



JÄRLASJÖNS VATTENUTBYTE

– producerad av IVL, Svenska miljöinstitutet

September 2016



Nr U 5692
September 2016

Järlasjöns vattenutbyte

På uppdrag av Nacka Kommun

Joakim Hållén & Magnus Karlsson



Författare: Joakim Hållén & Magnus Karlsson, IVL Svenska Miljöinstitutet

På uppdrag av: Nacka Kommun

Rapportnummer U 5692

© IVL Svenska Miljöinstitutet 2016

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // Fax 010-788 65 90 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	4
1 Inledning	5
2 Material och metoder.....	5
2.1 Områdesbeskrivning.....	5
2.2 Fältkartering	6
2.3 Delbassängernas morfometri.....	6
2.4 Vattnets omsättningstid.....	7
3 Resultat.....	9
3.1 Fältkartering	9
3.2 Delbassängernas morfometri.....	10
3.3 Vattnets omsättningstid.....	11
4 Diskussion	12
5 Referenser.....	13
Bilaga 1 – Sjökort	14
Bilaga 2 – Vertikalprofiler	15

Sammanfattning

Nacka kommun utreder möjligheterna att förbättra vattenkvaliteten i Järlasjön. Som ett led i detta arbete har en matematisk modell utvecklats för att beskriva vattenutbytet till, från och inom Järlasjöns delbassänger. Järlasjön är en sprickdalssjö uppdelad i fyra distinkta delbassänger: Kolbottensjön, Övre Järlasjön, Egentliga Järlasjön och Sicklasjön, vilka åtskiljs av trånga sund. I samtliga delbassänger konstaterades vid mätning i juni 2016 att de är temperaturskiktade med ett homogent ytvatten separerat med ett språngskikt till nedanförliggande mer eller mindre syreutarmat djupvatten.

Resultaten av modellsimuleringarna visar att, trots de smala sunden som begränsar vattenutbytet mellan bassängerna, sker det ett betydande vattenutbyte dem emellan, vilket beror av vattenståndsvariationer som uppkommer när vind och vågor pressar ytvatten i sjöns endera längdriktning beroende på hur vinden blåser. Sjöns nominella utbytestid, d.v.s. hur lång tid det teoretiskt tar att byta ut sjöns hela vattenmassa genom inflöden och utflöde, beräknades till 18 månader. Den relativa utbytestiden för ytvattnet i de mindre delbassängerna är några dagar och för den största bassängen Egentliga Järlasjön storleksordningen en månad. Detta innebär att vattnet rör sig fram och tillbaka mellan delbassängerna i betydligt högre grad än vad som flödar in via tillflöden och ut ur systemet i västra änden av Sicklasjön.

Kontentan av att det interna vattenutbytet är stort, är bland annat att om åtgärder genomförs som förbättrar vattenkvaliteten i Egentliga Järlasjön, så bör detta ge positiva följdverkningar också i de mindre delbassängerna. Omvänt gäller att om åtgärder enbart riktas mot någon av de andra mindre delbassängerna är sannolikheten liten att det skulle ge någon positivt varaktig effekt för sjön. Den temperaturskiktning som uppmättes vid provtagningstillfället och som även andra undersökningar påvisat medför att vattenutbytet mellan yt- och djupvatten under delar av året är begränsad. Det bör dock inte innebära att en eventuell åtgärd som syftar till att binda fosfor till sedimenten har sämre förutsättningar att ge positiva effekter. Temperatursprångskiktet bryts i samband med höst- och våromblandning varvid bottenvatten, som ofta innehåller förhöjda fosfathalter, blandas med ovanförliggande vattenmassa.

Med den modell över Järlasjöns vattenutbyte till, från och inom dess delbassänger som tagits fram i detta projekt finns goda förutsättningar att framledes studera och prognosticera hur olika alternativa åtgärder för att minska näringsämnestillförseln skulle kunna påverka vattenkvaliteten.

