

Oppvirvling, transport og utfelling av slam og sedimenter

Av Karl J. Eidsvik.

Karl J. Eidsvik er Dr. Philos. og seniorforsker ved Norsk hydroteknisk laboratorium.

1. Innledning

Det er grunn til å frykte at store deler av slammet som slippes ut fra europeiske elver nord for Belgia til slutt ender opp i Norskerenna (Sünderman og Puls, 1988). Siden giftige stoffer er bundet til slammet, blir Norskerenna dermed et giftdeponi. Forklaringen er i grove trekk som følger: mens slam og sedimenter under vanlige værforhold faller ned på havbunnen lokalt, vil det under spesielle værforhold virvles opp og transporteres. Siden oppvirvlings-effekten er sterkest på de grunneste havområder, vil langtids-transporten gå mot det dypeste havområdet, som er Norskerenna.

Det er også grunn til å frykte at sediment-oppvirvlingen kan bli meget stor når den først inntreffer. Som et eksempel estimeres kvikksølv-utslippet med slam fra Gunnekleivfjorden, Porsgrunn til å være ca. 8 kg pr. år under vanlige værforhold. Foreløpige overslag for «episodevær» tilsier at utslippet kan bli ca. 50 kg. pr. tidevannssyklus!

Disse eksemplene illustrerer viktigheten av sediment-oppvirvling («re-entrainment»). Det kan være nødvendig å sette i verk tiltak (overdekning, innføring av kohesivitet osv.) for å

unngå de største oppvirvlings-episodene.

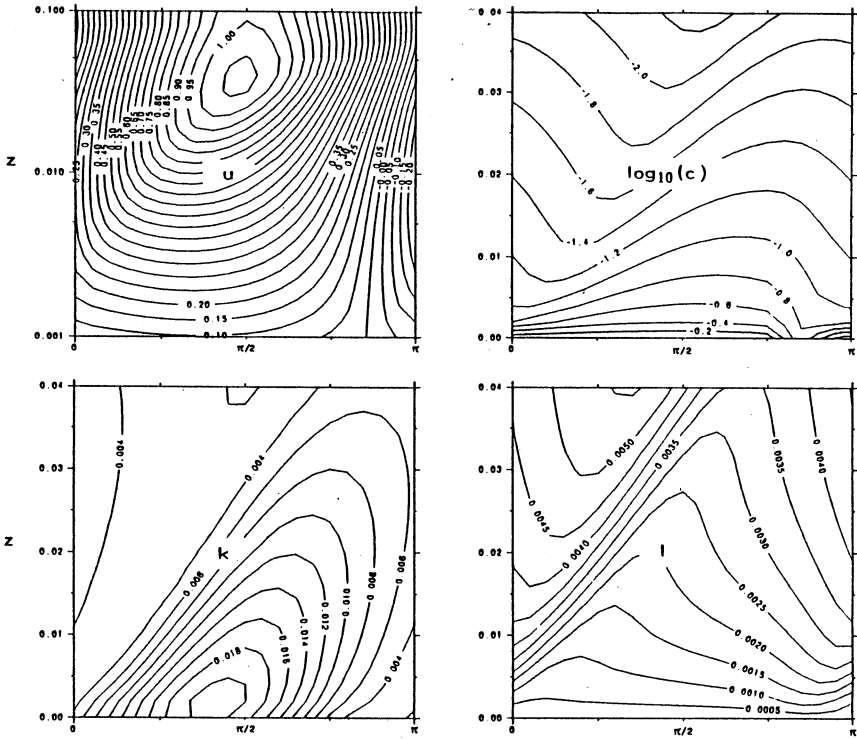
Intuisjon er ikke lenger bra nok for vurderinger av sediment-transport og tiltak mot oppvirvling, vi må forstå prosessene vesentlig bedre. Først da kan konsekvensene av ulike tiltak beregnes. All erfaring har vist at: «There is nothing as practical as a good theory».

Ved NHL/NTH arbeider vi med utvikling av modeller for oppvirvling, transport og utfelling av sedimenter. Ideen består i å kombinere to eksisterende typer av modeller. Modellen vil kunne anvendes i havområder, fjordarmer, bassenger og elver.

2. Lokale oppvirvlings-modeller

Denne modell-typen beskriver hvordan sedimenter virvles opp lokalt når fristrømmen er gitt. Siden oppvirvlingen er sterkt avhengig av turbulent sjærspenning, vil slike modeller også måtte inneholde realistiske turbulensmodeller. (Hagatun og Eidsvik 1986, Eidsvik, 1988, Eidsvik og Brørs, 1989, Brørs og Eidsvik, 1989).

