

TRYK- OG STRØMNINGSFORHOLD
I SILOER MED KOHÆSIVE MEDIER

NIELS ØRSKOV KRISTIANSEN

FORORD.	5
RESUMÉ.	6
SYMBOLLISTE.	7
1. INDLEDNING.	11
2. TEORETISK GRUNDLAG.	12
2.1 Tragtstrømning og massestrømning.	12
2.2 Mediets fysiske parametre.	17
2.2.1 Critical state teorien.	19
2.2.2 Jenike's materialemodel for strømning.	22
2.2.3 Jenike's materialemodel til beregning af brodannelse.	23
2.3 Jenike's tryk- og strømningsteori.	28
2.4 Udformning af massestrømningssiloer på basis af Jenike's teorier.	37
2.5 Vurdering af Jenike's grundlag for udformning af massestrømningssiloer.	41
2.5.1 Diskussion af materialeundersøgelserne.	41
2.5.2 Diskussion af det teoretiske grundlag.	44
2.6 Eksperimentel verifikation.	46
3. MODELLOVE.	48
3.1 Modellov for forsøg i silomodeller.	48
3.2 Modellov bygget på Jenike's forudsætninger.	50
3.3 Sammenfatning.	52
4. MÅLEOPSTILLING.	53
4.1 Centrifugen	53
4.2 Silomodellerne.	54
4.2.1 Trykcelleinstallation.	55
4.2.2 Kalibrering af trykceller.	59
4.3 Variationer i tyngdefeltet.	60
4.3.1 Afvigelser fra et homogent parallelfelt.	60
4.3.2 Corioliskræfternes betydning.	65
4.3.3 Sekundære accelerationer.	66
4.4 Dataopsamling.	68
4.5 Sammenfatning.	69

5. FORSØGSMEDIER.	71
5.1 Råmel.	71
5.1.1 Materialeparametre for Råmel.	71
5.2 Andre testmedier.	75
6. BESKRIVELSE AF DE UDFØRTE FORSØGSTYPER.	78
6.1 Fastlæggelse af bundgeometri for en massestrømningssilo til Råmel.	78
6.2 Tryktilstanden i en massestrømningssilo fyldt i det naturlige tyngdefelt.	78
6.3 Fyldningsmetodens indflydelse på tryk og strømningsforholdene.	79
6.4 Sammenligning af tryktilstanden i masse- og tragtstrømningssiloer indeholdende Råmel.	79
6.5 Første åbningseffekt.	80
6.6 Forsøg med andre medier.	80
6.7 Oversigt over udførte forsøg.	80
7. FORSØGSPROCEDURER.	82
7.1 Forsøgsprocedure ved fastlæggelsen af bundgeometri for massestrømningssilo til Råmel.	82
7.1.1 Strømningstypebestemmelse.	82
7.1.2 Fastlæggelse af udløbsdiameter.	83
7.2 Forsøgsprocedure ved fastlæggelse af tryktilstanden i en massestrømningssilo fyldt i det naturlige tyngdefelt.	85
7.3 Forsøgsprocedure ved fastlæggelse af fyldningens betydning for tryk- og strømningsforholdene.	86
7.4 Forsøgsprocedure ved fastlæggelse af tryktilstanden i en tragtstrømningssilo.	88
7.5 Molerus' forsøgsprocedure ved fastlæggelse af udløbets diameter.	88
7.6 Forsøgsprocedure ved forsøg med andre medier.	89
8. PRIMÆRRESULTATER.	90
8.1 Strømningsundersøgelse.	90
8.2 Trykforholdene i massestrømningssilo fyldt i det naturlige tyngdefelt.	91

8.3	Forsøgsresultater fra forsøg, hvor modellen er fyldt i øget tyngdefelt.	95
8.4	Tryktilstanden i masse- og tragtstrømningssiloer indeholdende råmel.	102
8.5	Resultat af udløbsundersøgelsen efter Molerus' forsøgsprocedure.	102
8.6	Forsøgsresultater fra forsøg med andre medier.	102
9.	SAMMENLIGNING MELLEM TEORETISKE OG EKSPERIMENTELLE RESULTATER.	105
9.1	Bundgeometri i en silo til Råmel.	105
9.1.1	Bundhældning.	105
9.1.2	Udløbets størrelse.	106
9.1.3	Sammenligning med forsøg udført af Egerer [38].	108
9.1.4	Diskussion af forudsætninger for brodannelsesteorien.	110
9.1.5	Sammenfatning.	112
9.2	Trykforhold i en massestrømningssilo fyldt med råmel.	112
9.2.1	Trykforhold i vertikaldelen.	112
9.2.2	Trykforhold i bunden.	113
9.2.3	Poretryk.	114
9.2.4	Sammenfatning.	114
9.3	Sammenligning af den eksperimentelt fastlagte tryktilstand med den teoretisk beregnede.	115
9.3.1	Jenike's radiære spændingstilstand.	115
9.4	Sammenligning med Walter's teori.	117
9.4.1	Sammenfatning.	120
9.5	Tryktilstand i bunden ved overgang fra hvile til strømning.	121
9.5.1	Sammenfatning.	121
9.6	Tryktilstanden i tragtstrømningssiloen sammenlignet med tryktilstanden i massestrømningssiloen.	124
9.6.1	Sammenfatning.	124

	<u>Side:</u>
9.7 Forsøg med andre medier - strømningsbestemmelse.	126
9.7.1 Sammenfatning.	126
10. OPFYLDELSE AF MODELKRAVENE	128
10.1 Sammenfatning.	133
11. SAMMENFATNING.	134
REFERENCER	136