1 Inledning

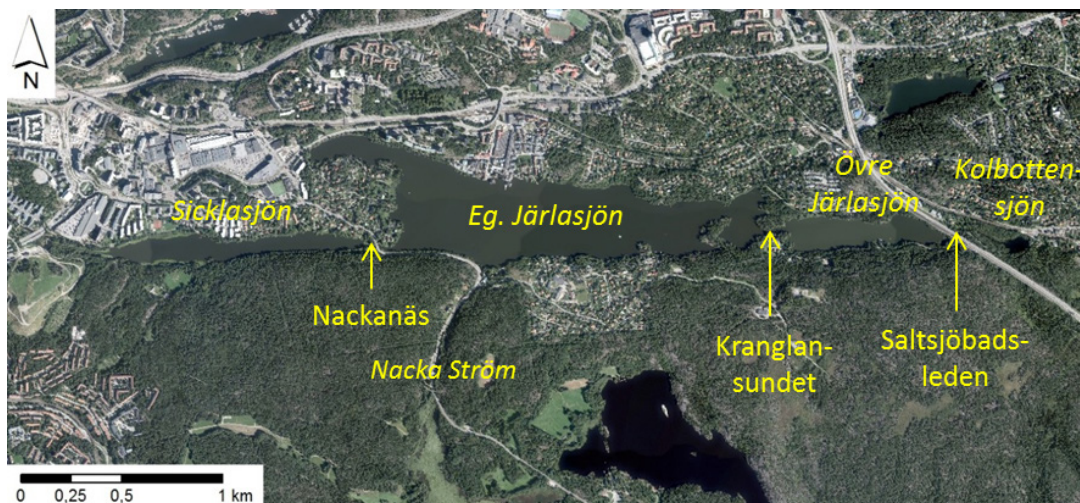
Ett lokalt åtgärdsprogram har tagits fram för att förbättra vattenkvaliteten i Järlasjön i Nacka kommun. För att bättre kunna bedöma potentialen i framtida miljövårdsinsatser finns ett behov av att söka klarlägga hur Järlasjöns delbassänger påverkar varandra genom vattenutbyte. I syfte att svara på dessa frågeställningar har IVL Svenska Miljöinstitutet på uppdrag av Nacka kommun i föreliggande rapport modellerat vattenutbytet mellan Järlasjöns fyra delbassänger.

2 Material och metoder

2.1 Områdesbeskrivning

Järlasjön är en sprickdalssjö uppdelad i fyra delbassänger, åtskilda av trånga sund som begränsar vattenutbytet mellan bassängerna (**Fig. 1**). Den östra delbassängen kallas för Kolbottensjön och har förbindelse med övriga sjön genom en vägtrumma som går under Saltsjöbadsleden. Nedströms Kolbottensjön ligger bassängen Övre Järlasjön, som avgränsas av Saltsjöbadsleden i öst och Kranglansundet i väst. Näst följer Egentliga Järlasjön, som är den största och djupaste bassängen. Egentliga Järlasjön förbinds med den fjärde delbassängen Sicklasjön i väst genom ett sund vid Nackanäs.

Järlasjöns sammanlagda sjöarea är ca 90 ha. Sjöns tillrinningsområde är knappt 500 ha (exklusive sjöar uppströms) och domineras av skog och urbaniserade markytor. Fem sjöar är belägna uppströms Järlasjön: Ältasjön, Ulvsjön, Söderbysjön, Källtorpsjön och Dammtorpsjön. Från Dammtorpsjön rinner Nacka Ström, som sedan mynnar i Egentliga Järlasjön, vilket också representerar den huvudsakliga vattentillförseln till Järlasjön.



Figur 1. Järlasjöns fyra delbassänger Kolbottensjön, Övre Järlasjön, Egentliga Järlasjön och Sicklasjön, som mynnar via Sicklasselunden i väst. Delbassängerna avgränsas av trånga sund vid Saltsjöbadsleden, Kranglansundet och Nackanäs. Det huvudsakliga tillflödet sker via Nacka Ström, som rinner från Dammtorpsjön belägen söder om Järlasjön. GSD-Ortofoto, © Lantmäteriet.