Som eksempel vises her strukturen av et oscillerende grensesjikt mot havbunnen (Figur 1). Spesielt vises det til hvordan sedimentkonsentrasjonen vokser



Figur 1. Oscillerende grensesjikt under bølger: Midlere hastighet, u , og sandkonsentrasjon, c , turbulent kinetisk energi, k , og lengdeskala, l , som funksjoner av høyden over bunnen, z , og bølgefasen. (Hagåtun og Eidsvik, 1986).

når turbulensen øker og hvordan sedimentene felles ut når turbulensen minker. Dette har sikkert de fleste av oss observert når vi bader på sandtrender. Under spesielle bølgeforhold ser vi at sanden plutselig reiser seg fra bunnen i bestemte faser av bølgebevegelsen og faller ut i andre faser. Modellen er så godt kvantitativt verifisert som tilgjengelige data tillater.

Et spesielt aspekt som både modell og data indikerer, er at horisontal

sediment-transport, q , grovt sett avhenger av maksimal turbulent spenning i tredje potens når denne er større enn en minimumsverdi. I et åpent havområde er det rimelig at turbulent bunnspenning grovt sett er proporsjonal med overflatespenningen. Denne er igjen proporsjonal med vindhastighetens kvadrat, u^2 . Dette betyr at relasjonen vi har beskrevet grovt sett kan formuleres som

$$q \propto \begin{cases} 0 & \text{når } |u| < u_0 \\ |u|^6 & \text{når } |u| > u_0 \end{cases}$$

Når først sedimenter oppvirvles ($|u| < u_0$), kan sediment-transporten fort bli meget stor (med økende $|u|$). Denne relasjonen indikerer at et slamdeponi både kan bli liggende lenge stabilt og at det kan gi store slamforurensninger i episodevær.

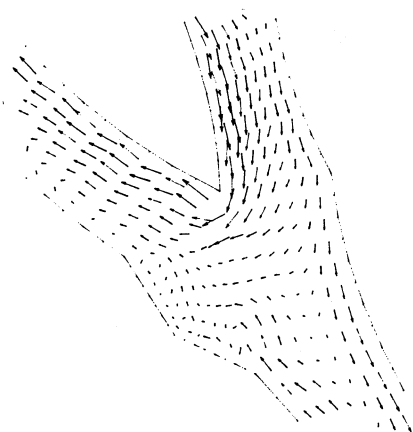
3. Fristrømsmodeller

De lokale oppvirvlingsmodellene forutsetter at fristrømmen nær bunnen er kjent. I fjorder og bassenger vil beregningen av fristrømmen nær bunnen i seg selv være komplisert. Dette forutsetter modeller av samme type som brukes i numerisk værvarsling. Siden vi vanligvis er interessert i strømmer i kompliserte geometrier, benytter vi imidlertid endelige elementers integrasjonsmetode (Utnes, 1989a, 1989b). Vi skal her fokusere mot oppvirvling som følge av vindgenerert turbulens i grunne bassenger. Det betyr at en gruntvannsmodell vil være en tilstrekkelig realistisk fristrøms-modell (Utnes, 1989a).

Som et eksempel på bruk av modellen vises prediksjon av vindinduserte indre bølger og inertialsvingninger i Mjøsas overflatevann (Figur 2). Vi ser at strømhastigheten kan variere mye over Mjøsa, selv om pådraget fra vinden er forusatt å være konstant.

4. Simultan modellering av fristrøm og lokal oppvirvling

Idene består i å kombinere en generell modell skissert i kapittel 2 med en generell modell skissert i kapittel 3. I



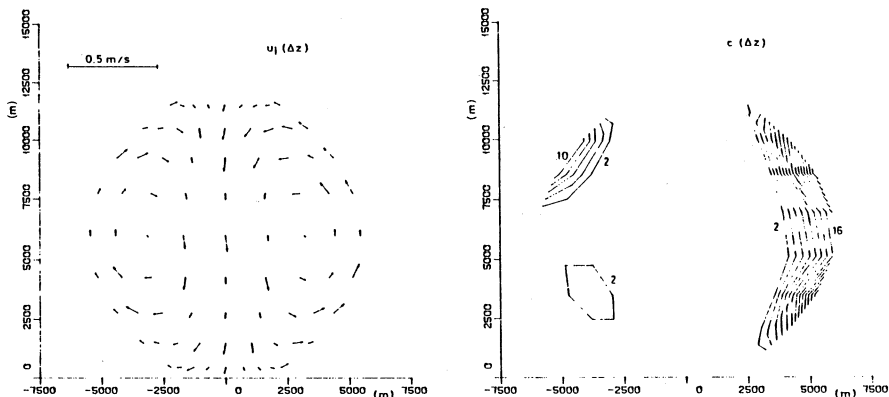
Figur 2. Strømhastighet i Mjøsas overflatevann etter 3 døgn sydøstlig vind. (Utnes, 1989a).

