

ENERGINET

VURDERING AF SUSPENDERET STOFKONCENTRATIONER FRA BLOW OUT TIL FÆRGESTRØM OG GULDBORGSUND

NOTAT

INDHOLD

1	Indledning og formål	1
2	Metode	2
2.1	Strømhastigheder	2
2.2	Udledningspositioner	2
2.3	Sedimentbeskrivelse	3
3	Resultater	3
3.1	Momentan blanding	3
3.2	Mekanisk fjernelse	4
3.3	Fjernelse alene ved strømning	5
3.4	Nedstrøms fortynding	6
4	Konklusion	7
5	Referencer	8

1 Indledning og formål

Energinet planlægger at lægge et el-transmissionskabel under Færgestrøm ved Farøbroen og under Guldborgsund ved Nykøbing-Falster. Det påtænkes at etablere underføringen som boring. Dertil anvendes boremudder, der indeholder bentonit. For det tilfælde, hvor der i en uheldssituation sker jordbrud og boremudder derved trænger til overfladen, kan boremuddet nå op til hhv. Færgesund og Guldborgsund. Denne uheldssituation kaldes (ikke helt korrekt) ofte også som "blow-out".

PROJEKTNR	DOKUMENTNUMMER				
A205340	A205340-014				
DATO	VERSION	BESKRIVELSE	FORFATTER	TJEKKET	GODKENDT
16/11/2021	1.0		CRJ	THRY	JOKC

Som en del af ansøgningen til miljøgodkendelse ønskes belyst, hvad konsekvensen af et sådant udslip kan være for koncentration af suspenderet stof i hhv. Færgestrømmen og Guldborgsund. Miljøforholdene i disse farvande er af særlig interesse på grund af Natura2000 områder, hvor udpegningsgrundlag er gråsæl og marsvin.

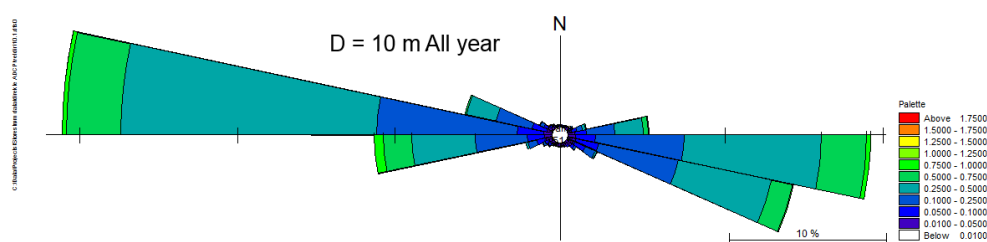
2 Metode

Bentonittens specielle egenskaber gør det meget vandskelligt på teoretisk vis at vurdere påvirkning ved en udledning af bentonit til havet. Derfor er det valgt at gennemføre forskellige scenarier, der indrammer udfaldsrummet.

- > Momentan blanding af bentonit i farvandet
- > Bentonit fjernes mekanisk fra havbunden
- > Bentonit ligger på havbunden og eroderes af strømhastigheden.

2.1 Strømhastigheder

Strømhastigheder i Færgestrømmen er modelleret i (COWI, 2014) i forbindelse med undersøgelserne for den nye Storstrømsbro. En typisk strømhastighed i Storstrømmen er blevet fundet til 0,4 m/s (1 knob), se Figur 2-1.



Figur 2-1 Strømrøse over et års strømmålinger i 10,1 m's dybde (april 2012-april 2013) (fra COWI, 2014) i Storstrømmen, øst for Farøbroen.

Målingerne er fra en position i Storstrømmen øst for Farøbroen, men antages også at beskrive strømforholdene i Færgestrømmen. Det kan forventes at hastighederne i Færgestrømmen generelt er lidt lavere end i Storstrømmen, og derfor er aflæsningen fra ovenstående strømrøse valgt "lidt til den lave side".

I Guldborgsund er strømhastigheden blevet målt ved Kong Frederik IX's Bro i 2010 og 2005 (NIRAS, 2010) med typiske værdi på omkring 0,3 m/s.

2.2 Udledningspositioner

I Færgestrømmen antages det at uheldet vil ske ved Nordkysten (mod Sjælland) på randen af sejltrede på en vanddybde på ca. 8 m

I Guldborgsund antages det at der under uheldet udledes syd for Nykøbing Falster tæt i løbet ved en vanddybde på ca. 2 m.