I **Tabell 1** presenteras månadsmedelvattenföringen i Järlasjöns största inflöde via Nacka Ström samt utflödet via Sicklaslussen. Flödena baseras på månadsmedelvattenföring mellan åren 2005 och 2014, hämtat från SMHI:s vattenwebb.

Tabell 1. *Medelvattenföring i Järlasjöns inflöde (Nacka Ström) och utflöde (Sicklaslussen). Data hämtat från SMHI:s vattenwebb*

Månad	Inflöde [m ³ /s]	Utflöde [m ³ /s]
Jan	0,18	0,28
Feb	0,15	0,24
Mar	0,16	0,25
Apr	0,20	0,29
Maj	0,052	0,085
Jun	0,042	0,075
Jul	0,025	0,048
Aug	0,046	0,084
Sep	0,037	0,068
Okt	0,063	0,10
Nov	0,14	0,21
Dec	0,18	0,28
Årsmedel	0,11	0,17

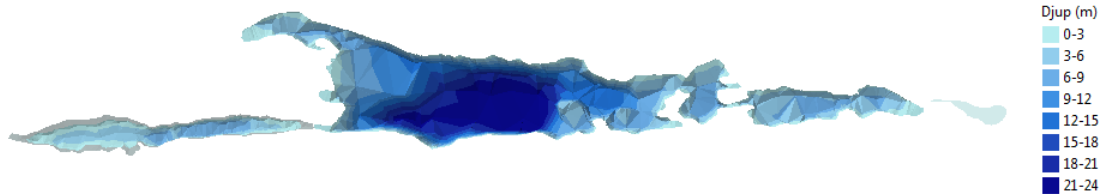
2.2 Fältkartering

En fältkartering av Järlasjöns delbassänger gjordes från båt den 11 juli 2016. Detta i syfte att klarlägga sektionensareorna hos de trånga sund som åtskiljer Järlasjöns delbassänger (Saltsjöbadsleden, Kranglansundet och Nackanäsbron). I samband med detta mättes även vattentemperatur, salinitet, syrgashalt och siktdjup i en vertikalprofil i respektive delbassäng. Dessa parametrar mättes i syfte att identifiera ett eventuellt språngskikt som särskiljer ytvatten med snabbare omsättningstid från djupvatten med längre omsättningstid.

2.3 Delbassängernas morfometri

Sundens sektionensareor användes tillsammans med information om vattendjup från ett detaljerat sjökort för att i karteringsprogrammet ArcGIS skapa en 3D-modell över de fyra delbassängerna. Syftet med detta var att uppskatta medeldjup, maxdjup samt yt- och djupvattenvolymer för respektive delbassäng. Sjökortet har upprättats av Marin Mätteknik på uppdrag av föreningen Sicklaslussen. I sjökortet var punktvis lodade vattendjup samt djupkurvor motsvarande 2, 4, 6, 10, 15 och 20 meter utmärkta (**Bilaga 1**). Djupkurvorna digitaliserades i ArcGIS och med hjälp av ett interpolationsverktyg i programmet skapades sedan en 3D-modell över sjön (**Fig. 2**). I programmet kunde area och totala vattenvolymer för delbassängerna beräknas. Kvoten mellan volym och area gav sedan medeldjupet (D_m) i varje delbassäng. Maxdjup (D_m) erhöles från de lodade punkterna i

sjökortet. Värt att tillägga är att sjökortet inte täckte hela Kolbottensjön och att det inte heller angav något vattendjup för denna. Således fick medel- och maxdjup för Kolbottensjön uppskattas under fältkarteringen. Kolbottensjöns area erhöles ur GIS-data från Lantmäteriet (GSD-Översiktskartan, © Lantmäteriet).



Figur 2. 3D-modell över Järlasjön framtagen i ArcGIS. Mörkare färger motsvarar större vattendjup. Information om vattendjup erhöles från ett detaljerat sjökort som upprättats av Marin Mätteknik AB, på uppdrag av föreningen Sicklaslussen.