utviklingen av modellen anvendes et sirkulært (lukket) basseng med parabolisk bunn. Strømmen er drevet av en konstant vind fra sør. Når trykkgradienten fra gruntvannsmodellen og vindstresset brukes som drivkrefter i den lokale oppvirvlingsmodellen, oppnås en tredimensjonal beskrivelse av alle variable.

Figur 3 viser strømming og sedimentkonsentrasjon nær bunnen. Som ventet ser vi at oppvirvlingen skjer ved bassengets sidekanter der dyppet er minst og turbulensen størst. I eksperimentet er sedimentene ikke-koheasive med diameter $5 \cdot 10^{-4}$ m. Vindstyrken på 10 m s^{-1} er nær minimal for å virvle opp sedimenter av denne type i det hele tatt.

Sammendrag

Behovene for å kunne vurdere hvordan slam og sedimenter oppvirvles og



Figur 3. Bunnstrøm og slamkonsentrasjon (%) i et basseng med (min, maks) dybde lik (1,5–5) m. Strømmen er drevet av sørlig vind med styrke 10 m s^{-1} . (Eidsvik og Utnes, 1990).

felles ut i havområder, fjorder, bassenger og elver er åpenbare. I Norge opptrer kanskje de største behovene i forbindelse med giftig slam. Hva er værtilingelsene for at et deponi ikke skal gi signifikante utslipp? Hva er risikoen for store utslipp? Hvordan kan denne risikoen minimaliseres? Det er ikke forsvarlig å overlate vurdering av slike og lignende spørsmål til intuisjon.

Ved NHL/NTH er utvikling av en modell for rasjonelle vurderinger av sediment-oppvirvling, -transport og -utfelling på gang. Den bygger på kobling av to velprøvede modeller, en lokal oppvirvlings/turbulens-modell og en fristrømsmodell. Foreløpige resultater er lovende, men det gjenstår betydelig arbeid.

LITTERATUR

- Brørs, B. and Eidsvik, K.J. (1989): Self-accelerated Turbidity Current Prediction based upon dynamic Turbulence Models. In: Preprints. *International Symposium on Sediment Transport Modelling. New Orleans, Aug 14–18*, pp 190–196.
- Eidsvik, K.J. (1988): Boundary Layer Sediment Transport Estimates based upon (k- ϵ) Turbulence Closure. In: Preprints. *2nd International Symposium on Wave Research and Coastal Engineering, Oct 12–14 1988, Hannover*, pp 63–73.

- Eidsvik, K.J. and Brørs, B. (1989): Self-accelerated Turbidity Current Prediction based upon (k- ϵ) Turbulence. *Continental Shelf Research vol 9*, pp 617—627.
- Eidsvik, K.J. and Utnes, T. (1990): A Model for Sediment Reentrainment and Transport in shallow Basin Flows.
- Hagatun, K. and Eidsvik, K.J. (1986): Oscillatory turbulent Boundary Layer with Suspended Sediments. *Journal of Geophysical Research, vol 91*, pp 13045—13055.
- Sündermann, J. and Puls, W. (1989): A numerical Model of suspended Sediment Transport in the North Sea. In. *2nd International Symposium on Wave Research and Coastal Engineering, Hannover, Oct 12—14 1988*. Pp 139—144.
- Utnes, T. (1989a): A finite Element Solution of the shallow Water Wave Equations. Accepted in *Applied Mathematical Modelling*.
- Utnes, T. (1989b): Finite Element modelling of three-dimensional nearly horizontal Flow. Submitted for publication.

Samfunnsteknikk er et tverrfaglig konsulentfirma med spesialkompetanse innenfor områdene

- **Vannbehandling**
- **Slambehandling**
- **Avløpsrensing**
- **Avfallsbehandling**



SAMFUNNSTEKNIKK A·S

RÅDGIVENDE INGENIØRER OG ARKITEKTER

OSLO - BERGEN - GOL - HAMAR - MOSS - AURLAND

Hovedkontor: Gjerdrumsv. 12 - 0486 Oslo 4. Tlf.: 02 - 18 19 40