2.3 Sedimentbeskrivelse

Følgende oplyses af (Bentoniet, 2021) og af Energinet 27/8/21 (Stine Rabech Nilsen, pers.comm):

Bentonit består af lermineralet montmorillonite. Der er dermed tale om pladeformede korn med en gennemsnitlig diameter på ca. 1 μm og en tykkelse på 1 nm.

Bentonit leveres i sække som pellets eller pulver og blandes med rent vand på blande anlæg. Den typiske dosering er 40-45 kg/m³ (fx produktet Bentoniet – HV). (Wikipedia, 2021) oplyser at friskblandet bentonit har en densitet på mellem 1,03 – 1,10 g/ml. I nærværende analyse anvendes værdien på 1,06 g/ml som centralt estimat. Under boring stiger densiteten pga. blanding med udboret materiale (cuttings) op til 1,25 g/ml. Det antages at udboret materiale efter et evt. blowout vil sedimentere ud af blandingen og ikke følge bentonit-suspensionen. Der forudsættes i det følgende at en udledningshændelse omfatter enten 5 m³, 10 m³ eller 30 m³ bentonit.

Tabel 2-1 Densitetsparametre

Kornstørrelse	Densitet (g/ml)		
	Lav	Centralt	Høj
1 μm	1,03	1,06	1,10

3 Resultater

I det følgende angives resultater for den forventede stigning af koncentrationen af suspenderet stof fra de ovenstående uheldsscenerier.

3.1 Momentan blanding

Ved en tilførsel af 5 eller 10 m³ bentonit over en periode på 15 eller 30 m³ over 25 minutter antages det, at bentonitten i dette scenarie vil blandes over dybden, og at det vil blandes over en bredde på tværs af strømmen, der svarer til vanddybden.

Beregningerne for overkoncentrationerne på grund af bentonitudledning er beskrevet i nedenstående tabeller, hvor først massetransporten af bentonit (bentonitfluxen) beregnes. Derefter beregnes vandføringen som modtager bentonitten. Ved at dividere disse to transporter findes den resulterende middelkoncentration, som traditionelt angives i mg/L.

Koncentrationerne er beregnet for to udledningsmængder (5 m³, 10 m³ og 30 m³) og for to udledningsfarvande, Færgestrømmen og Guldborgsund.

Det understreges at disse beregninger angiver forventede størrelsesordener for suspenderet stof.

Tabel 3-1 Momentan blanding i Færgestrømmen

Bentonitvolumen	Varighed	Bentonitvolumen flux	Densitet	Bentonit masseflux	Strømhastighed	Dybde	Bredde	Vandføring	Koncentration
m ³	min	m ³ /s	t/m ³	kg/s	m/s	m	m	m ³ /s	mg/L
5	15	0,0056	1,06	5,9	0,5	8	8	32	180
10	15	0,0111	1,06	11,8	0,5	8	8	32	370
30	25	0,02	1,06	21,2	0,5	8	20	80	270

Tabel 3-2 Momentan blanding i Guldborgsund

Bentonitvolumen	Varighed	Bentonitvolumen flux	Densitet	Bentonit masseflux	Strømhastighed	Dybde	Bredde	Vandføring	Koncentration
m ³	min	m ³ /s	t/m ³	kg/s	m/s	m	m	m ³ /s	mg/L
5	15	0,0056	1,06	5,9	0,3	2	2	1,2	4900
10	15	0,011	1,06	12	0,3	2	2	1,2	9800
30	25	0,02	1,06	21,2	0,3	2	20	12	1770

Tallene i tabellen er rundet til to betydende cifre

Ovenstående scenarie kan betragtes som den øvre grænse af hvad der kan der teoretisk kan forventes ved de givne antagelser (worst case).

3.2 Mekanisk fjernelse

Antages at den spildte bentonit fjernes, f.eks. med en gravemaskine, over en periode på ca. 2 timer og at der i denne oprensningsproces spildes ca. 50% af bentonitten, fremgår den resulterende øgning af koncentrationen af suspenderet stof efter tilsvarende beregninger af nedenstående tabeller.

