

YTAN ELLER BOTTEN? – en studie av avloppsvattnets inblandning & förhållanden i Inre Valdemarsviken

Surface or deepwater outlet –
a study of effluent water entrainment & conditions inside Inre Valdemarsviken

av PERNILLA JOHANSSON, Göteborgs universitet, Institutionen för geovetenskaper
Box 460, 405 30 Göteborg
e-post: pernilla.johansson@student.gu.se



Abstract

The deepwater of the water area known as Inre Valdemarsviken, situated on the Swedish east coast, is a recipient of effluent water. Suspicion has arisen concerning bad conditions in the mouth area due to abnormal presence of bacteria in the surface water, overgrown perennial algae and turbid water. This may be effects of effluent water being disposed and in this article calculations are made to clarify the dynamics of Inre Valdemarsviken. According to theory and equations of selective withdrawal, (Stigebrandt, 1978a & 1978b), maximum withdrawal depth of different current velocities in the mouth was calculated. Current velocity in the mouth are known to a times reach 2 m/s. With a current velocity of 1.5 m/s, the maximum withdrawal depth would be 8 meters. Entrainment of effluent water has been calculated by a model based on conservation of volume and momentum in the created plume (Turner, 1973). The stagnation depth of effluent water varies throughout the year between 16 and 20 meters. In order to calculate occurrence/ frequency of high bacterial concentrations, measurements of these on different locations and depths are required combined with water level data from both sides of the mouth so that current velocities can be calculated with higher accuracy.

Key words – Effluent water, entrainment, selective withdrawal

Sammanfattning

I Inre Valdemarsviken, vilket är det vattenområde som behandlas i föreliggande artikel, sker utsläpp av renat avloppsvatten. Det finns misstankar om att missförhållanden i tröskelområdet, såsom onormal förekomst av bakterier i ytvattnet, makroalger överväxta av fintrådiga alger och grumligt vatten, beror på utsläppet av avloppsvatten längre in i viken. I denna artikel görs olika beräkningar för att klarlägga vikens dynamik. För några utvalda strömhastigheter i sundet beräknades det maximala djup som vatten skulle dras från vid utflöde, enligt teori och ekvationer för selective withdrawal (Stigebrandt, 1978a & 1978b). Enligt uppgift ska strömhastigheterna i sundet kunna nå så höga hastigheter som 2 m/s. För strömhastigheter på 1.5 m/s skulle vatten dras från 8 meters djup. Inblandningen av avloppsvatten har beräknats utifrån en modell som bygger på momentum- och volymkonservering i plymen som bildas (Turner, 1973). Inlagringsdjupet varierar under året mellan 16 och 20 meters djup. För att kunna beräkna förekomsten/frekvensen av höga bakteriehalter i ytvattnet vid tröskelområdet behövs mätningar av bakteriehalter på olika djup och platser i Inre Valdemarsviken samt vattenståndsmätningar innanför och utanför tröskeln, för att med större tillförlitlighet kunna beräkna strömhastigheterna i tröskelområdet.

1. Inledning

I nästan 50 år har Inre Valdemarsviken varit recipient av avloppsvatten. Till en början var reningsverket beläget inne i Valdemarsviks stad, längst in i Inre Valdemars-

viken, 1973 togs Sandviks reningsverk i bruk och utsläppspunkten flyttades (för karta se figur 1). Reningsverket i Sandvik renar vattnet i tre steg; mekaniskt, biologiskt och kemiskt. Genom biologisk och kemisk

rening minskas koncentrationerna av närsalter i vattnet, efter rening innehåller det fortfarande närsalter som kan leda till övergödning av området samt partikulärt organiskt material vilket kommer att förbruka syre vid nedbrytningen. Vattnet som släpps ut från reningsverket innehåller även bakterier som vid kontakt med människor kan orsaka sjukdomar.

