antal exempel.

- Genom att ”märka” olika tillflöden med hjälp av virtuella spårämnen kan olika vattendrags bidrag på olika platser beräknas.
- Olika utsläpp kan läggas in i modellen och deras spridning och spädning i Mälaren spåras. Även intag och kopplade intag/utsläpps (t.ex. kylvatten) kan föras in i modellen.
- Med hjälp av ECO Lab kan mer eller mindre komplicerade modeller av patogener, toxiner och andra ämnen kopplas ihop med den hydrodynamiska modellen för att simulera dessa ämnens spridning i Mälaren.
- Också med hjälp av ECO Lab kan man utifrån kända utsläpp via åar, dagvatten, enskilda avlopp m.m. simulera hur *E. coli* sprids och dör i Mälarens, för att sedan utifrån badvattendirektivet bedöma badvattenkvaliteten och testa alternativa åtgärder för att förbättra förhållandena.
- ECO Lab innehåller färdiga ekologiska modeller för fosfor och kväve samt hur dessa ämnen tas upp och leder till algbloomingar. Med hjälp av kända källor kan Mälarens miljöstatus utvärderas och möjliga åtgärder testas. Liknande studier pågår i bl.a. Himmerfjärden. Om behov finns kan verktyget MIKE Basin användas för att sätta upp en avrinningsmodell för Mälarens avrinningsområden. En sådan modell kan också beräkna transporter av fosfor och kväve från avrinningsområdena. En liknande MIKE Basin-studie har precis utförts på uppdrag av Vattenmyndigheten för södra Östersjön.
- Modellen kan dels modifieras för att köra flera år, men även förfinas i ett särskilt område för att t.ex. detaljstudera effekten av en utbyggnad eller konstruktion i Mälarens vatten.
- Andra moduler som kan kopplas ihop med MIKE 3 är moduler för beräkningen av spridning av sediment och erosion samt modeller som beräknar vindvågor.

En alternativ användning av modellen är att operationalisera den, d.v.s. modellen sätts upp för att köras som en prognosmodell som ger prognoser för några dagar upp till en vecka framåt via en webbsida. En sådan prognosmodell skulle kunna användas för till exempel:

- Badvattenprognoser; koncentrationen av *E. coli* eller andra patogener. Sådana system finns redan, bland annat för Hallandskusten.
- Prognoser av vattenstånd och strömmar för sjöfarten.
- Prognoser för andra typer av utsläpp.

Det är också fullt möjligt att ta fram ett speciellt webb-baserat interaktivt användargränssnitt för t.ex. prognoser av oljeutsläpp. DHI har utvecklat ett eget verktyg kallat Dashboard Manager i vilket webbsidor kopplade till beräkningresultat kan byggas upp grafiskt.

5 Referenser

1. Mälarens vattenvårdsförbund/Mats Wallin et al. (2000): *Mälaren. Miljö tillstånd och utveckling 1965-98*. SLU Institutionen för miljöanalys på uppdrag av Mälarens vattenvårdsförbund. ISBN 91-576-5986-9.
2. SMHI/Carl Granström (2003): *Vattenståndsmätningar i Mälaren*. Väder och Vatten, 8/2003.
(http://www.smhi.se/sgn0102/n0205/artikelsier/s11_aug03.pdf)