Figur 3-1 Blanding ved mekanisk fjernelse, Færgestrømmen

Spildprocent	Bentonitvolumen	Varighed	Bentonitvolumen flux	Densitet	Bentonit masseflux	Vandføring	Koncentration
%	m ³	min	m ³ /s	t/m ³	kg/s	m ³ /s	mg/L
50	5	120	0,00035	1,06	0,37	32	12
50	10	120	0,00069	1,06	0,74	32	23
50	30	240	0,001	1,06	1,06	80	13

Figur 3-2 Blanding ved mekanisk fjernelse, Guldborgsund

Spildprocent	Bentonitvolumen	Varighed	Bentonitvolumen flux	Densitet	Bentonit masseflux	Vandføring	Koncentration
%	m ³	min	m ³ /s	t/m ³	kg/s	m ³ /s	mg/L
50	5	120	0,00035	1,06	0,37	1,2	307
50	10	120	0,00069	1,06	0,74	1,2	613
50	30	240	0,001	1,06	1,06	12	88

3.3 Fjernelse alene ved strømning

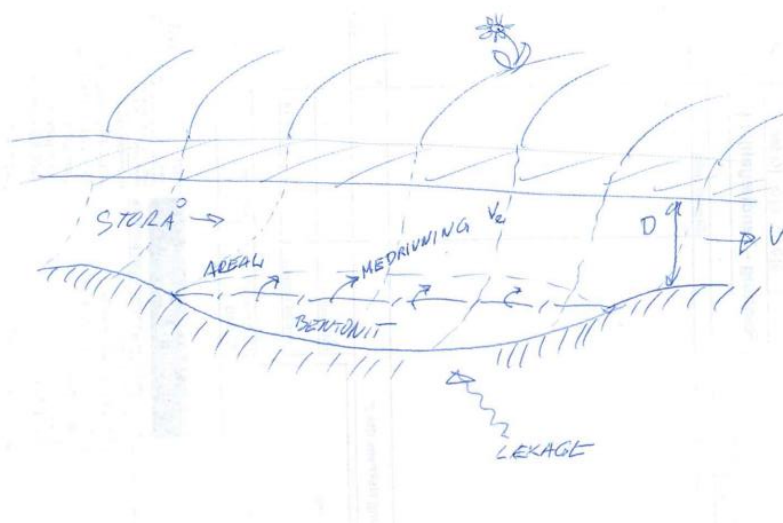
Dette scenarie svarer til en "do-nothing" situation, hvor man efterlader bentonitten i vandløbet uden at røre ved den. Dermed svarer det til en situation, hvor udtrængning af bentonit til vandløbet enten ikke kan identificeres (dårlig sigt i vandet, grøde, etc.) eller at udslippet ikke opdages.

Efterlades bentonitten på bunden af sundene, vil den i kraft af sin særlige fysiske egenskaber blive liggende som en tung suspension, med ringe blanding med havvandet. En præcis beskrivelse af suspensionens blanding med åvandet vurderes derfor ikke muligt uden fysiske forsøg med den specifikke bentonitsuspension.

Da dette i den nuværende situation ikke er muligt, gennemføres i stedet en konservativ tilnærmelse af forholdene, idet bentonitsuspensionen antages at have samme egenskaber som vand (dette er konservativt) og at det dermed udelukkende er densitetsforskellene der forhindrer blanding med havvandet. Effekter af bundfæstet bevoksning vil hindre blandingen og dermed reducere koncentrationer af suspenderet stof i sundene, men også forlænge påvirkningen tilsvarende.

Teorien bag vertikal blanding på tværs af densitetsskilteflader i vandrette strømninger er beskrevet i (Pedersen, 1986). Vedrørende de detaljerede beregninger henvises til Bilag A.

Beregninger bygger på ovenstående hastigheder, densiteter og dybder samt ved anvendelse af figurer og formler fra (Pedersen, 1986). Forholdet V_e/V mellem erosionshastigheden V_e og hastigheden V findes grafisk som funktion af det densimetriske Froudes tal ved aflæsning. Denne kvotient multipliceres med en strømningshastighed i sundene (enten 0,5 m/s eller 0,3 m/s), og dermed bestemmes erosionshastigheden af bentonitlaget. Bentonitten medrives (eller eroderes) over skillefladen mellem sund og bentonit, se nedenstående illustration.



Figur 3-3 Illustration af bentonittens medrivning fra bunden af en strømning.