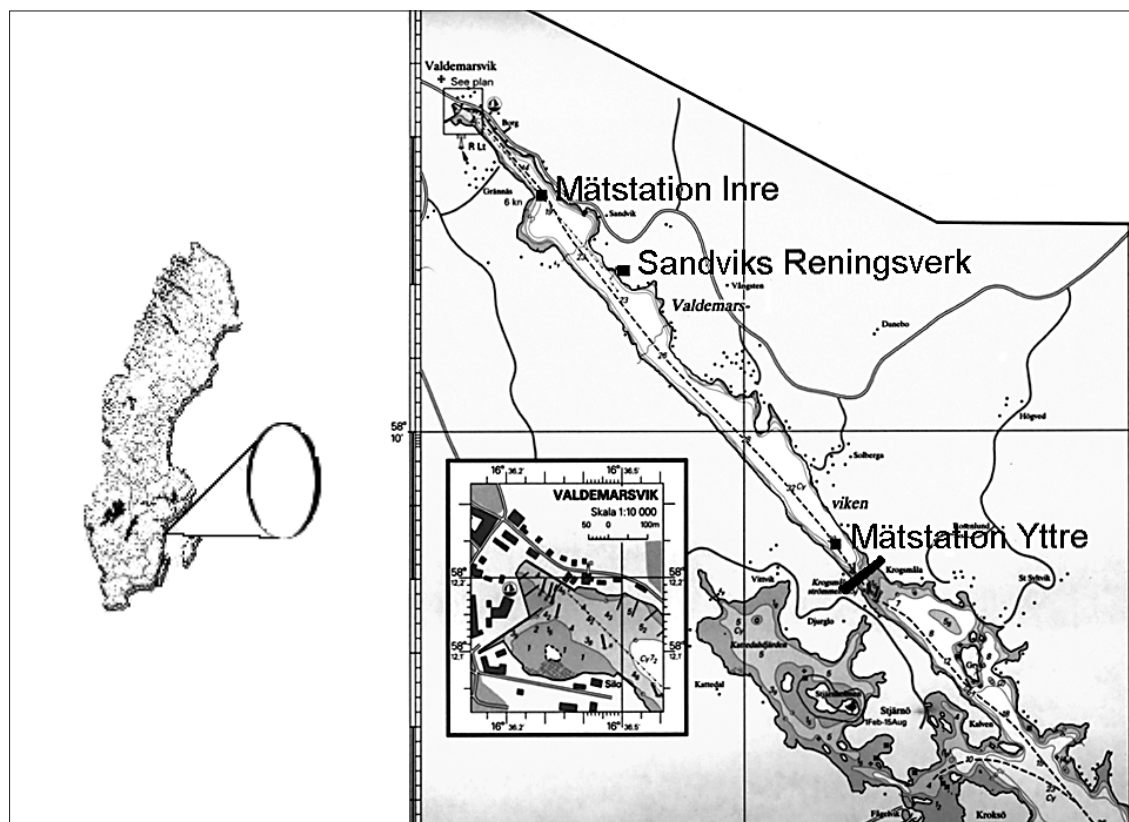
I Valdemarsvikens tröskelområde har förhållanden som grumligt vatten och drivor av skum iakttagits vilket väckt misstankar om att reningsverkets utsläpp skulle vara orsaken till detta. Syftet med föreliggande artikel är att undersöka om det kan anses troligt.

Utsläppet av avloppsvatten i Valdemarsviken sker på cirka 25 meters djup, vilket är nära det maximala djupet. Från utsläppspunkten stiger avloppsvattnet uppåt och blandas samtidigt med det omgivande vattnet. Genom en modell för inlagring av avloppsvatten blir det möjligt att ta reda på i vilket djupintervall som utsläppsvattnet når samma densitet som det omgivande vattnet och lagras in. Tillsammans med en utredning av vikens dynamik blir det möjligt att ta reda på vart vattnet tar vägen.

