

Blindern

PRA 2.1 FORSØKSANLEGGET PÅ KJELLER

Delprosjekt 0-40/71-S

AVVANNING AV SLAM VED SMÅ RENSEANLEGG

Kostnader for avvanning og transport
av slam

30. september 1975

Saksbehandlere: Siv.ing. Bjarne Paulsrud
Ingeniør Johannes Thaule
Medarbeider: Siv.ing. Arild S. Eikum, Ph.D.
Stedfortr. instituttsjef John Erik Samdal

F O R O R D

Denne rapport utgjør en del av prosjektet "Avvanning av slam ved små rensesanlegg" som er et delprosjekt under "PRA 2.1 Forsøksanlegget på Kjeller". Det er tidligere publisert en artikkel om dimensjonering av tørkesenger for norske forhold (Paulsrud, 1974).

I rapporten er det ikke gjort noe forsøk på å gi et fullstendig grunnlag for valg av type avvanningsutstyr, da andre faktorer enn økonomi også må vurderes.

Alle kostnader er angitt i 1974 - kroner.

Rapporten har vært sendt til leverandørfirmaene for uttalelse, og de mottatte kommentarer er tatt inn i BILAG II.

Vi vil få takke samtlige berørte firmaer som ved sin velvillighet har bidratt til at denne rapport er kommet i stand.

Brekke, september 1975

Bjarne Paulsrud Gollannul Thaulé.

B. Paulsrud

J. Thaulé

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side:
FORORD	2
1. INNLEDNING	6
2. PROSJEKTETS OMFANG	7
3. GRUNNLAGSMATERIALE	10
4. KOSTNADSFUNKSJONER	11
4.1 Oversikt over parametre	11
4.2 Generelle forutsetninger	12
4.3 Utledning av kostnadsfunksjoner	13
4.3.1 Transportkostnader	13
4.3.2 Avvanningskostnader ved lokalt renseanlegg, sentrifuge og silbåndpresse	16
4.3.3 Avvanningskostnader ved lokalt renseanlegg, kammerfilterpresse	19
4.3.4 Avvanningskostnader ved sentralt renseanlegg	24
4.4 Sammenstilling av kostnadsfunksjoner	24
5. KOSTNADSKURVER	27
5.1 Generelt	27
5.2 Valg av parametrenes størrelse	27
5.3 Kostnadskurver for mekanisk slamavvanning	30
5.4 Kostnadskurver for transport av slam	35
5.5 Lønnsomhetsgrenser for mekanisk slamavvanning ved ulike typer renseanlegg	40
6. SENSIVITETSANALYSE	50
7. SAMMENDRAG OG KONKLUSJON	54
8. LITTERATUR	55
BILAG I	56-63
BILAG II	64-76

TABELLFORTEGNELSE

Tabell nr.		Side:
1	Årlige faste avvanningskostnader (ekskl. lønn) for sentrifuge og silbåndpresse	17
2	Årlige faste avvanningskostnader (ekskl. lønn) for kammerfilterpresse	22
3	Spesifikk slamproduksjon og tørrstoffinnhold i slam	28
4	Data for avvanningsparametre	29

- o -

FIGURFORTEGNELSE

Figur nr.		
1	Alternative løsninger for avvanning og transport av slam	8
2	Transportkostnader for slam	14
3	Investeringskostnader for kammerfilterpresse	20
4	Avvanningskostnader, mekanisk anlegg	31
5	"- mekanisk-kjemisk (Al,Fe) anlegg	31
6	"- mekanisk-kjemisk (Ca) anlegg	32
7	"- biologisk anlegg (lavt belastet)	32
8	"- biologisk anlegg (normalt belastet)	33
9	"- simultanfellingsanlegg (lavt belastet)	33
10	"- etterfellingsanlegg (Al,Fe)	34
11	"- etterfellingsanlegg (Ca)	34
12	Transportkostnader, mekanisk anlegg	36
13	"- mekanisk-kjemisk (Al,Fe) anlegg	36
14	"- mekanisk-kjemisk (Ca) anlegg	37
15	"- biologisk anlegg (lavt belastet)	37

Figur nr.		Side:
16	Transportkostnader, biologisk anlegg (normalt belastet)	38
17	"- simultanfellingsanlegg (lavt belastet)	38
18	"- etterfellingsanlegg (Al,Fe)	39
19	"- etterfellingsanlegg (Ca)	39
20	Lønnsomhetsgrenser, mekanisk anlegg	42
21	"- mekanisk-kjemisk (Al,Fe) anlegg	43
22	"- mekanisk-kjemisk (Ca) anlegg	44
23	"- biologisk anlegg (lavt belastet)	45
24	"- biologisk anlegg (normalt belastet)	46
25	"- simultanfellingsanlegg (lavt belastet)	47
26	"- etterfellingsanlegg (Al,Fe)	48
27	"- etterfellingsanlegg (Ca)	49
28	Eksempel på sensitivitetsanalyse, (sentrifuge II)	51
29	" " "- (kammerfilter- presse)	52

1. INNLEDNING

En stor del av de kloakkrenseanlegg som hittil er bygd her i landet, er små anlegg med mindre enn 2000-3000 personer (P) tilknyttet. De aller fleste av disse er biologiske anlegg med relativt liten slamproduksjon, og følgelig har ikke behovet for mekanisk slamavvanning vært særlig stort.

De anlegg som skal bygges i tiden fremover, vil fortsatt i stor utstrekning bli små anlegg, men disse vil nå i de fleste tilfeller få kjemisk rensing i tillegg til biologisk eller mekanisk rensing. Dette kan medføre en betydelig økning av slammengdene, og det vil være høyst aktuelt med effektive og rimelige avvanningsmetoder for å ta hånd om slammet fra disse anlegg. Spesielt vil dette være tilfelle hvor transport og deponering/ anvendelse av uavvannet slam ikke er akseptabelt fra et hygienisk, forurensningsmessig eller økonomisk synspunkt.

De helse- og forurensningsmessige forhold ved deponering/ anvendelse av uavvannet slam må vurderes i hvert enkelt tilfelle ut fra de lokale forutsetninger. De økonomiske forhold lar seg imidlertid generalisere til en viss grad idet man kan sette opp kostnadsfunksjoner for både avvanning og transport, basert på en rekke variable parametre.

Det er tidligere publisert en kostnadsanalyse for lokal kontra interkommunal avvanning for slam fra små renseanlegg i en bestemt kommune (Bergan, 1975). Avløpssambandet Nordre Øyeren har dessuten laget en omfattende analyse av hvilke anlegg innenfor deres område som økonomisk sett bør ha mekanisk avvanningsutstyr (ANØ, 1974). Begge disse rapporter viser at mekanisk avvanning kan være lønnsom selv ved små renseanlegg (ned til 1000-1500 personer tilknyttet).

2. PROSJEKTETS OMFANG

Denne rapport vil først på et generelt grunnlag ta for seg kostnader forbundet med avvanning og transport av slam fra mindre renseanlegg (opptil 5000 P tilknyttet). Deretter vil man ved hjelp av eksempler vise hvilke resultater man kan komme fram til ved å anvende en del typiske data. Det vil ikke bli gjort noe forsøk på å gi et fullstendig grunnlag for valg av type avvanningsutstyr, da andre faktorer enn økonomi også må vurderes. Mobile avvanningsenheter er ikke tatt med i analysen.

Rent kostnadmessig vil følgende sammenlikninger bli gjort:

Tilfelle 1. Avvanning ved lokalt renseanlegg kontra transport av uavvannet slam.

Tilfelle 2. Avvanning ved lokalt renseanlegg kontra transport til og avvanning ved sentralt renseanlegg.

Disse to tilfeller er vist i fig. 1. Her er det også påført symboler for de hovedkostnader som inngår i kostnadsanalysen. Disse er for øvrig sammenstilt nedenfor:

Kostnader (kr/år) for:	Symbol:
Transport av <u>uavvannet</u> slam fra lokalt renseanlegg til deponering/anvendelse	k_A
Transport av <u>avvannet</u> slam fra lokalt renseanlegg til deponering/anvendelse	k_B
Transport av <u>uavvannet</u> slam fra lokalt renseanlegg til sentralt renseanlegg	k_C
Transport av <u>avvannet</u> slam fra sentralt renseanlegg til deponering/anvendelse	k_D
Avvanning ved lokalt renseanlegg	k_E
Avvanning ved sentralt renseanlegg	k_F

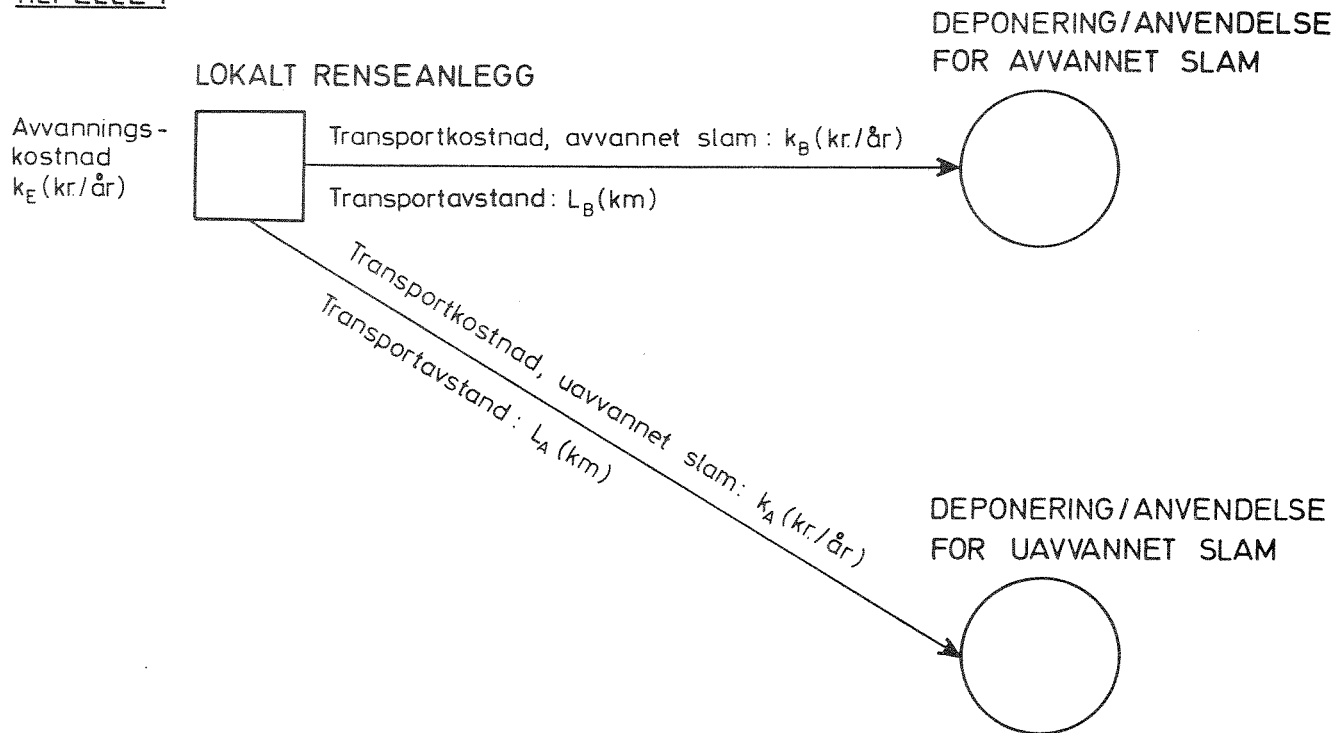
I tilfelle 1 (lokal avvanning kontra ingen avvanning) vil de to alternativer være økonomisk likeverdige dersom

$$k_A = k_E + k_B$$

eller

$$\frac{k_E}{k_A - k_B} = 1.$$

TILFELLE 1



TILFELLE 2

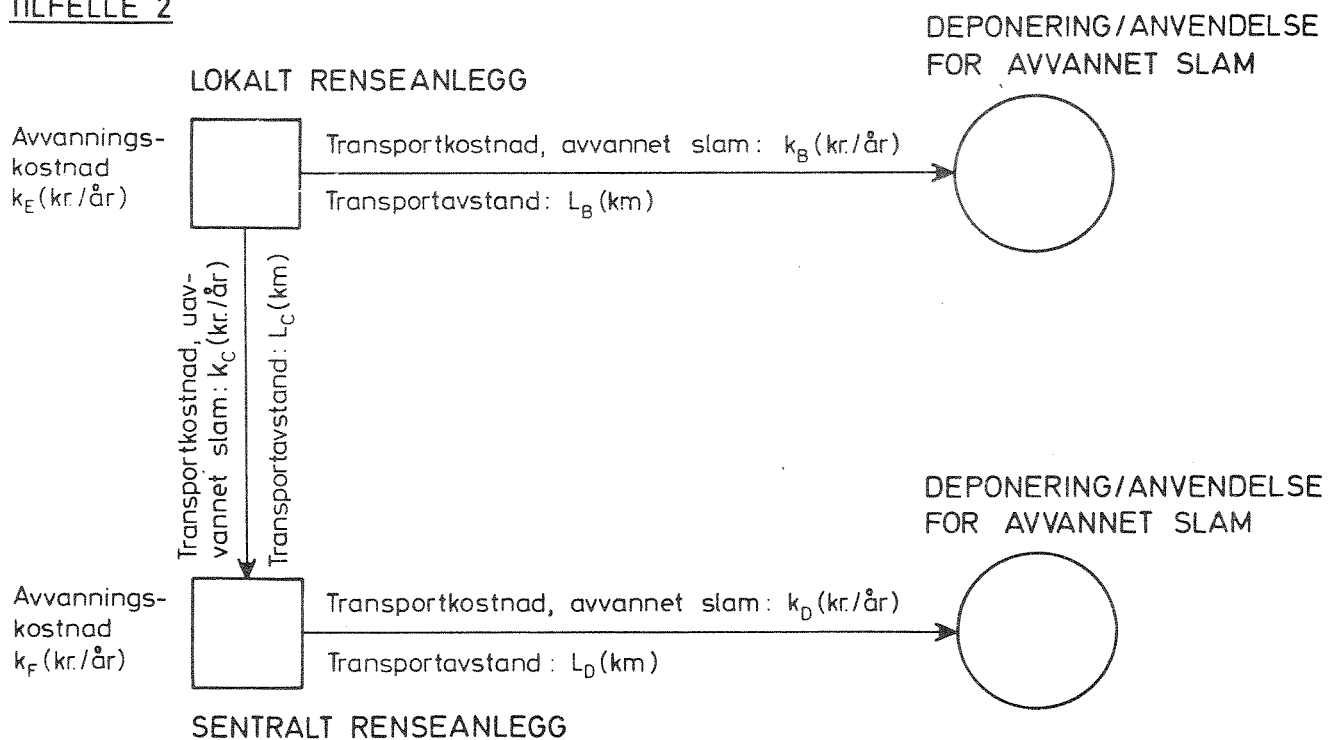


Fig. 1. Alternative løsninger for avvanning og transport av slam.

Differansen i transportkostnader ($k_A - k_B$) angir altså hva en kan "investere" i lokal avvanning (angitt som årskostnad).

For tilfelle 2 (lokal avvanning kontra avvanning ved sentralt renseanlegg) vil en på tilsvarende måte ha kostnadsbalanse dersom

$$k_E + k_B = k_C + k_D + k_F$$

eller

$$\frac{k_E}{(k_C + k_D + k_F) - k_B} = 1$$

eller

$$\frac{k_E}{k_C - (k_B - k_D) + k_F} = 1.$$

Kostnadsdifferansen ($k_C - (k_B - k_D) + k_F$) angir her hva som kan "investeres" i lokal avvanning (som årskostnad) for at de to alternativer skal komme ut likt økonomisk.

Avvanningskostnadene baseres på tre ulike typer mekanisk avvanningsutstyr:

- Sentrifuge
- silbåndpresse
- kammerfilterpresse.

Følgende typer renseanlegg inngår i kostnadsanalysene:

<u>Anleggstype</u>	<u>Fellingsmiudel</u>	<u>Betegnelse</u>
Mekanisk		M
Mekanisk + kjemisk	Al, Fe	MK
" "	Ca	MKK
Biologisk (lavt belastet)		BL
Biologisk (normalt belastet)		BN
Biologisk (lavt belastet) + kjemisk (simultanfelling)	Al, Fe	BS
Biologisk (normalt belastet) + kjemisk (etterfelling)	Al, Fe	EF
" "	Ca	EFK

3. GRUNNLAGSMATERIALE

Som grunnlag for kostnadsanalysene ble det innhentet pristilbud på:

- Levering og montering av komplett slamavvanningsutstyr
- Transport av både uavvannet og avvannet slam.

Forespørsel om tilbud (se bilag I) ble sendt til følgende firmaer:

Slamavvanningsutstyr

	Flygt Pumper A/S)	
	A/S E. Sunde & Co.)	
	Maskinaktieselskapet ZETA)	Sentrifuger
x)	Haakon Larsen A/S)	
	Lorentzen og Wettre A/S)		Silbåndpresse
	Alfsen og Gunderson A/S)	
x)	Waldm. Ellefsen A/S)	Kammerfilterpresse
x)	Wetlesen og Roll A/S)	

x) Disse firmaer har ikke kommet med tilbud.

Slamtransport

A/S Bærum Septik og Transportforretning, Bærum)	Transport av
A/S Septik Tank Co., Oslo)	uavvannet
Septik og Renovasjon, Aurskog)	slam.
Transportsentralen, Asker og Bærum A/L, Bærum)	Transport av
Avfallsystemer A/S, Oslo)	avvannet
Septik og Renovasjon, Aurskog)	slam.

Dessuten ble det innhentet Prisdirektoratets transportpriser pr. 1. juli 1974.

For om mulig å få transportkostnader fra områder utenom Østlandet, ble det sendt forespørsel til de tekniske etater i Bergen, Trondheim og Tromsø. Det viste seg imidlertid at man hadde svært liten erfaring med slamtransport og kostnader for dette.

4. KOSTNADSFUNKSJONER

4.1 Oversikt over parametre

For oversiktens skyld har en sammenstilt de parametre som inngår i de etterfølgende kostnadsfunksjoner:

Gruppe	Parameter	Enhet	Symbol
Slam- mengder	Spesifikk slamproduksjon	g TS/p.d	t
	Tørrstoffinnhold i avvannet slam	%	T ₁
	Tørrstoffinnhold i uavvannet slam	%	T ₂
	Antall personer tilknyttet rensesanlegg		P
Trans- port	Transportavstander (se fig. 1, side 8)	km	L _A , L _B , L _C , L _D
	Faste transportkostnader for uavvannet slam for L _A og L _C ≤ 21 km	kr/m ³	N
	Faste transportkostnader for avvannet slam samt for uavvannet slam for L _A og L _C > 21 km	kr/m ³	M
	Variable transportkostnader for avvannet slam samt for uavvannet slam for L _A og L _C > 21 km	kr/m ³ .km	f
Avvan- ning	Timelønn	kr/time	Z ₁
	Variable vedlikeholdskostnader for sentrifuge og silbåndpresse	kr/driftstime	Z ₂
	Kjemikaliekostnader	kr/tonn TS	Z ₃
	Strømkostnader	kr/m ³ slam	Z ₄
	Faste kostnader (ekskl. lønn)	kr/år	Q
	Avvanningskostnader ved sentralt rensesanlegg	kr/m ³	R
	Avvanningskapasitet for sentrifuge og silbåndpresse	m ³ /h	S
	Volum pr. kammer i kammerfilterpresse	l/kammer	v
	Variable investeringskostnader for kammerfilterpresse	kr/kammer	x
	Faste investeringskostnader for kammerfilterpresse	kr	y

4.2 Generelle forutsetninger

Følgende forutsetninger er gjort ved utledning av kostnadsfunksjonene:

- Avvanning foregår 5 dager pr. uke
- Maksimal driftstid pr. dag:
 - Sentrifuge: 6 timer
 - Silbåndpresse: 6 "
 - Kammerfilterpresse: 2 press-sykluser
- For silbåndpresse og sentrifuge er antall arbeidstimer pr. dag beregnet ut fra følgende formel (Rennerfelt, 1972):
$$1,5 + 0,07 \cdot n \cdot a$$

n = antall maskiner
a = antall driftstimer pr. dag.
- For kammerfilterpresse er arbeidstiden pr dag satt til 2 timer uansett maskinstørrelse. Dette er ifølge opplysninger fra leverandøren.
- Arealbehov for komplett avvanningsutstyr er fastsatt i henhold til opplysninger fra leverandørfirmaene (se tabell 1 og 2).
- Investeringskostnad for overbygg, ventilasjon og varme i forbindelse med avvanningsutstyret: kr. 2000.- pr. m².
- Avskrivningstid: 40 år for bygninger,
20 år " maskiner.
- Restverdien ved avskrivningstidens slutt: 0.
- Rentefot: 7,0%.
- Årlige kostnader for ventilasjon og oppvarming: kr. 20.- pr. m².
- Kostnad for effektuttak: kr. 150.-/kW
- Årlige vedlikeholdskostnader, bygg: 1,5% av investeringskostnadene.
- Årlige vedlikeholdskostnader, maskiner:
 - Sentrifuge og silbåndpresse: Avhengig av antall driftstimer.
 - Kammerfilterpresse: 2,5% av investeringskostnader.
 - Maskinelt utstyr for øvrig: 2,5% av investeringskostnader.