2.4 Vattnets omsättningstid

Tre olika angreppssätt användes för att beräkna vattnets omsättningstid i Järlasjön. Först uppskattades en nominell omsättningstid, det vill säga vattnets omsättningstid då Järlasjön förenklat ses som en fullständigt omblandad och homogen vattenmassa. Den nominella omsättningstiden erhöles ur kvoten mellan hela Järlasjöns vattenvolym och medelvattenföringen i sjöns utlopp vid Sicklaslussen.

På samma sätt uppskattades sedan vattnets omsättningstider i respektive delbassäng. Vattnets strömningshastighet mellan delbassängerna antogs vara i genomsnitt 2,5 cm/s, vilket på god empirisk grund kan sägas vara en typisk strömningshastighet mellan fjärdar (Håkanson et al., 1984). Det enda tillflödet till sjön av betydelse antogs ske genom Nacka Ström, som mynnar i Egentliga Järlasjön. Således erhöles nettoflödet från Egentliga Järlasjön till Sicklasjön av inflödet från Nacka Ström. Nettoflödet från Sicklasjön erhöles dels ur utflödet från Sicklasjön och dels ur det flöde som antogs ske tillbaka till Eg. Järlasjön genom sundet vid Nackanäs.

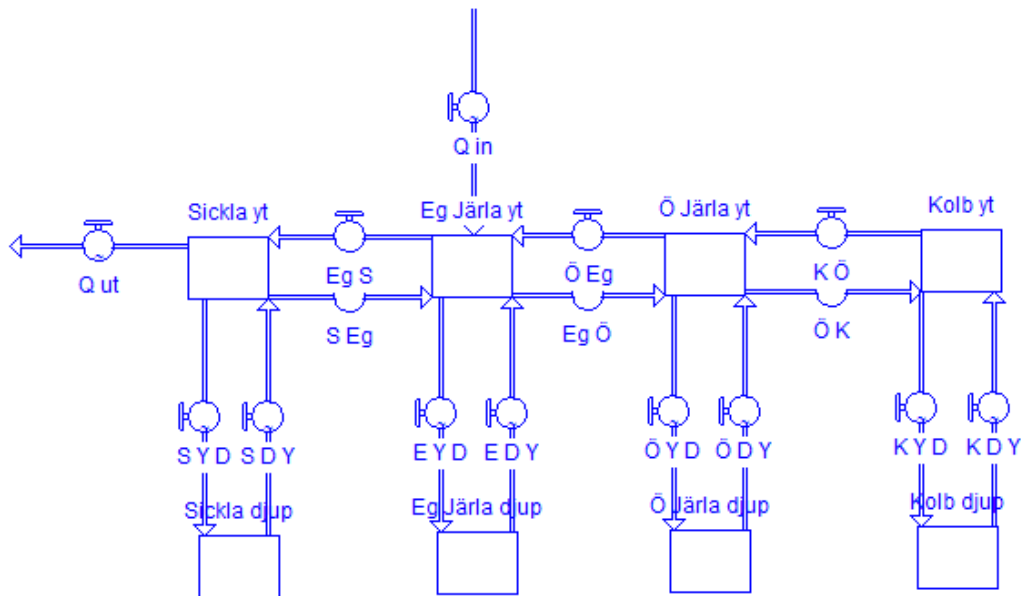
Att se delbassängerna som fullständigt omblandade vattenmassor är dock en väsentlig förenkling av verkligheten, då vattenmassorna generellt sett är skiktade i yt- och djupvatten under delar av året, framförallt under den ekologiskt intressanta produktionsperioden. Skiktningen orsakas bland annat av att vattnets densitet varierar med temperatur och salinitet. Vattnets densitet är som störst vid 4°C, vilket gör att ytvatten, som under sommar och vinter är varmare respektive kallare än 4°C, skiktas ovanför det tyngre bottenvattnet. Skiktning till följd av salinitetskillnader är mer påtaglig i kust- och havsvatten jämfört med insjöar som Järlasjön.