2. Områdesbeskrivning

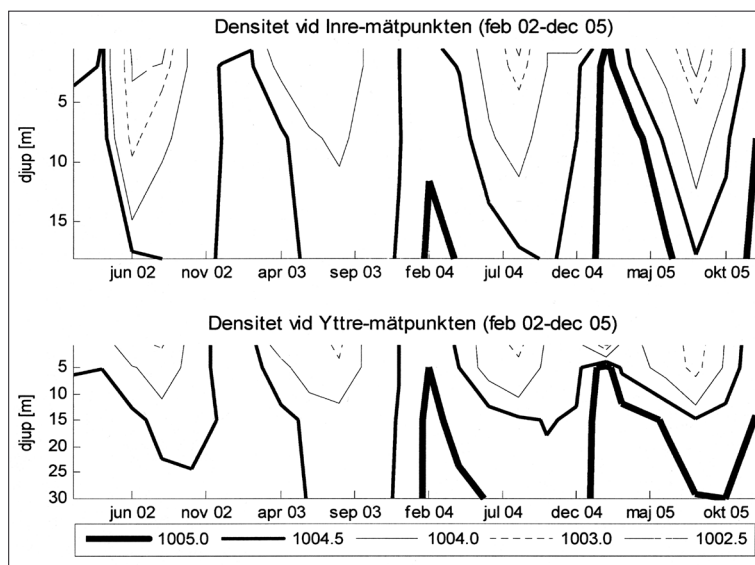
På Sveriges ostkust i en dalgång som börjar inne vid Valdemarsvik och sträcker sig ut mot Östersjön i sydostlig riktning ligger Inre Valdemarsviken. Området är ett populärt rekreationsområde med sommarstugor, campingar och badplatser.

Inre Valdemarsviken är 11 km lång och har en total area och volym på 3.18 km² respektive 0.03 km³ (SMHI, 2003). Maximalt- och medeldjup i bassängen är 37.5 respektive 14.5 meter (Svahnberg, 2004). Vattenutbyte sker genom det sund som förbinder Inre och Yttre Valdemarsviken som vid medelvattenstånd har en tvärsnittsarea på 607 m² (Lindow, Olsson & Årnfelt 2002). Tröskeln är väl markerad med djup kring 2–3 meter med en muddrad fåra för fartygstrafik där det maximala djupet är 5 meter, på smalaste stället är sundet ungefär 250 meter brett (Svahnberg, 2004). Inre Valdemarsvikens avrinningsområde har en area av 83 km² (SMHI, 2003). I den nordliga delen inne vid Valdemarsvik sker sötvattenstillföde från två åar, Vammarsmålaån och Fifallaån, vilka tillsammans har ett genomsnittsflöde på 0.5 m³/s (Östergötlands Länsstyrelse, 2006) den diffusa sötvat-



Figur 1. Karta över området Sandviks reningsverk samt de två mätstationerna inne i Valdemarsviken är utmärkta med varsin punkt. Linjen som korsar Valdemarsviken markerar tröskelns placering.

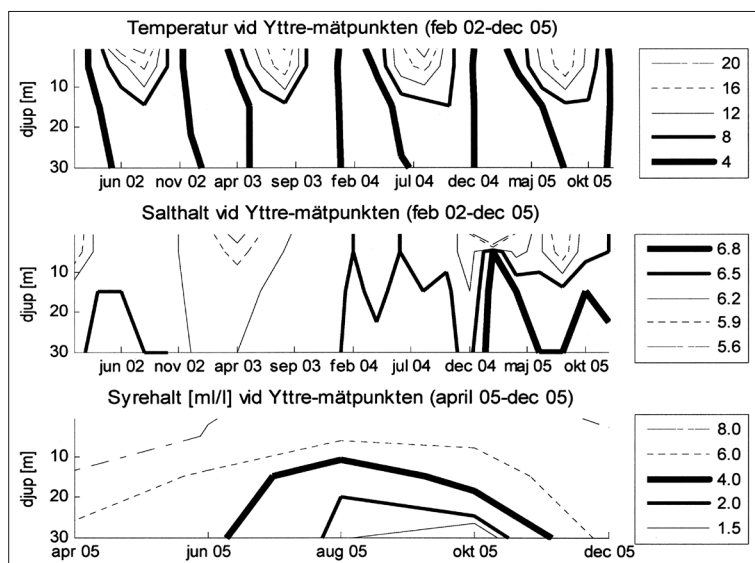
Figur 2. Densitetsvariationer över tid och djup från de två mätstationerna inne i Inre Valdemarsviken. För position av den inre- och yttre-mätpunkten, se figur 1.