- Merverdiavgift - Investeringsavgift

Forutsatt at kommunen har innført kloakkavgift, er miljøverntiltak fra og med september 1974 fritatt for merverdiavgift, men pålagt 13% investeringsavgift. Videre er driftskostnader for avløpsanlegg helt avgiftsfrie. Dette gir følgende forutsetninger:

Lønn, kjemikalier og transport: Avgiftsfritt.

Resterende kostnader: 13% investeringsavgift.

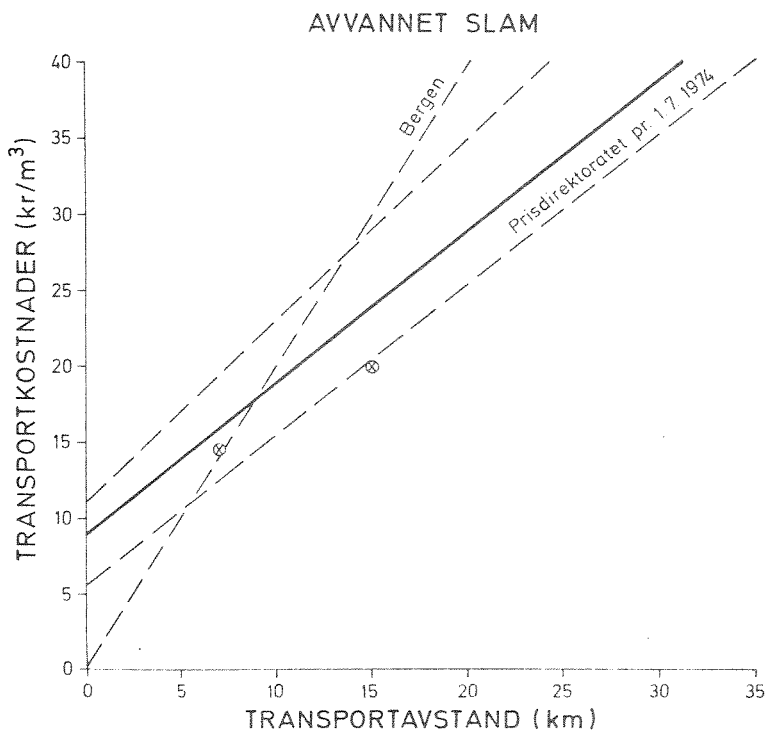
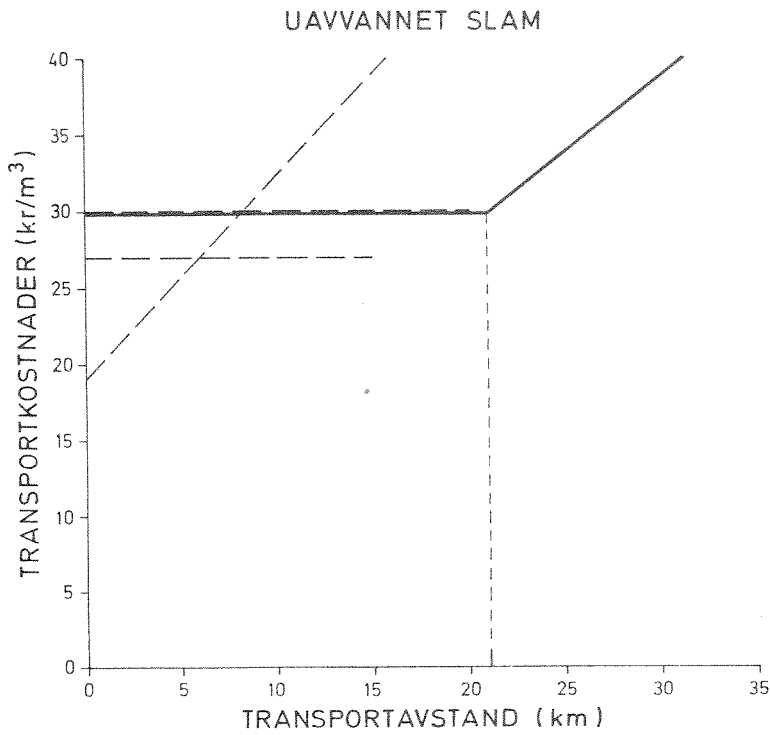
4.3 Utledning av kostnadsfunksjoner

Basert på det innsamlete grunnlagsmateriale og de forutsetninger som er nevnt under pkt. 4.2, kan det settes opp relativt generelle kostnadsfunksjoner for både transport og avvanning av slam.

4.3.1 Transportkostnader

En sammenstilling av de innhentede tilbud for transport av slam (uavvannet og avvannet) er gjort i fig. 2. Det er også lagt inn en kurve basert på Prisdirektoratets kjørepriser pr. 1.7.1974, samt transportkostnader fra Bergen kommune.

For transport av avvannet slam ser en at transportkostnadene (kr/år) øker lineært med økende transportavstand. For transport av uavvannet slam var to av tilbudene basert på en fast pris pr. m³ slam opp til en viss transportavstand (hhv. 15 og 20 km), mens det tredje tilbud angav en lineær kostnadsøkning slik som for avvannet slam. Ut fra dette data-materiale er det lagt inn en midlere kostnadskurve for både uavvannet og avvannet slam. Transport av uavvannet slam er forutsatt å foregå til en fast kubikkmeterpris ved en transportavstand opp til 21 km, hvorefter kostnadene vil følge den valgte kurve for transport av avvannet slam.



De stiplede linjene og enkeltpunktene representerer ulike tilbud for transport av slam. De heltrukne linjene representerer de valgte kostnadskurver for transport av henholdsvis uavvannet og avvannet slam.

Fig. 2. Transportkostnader for slam.

Kostnadsfunksjonen for transport av avvannet slam og uavvannet slam ved $L > 21$ km kan følgelig uttrykkes som:

$$M + f \cdot L \text{ (kr/m}^3\text{)}$$

og for transport av uavvannet slam ved $L \leq 21$ km som:

$$N \text{ (kr/m}^3\text{)}$$

hvor

M og N = faste transportkostnader (kr/m³)

f = variable -"- (kr/m³.km)

L = transportavstand (km)

Ved å bruke disse funksjonene kan en komme fram til følgende uttrykk for transportkostnadene på årsbasis:

Transportkostnader, uavvannet slam, $L_{A(C)} \leq 21$ km:

$$k_A(k_C) = \frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \cdot \frac{N}{T_2} \text{ (kr./år)}$$

Transportkostnader, uavvannet slam, $L_{A(C)} > 21$ km:

$$k_A(k_C) = \frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \left(\frac{M + f \cdot L_{A(C)}}{T_2} \right) \text{ (kr/år)}$$

Transportkostnader, avvannet slam:

$$k_B(k_D) = \frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \left(\frac{M + f \cdot L_{B(D)}}{T_1} \right) \text{ (kr/år)}$$

hvor

P = antall personer tilknyttet renseanlegget

t = spesifikk slamproduksjon (g TS/p.d)

T_1 = tørrstoffinnhold i avvannet slam (%)

T_2 = -"- i uavvannet slam (%).

4.3.2 Avvanningskostnader ved lokalt renseanlegg,
sentrifuge og silbåndpresse

Faste kostnader, eksklusive lønnskostnader (Q)

Disse kostnader er sammenstilt i tabell 1 og er beregnet på grunnlag av de innkomne tilbud fra leverandørfirmaene og de generelle forutsetninger som er angitt i pkt. 4.2. Sentrifuge I, II og III står for ulike sentrifugefabrikater.

Lønnskostnader

Lønnskostnadene beregnes ut fra en timepris på Z_1 kr/arbeidstime som inkluderer sosiale utgifter samt arbeidsgiverandel til syketrygden.

Antall arbeidstimer pr. dag bestemmes som nevnt ved formelen $(1,5 + 0,07 \cdot n \cdot a)$.

Antall avvanningsenheter (n) settes lik 1.

Forutsatt 5 dagers arbeidsuke kan man med a driftstimer pr. dag og en avvanningskapasitet på $S \text{ m}^3/\text{h}$, årlig avvanne:

$$S \cdot a \cdot 365 \cdot 5/7 \text{ (m}^3\text{)} \quad (1)$$

$$\text{Slamproduksjon pr. år: } \frac{365 \cdot t \cdot P}{10000 \cdot T_2} \text{ (m}^3\text{)} \quad (2)$$

hvor

P = antall personer tilknyttet renseanlegget

t = spesifikk slamproduksjon (g TS/p.d)

T_2 = tørrstoffinnhold i uavvannet slam (%).

Ved å sette (1) = (2) finner man nødvendig antall driftstimer pr. dag som

$$a = \frac{t \cdot P}{10000 \cdot T_2 \cdot S} \cdot \frac{7}{5}$$

$$\text{Antall arbeidstimer pr. dag: } 1,5 + \frac{0,07 \cdot t \cdot P}{10000 \cdot S \cdot T_2} \cdot \frac{7}{5}$$

Antall arbeidstimer pr. år:

$$\begin{aligned} & \left(1,5 + \frac{0,07 \cdot t \cdot P}{10000 \cdot S \cdot T_2} \cdot \frac{7}{5}\right) \cdot 365 \cdot \frac{5}{7} \\ & = 391 + \frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \cdot \frac{0,07}{S \cdot T_2} \end{aligned}$$

Tabell 1. Årlige faste avvanningskostnader (ekskl. lønn) for sentrifuge og silbåndpresse.

	Sentrifuge I			Sentrifuge II			Sentrifuge III			Silbåndpresse		
Maksimal kapasitet (m ³ /h)	7	12		3	5	10	2,5	6	3	5		
Arealbehov (m ²)	40	45		30	35	40	30	40	60	70		
Effektbehov (kW)	7,5	15		14	20	25	11	20	2,5	3,0		
Investeringskostnader ekskl. inv. avgift (kr):												
Komplett avvanningsutstyr	396.900	398.100		276.300	311.700	346.100	200.000	265.000	220.000	260.000		
Avvanningsenhet	208.300	236.000		136.400	157.600	192.000	125.000	165.000	145.000	160.000		
Bygg inkl. varme, ventilasjon	80.000	90.000		60.000	70.000	80.000	60.000	80.000	120.000	140.000		
Årlige faste kostnader (kr/år):												
Avskrivninger maskinelt utstyr	34.919	37.580		26.083	29.424	32.672	18.880	25.016	20.768	24.544		
Avskrivninger, bygg	6.000	6.750		4.500	5.250	6.000	4.500	6.000	9.000	10.500		
Ventilasjon, oppvarming	800	900		600	700	800	600	800	1.200	1.400		
Installert effekt	1.125	2.250		2.100	3.000	3.750	1.650	3.000	375	450		
Vedlikehold, maskinelt ekskl. avvanningsenheten	4.040	4.052		3.498	3.853	3.853	1.875	2.500	1.875	2.500		
Vedlikehold, bygg	1.200	1.350		900	1.050	1.200	900	1.200	1.800	2.100		
Sum	48.084	52.882		37.681	43.277	48.275	28.405	38.516	35.018	41.494		
13% investeringsavgift	6.251	6.875		4.899	5.626	6.275	3.693	5.007	4.552	5.394		
Faste avvanningskostnader, Q (kr/år)	54.335	59.757		42.580	48.903	54.550	32.098	43.523	39.570	46.888		

$$\text{Årlige lønnskostnader: } 391 \cdot Z_1 + \frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \cdot \frac{0,07 \cdot Z_1}{S \cdot T_2}$$

Uttrykket $391 \cdot Z_1$ vil inngå som faste kostnader, mens de resterende lønnskostnader vil være variable.

Variable vedlikeholdskostnader

Variable vedlikeholdskostnader beregnes ut fra Z_2 kr/driftstime. Antall driftstimer pr. dag er bestemt under "Lønnskostnader", og følgelig får man:

$$\text{Årlige variable vedlikeholdskostnader: } \frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \cdot \frac{Z_2}{S \cdot T_2}$$

Kjemikaliekostnader

Z_3 angir kjemikaliekostnadene i kr/tonn TS.

$$\text{Årlige kjemikaliekostnader: } \frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \cdot \frac{Z_3}{100}$$

Strømkostnader

Z_4 angir strømkostnader i kr/m³ slam.

$$\text{Årlige strømkostnader: } \frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \cdot \frac{Z_4}{T_2}$$

De totale årlige kostnader for avvanning med sentrifuge og silbåndpresse ved mindre renseanlegg (< 5000 P) kan nå settes opp som summen av de faste og variable kostnader.

Årlige avvanningskostnader for sentrifuge og silbåndpresse:

$$k_E = \frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \left(\frac{0,07 \cdot Z_1}{S \cdot T_2} + \frac{Z_2}{S \cdot T_2} + \frac{Z_3}{100} + \frac{Z_4}{T_2} \right) + 391 \cdot Z_1 + Q$$

4.3.3 Avvanningskostnader ved lokalt renseanlegg, kammerfilterpresse

Siden kammerfilterpresser, i motsetning til sentrifuger og silbåndpresser, arbeider diskontinuerlig, og avvanningskapasiteten er avhengig av antall kamre i maskinen, er det nødvendig å utarbeide separat kostnadsuttrykk for denne type avvanningsutstyr.

Investeringskostnader

Investeringskostnader for kammerfilterpresse, inklusiv alt nødvendig utstyr og montering, er angitt i fig. 3. Her er plottet de oppgitte priser fra leverandøren, og det viste seg at man kunne legge inn lineære kostnadskurver for hver maskinstørrelse. For kammerfilterpressen får man altså følgende generelle uttrykk:

$$\text{Investeringskostnader} = y + x \cdot n$$

hvor

y = faste investeringskostnader for en gitt maskinstørrelse, uavhengig av antall kamre (kr.)

n = antall kamre

x = variable investeringskostnader for en gitt maskinstørrelse (kr/kammer).

Ved en bestemt maskinstørrelse vil nødvendig antall kamre være avhengig av slamproduksjonen (tørrstoffmengden) og tørrstoffkonsentrasjonen i slammet etter endt avvanning. Dette fordi hvert kammer ved en bestemt maskinstørrelse har plass til et gitt volum (v) med avvannet slam. (Som eksempel kan nevnes at volumet pr. kammer er 3,6 l for 400 mm maskinstørrelse og 25 l for 1000 mm.)

Det forutsettes, som angitt under pkt. 4.2, avvanning 5 dager pr. uke og 2 avvanningssykluser pr. dag. Dessuten gjøres det et tillegg på 15% i nødvendig kapasitet for å ta hensyn til de kjemikalier som må tilsettes før avvanning (vanligvis jernsalter + kalk). Ved silbåndpresser og sentrifuger brukes polyelektrolytter i så små mengder at bidraget der er neglisjerbart.

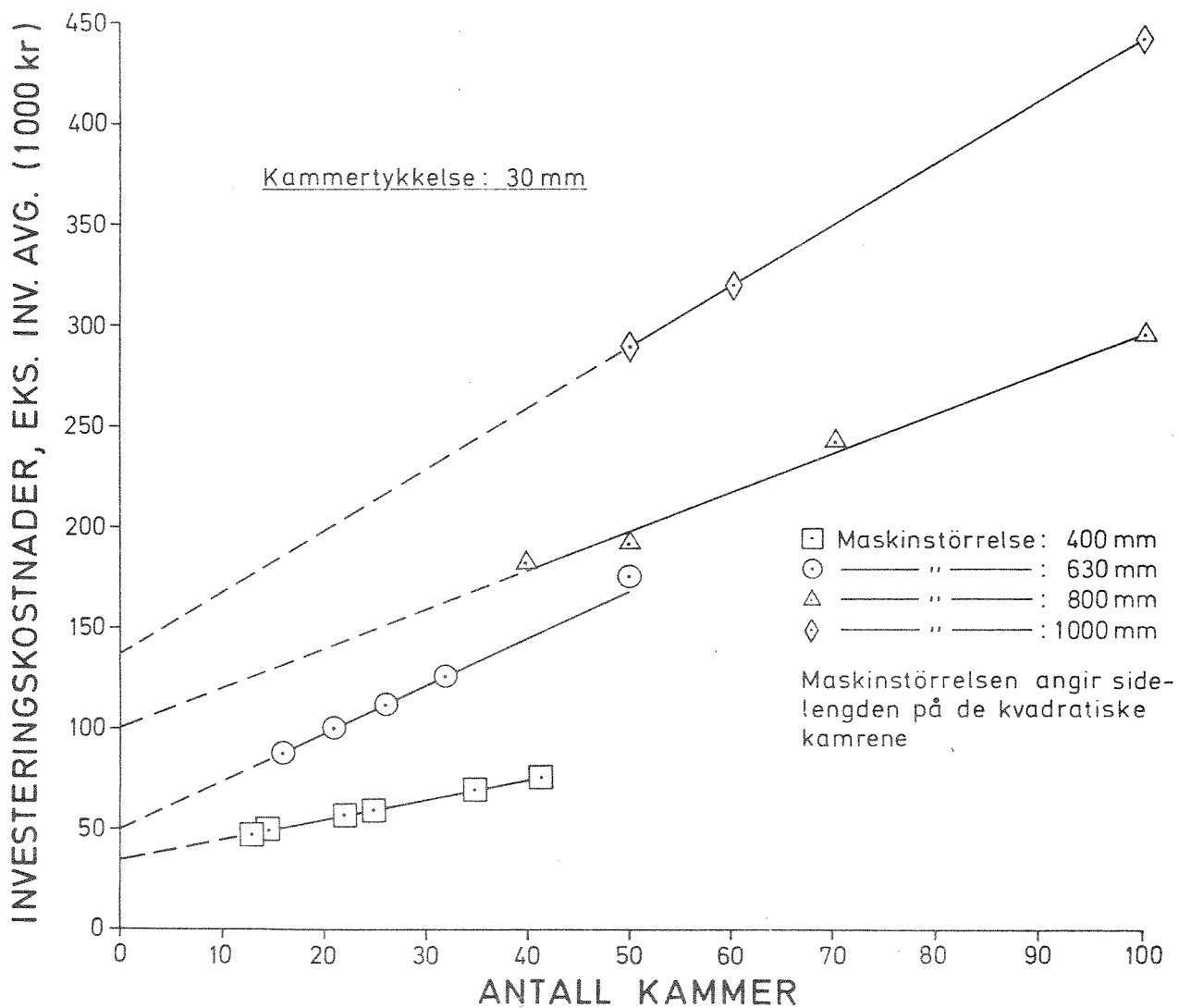


Fig. 3. Investeringskostnader for kammerfilterpresse.