En teoretisk uppdelning av yt- och djupvatten kan också göras utifrån den så kallade effektiva fetchen (L_f) (Håkanson & Jansson, 1983). L_f motsvarar i princip sträckan som en vind kan blåsa över en vattenförekomst och på så sätt generera vågor. Ju "öppnare" vattenförekomsten är, desto större blir L_f . Enligt Håkanson & Jansson (1983) kan L_f för mindre vattenförekomster approximeras med kvadratroten ur sjöarean (A). Utifrån L_f kan sedan det kritiska djupet (D_{TA}) beräknas genom **Ekvation 1**.

$$D_{TA} = \frac{45,7 * L_f}{L_f + 21,4} \approx \frac{45,7 * \sqrt{A}}{\sqrt{A} + 21,4} \quad (1)$$

D_{TA} säger hur djupt vindgenererad turbulens förmår att omblanda en vattenmassa, det vill säga vågbasens djup. Således kan ett antagande göras att vattenmassan ovanför D_{TA} utgörs av ytvatten med relativt snabb omblandning och omsättningstid, medan vattenmassan under D_{TA} utgörs av relativt ostört djupvatten med långsammare omsättningstid. En fullständig omblandning mellan yt- och djupvatten antogs dock ske två gånger per år: under vår och höst.

Utifrån D_{TA} uppskattades yt- och djupvattenvolymer för respektive delbassäng i ArcGIS. Ur dessa byggdes sedan en vattenomsättningsmodell upp i simuleringsprogrammet STELLA[®] (Fig. 3). I modellen representeras yt- och djupvatten i respektive delbassäng av boxar medan flöden till och från dessa representeras av pilarna mellan boxarna.



Figur 3. Modellen som användes för att simulera vattnets omsättningstid i Järslasjöns fyra delbassänger. Boxar representerar yt- och djupvatten i respektive delbassäng. Pilarna till och från boxarna representerar vattenutbytet mellan delbassänger samt mellan yt- och djupvatten.

3 Resultat

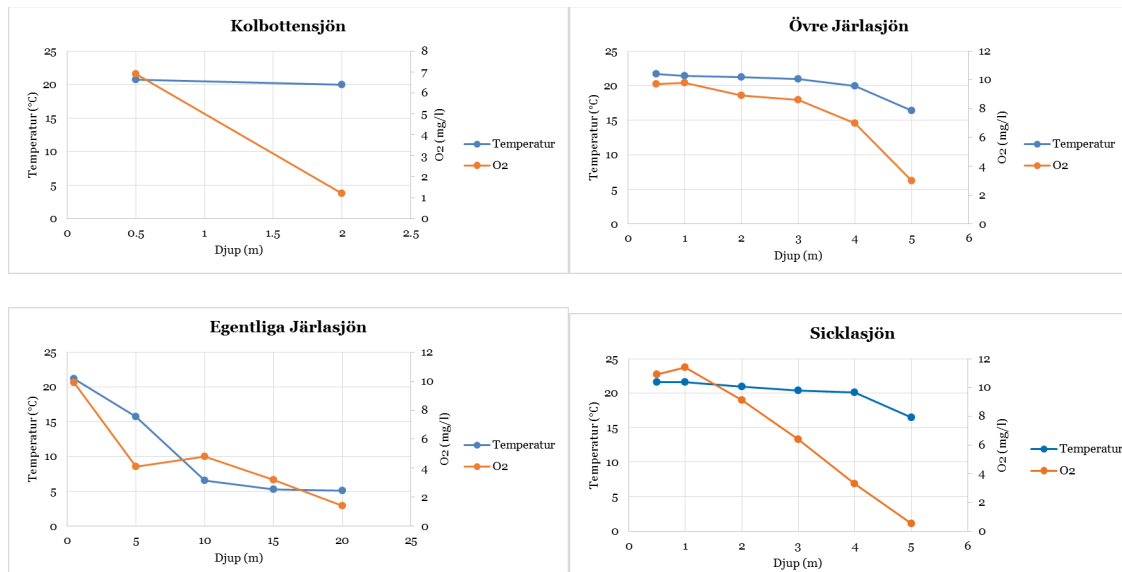
3.1 Fältkartering

I **Tabell 2** presenteras uppskattade sektionareor och vattenflöden genom sunden som skiljer Järlasjöns fyra delbassänger åt. Flödet genom sektionerna beräknades genom att multiplicera halva sektionarean med strömningshastigheten 2,5 cm/s.