I beregningen antages det at bentonitten lige efter udslippet ligger på havbunden i en bredde på hhv. 8 og 2 i Færgestrømmen og Guldborgsund og i en længde på 50 m for udslip på 5 m³ og 10 m³. For udslippet på 30 m³ anvendes en bredde på 20 meter i begge sund. De resulterende stofkoncentrationer i sundene er beregnet ved at blande bentonitten over hele vanddybden og over spillets bredde på havbunden (hhv. 8, 2 og 20m).

Beregningerne er beskrevet i Bilag A og resultaterne er sammenfattet i Tabel 3-3.

Tabel 3-3 Koncentration af bentonit i havvandet ved forskellige spilmængder og områder

	Suspendert stof (mg/L)		
	5 m ³	10 m ³	30 m ³
Færgestrømmen	30	60	200
Guldborgsund	190	370	1100

Ovenstående koncentrationer vurderes at være maksimale koncentrationer.

3.4 Nedstrøms fortynding

Nedstrøms vil koncentrationen aftage langsomt på grund af f.eks.

- > Langsgående dispersion
I midten af strømningen strømmer vandet hurtigere end i siderne, derfor vil noget stof komme hurtigere frem end andet. Stoffet fordeles ujævnt over en længere strækning af strømningen.

> Sedimentation

I stillestående dele af strømmingen kan det suspenderede stof sedimenteres.

Ovenstående beregninger vil give anledning til nedstrøms fortynding af initiale koncentrationer. Fortyndingen afhænger af de aktuelle strømningsforhold, men de kan antages at fanen hurtigt breder sig på tværs af strømmingen, typisk efter 10 gange bredden. I de givne situationer findes en fortynding:

Færgestrømmen: Bredde: 1500m; initialbredde: 10m; Fortynding: $1500/10=150$
 Guldborgsund: Bredde: 700m; initialbredde 10m; Fortynding: $700/10=70$

3.4.1 Sedimentation

I stillestående dele af Smålandsfarvandet kan det suspenderede stof sedimenteres. Det forventes dog at sedimentation af bentonittens ler partikler ikke vil foregå i turbulente strømninger. Denne proces vurderes derfor ikke at være af betydning for bentonitkoncentrationens størrelsesorden.

4 Konklusion

Ovenstående beregninger er sammenfattet i nedenstående Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Resultattabel for forventede maksimale koncentrationer af bentonit (mg/L) i vandløbet (For hhv. 5 m^3 , -10 m^3 - 30 m^3 spild).

Scenario	Færgestrømmen	Guldborgsund
Worst case (scen1)	200-400-300	5.000-10.000-2.000
Fjernelse (scen 2)	10-20-10	300-600-100
Lad stå til (blandbar) (scen 3)	30-60-200	190-370-1100

Der forventes en nedstrøms fortynding i Færgestrømmen på 150 og i Guldborgsund på 70 efter en nedstrøms afstand på ca. 10 strømningsbredder.

Varigheden af alle ovennævnte hændelser er relativt kort, dvs. for de ovenstående scenarier vil perioden indtil spildet er blevet fjernet fra havbunden være af størrelsesorden 1-2 timer. Selv om bentonitten vil være væsentlig mindre blandbar end antaget i beregningerne (f.eks. med en faktor 10), vil varigheden af spildet være af lille størrelsesorden (dage). En således langsommere medrivning af bentonit fra havbunden til vandfasen vil medføre en tilsvarende reduktion af koncentrationen af suspenderet stof i vandfasen.

Med hensyn til Natura2000 områderne og deres udpegningsgrundlag sæl og marsvin vurderes følgende:

Sæl:

Sæler kan kortvarigt og lokalt blive påvirket, idet fødesøgningen er hæmmet af dårlig sigtbarhed på grund af suspenderet stof. Sælerne vil i den periode og det område, hvor fanen eksisterer, skulle undvige.

Marsvin:

Marsvin vil ikke påvirkes at reduceret sigtbarhed i vandet, da deres fødesøgning primært foregår ved hjælp af ultralyd (sonar) og ikke synet.

5 Referencer

Bentoniet, 2021: [Bentoniet - HV | De Bentoniet Fabriek | Onze producten](#)

COWI, 2014: "Ny forbindelse over Storstrømmen, VVM", Hydrauliske modelleringer for VVM. Udarbejdet for Vejdirektoratet. Dok nr. A047030-038-mod01

Fischer, H., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J., Brooks, N.H., 1979: "Mixing in Inland and Coastal Waters", Academic Press. New York, London, Toronto, Sydney, San Francisco, 1979.