tenstillrinningen är likaså cirka $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (Lindow, Olsson & Årnfelt 2002). Vammarsmålaån har ett tillrinningsområde med arean 50.5 km^2 . Tillringsvattnet från vattendrag och omgivande mark för med sig närsalter till Inre Valdemarsviken. Enligt beräkningar grundade på uppgifter från TRK-projektet tillförs 25 ton kväve och 950 kg fosfor med avrinningsvattnet per år, från reningsverket i Sandvik sker varje år utsläpp av 11 ton kväve och 200 kg fosfor (för geografisk placering av Sandvikens reningsverk se figur 1). (TRK är ett projekt där SMHI och SLU på uppdrag av Naturvårdsverket ska beräkna Transport, Retention, Källfördelning och belastning på Östersjön och Västerhavet.)

Densitetsminskning från ytan och nedåt om somrarna beror huvudsakligen på uppvärmning och densitetstopparna runt 1005 kg/m^3 är till följd av inflöde av vatten med högre salthalt (i figur 2 visas densitetsvariationerna över tiden). Stora inflöden av vatten utifrån sker oftast under vinterhalvåret (oktober–februari). Salthalten varierar mellan 5–7 psu. Att salthalten minskar i bassängvattnet beror på vertikal diffusion som drivs av bland annat vind och strömmar. Syrehalten är låg innan ett nytt inflöde av djupvatten sker, i oktober 2005 uppmättes en syrgas koncentration på 1.4 ml/l , (se figur 3).

Figur 3. Temperatur-, salthalt- och syrevariationer över tid och djup från mätstationen Yttre Valdemarsviken. För position av den yttre-mätpunkten, se figur 1.



3. Observationer

Den 26 april 2008 gjordes observationer från land av Valdemarsviken vid tröskelområdet samt inne vid Valdemarsvik. Ute vid tröskeln var blåstången täckt med slem, som skulle kunna vara fintrådiga alger, trots att årets produktionssäsong precis börjat. När båtar passerade bildades skum som låg kvar och flöt på ett sätt som uppfattades onormalt. Stenar och klippor var fria från vegetation runt vattenytan.

Enligt lokala observationer kan strömhastigheterna i mynningen vid åskväder under somrarna nå en hastighet av 4 knop (≈ 2 m/s). Personer som badat i tröskelområdet har efteråt drabbats av öroninflammation vilket kan vara en effekt av vatten med höga bakteriehalter. Om bad vid tröskel varit orsaken skulle bakterierna kunna härröra från Sandviks reningsverk. Utsläppspunkten är belägen mitt emot en på sommaren välbesökt badplats och därifrån har personer som badat inte rapporterat liknande åkommor.

Under vinterhalvåret kan det hända att stora delar av ytan skummar och att drivor av skum byggs upp. Observationer tyder på att inlagrat avloppsvatten kan komma upp vid tröskeln under hela året.

4. Teori

Inlagring

När vatten med lägre densitet än omgivande vattenmassa släpps ut stiger det uppåt som en stråle på grund av en lyftkraft/bouyancykraft. Vattnet som släpps ut har lägre densitet än det vatten som trängs undan, därmed har det utsläppta vattnet större bouyancykraft. Turbulens som genereras av strålen gör att vattnet under sin stigning blandas med det omkringliggande vattnet. Denna inblandning av vatten brukar kallas medrivning eller entrainment.

Vattnet som släpps ut kommer att bilda en sammanhängande plym som sträcker sig från utsläppspunkten till det djup då utsläppsvattnet och omgivande vatten har samma densitet. Det blandade vattnet kommer att bygga upp ett skikt mellan inlagringsdjupet och utsläppsdjupet. Figur 4a visar hur vattnet lagras in på det

djup där densiteterna överensstämmer och i figur 4b beskrivs hur det blandade vattnet flyttas nedåt på grund av att vattnet nedanför dras in i plymen samt att vattnet som blandas hela tiden får lite lägre densitet än det som blandades tidigare. För en enkel inblandningsmodell kan det antas att inblandningshastigheten α är linjärt beroende av den vertikala hastigheten. Med detta antagande kan konserveringskvationer för massa och momentum skrivas enligt ekvation 1 och 2