Tabell 2. *Sektionsarea och vattenflöde genom de tre sunden som åtskiljer Järlasjöns fyra delbassänger*

Sektion	Area [m ²]	Flöde [m ³ /s]
Saltsjöbadsleden	5	0,063
Kranglansundet	18	0,23
Nackanäsbron	25	0,31

I **Figur 4** presenteras hur temperatur och syrgashalt varierade med vattendjupet i de fyra delbassängerna. Fullständiga resultat från mätningarna presenteras i **Bilaga 2**. Den grunda Kolbottensjön hade en homogen temperaturfördelning, medan syrehalterna minskade med djupet och dess bottenvatten (2 m) tycks präglas av syrefattiga förhållanden. Både temperatur och syrehalter i Övre Järlasjön var relativt konstanta ner till 4 m djup, varpå det skedde en minskning ner mot botten (5 m). I den största och djupaste delbassängen, Egentliga Järlasjön, minskade temperaturen relativt linjärt ner till 10 m djup, varpå den höll sig konstant runt 5 °C ner till botten (20 m). Delbassängen tycks således vara uppdelad i ytvatten och djupvatten, skilda av ett språngskikt mellan 5 och 10 m djup. Syrehalterna i Egentliga Järlasjön sjönk successivt med ökande vattendjup. I Sicklasjön var vattenmassan relativt homogen vad gäller temperatur, en tendens till skiktning vid 4 m djup kunde dock urskiljas. Syrehalterna avtog linjärt med större vattendjup. Resultaten visar att syreförhållandena i samtliga delbassängers bottenvatten var ansträngda (0,5 – 3 mg/l).



Figur 4 Temperatur och syrgashalts (O₂) variation med vattendjup i Järlasjöns delbassänger i juni 2016.

3.2 Delbassängernas morfometri

Morfometrin hos delbassängerna bestämdes med hjälp av digitalisering av ett sjökort i karteringsprogrammet ArcGIS. Resultaten presenteras i **Tabell 3** och 4. Det kritiska djupet (D_{TA}), som teoretiskt sett skiljer yt- och djupvatten, erhöles ur **Ekvation 1**.

Tabell 3. Sjöarea, totalvolym, medeldjup och maxdjup i Järlasjöns fyra delbassänger, som beräknats i ArcGIS. Kritiskt djup (D_{TA}) beräknades utifrån den effektiva fetchen (Håkanson & Jansson, 1983)

Delbassäng	Area [ha]	Volym [m ³]	D_{medel} [m]	D_{max} [m]	D_{TA} [m]
Kolbottensjön	1,59	23 900	1,5	2,0	0,3
Övre Järlasjön	10,4	355 000	3,4	5,4	0,7
Eg. Järlasjön	66,4	7 100 000	10,7	23,0	1,7
Sicklasjön	13,6	405 000	3,0	5,1	0,8

Tabell 4. Yt- och djupvattenvolymer i Järlasjöns fyra delbassänger. Volymerna uppskattades i ArcGIS

Delbassäng	Volym ytvatten [m ³]	Volym djupvatten [m ³]
Kolbottensjön	4 780	19 100
Övre Järlasjön	69 200	286 000
Eg. Järlasjön	1 060 000	6 040 000
Sicklasjön	103 000	302 000

3.3 Vattnets omsättningstid

Den nominella vattenomsättningstiden i Järlasjön beräknades utifrån totalvolym och utflödet via Sicklaslussen till 18 månader.