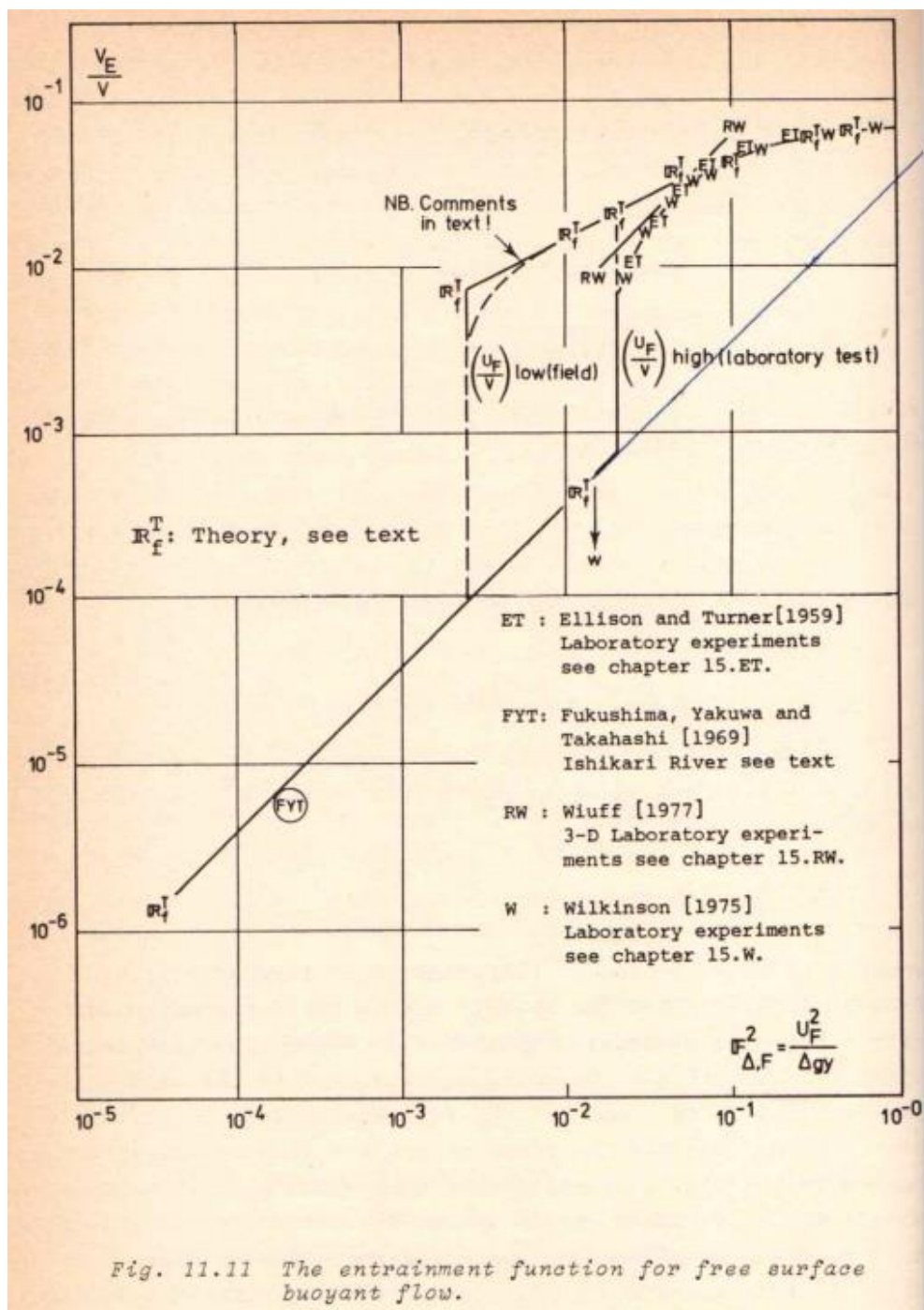
NIRAS, 2010: " Femern Belt – Danske Jerbaneanlæg – Kontrakt Syd Hydrografi og sediment i Guldborgsund", For Banedanmark Anlægsudvikling. [Syd M016 Hydrografi og sediment notat - PDF Free Download \(docplayer.dk\)](#)

Pedersen, Fl. Bo, 1986: "Environmental Hydraulics: Stratified Flows", Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies.18. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 1986.