Den nødvendige kapasitet for kammerfilterpressen blir da

$$\frac{7}{5} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,1 \cdot \frac{t \cdot P}{10 \cdot T_1} = 0,081 \cdot \frac{t \cdot P}{T_1} \quad (1)$$

hvor

P = antall personer tilknyttet renseanlegget

t = spesifikk slamproduksjon (g TS/p.d.)

T₁ = tørrstoffinnhold i avvannet slam (%).

For en gitt maskinstørrelse med kammervolum, v, kan nødvendig antall kamre, n, angis som:

$$n = 0,081 \cdot \frac{t \cdot P}{v \cdot T_1}$$

Ved å sette dette inn i uttrykket for investeringskostnader, får man:

$$\text{Investeringskostnader} = y + x \cdot 0,081 \cdot \frac{t \cdot P}{v \cdot T_1}$$

Faste kostnader, eksklusive lønnskostnader (Q)

De faste kostnader for avvanning med kammerfilterpresse er satt opp i tabell 2. Det er brukt de generelle forutsetninger som er nevnt under pkt. 4.2, men i tillegg har man her for enkelhetens skyld regnet kostnader for strømforbruk med i de faste kostnader. Dette skulle være fullt forsvarlig, da disse kostnader er svært små i forhold til de totale kostnader. Det er benyttet 0,04 kr/kWh som enhetspris.

Lønnskostnader

Forutsatt 2 arbeidstimer pr. dag og Z₁ kr/arbeidstime får man:

$$\text{Årlige lønnskostnader: } 365 \cdot \frac{5}{7} \cdot 2 \cdot Z_1 = 521 Z_1$$

Tabell 2. Årlige faste avvanningskostnader (ekskl. lønn)
for kammerfilterpresse.

Maskinstørrelse	(mm)	400	630	800	1.000
Kammertykkelse	(mm)	30	30	30	30
Volum pr. kammer	(l)	3,6	9,6	15	25
Maksimalt volum	(l)	162	576	1.500	2.750
Arealbehov	(m ²)	30	35	40	50
Effektbehov	(kW)	1,5	3	6	12
Strømforbruk	(kWh/d)	3	6	12	24
Investeringskostnader ekskl. inv.avgift (kr):					
Maskinelt, faste kostnader, y (se fig. 3)		35.000	50.000	100.000	137.000
Maskinelt, kostnad pr. kammer, x (se fig. 3) 1)		1.096	2.684	2.215	3.458
Bygg, inkl. varme og ventilasjon		60.000	70.000	80.000	100.000
Årlige faste kostnader (kr/år):					
Avskrivninger, maskinelt (0,0944 · y)		3.304	4.720	9.440	12.933
Avskrivninger, bygg		4.500	5.250	6.000	7.500
Ventilasjon, oppvarming		600	700	800	1.000
Installert effekt		225	450	900	1.800
Strømforbruk		31	62	125	250
Vedlikehold, maskinelt (0,025 · y)		875	1.250	2.500	3.425
Vedlikehold, bygg		900	1.050	1.200	1.500
Sum		10.435	13.482	20.965	28.408
13% investeringsavgift		1.356	1.753	2.725	3.693
Faste avvanningskostnader, Q (kr/år)		11.791	15.235	23.690	32.101

1) x er angitt inklusive 13% investeringsavgift, slik at den kan settes direkte inn i kostnadsuttrykkene.

Variable investeringskostnader

De variable investeringskostnader er bestemt under "Investeringskostnader". Også disse skal avskrives over 20 år med 7% rente (annuitet 9,44%), dvs.:

Årlige variable investeringskostnader:

$$x \cdot 0,081 \cdot \frac{t \cdot P}{v \cdot T_1} \cdot 0,0944 = \frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \left(\frac{0,21 \cdot x}{v \cdot T_1} \right)$$

Kjemikaliekostnader

Z_3 angir kjemikaliekostnader i kr/tonn TS.

$$\text{Årlige kjemikaliekostnader: } \frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \cdot \frac{Z_3}{100}$$

Variable vedlikeholdskostnader

De årlige variable vedlikeholdskostnader beregnes som 2,5% av de variable investeringskostnader, dvs.:

Årlige variable vedlikeholdskostnader:

$$x \cdot 0,081 \cdot \frac{t \cdot P}{v \cdot T_1} \cdot 0,025 = \frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \left(\frac{0,06 \cdot x}{v \cdot T_1} \right)$$

De totale årlige kostnader for avvanning med kammerfilterpresse ved mindre renseanlegg (< 5000 P) kan uttrykkes som summen av de faste og variable kostnader:

Årlige avvanningskostnader for kammerfilterpresse:

$$k_E = \frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \left(\frac{0,21 \cdot x}{v \cdot T_1} + \frac{0,06 \cdot x}{v \cdot T_1} + \frac{Z_3}{100} \right) + 521 Z_1 + Q.$$

4.3.4 Avvanningskostnader ved sentralt renseanlegg

Med sentralt renseanlegg menes det her et hvilket som helst anlegg som kan tenkes å ta imot slam fra et annet (lokalt) renseanlegg for avvanning. Det er altså ikke sagt noe om størrelsen på den sentrale renseanlegg, og en har derfor valgt å angi avvanningskostnadene (R) i kr. pr. m³ slam tilkjørt anlegget.

Årlige avvanningskostnader ved sentralt renseanlegg:

$$k_F = \frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \cdot \frac{R}{T_2}$$

4.4 Sammenstilling av kostnadsfunksjoner

De kostnadsfunksjoner som er utledet for transport og avvanning av slam, kan nå settes inn i de generelle uttrykk for kostnadsbalanse ved tilfelle 1 og tilfelle 2 (se pkt. 2).

Tilfelle 1

Avvanning ved lokalt renseanlegg er kostnadmessig likeverdig med transport av uavvannet slam dersom:

$$\frac{k_E}{k_A - k_B} = 1$$

$$L_A \leq 21 \text{ km.}$$

Sentrifuger og silbåndpresse

$$\frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \left(\frac{0,07 \cdot Z_1}{S \cdot T_2} + \frac{Z_2}{S \cdot T_2} + \frac{Z_3}{100} + \frac{Z_4}{T_2} \right) + 391 \cdot Z_1 + Q$$

$$\frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \left(\frac{N}{T_2} - \frac{M + f \cdot L_B}{T_1} \right) = 1$$

Kammerfilterpresse

$$\frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \left(\frac{0,27 \cdot x}{v \cdot T_1} + \frac{Z_3}{100} \right) + 521 \cdot Z_1 + Q = 1$$

$$\frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \left(\frac{N}{T_2} - \frac{M + f \cdot L_B}{T_1} \right)$$

$$\underline{L_A > 21 \text{ km}}$$

Tilsvarende uttrykk som ovenfor, men nevneren ($k_A - k_B$) skiftes ut med:

$$\frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \left(\frac{M + f \cdot L_A}{T_2} - \frac{M + f \cdot L_B}{T_1} \right)$$

Tilfelle 2

Avvanning ved lokalt renseanlegg er kostnadmessig likeverdig med avvanning ved sentralt renseanlegg dersom:

$$\frac{k_E}{k_C - (k_B - k_D) + k_F} = 1$$

$$\underline{L_C \leq 21 \text{ km.}}$$

Sentrifuger og silbåndpresse

$$\frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \left(\frac{0,07 \cdot Z_1}{S \cdot T_2} + \frac{Z_2}{S \cdot T_2} + \frac{Z_3}{100} + \frac{Z_4}{T_2} \right) + 391 \cdot Z_1 + Q = 1$$

$$\frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \left(\frac{N}{T_2} - \frac{f \cdot (L_B - L_D)}{T_1} + \frac{R}{T_2} \right)$$

Kammerfilterpresse

$$\frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \left(\frac{0,27 \cdot x}{v \cdot T_1} + \frac{Z_3}{100} \right) + 521 \cdot Z_1 + Q$$

$$= 1$$

$$\frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \left(\frac{N}{T_2} - \frac{f \cdot (L_B - L_D)}{T_1} + \frac{R}{T_2} \right)$$

$$\underline{L_C > 21 \text{ km}}$$

Tilsvarende uttrykk som ovenfor, men nevneren $(k_C - (k_B - k_D) + k_F)$ erstattes med:

$$\frac{365 \cdot t \cdot P}{10000} \left(\frac{M + f \cdot L_C}{T_2} - \frac{f \cdot (L_B - L_D)}{T_1} + \frac{R}{T_2} \right)$$

5. KOSTNADSKURVER

5.1 Generelt

Basert på de relativt generelle kostnadsfunksjoner som er utledet under pkt. 4.3, skulle det nå være mulig å beregne årlige avvannings- og transportkostnader i konkrete tilfeller. Det forutsettes bare at brukeren skaffer tilveie aktuelle data for de variable parametre som inngår i kostnadsuttrykkene.

Ved en økonomisk vurdering av lokal avvanning i forhold til ingen avvanning (tilfelle 1), eventuelt sentral avvanning (tilfelle 2), vil en kunne bruke de uttrykk for kostnadsbalanse som er angitt under pkt. 4.4.

For å illustrere bruken av kostnadsfunksjonene samt uttrykkene for kostnadsbalanse, vil en i det etterfølgende gi eksempler for en del typer renseanlegg, basert på de gitte opplysninger fra maskin- og transportfirmaene. Det har i tillegg vært nødvendig å gjøre bruk av endel egne data. Disse er nærmere angitt i pkt. 5.2.

De kostnadskurver og lønnsomhetsgrenser som her gis som eksempler, må ikke ses på som almenyldige. I pkt. 6 vil det imidlertid bli vist hvordan man kan vurdere den relative innvirkning de ulike parametre i kostnadsuttrykkene har på resultatene (sensitivitetsanalyse). På den måten kan man selv se på betydningen av å endre på de valgte parameterstørrelser i aktuelle tilfeller.

5.2 Valg av parametrenes størrelse

Slammengder

Tabell 3 angir de valgte verdier for slamproduksjonen ved ulike typer renseanlegg samt tørrstoffinnholdet i slammet i uavvannet (fortykket) og avvannet form.

Tabell 3. Spesifikk slamproduksjon og tørrstoffinnhold i slam

Anleggstype	Spesifikk slamprod., t (g TS/p.d)	Tørrstoffinnh. i uavvannet (fortykket) slam, T ₂ (%)	Tørrstoffinnh. i avvannet slam, T ₁ (%) *
Mekanisk	60	5	20
Mekanisk -kjemisk (Al, Fe)	120	3	20
" " (Ca)	230	7	20
Biologisk (lavt belastet)	40	2.5	20
" (normalt belastet)	80	2.5	20
Simultanfelling (lavt belastet)	65	2.5	20
Etterfelling (Al, Fe)	130	2.5	20
" (Ca)	255	4	20

* For kammerfilterpresse er det ved kapasitetsberegninger antatt 40% TS i slamkaken. Ved beregning av transportvolumer er det imidlertid forutsatt 20% TS i avvannet slam, uansett type avvanningsutstyr, da pakningsgrad o.l. kommer inn som usikre faktorer.

Transport

Verdiene for de variable transportparametre er tatt ut av fig. 2 (side 14). De valgte kostnadskurver gir:

Faste transportkostnader for uavvannet slam for L_A og $L_C \leq 21$ km:
 $N = 30 \text{ kr/m}^3$

Faste transportkostnader for avvannet slam samt for uavvannet slam for L_A og $L_C > 21$ km: $M = 9 \text{ kr/m}^3$

Variable transportkostnader for avvannet slam samt for uavvannet slam for L_A og $L_C > 21$ km: $f = 1 \text{ kr/m}^3 \cdot \text{km}$

Avvanning

Tabell 4 angir de valgte verdier for parametre som har tilknytning til avvanningskostnadene.

Tabell 4. Data for avvanningsparametre

Parameter	Symbol	Enhet	Avvanning med		
			Sentrifuger	Silbåndpresse	Kammerfilterpresse
Timelønn	Z ₁	kr/time	40,-	40,-	40,-
Variable vedlikeholdskostn. for sentrifuge og silbåndpresse	Z ₂	kr/driftstunde	4,50	2,25	-
Kjemikaliekostn. x	Z ₃	kr/tonn TS	75,-	75,-	120,-
Strømkostn. xx	Z ₄	kr/m ³ slam	0,18	0,18	-
Avvanningskostn. ved sentralt renseanlegg	R	kr/m ³	11,30	11,30	11,30
Faste kostn. (ekskl. lønn)	Q	kr/år	se tab 1, s 17	se tab 1, s 17	se tab 2, s 22
Avvanningskapasitet for sentrifuge og silbåndpresse	S	m ³ /h	"	"	-
Volum pr. kammer i kammerfilterpresse	v	l/kammer	-	-	se tab 2, s 22
Variable investeringskostn. for kammerfilterpresse	x	kr/kammer	-	-	"

x Kjemikaliekostnadene er for sentrifuger og silbåndpresse beregnet på grunnlag av 2,5 kg polymer/tonn TS og polymerpris kr 30,- pr. kg. For kammerfilterpresse kan man ifølge leverandøren regne 400 kg kalk + 120 kg jernsulfat pr. tonn TS. Antatt pris på kalk og jernsulfat er h.h.v. kr 240,- og kr 200,- pr. tonn.

xx Strømkostnadene er beregnet på grunnlag av 4 kWh pr. m³ uavvannet slam og kr 0,04 + 13% inv.avg. pr. kWh.

5.3 Kostnadskurver for mekanisk slamavvanning

De funksjoner for årlige avvanningskostnader som er utledet under pkt. 4.3.2 (s. 16) og pkt. 4.3.3 (s. 19), er framstilt i figurene 4-11 for ulike typer renseanlegg. Kurvene er basert på tilbudene fra leverandørfirmaer og de parameterstørrelser som er antatt under pkt. 5.2.

Sentrifuge I, II og III betegner forskjellige sentrifugefabrikater. Silbåndpresse og kammerfilterpresse er representert ved ett fabrikat hver.

For alle typer avvanningsutstyr er det overgangen fra en maskinstørrelse til en annen som forårsaker de "sprang" og knekkpunkter som figurene viser. Den nødvendige avvanningskapasitet er bestemt ut fra følgende uttrykk:

$$\begin{array}{l} \text{Sentrifuge} \\ \text{Silbåndpresse} \end{array} \quad : \quad \frac{1}{6} \cdot \frac{7}{5} \cdot \frac{t \cdot P}{10000 \cdot T_2} \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

$$\text{Kammerfilterpresse} \quad : \quad 0,081 \cdot \frac{t \cdot P}{T_1} \quad (1)$$

Det er da som tidligere nevnt (pkt. 4.2) forutsatt maksimal driftstid pr. dag lik 6 timer for sentrifuger, 6 timer for silbåndpresse og 2 press-sykluser for kammerfilterpresse. Det er videre regnet med at man utnytter fullt ut den maksimale kapasitet for hver maskinstørrelse slik den angis av leverandørene (se tabell 1 og 2). For kammerfilterpressen med maskinstørrelse 630 mm er det dog regnet med et maksimalt volum på 540 l (i stedet for 576 l), da det på årskostnadsbasis viste seg lønnsomt å skifte maskinstørrelse der.

Ved sammenlikning av kostnadene for de forskjellige typer avvanningsutstyr, må det presiseres at kurvene er basert på opplysninger innhentet fra leverandørfirmaene i november-desember 1974. Markedsføring av nye avvanningsenheter med f.eks. lavere kapasitet enn det som inngikk i tilbudene, vil kunne forandre kostnadsbildet betraktelig for de renseanleggs-størrelser det her dreier seg om.

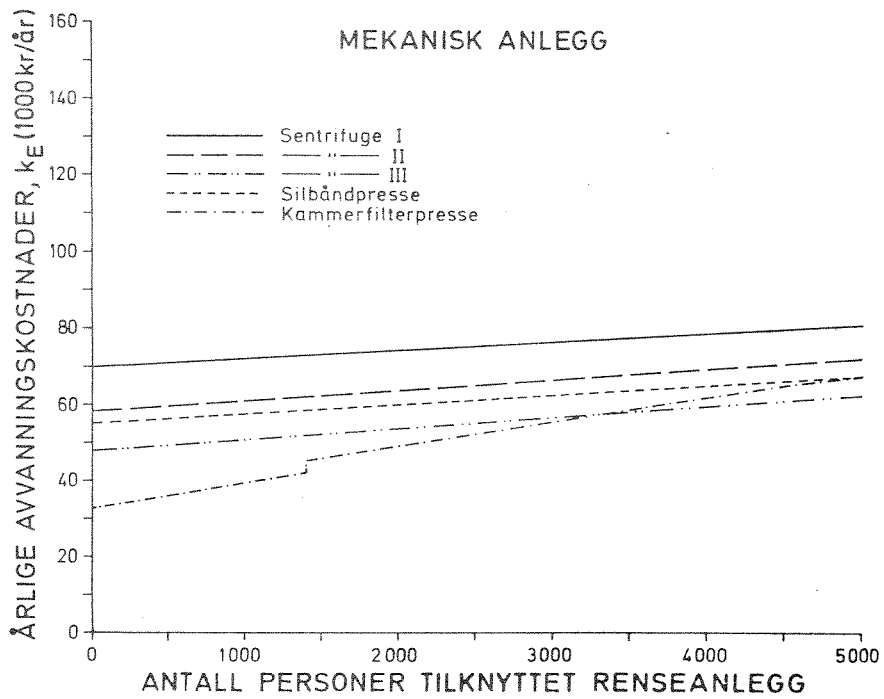


Fig. 4. Avvanningskostnader, mekanisk anlegg.

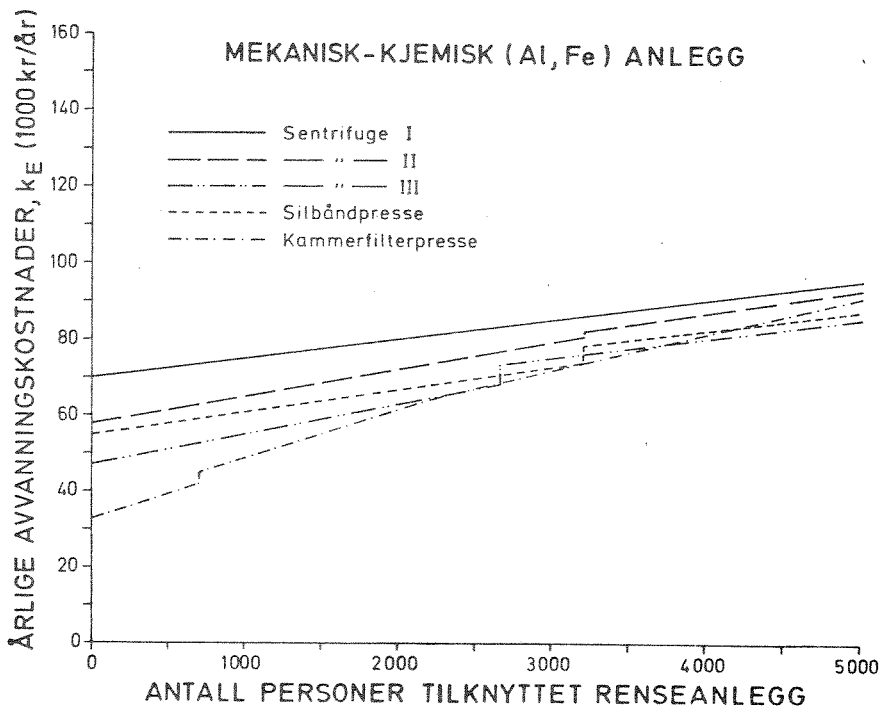


Fig. 5. Avvanningskostnader, mekanisk-kjemisk (Al, Fe) anlegg.