$$\frac{d(r^2 w)}{dz} = 2\alpha r w \quad (1)$$

$$\frac{d(r^2 w^2)}{dz} = r^2 g' \quad (2)$$

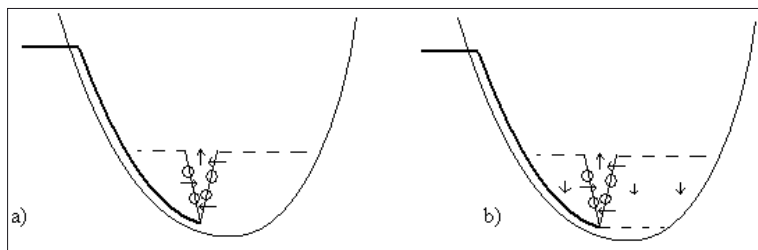
I ekvationerna ovan är w den vertikala medelhastigheten, z den vertikala koordinaten, r plymens radie, g' uppskattar densitetsskillnaden mellan utsläppsvattnet ρ och omgivande vatten ρ_1 med ρ_0 som referensdensitet så som $g' = g(\rho_1 - \rho)/\rho_0$ (Turner 1973).

Strömhastighet i sundet

Enligt iakttagelser ska strömhastigheterna i sundet kunna bli så höga som 2 m/s. För att undersöka förekomst och frekvens av dessa relativt höga strömhastigheter används en modell som bygger på att vattenståndet i ett inneslutet område som Inre Valdemarsviken till stor del styrs av vattenståndet utanför. När vattenståndet höjs i området utanför tröskeln strömmar vatten in till Inre Valdemarsviken och vice versa.

Vattenstånd anges som avvikelse från normalvärdet och fluktuationerna kan bero på många olika faktorer. På många platser runt om jorden står tidvattnet för en betydande del, så är dock inte fallet på den svenska ostkusten där tidvattnet är nästintill obefintligt. Här beror vattenståndsförändringarna på till exempel förändringar i lufttrycket och vindfältet.

Flödet Q genom sundet fås av ekvation 3 (Stigebrandt, 2001). Den potentiella energin i vattenståndsskillnaden ($h_o - h_i$), mellan vattenståndet utanför sundet h_o och vattenståndet i det inneslutna havsområdet h_i , omvandlas till kinetisk energi i ett flöde.



Figur 4.

a) Schematisk bild hur utsläppsvattnet blandas med omgivande vatten och sedan placerar sig där densiteten är samma som densiteten på det omgivande vatten, detta djup är inlagringsdjupet.
b) Ett lager av vatten som blandats med avloppsvattnet byggs upp mellan utsläppsdjupet och inlagringsdjupet.

$$Q^2 = 2g(h_0 - h_i) B^2 D^2 \quad (3)$$

I ekvation 3 är g tyngdaccelerationen, B och D är bredd respektive djup vid tröskeln. I denna beräkning bortses från energiförluster till följd av väggfriktion, då sundet kan anses vara kort. Q beräknas i enheten m^3/s , om flödet divideras med sundets tvärsnittsarea fås strömhastigheten i sundet, enheten är då m/s .

Selective Withdrawal

När vatten strömmar ut ur ett vattenområde är det vanligtvis bara vatten från övre delen av vattenpelaren som förflyttas. Det faktum att vatten bara dras ner till ett visst djup i vattenkolumnen beror på vertikala densitetskillnader och kallas selective withdrawal. För att ta reda på vilket djup (δ) vatten, i en vattenpelare med linjär densitetsökning, dras från vid utflöde över tröskeln kan ekvation 4 användas. I Stigebrandt (1978a) härleds ekvation 4 utifrån en generaliserad konserversekvation av momentum för ett tvålagerfall. Selective withdrawal bygger på konservering av volym och momentum, friktion anses vara oviktigt och bortses därför från.

$$\delta = \ell_3 \left(\frac{Q^2}{N^2 D_0 B_0^2} \right)^{1/3} \quad (4)$$

$N^2 = (-g/\rho_0)(d\rho_1/dz)$ är Brunt-Väisälä frekvensen i en vattenpelare med linjär densitetsgradient, Q är flödet i mynningen, D_0 och B_0 är tröskelns djup respektive bredd, och ℓ_3 är en universell konstant som genom empiriska försök beräknats till 0,74.