Wikipedia, 2021: [Bentonit - Wikipedia, den frie encyklopædi](#)

Bilag A Hydrauliske beregninger for afsnit 3.3

Forholdet mellem medrivningshastigheden V_e af de tunge bundvand op i åvandet der strømmer med en hastighed V er beskrevet i (Pedersen, 1986). Her er V_e/V beskrevet empirisk som en funktion af nøgleparameteren densimetrisk Froudes tal $F_{\Delta,F}^2$, se Figur 5-1



Figur 5-1 Empirisk sammenhæng mellem Froudes tallet og medrivningen V_e/V (Pedersen, 1986)

Det densimetrisk Froudes tal $F_{\Delta,F}^2$ er defineret på baggrund af friktionshastigheden U_f :

$$F_{\Delta,F}^2 = \frac{U_F^2}{\Delta g y}$$

hvor

g: tyngdeacceleration (9,81 m/s²)

y: lagtykkelsen af åvandet (2m)

U_F: Friktionshastigheden:

$$U_F = \sqrt{f_i/2} \cdot V$$

hvor

f_i/2: intern friktionskoefficient mellem tungt vand og let vand

V: middelstrømhastighed i Storå

Δ: normeret densitetsdifference:

$$\Delta = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2}$$

hvor

ρ: Densitet af havvand(1) hhv. bentonit(2)

Den interne friktionskoefficient bestemmes ligeledes empirisk som funktion af det Reynoldstallet Re_i, som bestemmes som

$$Re_i = \frac{V \cdot y/2}{\nu}$$

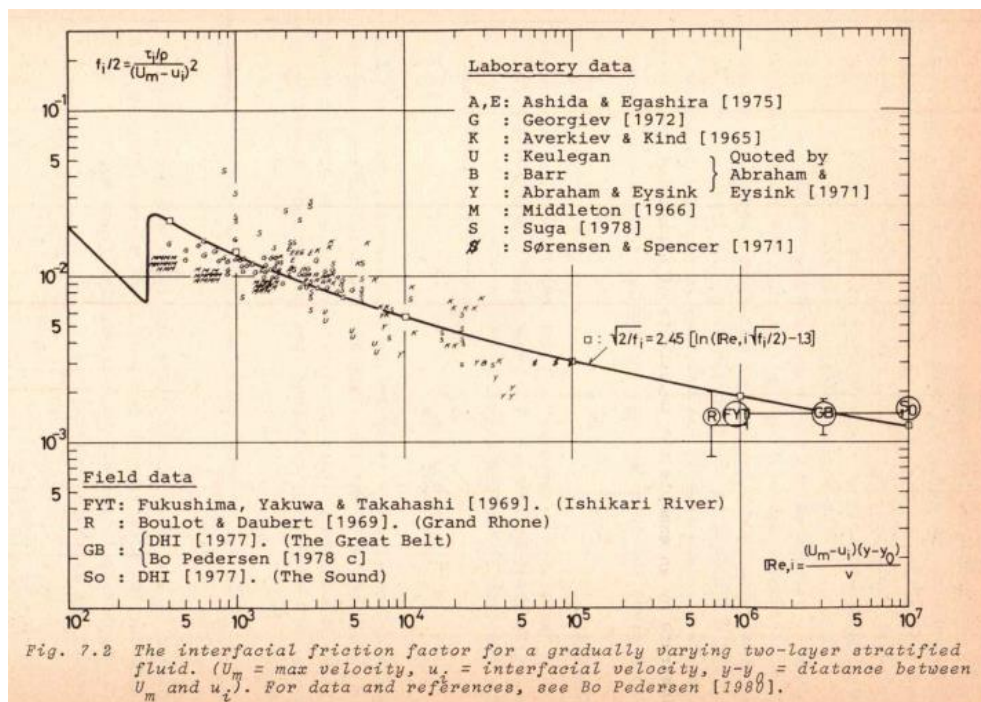
hvor

V: hastigheden (1 m/s)

y: Vandstand (1 m)

ν: kinematisk viskositet (1,3 10⁻⁶ m²/s)

Med de anvendte værdier beregnes Re og dernæst aflæses f_i/2 af diagrammet i Figur 5-2.



Figur 5-2 Empirisk sammenhæng mellem Reynoldstallet og den interne friktionskoefficient (Pedersen, 1986)