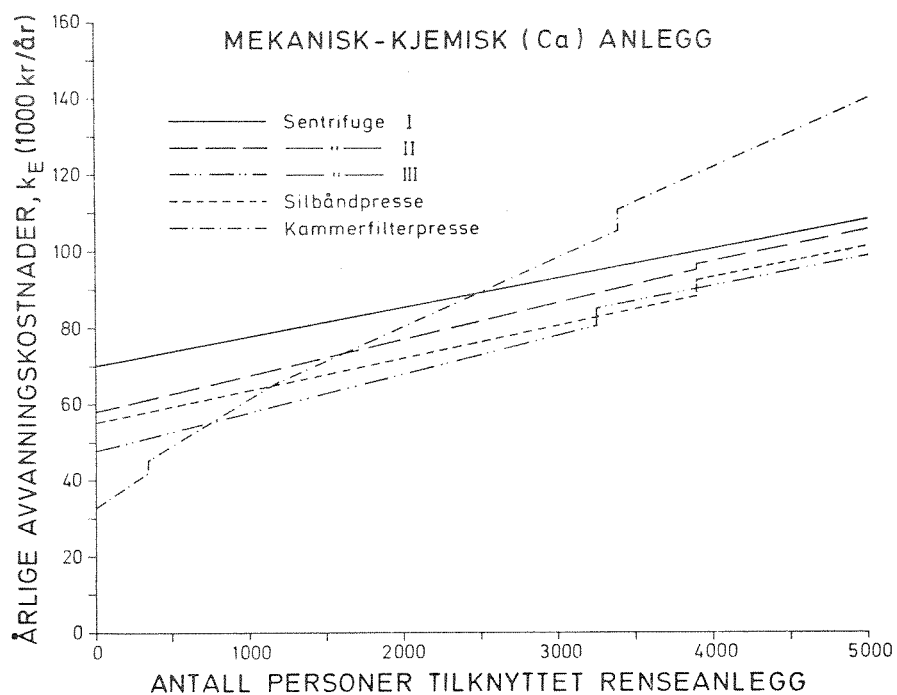


Fig. 6. Avvanningskostnader, mekanisk-kjemisk (Ca) anlegg.

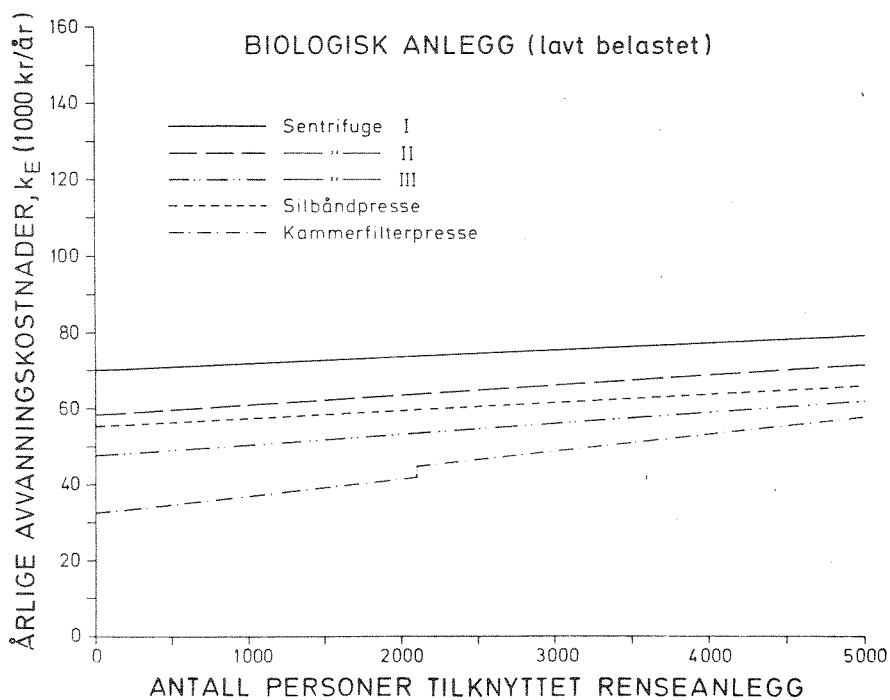


Fig. 7. Avvanningskostnader, biologisk anlegg (lavt belastet).

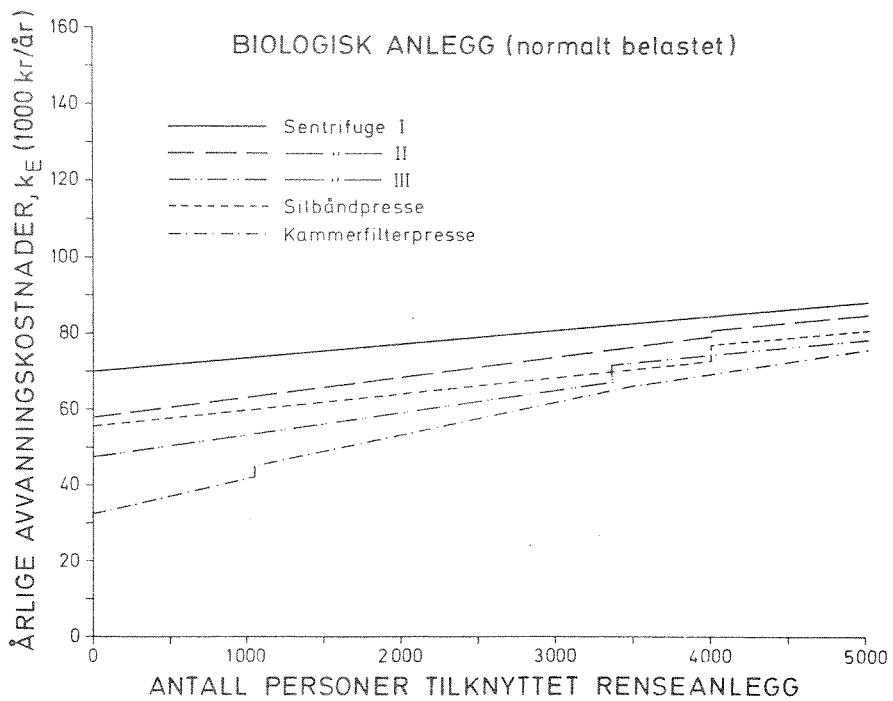


Fig. 8. Avvanningskostnader, biologisk anlegg (normalt belastet).

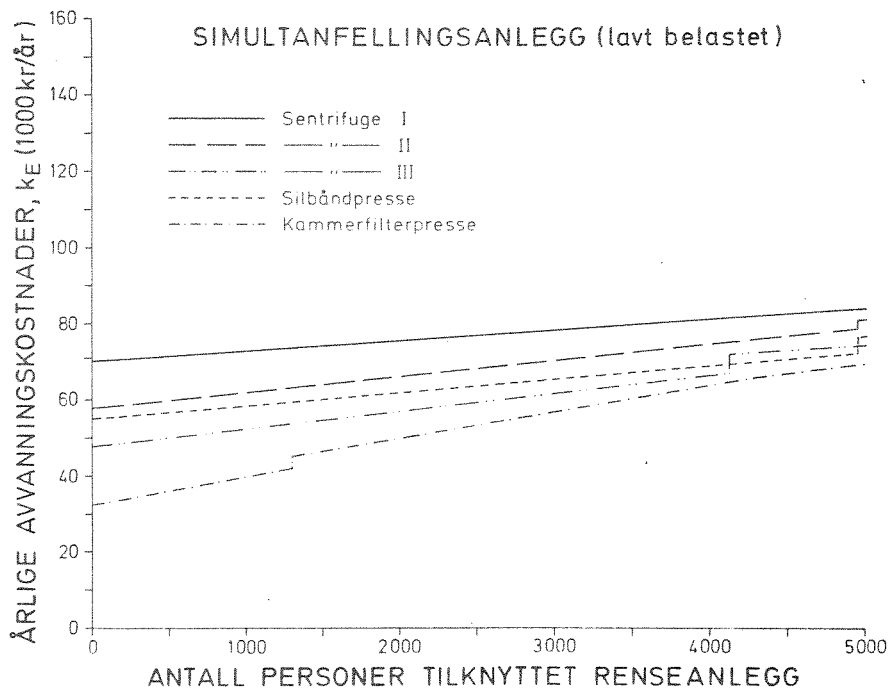


Fig. 9. Avvanningskostnader, simultanfellingsanlegg (lavt belastet).

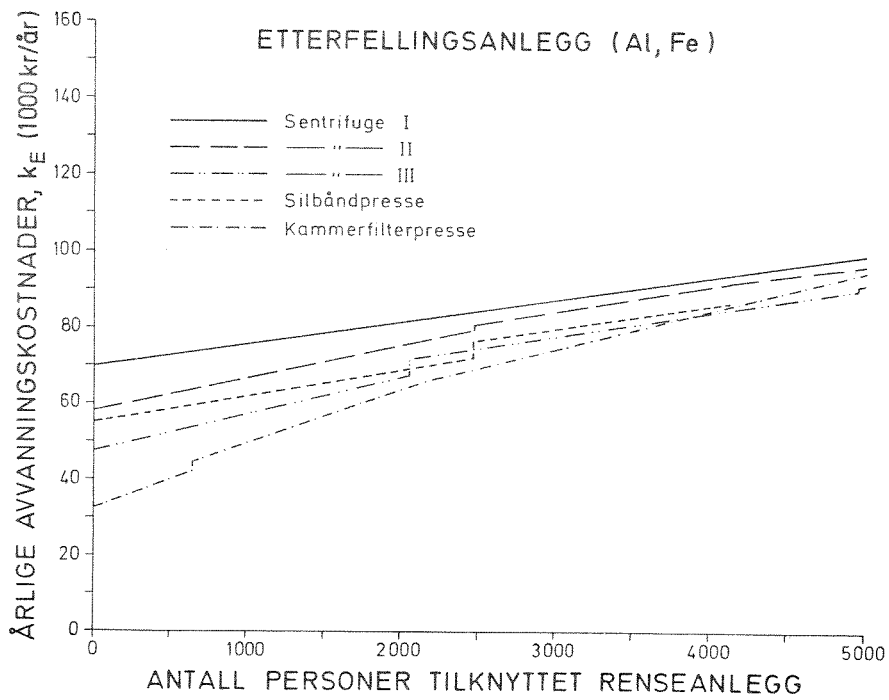


Fig. 10. Avvanningskostnader, etterfellingsanlegg (Al,Fe).

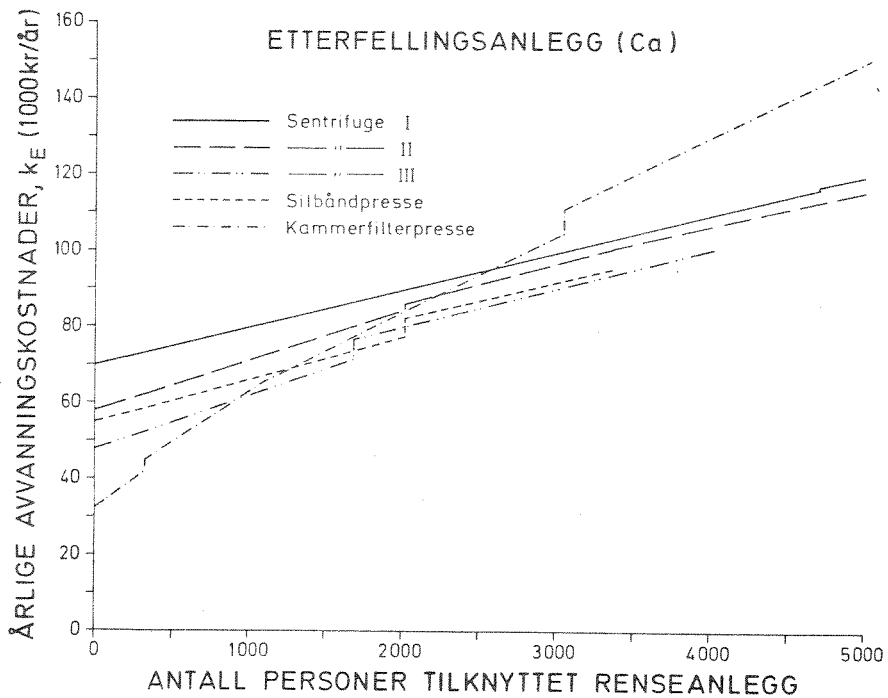


Fig. 11. Avvanningskostnader, etterfellingsanlegg (Ca).

5.4 Kostnadskurver for transport av slam

Ved hjelp av den sammenstilling av kostnadsfunksjoner som er gjort under pkt. 4.4, er det i fig. 12-19 utarbeidet kurver for hvor store årskostnader pr. person som kan brukes til avvanning ved lokalt renseanlegg, avhengig av transportavstandene. Man kan altså bestemme grensene for at lokal avvanning skal være mer økonomisk enn borttransport av uavvannet slam (tilfelle 1), eventuelt avvanning ved sentralt renseanlegg (tilfelle 2). Det er brukt de enhetspriser for transport som er angitt under pkt. 5.2. Nedenfor gis et eksempel på bruk av kurvene (se fig. 13).

Mekanisk-kjemisk (Al, Fe) anlegg

Tilfelle 1: (se side 36)

Forutsatt en transportavstand for avvannet slam, $L_B = 30$ km og en transportavstand for uavvannet slam, $L_A = 40$ km, vil man ut fra figurene finne at det kan brukes inntil 63 kr pr. person og år til avvanning ved lokalt renseanlegg. Dersom de årlige avvanningskostnader pr. person tilknyttet anlegget er større enn dette, vil det rent økonomisk være fordelaktig å transportere bort slammet i uavvannet form.

Tilfelle 2: (se side 36)

Dersom transportavstanden for avvannet slam er den samme for det lokale og sentrale renseanlegg ($L_B \div L_D = 0$ km) og transportavstanden for uavvannet slam fra lokalt til sentralt renseanlegg (L_C) ≤ 21 km, finner man at det kan brukes inntil 60 kr pr. person og år for avvanning ved lokalt renseanlegg før dette alternativet blir uøkonomisk i forhold til sentral avvanning.

MEKANISK ANLEGG

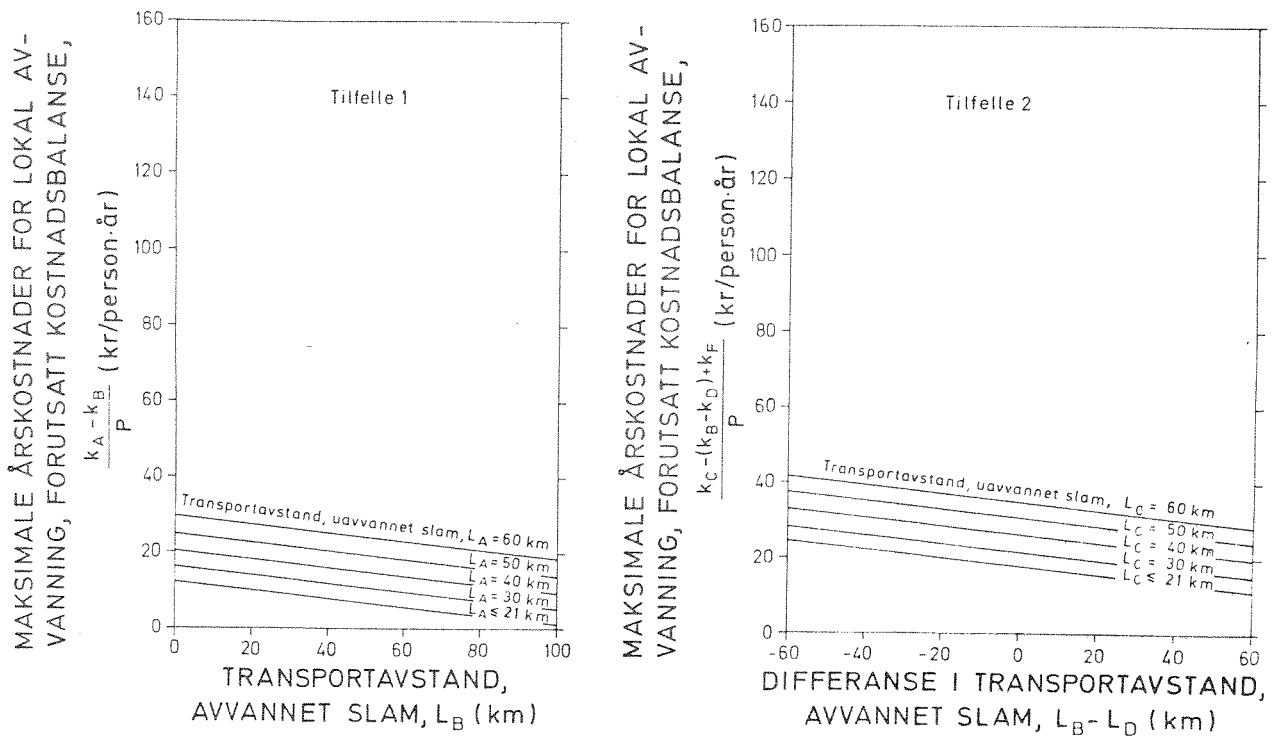


Fig. 12. Transportkostnader, mekanisk anlegg.

MEKANISK-KJEMISK (Al, Fe) ANLEGG

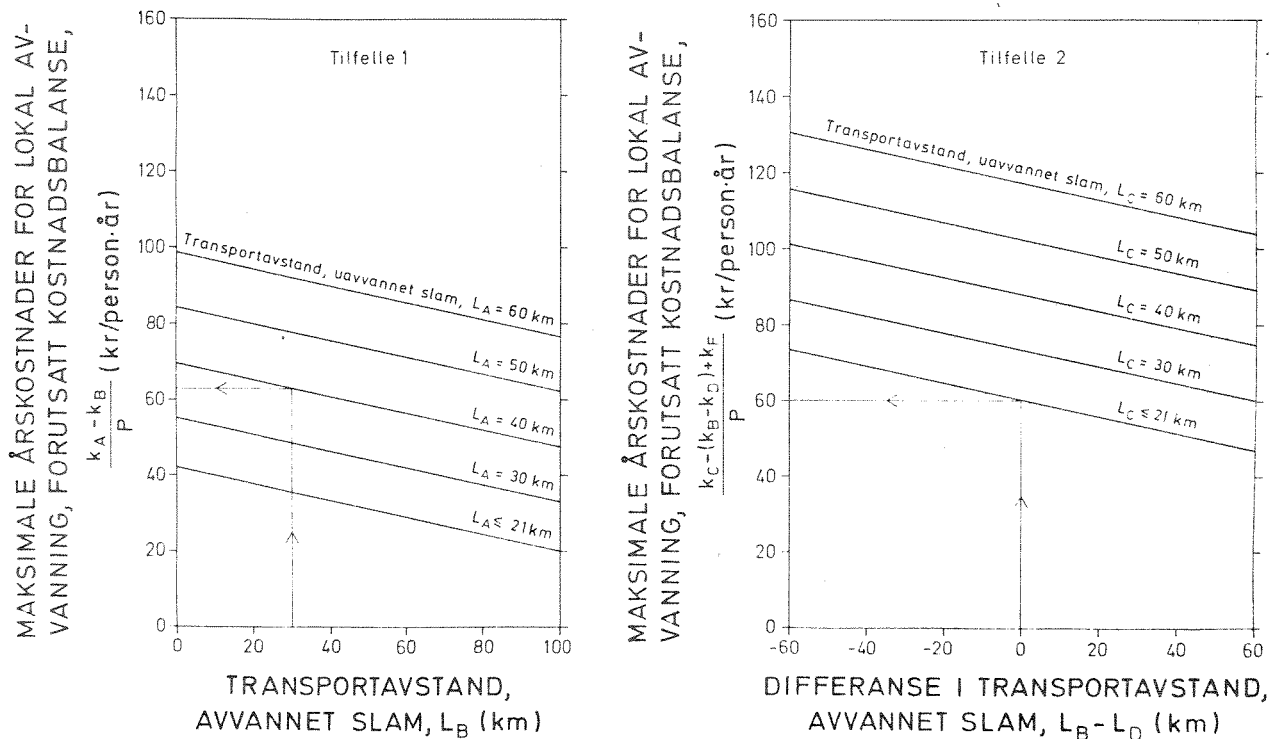


Fig. 13. Transportkostnader, mekanisk-kjemisk (Al, Fe) anlegg.