För att selective withdrawal ska vara möjligt i ett vattenområde måste medelströmhastigheten vara mindre än interna vågens hastighet. När medelströmhastigheten är lägre än interna vågens hastighet är baroklina effekter möjliga. Ytterligare ett kriterium som måste uppfyllas för att ekvation 4 ska gälla är att det beräknade djupet är större än djupet som beräknas med ekvation 5. Ett lager med tjockleken δ beräknad med ekvation 5 är det tunnaste lagret med baroklin kapacitet att transportera Q , den baroklina kapaciteten beror på skiktningen inne i bassängen. När tjockleken beräknad med ekvation 4 är större än den beräknad med ekvation 5 styrs det utströmmande lagrets tjocklek däremot av utsläppets egenskaper. I beräkningarna av ekvation 5 användes $\ell=2$ (Stigebrandt, 1978a).

$$\delta = \ell \left(\frac{Q}{NB_0} \right)^{1/2} \quad (5)$$

Ekvation 4 är framtagen för en utsläppspunkt placerad på en vertikal vägg, vid tillämpning på naturliga system med en annan geometri är det svårare att definiera var

utflödet börjar. Den dynamiska skiljelinjen mellan bas-säng och utflöde kan antas vara i det snitt som strömmen når botten. Uppströms från detta snitt är baroklina effekter möjliga medan flödet nedströms kan anses vara i stort sett barotrop (Stigebrandt, 1978b).

5. Metod och resultat

Inlagring

En numerisk modell för inlagringen av avloppsvatten konstruerades med utgångspunkt i konserversekvationerna för massa och momentum (ekvationerna 1 och 2). Värdet på den mot hastigheten proportionella inblandningen α sattes till 0,07 i enlighet med Turner (1973). Med steglängd dz på en meter beräknades plymens vidd r och den vertikala hastigheten w för varje meter. Som startvärden på r och w togs radien på utsläppsrörets och utsläppshastigheten (vilket är ett års medelvärde). Utifrån r och w beräknades volymen och densiteten för varje meter. Vattnet i plymen antas sluta stiga när det har samma densitet som omgivande vatten.

Densitetsprofilerna som användes i modellen kommer från den yttre mätstationen i Valdemarsviken. För att få en bild av hur inlagringen varierar under året gjordes beräkningar med densitetsprofiler från 21 mars, 9 juni, 24 augusti samt 12 oktober 2005.

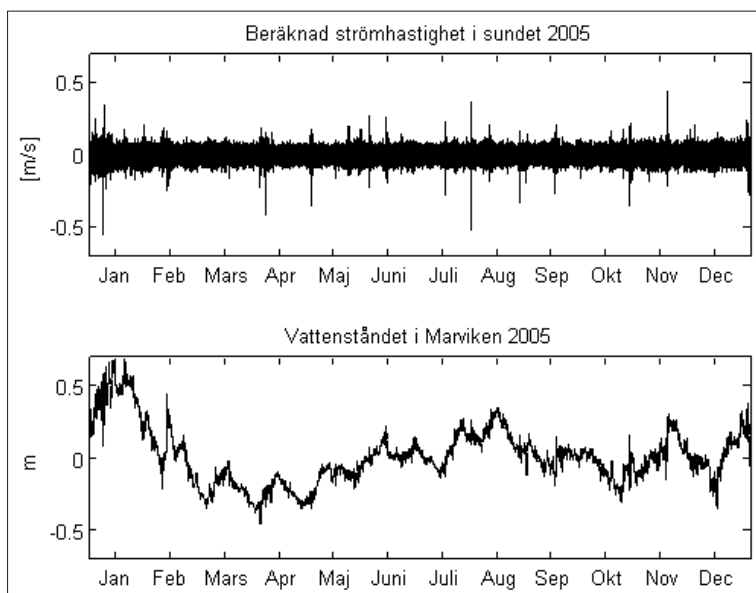
Så som utsläppet är konstruerat och placerat idag varierar inlagringsdjupet mellan 16 och 20 meter beroende på densitetsprofilen (se tabell 1).