I **Tabell 5** presenteras beräknade omsättningstider för de fyra delbassängerna relativt varandra.

Tabell 5 *Beräknade vattenomsättningstider i Järlasjöns fyra delbassänger*

Delbassäng	Hela*	Ytvatten	Djupvatten
Kolbottensjön	4,4 dygn	0,88 dygn	6 månader
Övre Järlasjön	18,3 dygn	3,6 dygn	6 månader
Eg. Järlasjön	6,5 månader	1,0 månader	6 månader
Sicklasjön	9,8 dygn	2,5 dygn	6 månader

*ingen hänsyn togs till eventuell skiktning av vattenmassan

4 Diskussion

En relativt stor andel av sjöns vattenvolym beräknades utifrån sambandet mellan effektiv fetch¹ och kritiskt djup att hydrodynamiskt betraktas som djupvatten. D.v.s. att det under delar av året förekommer en skiktning av sjöns vattenmassa med ett förhållandevis homogent och av turbulens påverkat ytvattenskikt, följt av ett språngskikt, där vattnets densitet ändras hastigt, och därunder en volym av mer eller mindre syrefattigt bottenvatten. Var språngskiktet ligger varierar mellan sjöns delbassänger, vilket kunde verifieras vid den mätning som genomfördes i juni 2016 (**Fig. 4**). Språngskiktets nivå bestäms i första hand av delbassängernas storlek och form, ju större bassäng, desto större förutsättningar för vågbildning och turbulens i de ytligare vattenlagren varvid språngskiktet förskjuts nedåt.

Resultaten av det modellerade vattenutbytet i Järlasjön visar att den interna omblandningen mellan delbassängerna (**Tab. 5**) är betydligt snabbare utbyte jämfört med den nominella omsättningstiden beräknat för hela sjön: 18 månader. Utbytestiden för ytvattnet i den största delbassängen, Egentliga Järlasjön, beräknades till storleksordningen 1 månad och för övriga delbassänger var utbytestiden några dygn. Det endogena² vattenutbytet är således mycket större än det exogena³. Ett annat sätt att uttrycka detta är att vattnet skvalpar fram och tillbaka mellan sjöns delbassänger betydligt snabbare än vad det byts ut genom inflöde respektive utflöde. Kontentan av detta är att om man skulle genomföra en riktad åtgärd som leder till förbättrad vattenkvalitet i den största delbassängen, Egentliga Järlasjön, skulle det sannolikt leda till en förbättrad vattenkvalitet även i övriga delbassänger. Däremot är sannolikheten liten att en riktad åtgärd i någon av de mindre delbassängerna skulle få annat än en marginell effekt eftersom dessa i hög grad styrs av miljöförhållandena i Egentliga Järlasjön.

Den temperaturskiktning som uppmättes vid provtagningstillfället och som även andra undersökningar påvisat (Held Paulie pers. komm.) medför att vattenutbytet mellan yt- och djupvatten under delar av året är begränsad. Det bör dock inte innebära att en eventuell åtgärd som syftar till att binda fosfor till sedimenten har sämre förutsättningar att ge positiva effekter (Rydin, 2008). Temperatursprångskiktet bryts i samband med höst- och våromblandning varvid bottenvattnet som i regel innehåller förhöjda fosfathalter blandas med ovanförliggande vattenmassa.

Med den modell som i detta arbete tagits fram för att beskriva vattenutbytet i Järlasjön, som bygger på etablerad kunskap om sjöars hydrodynamik (Håkanson, 2004), finns en solid grund att, om så skulle önskas, framledes belysa hur sjön skulle svara på åtgärder som minskar tillförseln av näringsämnen från såväl externa som interna källor. I och med att det råder ansträngda syrgasförhållanden i delbassängernas bottenvatten är det troligt att det finns en betydande intern belastning, d.v.s. läckage av fosfor från sedimenten med ursprung i historiska utsläpp.