MEKANISK-KJEMISK (Ca) ANLEGG

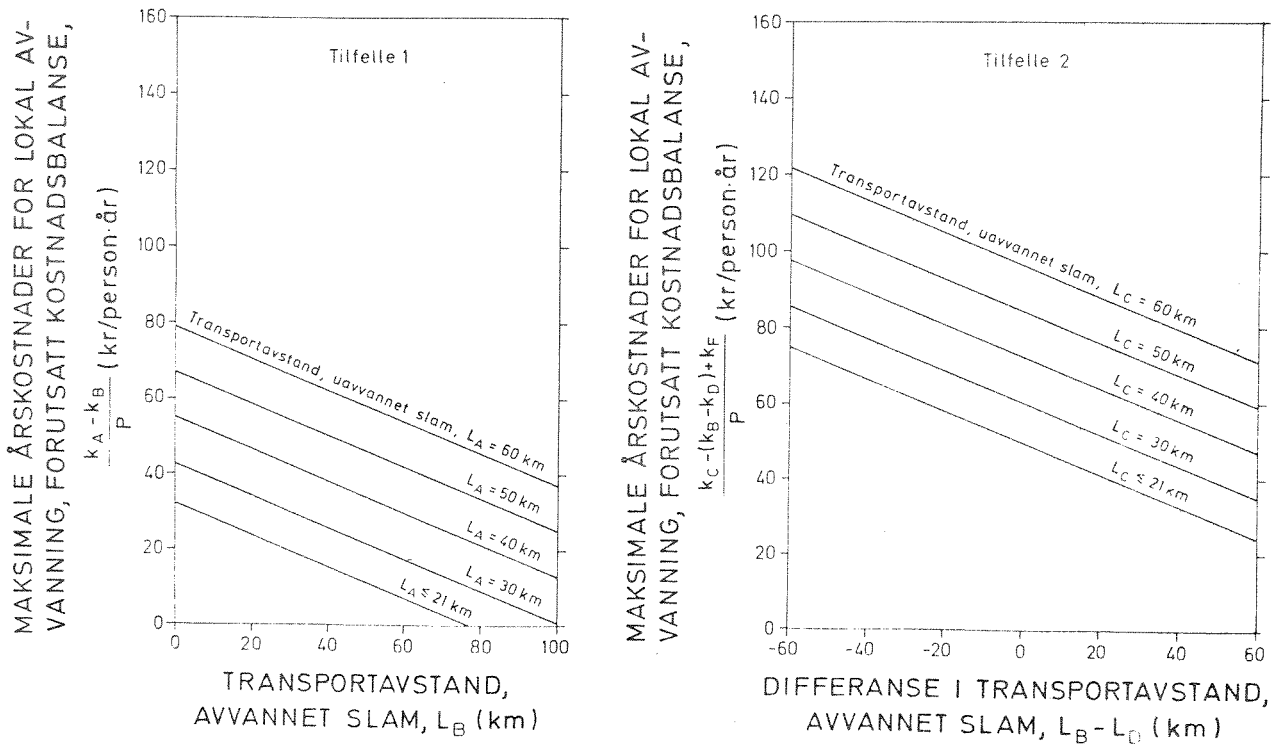


Fig. 14. Transportkostnader, mekanisk-kjemisk (Ca) anlegg.

BIOLOGISK ANLEGG (lavt belastet)

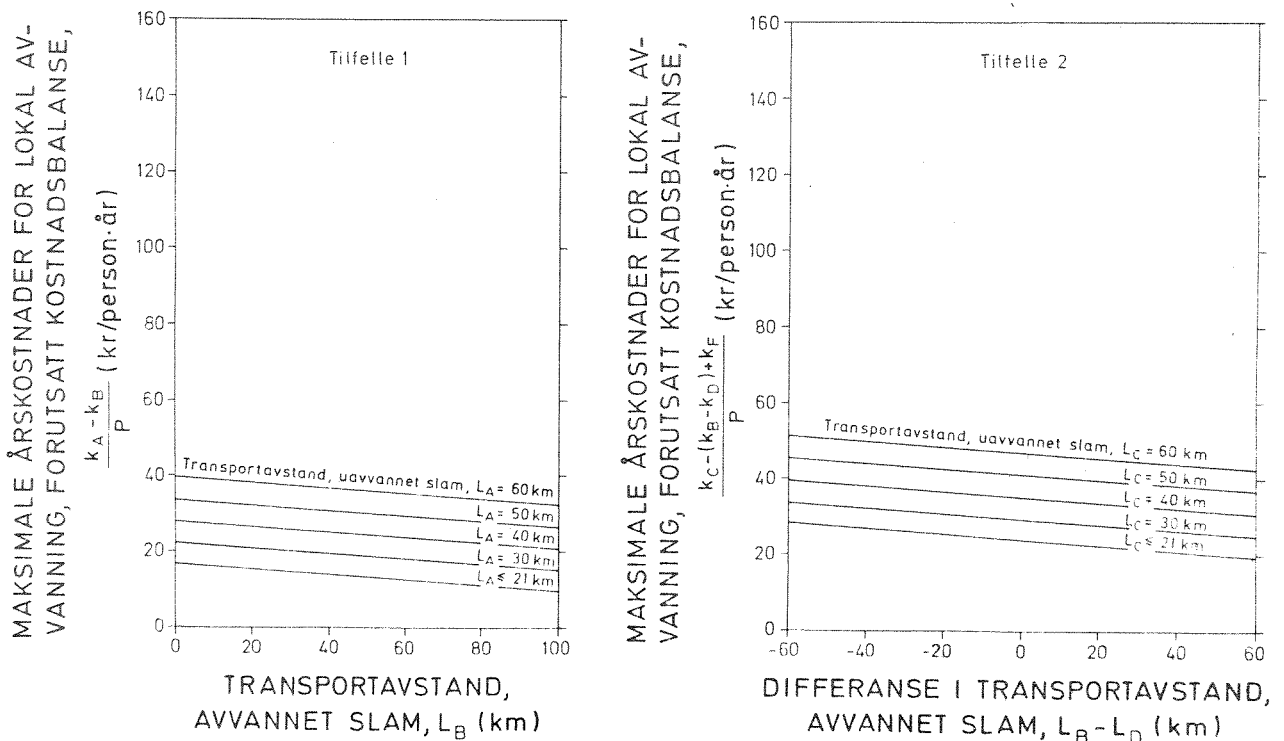


Fig. 15. Transportkostnader, biologisk anlegg (lavt belastet).

BIOLOGISK ANLEGG (normalt belastet)

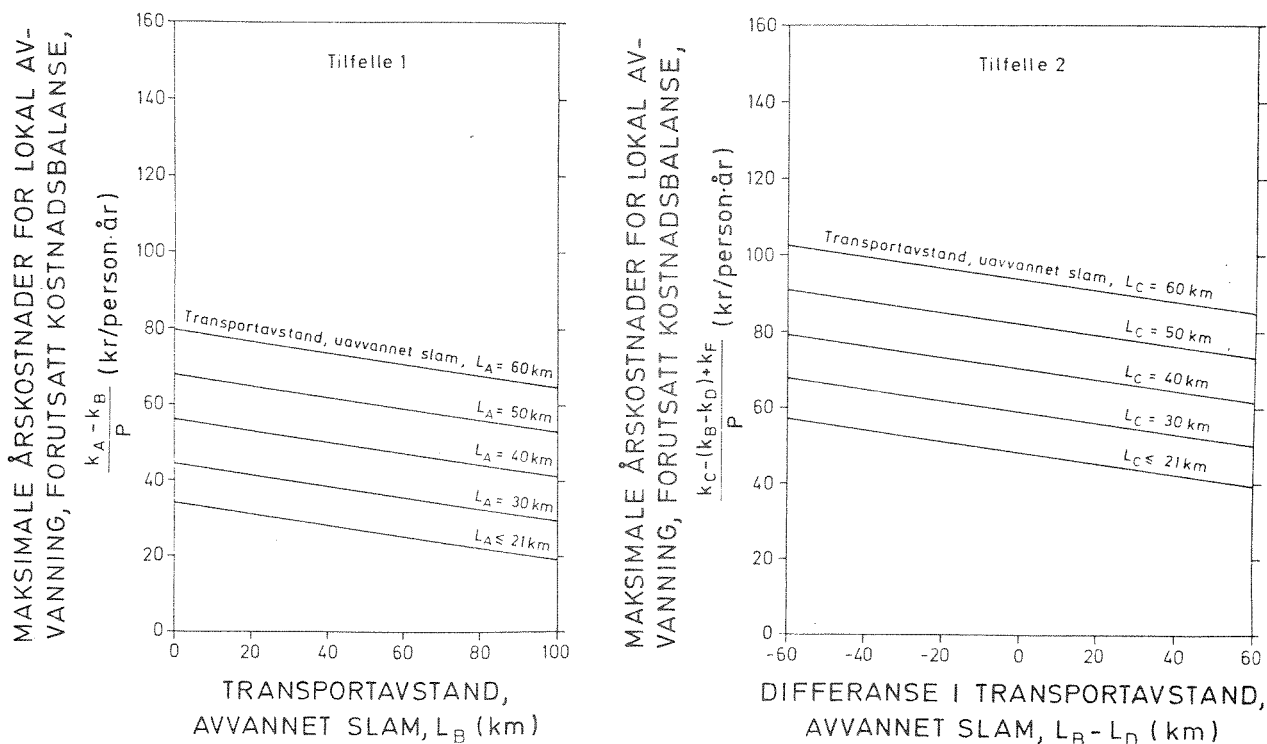


Fig. 16. Transportkostnader, biologisk anlegg (normalt belastet).

SIMULTANFELLINGSANLEGG (lavt belastet)

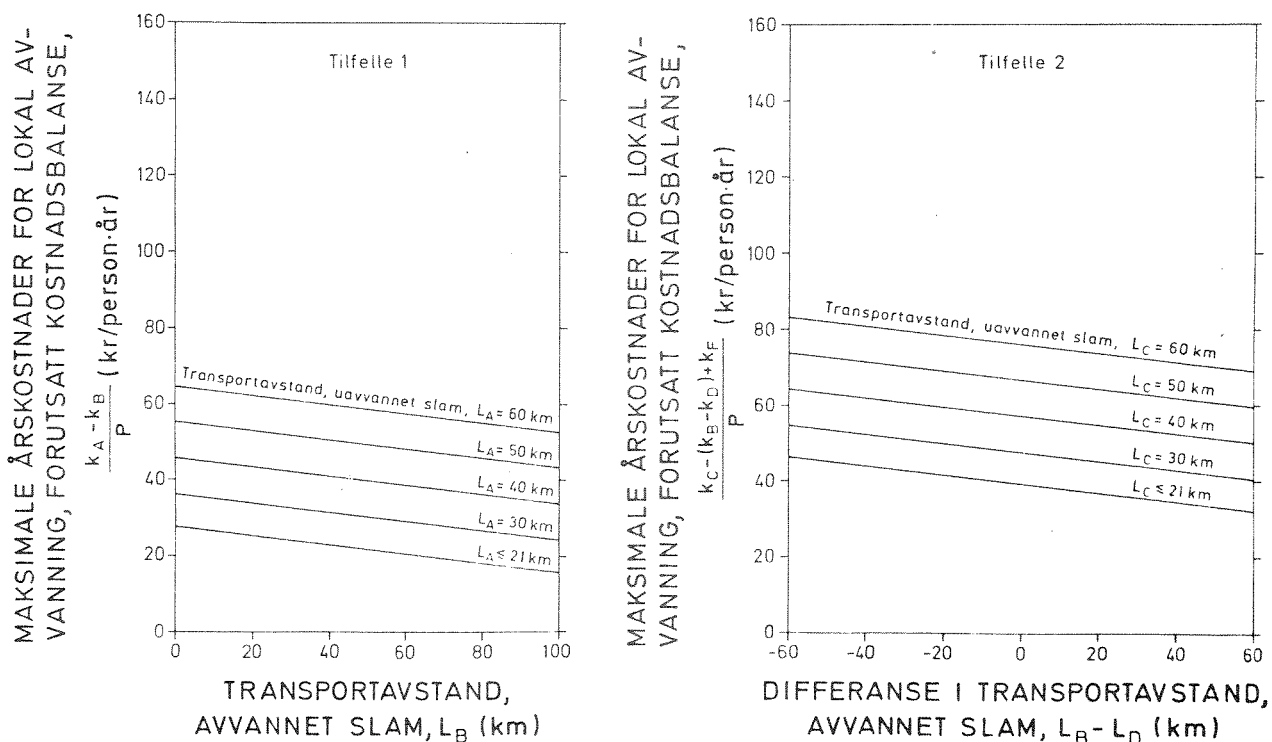


Fig. 17. Transportkostnader, simultanfellingsanlegg (lavt belastet).

ETTERFELLINGSANLEGG (Al,Fe)

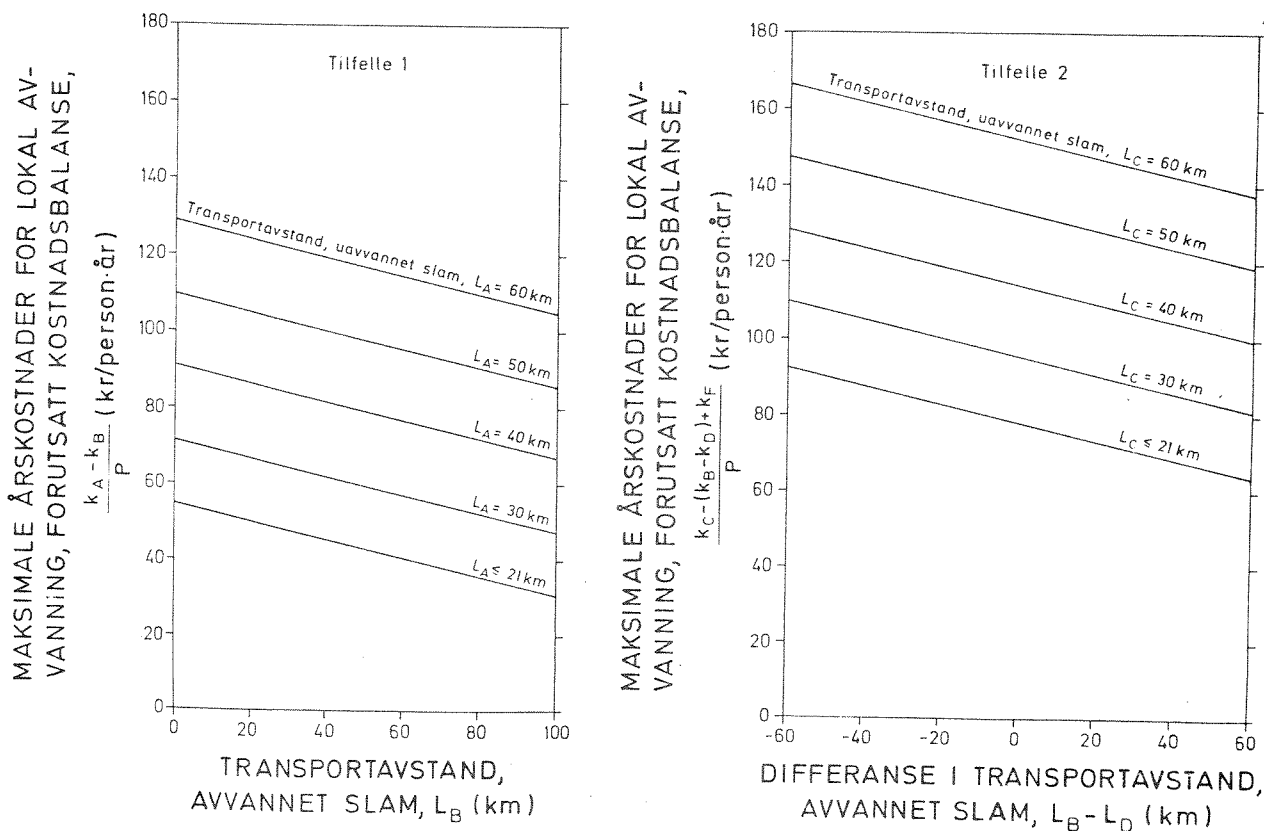


Fig. 18. Transportkostnader, etterfellingsanlegg (Al,Fe).

ETTERFELLINGSANLEGG (Ca)

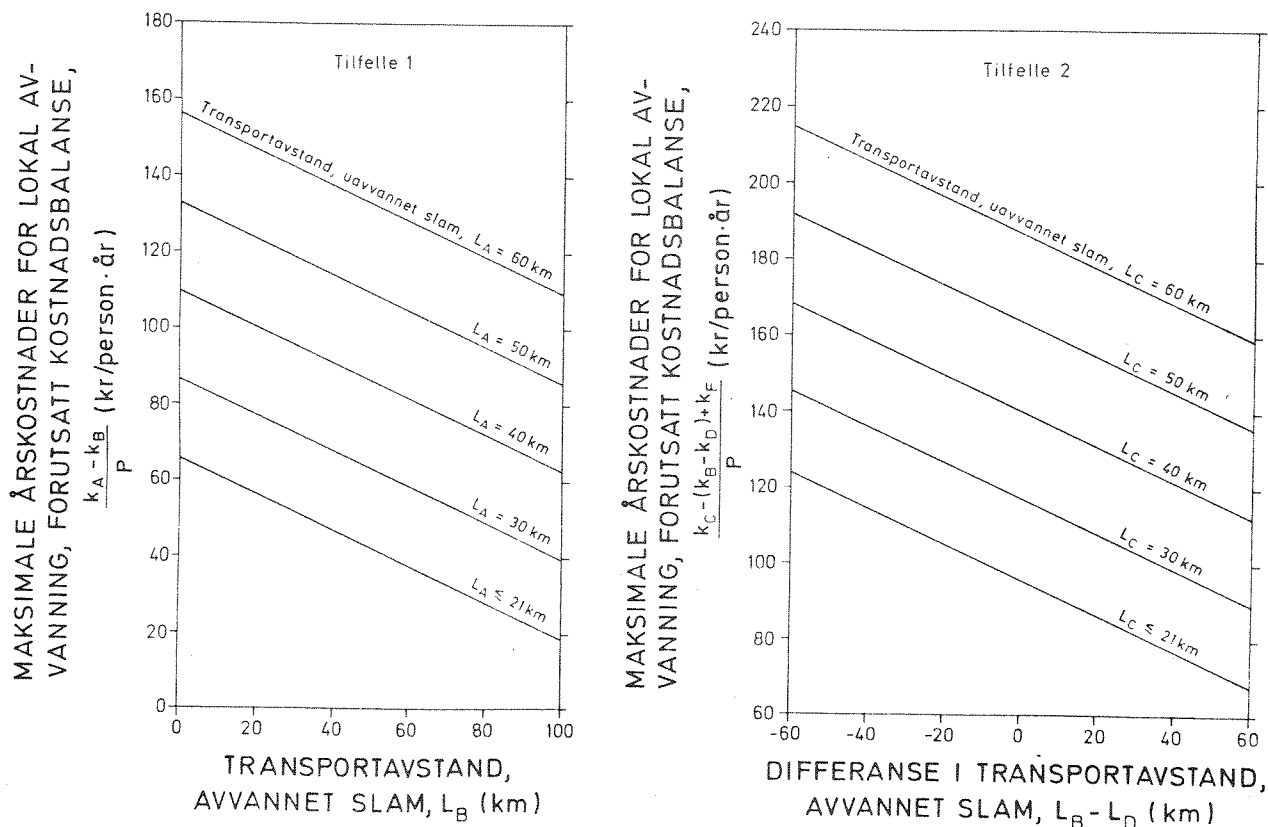


Fig. 19. Transportkostnader, etterfellingsanlegg (Ca).