Flödeshastigheter

I en tidsberoende modell kan strömhastigheter i sundet beräknas utifrån ekvation 3 förutsatt att vattenståndet utanför är känt. Datan som använts i dessa beräkningar är registrerad i Marviken norr om Valdemarsvik med ett mätvärde för varje timme. Drivdatan interpolerades för att få ett värde för varje minut. Först beräknas flödet under ett tidssteg och därav kan strömhastighet samt vattenståndsförändringen beräknas.

Att vattenståndsskillnaden beräknas $(h_o - h_i)$ ger att positivt flöde är flöde från havet in i Valdemarsviken. Sålunda betyder negativ flödeshastighet att vatten flödar ut ur Inre Valdemarsviken.

Med tidssteget dt satt till en minut fås en flödeshastighet för varje minut. Beräkningar gjordes för åren 2002–2005. I figur 5 visas strömhastigheter och vattenståndet som driver flödet för 2005. De maximala flödeshastigheterna in och ut ur Valdemarsviken är 0,44 m/s respektive 0,55 m/s . Medelhastighet oavsett riktning är 0,05 m/s .



Figur 5. Övre del figuren: ett stapeldiagram för flödeshastigheten över tröskeln år 2005. Undre del figuren: vattenståndet i Marviken, som avvikelser från normal vattenståndet, år 2005.

Selective Withdrawal

För att hitta rätt snitt att beräkna selectiv withdrawal för har djupet varierats så att det dynamiska villkoret samt villkoret med en medelströmshastighet som är lägre än interna vågens hastighet uppfylls. Selective Withdrawal har beräknats för samma densitetsprofiler som användes vid beräkning av inblandningen. N^2 som används i ekvation 4 ska gälla för hela densitetskolumnen, med andra ord antas densiteten öka linjärt med djupet. För att få ett så korrekt N^2 som möjligt och därav maximalt withdrawal djup, beräknas medeldensitetsökningen från ytan och ner till en lägsta nivå som stegvis ökas med en meter. Det djup där det beräknade maximala withdrawal djupet sammanfaller med det djup medeldensitetsökningen beräknats för är det maximala withdrawal djupet. Maximalt withdrawal djup beräknades för olika strömshastigheter i mynningen, (se tabell 1).

Tabell 1. Inlagringsdjup samt maximalt withdrawal djup beräknat med olika densitets profiler och strömshastigheter.

Datum	Inlagringsdjup (m)	Selective Withdrawal djup (m) vid strömshastighet på			
		0.5 m/s	1.0 m/s	1.5 m/s	1.9 m/s
21 mars	16	5	7	8	10
9 juni	18	5	7	8	9
24 aug	20	5	6	7	8
12 okt	19	6	8	9	11

6. Diskussion och slutsats

Utsläpp av avloppsvatten på större djup syftar till att »gömma undan vattnet» och på så sätt minska effekterna för människor och djur på land. Besöket vid tröskelområdet visade dock att förhållandena i Valdemarsviken inte är optimala. Makroalger täckta av slem och befarade höga bakteriehalter under våren och sommaren påvisar att vatten under ytlagret transporteras ut även under dessa perioder. Enligt Sten Silverbåge, som bor i området, ska strömshastigheterna i mynningen kunna bli så höga som 2 m/s vid kraftiga väderväxlingar. Detta har inte kunnat styrkas av strömshastighetsberäkningar med vattenståndsmätningar i Marviken som input. I dessa modelleringar beräknades en maxhastighet runt 0.5 m/s. Tillfällen med höga strömshastigheter ut ur Valdemarsviken skulle kunna leda till att vatten dras från större djup än annars. Enligt beräkningar skulle en strömshastighet på 1.5 m/s ge ett strömmande ytlager på cirka 8 meter. Idag släpps renat avloppsvatten ut på 25 meters djup och enligt min modell lagras det in runt 18 meters djup. Dessa resultat visar alltså inte på att bassängvatten skulle dras med ut vid strömshastigheter upp till 1.5 m/s.