¹den sträcka som vinden förmår generera vågor på

² vattenutbytet inom en sjö mellan dess delbassänger

³ uttrycker vattenutbytet med omgivande system, jmf nominell utbytestid

5 Referenser

Håkanson, L., 2004. Lakes: form and function. The Blackburn Press, Caldwell, New Jersey, 201pp.

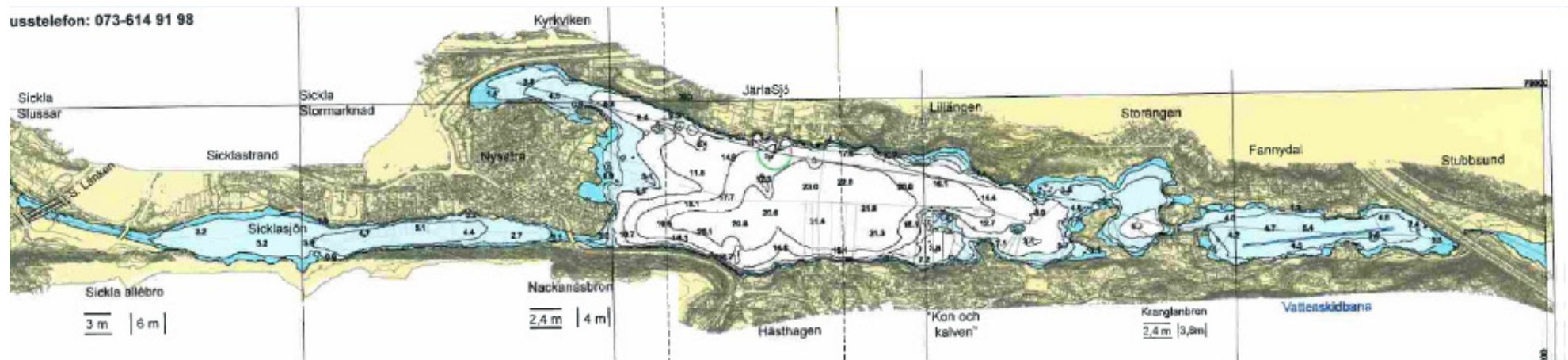
Håkanson, L. & Jansson, M., 1983. Principles of lake sedimentology. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg

Håkanson, L., Kulinski, I & Kvarnäs, H., 1984. Vattendynamik och bottendynamik i kustzonen. Statens Naturvårdsverk PM 1905.

Rydin, E., 2008. Kan Östersjön restaureras? Utvärdering av erfarenheter från sjöar. Del 2. Kemiska och fysiska sjörestaureringsmetoder – något för Östersjön? Naturvårdsverket Rapport 5860:51-90.



Bilaga 1 – Sjökort



Bilaga 2 – Vertikalprofiler

Tabell 6 Uppmätt temperatur, salinitet, syrgashalt och siktdjup i vertikalprofil i Järalsjöns fyra delbassänger

Delbassäng	Mättdjup [m]	Temperatur [°C]	Salinitet [PSU]	O2 [mg/l]	Siktdjup [m]
Kolbottensjön	0,5	20,7	0,27	6,9	1,5
	2	20,0	0,27	1,2	-
Övre Järalsjön	0,5	21,7	0,18	9,7	2
	1	21,4	0,18	9,8	-
	2	21,2	0,18	8,9	-
	3	20,9	0,18	8,6	-
	4	19,9	0,18	7,0	-
	5	16,4	0,22	3,0	-
Egentliga Järalsjön	0,5	21,2	0,17	9,9	3
	5	15,7	0,17	4,1	-
	10	6,6	0,17	4,8	-
	15	5,3	0,17	3,2	-
	20	5,1	0,17	1,4	-
Sicklasjön	0,5	21,6	0,18	10,9	2
	1	21,6	0,18	11,4	-
	2	20,9	0,18	9,1	-
	3	20,4	0,18	6,4	-
	4	20,1	0,18	3,3	-
	5	16,5	0,23	0,5	-

[Infoga bild/logga]