5.5 Lønnsomhetsgrenser for mekanisk slamavvanning ved ulike typer renseanlegg

Basert på de fullstendige uttrykk for kostnadsbalanse som er angitt i pkt. 4.4, kan man trekke opp kurver som representerer lønnsomhetsgrensen for avvanning ved lokalt renseanlegg i tilfelle 1 og tilfelle 2.

I fig. 20-27 er ved hjelp av dataene fra pkt. 5.2 vist eksempler på slike kurver for de ulike typer renseanlegg og avvanningsutstyr. (For sentrifuger har man gått ut fra sentrifuge II.) Det vil være ett sett av disse kurvene for hver transportavstand for uavvannet slam (L_A, L_C), og det er her utarbeidet kurver for $L_A = L_C \leq 21$ km og $L_A = L_C = 40$ km.

Når man kjenner transportavstanden for avvannet slam, L_B (tilfelle 1), eventuelt differansen i transportavstand for avvannet slam, $L_B - L_D$ (tilfelle 2), samt antall personer tilknyttet renseanlegget, kan man gå inn på figurene med de aktuelle verdier og finne krysningspunktet for disse. Dersom dette punktet ligger til høyre for de aktuelle kurver, betyr det at avvanning ved lokalt renseanlegg vil være den billigste løsning med de gitte forutsetninger. Ligger krysningspunktet til venstre for kurvene som representerer tilfelle 1, tilsier dette at transport av uavvannet slam er mer økonomisk enn å avvanne slammet ved anlegget. Tilsvarende for tilfelle 2 betyr at avvanning ved sentralt renseanlegg er billigere enn lokal avvanning.

Som en ytterligere forklaring på bruken av lønnsomhetskurvene, skal det nedenfor gis et eksempel (se figur 21):

Mekanisk-kjemisk (Al, Fe) anlegg

Transportavstand, uavvannet slam: $L_A = L_C \leq 21$ km. Antall personer tilknyttet renseanlegget: 1500.

Tilfelle 1:

Forutsatt en transportavstand for avvannet slam, $L_B = 20$ km vil krysningspunktet mellom 1500 P og $L_B = 20$ km bli liggende på kurven for kammerfilterpresse, men til venstre for kurvene for silbåndpresse og sentrifuge II. Dette betyr da at med de gitte forutsetninger vil det være mest økonomisk å transportere vekk slammet i uavvannet form framfor å avvanne det ved renseanlegget

dersom man benytter silbåndpresse eller sentrifuge II. Ved bruk av kammerfilterpresse i dette tilfelle vil imidlertid avvanning være økonomisk likeverdig med transport av uavvannet slam.

Tilfelle 2:

Forutsatt en differanse i transportavstand for avvannet slam fra lokalt renseanlegg i forhold til sentralt anlegg på 10 km, vil krysningspunktet mellom 1500 P og $(L_B - L_D) = 10$ km ligge til høyre for alle de tre kurvene som representerer tilfelle 2. Dette tilsier da at avvanning ved lokalt renseanlegg er mer økonomisk enn sentral avvanning, uansett valg av avvanningsutstyr ved det lokale renseanlegg.

Fig. 20-27 viser at lønnsomhetsgrensen for avvanning ved lokalt renseanlegg varierer ganske mye fra en anleggstype til en annen. Med de forbehold som disse eksemplene bygger på, kan man grovt sammenfatte resultatene slik:

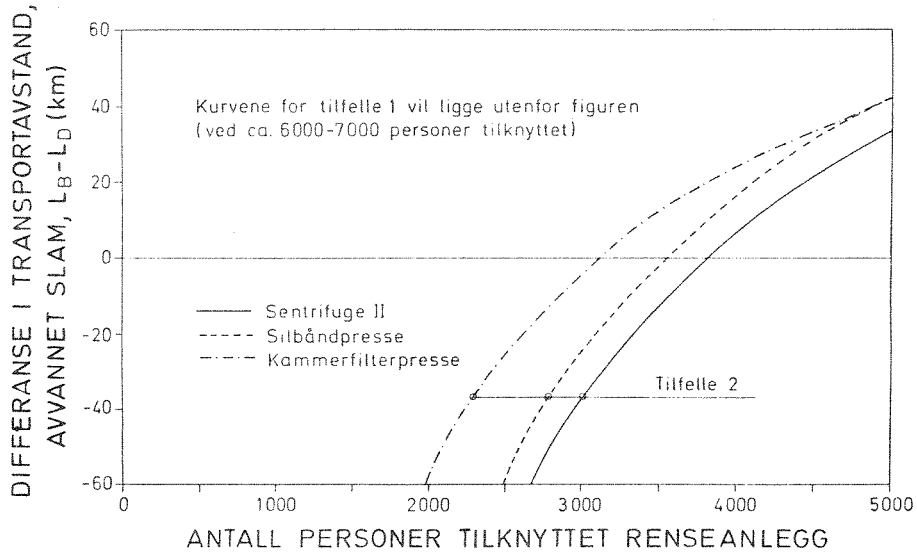
I tilfelle 1 vil lønnsomhetsgrensen variere fra ca. 1000 personer tilknyttet anlegget (etterfellingsanlegg) til ca. 7000 personer (mekanisk renseanlegg), når transportavstanden for uavvannet slam er mindre enn eller lik 21 km. Ved økende transportavstand for uavvannet slam vil lønnsomhetsgrensen for lokal avvanning forskyves mot mindre renseanlegg. Ved 40 km transportavstand for uavvannet slam vil den tilsvarende variasjon være fra ca. 500 til ca. 4000 personer tilknyttet renseanlegget.

I tilfelle 2 vil lønnsomhetsgrensen for lokal avvanning ligge ved et lavere antall personer tilknyttet renseanlegg enn i tilfelle 1. Ved mindre eller lik 21 km transportavstand for uavvannet slam vil således lokal avvanning være rimeligere enn sentral avvanning for anleggsstørrelser fra ca. 500 (etterfellingsanlegg) til ca. 5000 (mekanisk anlegg) personer tilknyttet. Øker transportavstanden for uavvannet slam til 40 km, vil det tilsvarende variasjonsområde være 250-3000 personer.

Transportavstandene for avvannet slam og type avvanningsutstyr vil for øvrig influere på grenseverdiene i større eller mindre grad, avhengig av type renseanlegg.

MEKANISK ANLEGG

TRANSPORTAVSTAND, UAVVANNET SLAM: $L_A = L_C \leq 21$ km



TRANSPORTAVSTAND, UAVVANNET SLAM: $L_A = L_C = 40$ km

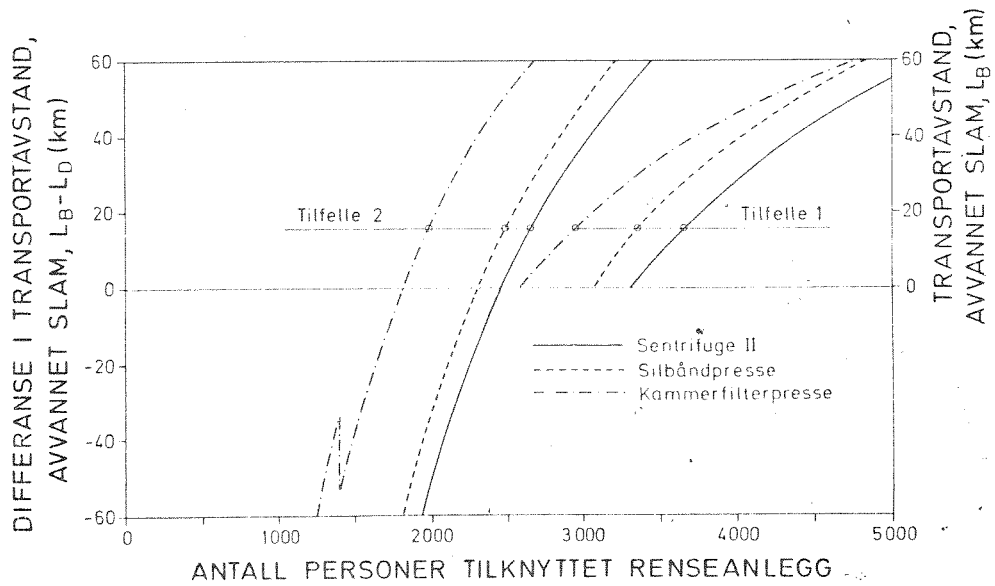
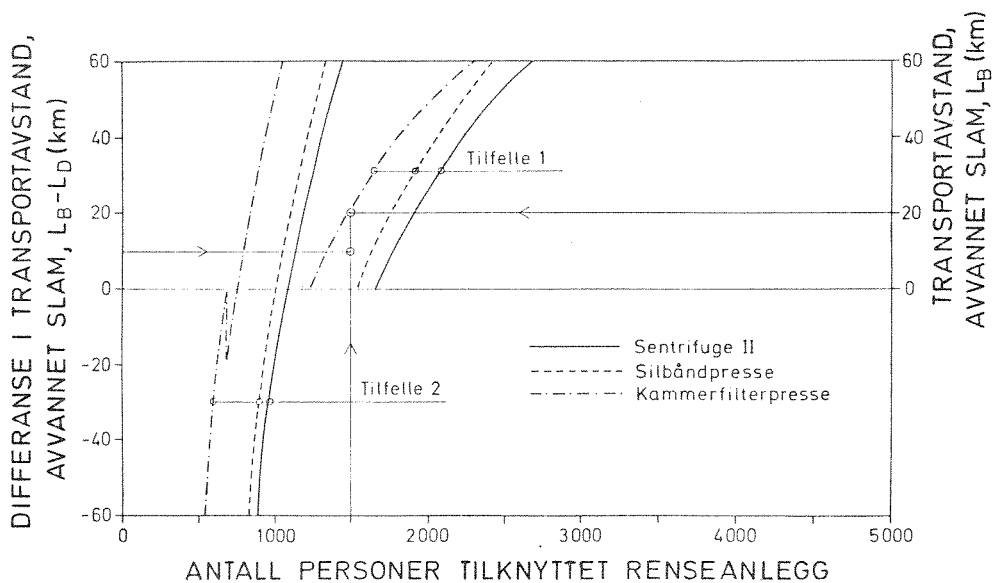


Fig. 20. Lønnsomhetsgrenser, mekanisk anlegg.

MEKANISK-KJEMISK (Al, Fe) ANLEGG

TRANSPORTAVSTAND, UAVVANNET SLAM: $L_A = L_C \leq 21$ km



TRANSPORTAVSTAND, UAVVANNET SLAM $L_A = L_C = 40$ km

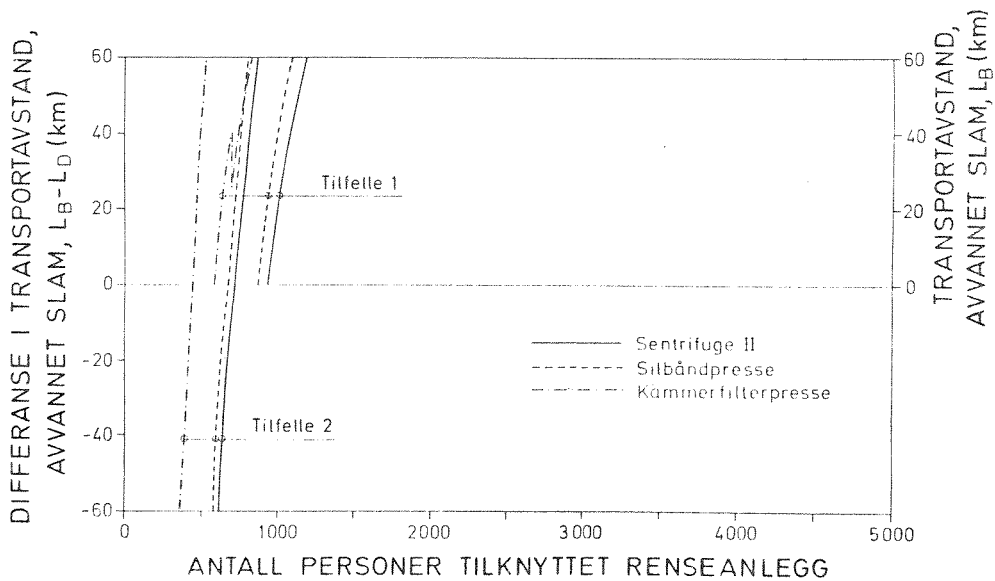
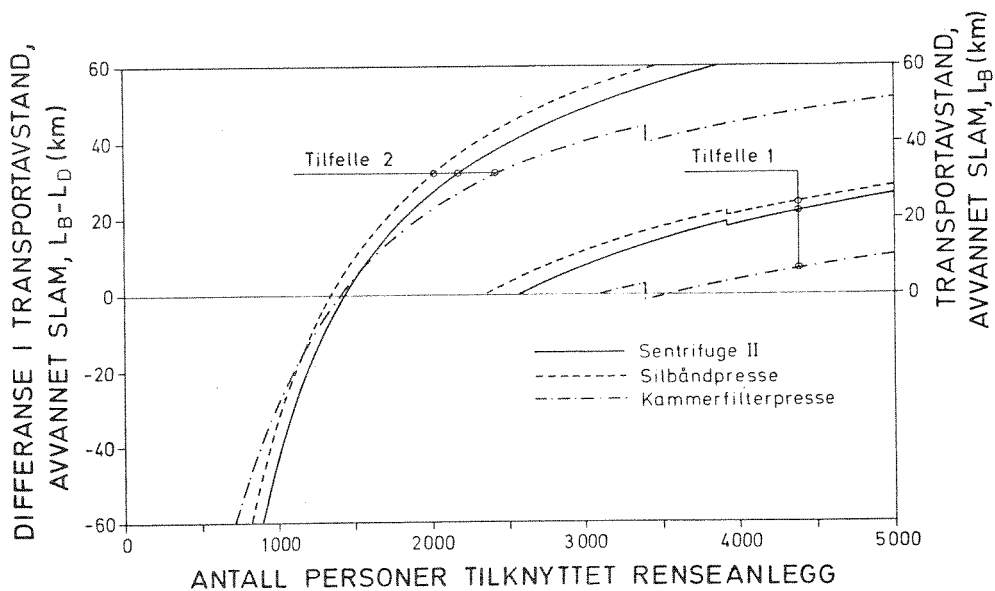


Fig. 21. Lønnsomhetsgrenser, mekanisk-kjemisk (Al, Fe) anlegg.

MEKANISK-KJEMISK (Ca) ANLEGG

TRANSPORTAVSTAND, UAVVANNET SLAM: $L_A = L_C \leq 21$ km



TRANSPORTAVSTAND, UAVVANNET SLAM: $L_A = L_C = 40$ km

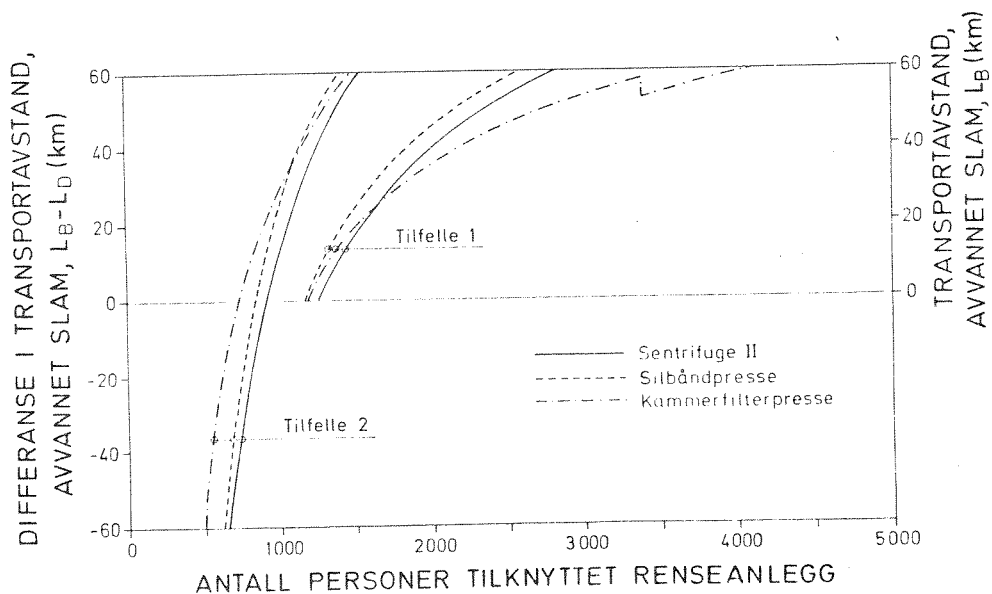
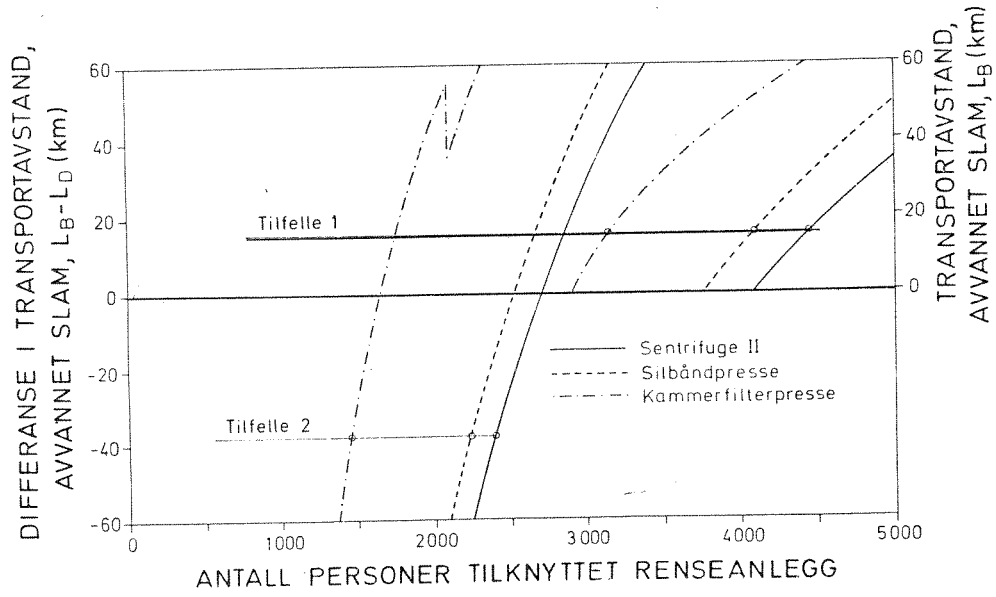


Fig. 22. Lønnsomhetsgrenser, mekanisk-kjemisk (Ca) anlegg.