För att ytterligare kunna utreda om, i vilken utsträckning och på grund av vad de höga strömshastigheterna i mynningen uppkommer skulle vattenståndsmätningar i tröskelområdet vara av stor vikt. Med en vattenståndsmätare på vardera sidan om tröskeln borde strömshastigheten kunna beräknas mer korrekt. Med hänsyn till vikens form är det högst troligt att ytvattenseicher förekommer. Dessa kan startas av vindstuvning inne i viken

eller vid tröskeln. När vinden avtar startar seichen vilket kan ge upphov till höga horisontella hastigheter vid tröskeln där en nod är belägen, sådana rörelser är möjliga att detektera med hjälp av vattenståndsmätningar längst in i viken. Dessutom skulle vattenkvalitets kontroll i tröskelområdet men även inne i Valdemarsviken vara av intresse. Med mer väldokumenterade strömhastigheter samt mätningar av bakteriehalter på olika djup inne i Valdemarsviken skulle också förekomsten/frekvensen av bakteriellt förorenat vatten i tröskelområdet kunna beräknas.

Att makroalgen har fintrådig påväxt är ett tecken på övergödning. Närsalter tillförs Valdemarsviken genom avrinning och från reningsverket. Cirka 2/3 av närsalterna kommer från avrinning och 1/3 från reningsverket. Bidraget från avrinning följer sannolikt med ytvattnet ut och blandas därför inte ner under tröskeln. Om det däremot tas upp av plankton kan det sedimenteras inne i Valdemarsviken. Närsalter kan bara bli ett »problem» om de finns i miljöer med ljus där biologisk tillväxt kan ske. Om vi antar att slemmet på makroalgen är ett tecken på övergödning borde avloppsvattnet släppas ut i djupvattnet där de inte bidrar till ytterligare biologisk produktion.

Var och hur avloppsvatten ska släppas ut är en komplex fråga och många olika aspekter ska tas med i beräkningarna. Enligt Miljöbalken (kap 9 § 7) ska avloppsvatten avledas och renas på ett sådant sätt att olägenheter för människors hälsa eller miljö inte uppkommer. De höga bakteriehalterna i utsläppsvattnet verkar kunna vara ett problem i Valdemarsviken oberoende av inlagingsdjup.

Tack

Jag vill tacka Anders Stigebrandt för vägledning och konstruktiv kritik. Tack, Anders Omstedt för värdefulla synpunkter. För idé uppslag och bakgrundsinformation tackar jag Sten Silverbåge. Jag skulle även vilja tacka personal på SMHI, IVL, Valdemarsviks Kommun och Gryaab som hjälpt mig med information.

Referenser

- Lindow, H., Olsson, H. & Årnfelt, E. (2002) Kustzonsmodell för södra delarna av Östergötlands skärgård. Redovisning av uppdrag till Naturvårdsverket, SMHI Dnr 2001/842/190
- SMHI (2003) Djupdata för havsområden, Oceanografi nr 73
- Stigebrandt, A (2001) Fjordenv- A water quality model for fjords and other inshore water, Department of Oceanography at Göteborg University. Report C40.
- Stigebrandt, A (1978a) Three-dimensional selective withdrawal, River and harbour laboratory, Trondheim, Norway, Report No STF 60A78036
- Stigebrandt, A (1978b) Dynamics of an ice covered lake with through-flow, Nordic hydrology, 9, 219–244
- Svahnberg Anders (2004) Sjömätning av Inre Valdemarsviken Naturvårdsverket, SMHI, SLU (2001) TRK, besökt 2009-01-3, <http://www.nrciws.slu.se/TRK/>
- Turner J.S (1973), Bouyancy effects in fluids, Cambridge University Press
- Östergötlands Länsstyrelse (2006), Projekt Valdemarsviken; sammanfattande huvudstudierapport