BIOLOGISK ANLEGG (lavt belastet)

TRANSPORTAVSTAND, UAVVANNET SLAM: $L_A = L_C \leq 21$ km



TRANSPORTAVSTAND, UAVVANNET SLAM: $L_A = L_C = 40$ km

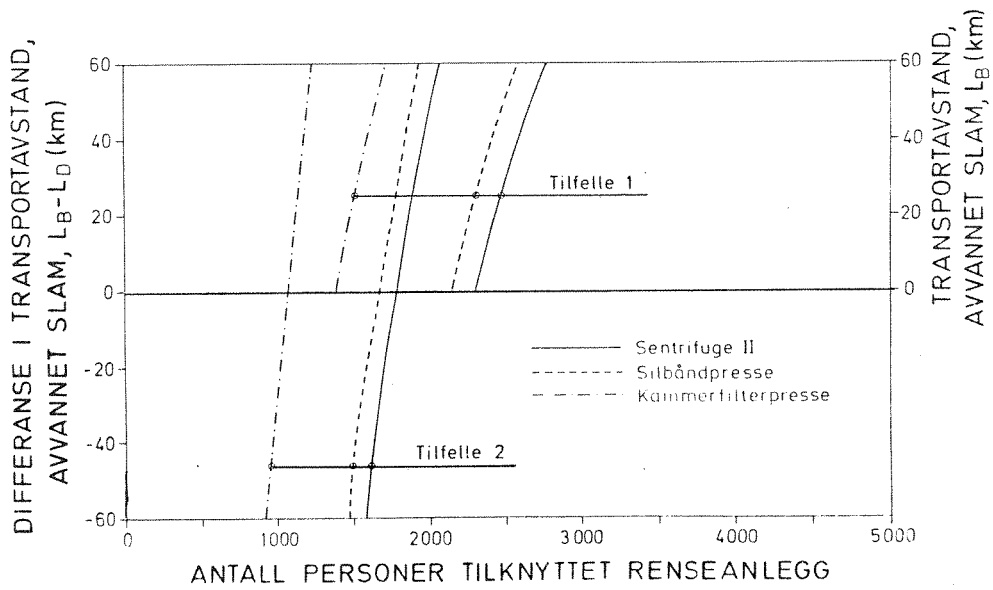
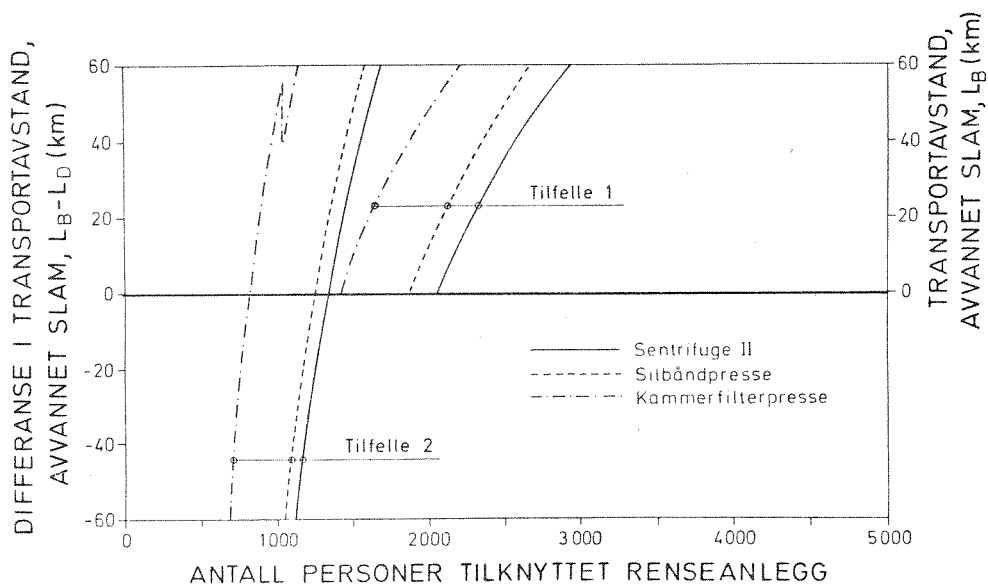


Fig. 23. Lønnsomhetsgrenser, biologisk anlegg (lavt belastet).

BIOLOGISK ANLEGG (normalt belastet)

TRANSPORTAVSTAND, UAVVANNET SLAM: $L_A = L_C \leq 21$ km



TRANSPORTAVSTAND, UAVVANNET SLAM: $L_A = L_C = 40$ km

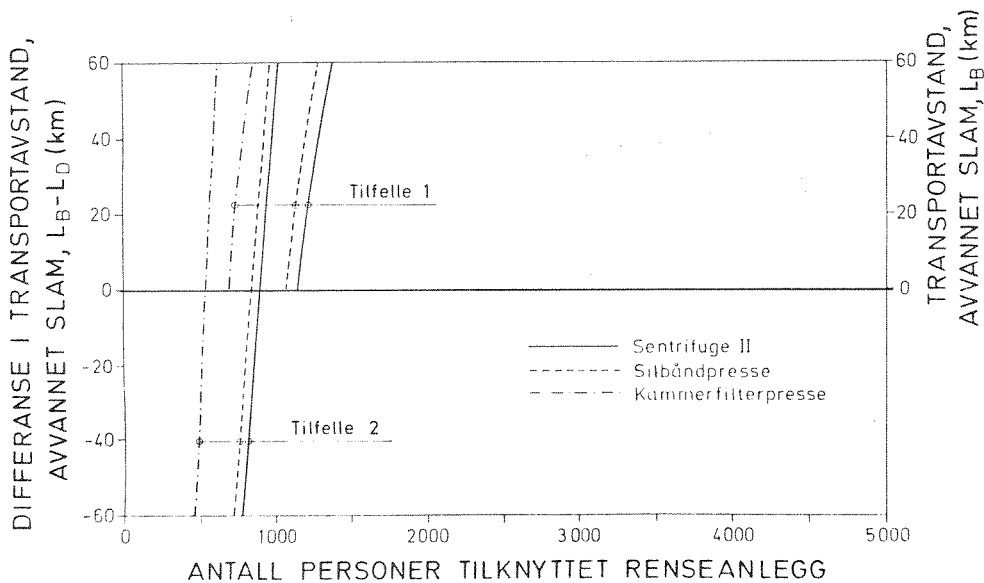
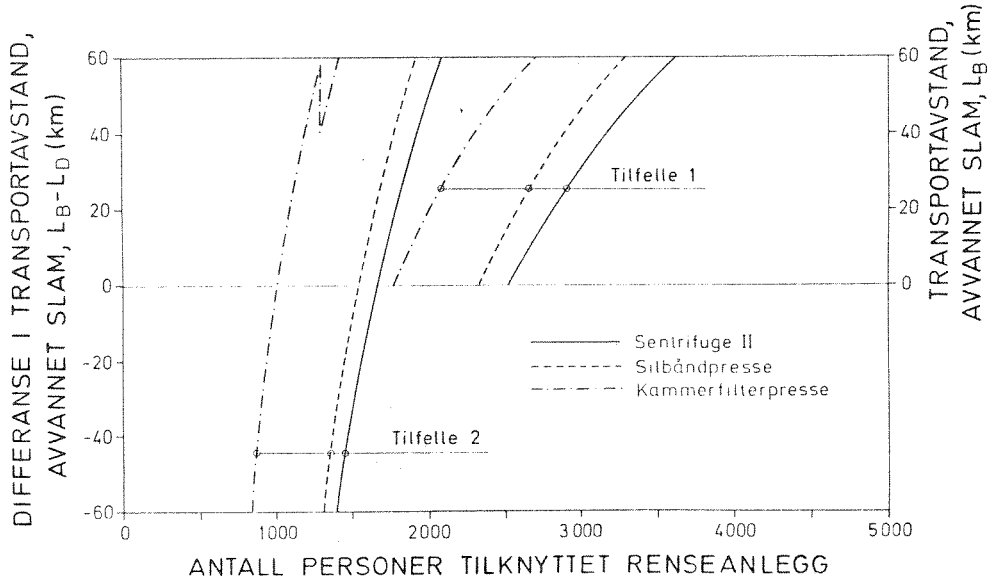


Fig. 24. Lønnsomhetsgrenser, biologisk anlegg (normalt belastet).

SIMULTANFELLINGSANLEGG (lavt belastet)

TRANSPORTAVSTAND, UAVVANNET SLAM: $L_A = L_C \leq 21$ km



TRANSPORTAVSTAND, UAVVANNET SLAM: $L_A = L_C = 40$ km

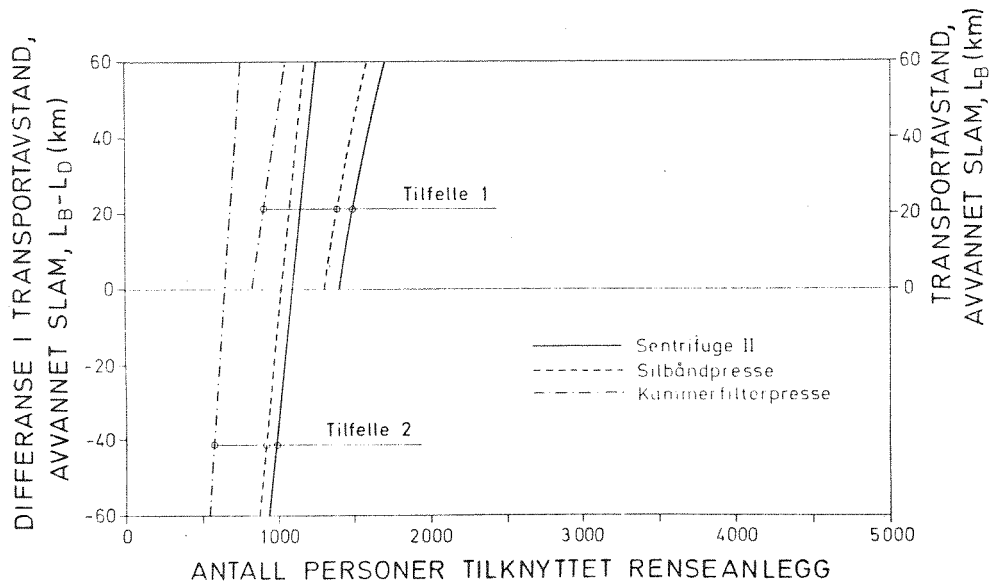
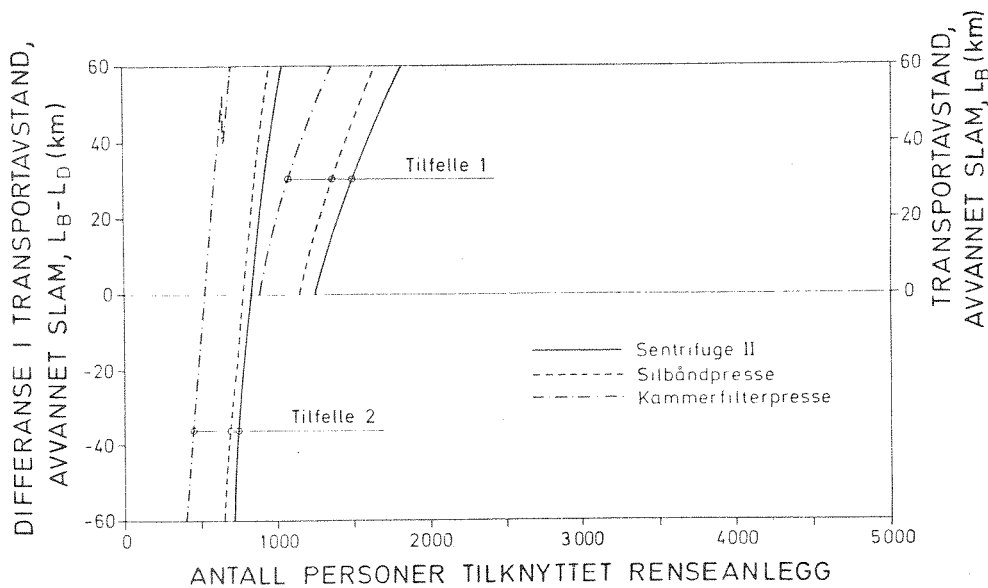


Fig. 25. Lønnsomhetsgrenser, simultanfellingsanlegg (lavt belastet).

ETTERFELLINGSANLEGG (Al,Fe)

TRANSPORTAVSTAND, UAVVANNET SLAM: $L_A = L_C \leq 21$ km



TRANSPORTAVSTAND, UAVVANNET SLAM: $L_A = L_C = 40$ km

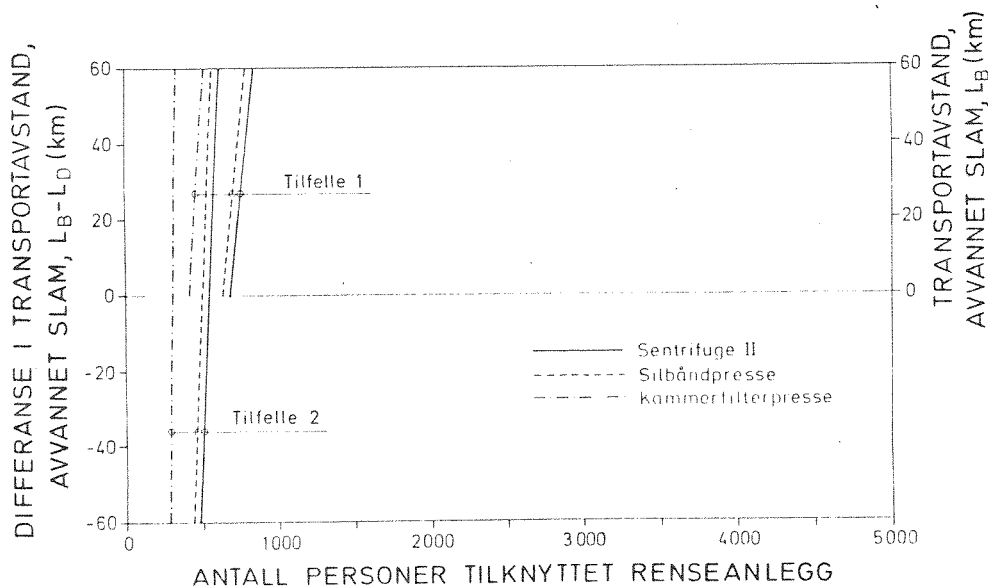
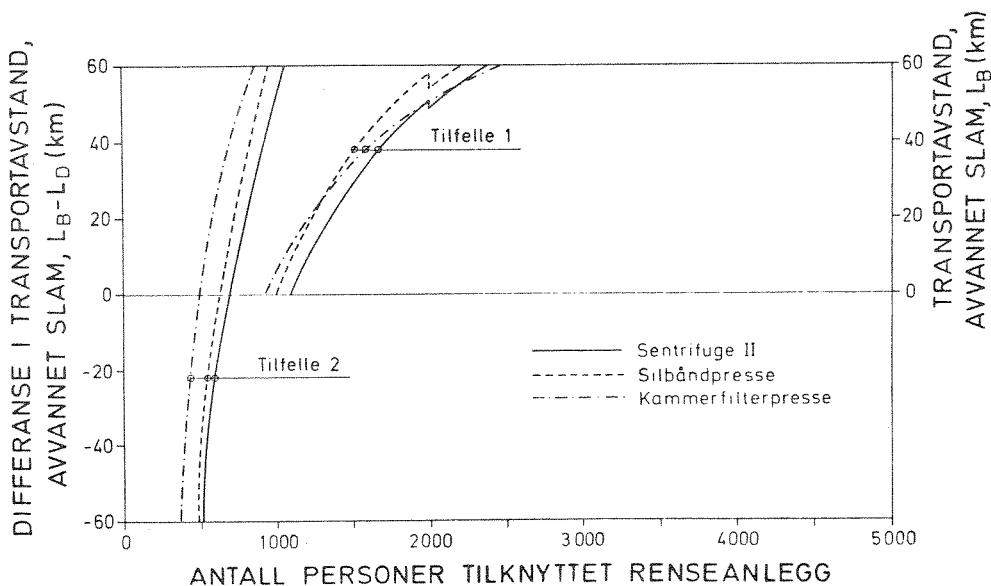


Fig. 26. Lønnsomhetsgrenser, etterfellingsanlegg (Al,Fe).

ETTERFELLINGSANLEGG (Ca)

TRANSPORTAVSTAND, UAVVANNET SLAM: $L_A = L_C \leq 21$ km



TRANSPORTAVSTAND, UAVVANNET SLAM: $L_A = L_C = 40$ km

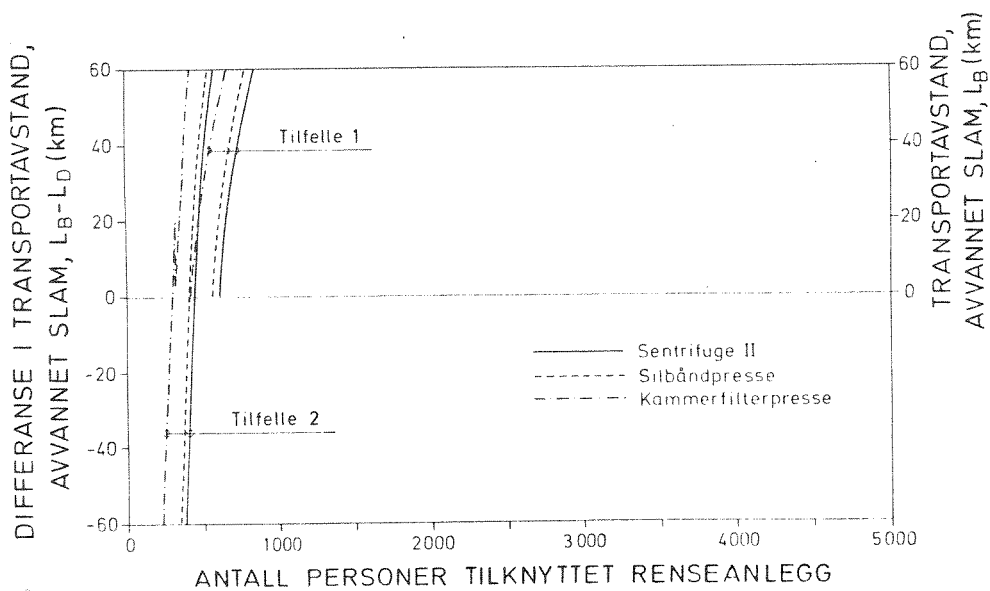


Fig. 27. Lønnsomhetsgrenser, etterfellingsanlegg (Ca).

6. SENSITIVITETSANALYSE

Eksempler på kostnadskurver og lønnsomhetsgrenser som er vist under pkt. 5, er basert på antatte verdier for de variable parametre som inngår i kostnadsfunksjonene. Den aktuelle verdi for de ulike parametre vil kunne variere ganske mye fra ett tilfelle til et annet, og det er derfor av stor interesse å se hvilken innvirkning slike variasjoner vil ha på kostnadskurvene og lønnsomheten ved lokal avvanning.

I fig. 28 og 29 er det vist to eksempler på sensitivitetsanalyse av uttrykkene for kostnadsforholdet mellom lokal avvanning og transport av uavvannet slam respektive sentral avvanning (se pkt. 4.4). Eksemplene er basert på mekanisk-kjemisk (Al, Fe) anlegg med 2500 personer tilknyttet. Transportavstanden for uavvannet slam (L_A og L_C) er satt mindre eller lik 21 km, og transportavstand for avvannet slam (L_B) samt differanser i transportavstand ($L_B - L_D$) er valgt lik 10 km. Utgangsdata for de variable parametre er de samme som ble brukt under pkt. 5. Sensitivitetskurvene er fremkommet ved å variere en parameter av gangen mens de andre beholder sine utgangsverdier.

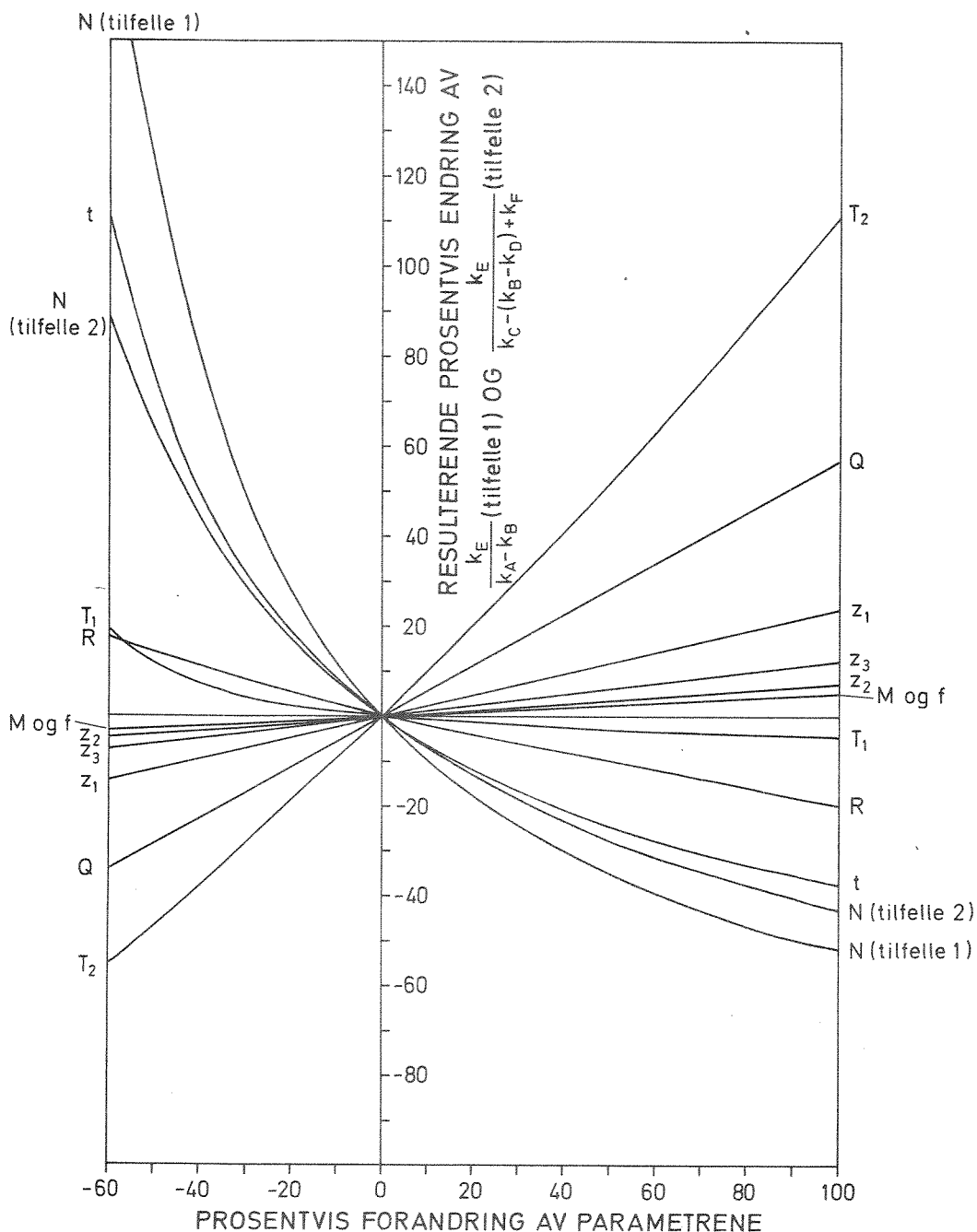
På grunn av de ulike kostnadsuttrykkene for avvanning med sentrifuge og silbåndpresse på den ene side og kammerfilterpresse på den annen, ble det utarbeidet separate eksempler (Sentrifuge II representerer sentrifuger og silbåndpresse). Fig. 28 (sentrifuge II) og fig. 29 (kammerfilterpresse) viser imidlertid at de forskjellige uttrykk for avvanningskostnader gir omtrent de samme resultater ved variasjon av de ulike parametre. Det vil derfor ikke bli skilt mellom de ulike typer avvanningsutstyr i den etterfølgende diskusjon.

Det fremgår av fig. 28 og 29 at det er fastsettelsen av spesifikk slamproduksjon (t), tørrstoffinnhold i uavvannet slam (T_2) og transportpris for uavvannet slam (N) som har størst betydning for de undersøkte kostnadsforhold. De årlige faste avvanningskostnader (Q) er også en relativt viktig parameter.

SENTRIFUGE II

Mekanisk-kjemisk (Al, Fe) anlegg, 2500 P,

L_A og $L_C \leq 21$ km, L_B og $(L_B - L_D) = 10$ km



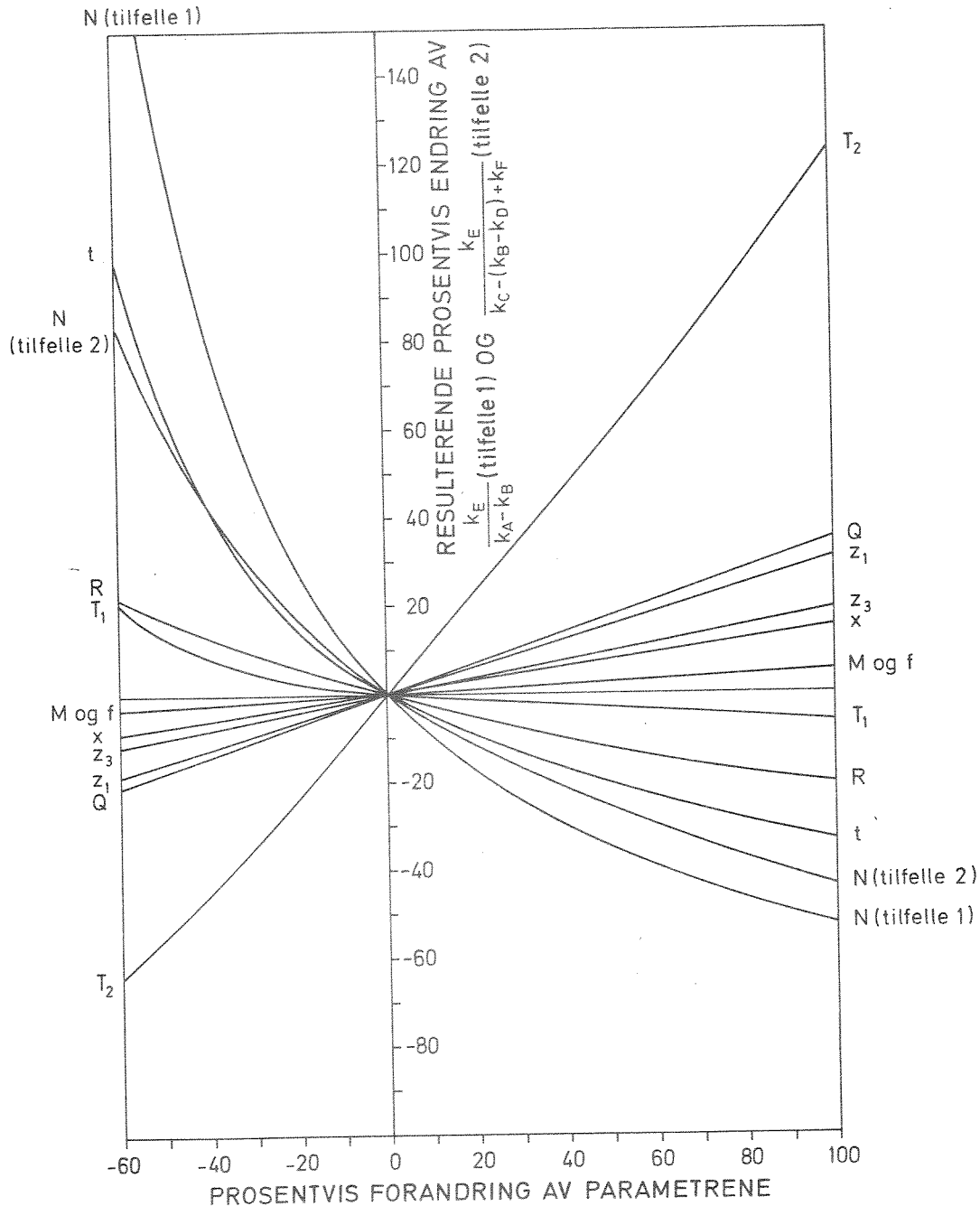
Utgangsdata for de variable parametre (se tegnforklaring s.)

$t = 120$ g TS/p·d	$z_4 = 0,18$ kr/m ³
$T_2 = 3\%$ TS	$Q = 42\,580$ kr
$T_1 = 20\%$ TS	$N = 30$ kr/m ³
$z_1 = 40$ kr/time	$M = 9$ kr/m ³
$z_2 = 4,50$ kr/time	$f = 1$ kr/m ³ ·km
$z_3 = 75$ kr/tonn TS	$R = 11,30$ kr/m ³

Fig. 28. Eksempel på sensitivitetsanalyse (sentrifuge II).

KAMMERFILTERPRESSE

Mekanisk-kjemisk (Al, Fe) anlegg, 2500 P,
 L_A og $L_C \leq 21$ km, L_B og $(L_B - L_D) = 10$ km



Utgangsdata for de variable parametre (se tegnforklaring s.)

$t = 120$ g TS/p-d	$Q = 23\,690$ kr
$T_2 = 3\%$ TS	$N = 30$ kr/m ³
$T_1 = 20\%$ TS	$M = 9$ kr/m ³
$z_1 = 40$ kr/time	$f = 1$ kr/m ³ ·km
$z_3 = 120$ kr/tonn TS	$R = 11,30$ kr/m ³
$x = 2\,215$ kr	

Fig. 29. Eksempel på sensitivitetsanalyse (kammerfilterpresse).

Dersom f.eks. tørrstoffinnholdet i uavvannet slam er 1,5% i stedet for 3% som her antatt (dvs. en forandring av T_2 på - 50%), vil den resulterende prosentvise endring av kostnadsuttrykkene være - 55%. Siden kostnadene for lokal avvanning utgjør telleren i begge uttrykkene, vil disse altså kunne være 55% høyere før det inntreer kostnadsbalanse med henholdsvis transport av uavvannet slam og sentral avvanning.

De øvrige parametre vil bare gi utslag i kostnadsuttrykkene på inntil 25% når de selv varieres mellom - 50% og + 100% av de gitte utgangsverdier. Følgelig vil til dels store feil i antakelsen av disse verdier gi små utslag i det endelige kostnadsbilde. Dette er spesielt viktig å fremheve for avvanningskostnadene ved sentralt renseanlegg (R), da disse vil kunne variere betydelig i aktuelle tilfeller.

Alle parametre som inngår i uttrykkene for transportkostnader, vil egentlig ha forskjellige sensitivitetskurver i tilfelle 1 og tilfelle 2. Nå viser det seg imidlertid at det bare er transportprisen for uavvannet slam (N) som gir så store avvik at det er nødvendig å benytte én kurve for hvert tilfelle.

For de parametre som bare innvirker på avvanningskostnadene, vil de respektive sensitivitetskurver direkte angi den resulterende endring i årlige avvanningskostnader (k_E). En ser da at de faste avvanningskostnader (Q) har størst innvirkning, og deretter timelønn (Z_1) og kjemikaliekostnader (Z_3) og vedlikeholdskostnader (Z_2). Strømkostnadene (Z_4) har så liten betydning at de ikke er tatt med i figurene.

De sensitivitetskurver som her er diskutert, er, som nevnt, basert på en bestemt anleggstype og anleggsstørrelse i tillegg til bestemte transportavstander. En har imidlertid undersøkt hvordan disse kurvene vil forandres dersom en går ut fra andre anleggstyper og -størrelser samt transportavstander. Det viser seg da at man ikke får særlig store endringer i de respektive parametres sensitivitetskurver, og det er hele tiden de samme parametre som har størst betydning, nemlig de som bestemmer volumet av uavvannet slam (t og T_2) og transportprisen for uavvannet slam.

7. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

I denne rapport har man på kostnadsbasis sammenliknet:

1. Avvanning av slam ved lokalt renseanlegg med transport av uavvannet slam (ingen avvanning)
2. Avvanning av slam ved lokalt renseanlegg med avvanning ved sentralt renseanlegg.

Sammenlikningene er gjort for renseanlegg med mindre enn 5000 personer tilknyttet, og det er utarbeidet relativt generelle kostnadsfunksjoner for både mekanisk slamavvanning og transport av slam. Det er noe av intensjonen med rapporten at disse kostnadsfunksjoner skal brukes av den enkelte leser ved at vedkommende setter inn relevante parameterverdier for de aktuelle tilfeller. De eksempler på kostnadskurver og lønnsomhetsgrenser for avvanning ved lokalt renseanlegg, som er gjengitt i rapporten, må ikke oppfattes som almengyldige. Som sensitivitetsanalysen viser, vil bruk av andre data for en del parametre bety en vesentlig endring av de gitte kurver.

Til tross for usikkerheten i det foreliggende materiale, bør en kunne trekke følgende generelle konklusjoner:

1. Mekanisk avvanning av slam ved lokalt renseanlegg kan være mer lønnsomt enn transport av uavvannet slam for anleggsstørrelse ned til 500-1000 personer tilknyttet.
2. Mekanisk avvanning av slam ved lokalt renseanlegg kan være mer lønnsomt enn avvanning ved sentralt renseanlegg for anleggsstørrelser ned til 250-500 personer tilknyttet.
3. Lønnsomhetsgrensen for mekanisk avvanning av slam ved lokalt renseanlegg vil være mest avhengig av slammengdene som skal avvannes (type renseanlegg) og transportavstandene for uavvannet slam.

4. De grenser for anleggsstørrelser som her er angitt, er basert på rene kostnadsbetraktninger. Helse- og forurensningsmessige vurderinger i konkrete tilfeller vil kunne medføre at slamavvanning må finne stede ved enda mindre anleggsstørrelser.

8. LITTERATUR

Avløpssambandet Nordre Øyeren (1974): "Slambehandling og slamtransport". Rapport nr. 3, Slam- og renovasjonsutredninger for Romerike.

Bergan, E. (1975): "En økonomisk vurdering av forholdet mellom interkommunal versus stedlig mekanisk avvanning av slam fra små kloakkrenseanlegg ved bruk av silbåndpresse, sentrifuge og kammerfilterpresse". VANN, 1, 54-62.

Paulsrud, B. (1974): "Avvanning av slam ved små renseanlegg". VANN, 1, 45-46.

Rennerfelt, I. (1972): "Slamavvattningsapparat, driftserfarenheter och kostnader". Åttonde nordiska symposiet om vattenforskning, Publikation 1972:3, Miljøvårdssekretariatet, NORDFORSK.

---oOo---

B I L A G I



NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FORSKNINGSRÅD

57.

Gaustadalléen 25
Postb. 260 Blindern, Oslo 3

Telefoner:

Administrasjon } 23 52 80
Teknisk avd. }
Biologisk avd. } 46 69 60
Kjemisk avd. }

Telegramadr.: Niva, Oslo

Postgiro 196 71
Bankgiro 6094.05.11421

Deres ref.:

Deres brev av:

Vår ref.:
THA/OFA

O-40/71-S

Jnr. 3555/74

OSLO,

13. november 1974

TILBUD PÅ AVVANNINGSUTSTYR

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) arbeider for tiden med PRA-prosjektet "Avvanning av slam ved små renseanlegg".

Noe av hensikten med prosjektet er å skaffe en oversikt over avvanningskostnadene ved små renseanlegg for å sammenlikne disse kostnader med transportkostnadene for det uavvannede slamm.

NIVA har i denne forbindelse vært i kontakt med ved Deres firma med forespørsel om tilbud på avvanningsutstyr. I henhold til avtale vedlegges en nærmere redegjørelse om hva det ønskede tilbud bør omfatte.

Forespørselen er rettet til flere leverandører. En oversikt over disse følger vedlagt.

Det gjøres for ordens skyld oppmerksom på at de innkomne tilbud ikke vil bli vurdert i forbindelse med konkrete anlegg, men kun er ment å danne grunnlag for den nevnte kostnadsanalyse. Vi håper Deres firma kan gi bistand med de nevnte opplysninger samt brosjyremateriell, og sier på forhånd takk.

Vi vil nevne at saken er under sterkt tidspress, og vi ber derfor om at tilbudene må være oss i hende innen 1.12.74.

Skulle De ønske ytterligere opplysninger, ber vi Dem kontakte oss over telefon 23 52 80.

Med hilsen
NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Johannes Thaulé
Johannes Thaulé
Ingeniør

Vedlegg.

Vedlegg til brev, jnr. 3555/74, O-40/71-S. Dat. 13.11.74Vedlegg I. Oversikt over tilbudets omfang

1. Tilbudet bør omfatte så mange kapasitetsvariasjoner som mulig.

Øvre grense $10 \text{ m}^3/\text{h} = 60 \text{ m}^3/\text{d}$.

(Det er regnet med 5 dagers driftsuke og 6 timers driftsdag.)

Eks. Leveres f.eks. utstyret med kapasiteter på 3, 5 og $10 \text{ m}^3/\text{h}$,
gis følgende kapasitetsvariasjoner:

- a. = $3 \text{ m}^3/\text{h}$
- b. = $5 \text{ m}^3/\text{h}$
- c. $2 \times 3 = 6 \text{ m}^3/\text{h}$
- d. $3 + 5 = 8 \text{ m}^3/\text{h}$
- e. = $10 \text{ m}^3/\text{h}$
- f. $2 \times 5 = 10 \text{ m}^3/\text{h}$.

Vedrørende kammer filter presse gis i tillegg til ovennevnte, pris pr. kammer installert. Det forutsettes da at det kjøres 2 presse-sykluser pr. dag. Leverandøren skal oppgi pressetiden.

2. Investeringskostnadene gis i 1974 kroner for hver av de aktuelle kapasitetsvariasjoner. Kostnadene skal omfatte alle nødvendige installasjoner, så som:

- a. Avvanningsenheten(e) (sentrifuge, silbåndpresse, kammer filter presse)
- b. Nødvendige pumpeinstallasjoner
- c. Komplette kjemikalie-doseringsutstyr inneh. doseringsenhet, mikser, miksetank, lagringstank, doseringspumpe, rør og ventiler etc.
- d. Komplette røropplegg
- e. Alle nødvendige montasjearbeider
- f. Anslagsvise transportkostnader innen Østlands-området.

Kostnadene ønskes så spesifisert som mulig.

- 3. Det forutsettes at avvanningsstasjonen skal overbygges, og det er således ønske om å få oppgitt nødvendig arealbehov for komplett utstyr for de forskjellige kapasitetsvariasjoner.
- 4. Normalt kjemikalieforbruk (kg/tonn TS) for forskjellige slamtyper.
- 5. Installert effektbehov (kW) samt effektforbruk (kWh/m^3 slam).
- 6. Beregnede vedlikeholdskostnader (oppgi normal levetid på sentrifugeskruer, silbånd og filterduk, samt kostnader for utskifting).

Forts. Vedlegg I.

Til orientering gis en oversikt over de forskjellige slamtyper som er aktuelle samt hvilket TS innhold man regner med inn på avvanningsenheten.

Slamtype		TS innhold %
Mekanisk slam		5,0
Mekanisk-kjemisk slam	Al- og Fe-felt	3,0
Mekanisk-kjemisk	" Ca-felt	7,0
Biologisk	" Lavbelastet	2,5
Biologisk	" Normalbelastet	2,5
Simultanfelt	"	2,5
Biologisk-kjemisk	" Al- og Fe-felt	2,5
Biologisk-kjemisk	" Ca-felt	4,0

Vedlegg II. Oversikt over forespurte leverandører

Sentrifuge: Maskinaktieselskapet ZETA
Flygt Pumper A/S
A/S E. Sunde & Co.
Håkon Larsen A/S

Silbåndpresse: Lorentzen og Wettre A/S

Kammerfilterpresse: Alfsen & Gunderson A/S
Waldm. Ellefsen A/S
Wetlesen og Roll A/S

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FORSKNINGSRÅD

Gaustadalléen 25
Postb. 260 Blindern, Oslo 3

Telefoner:

Administrasjon } 23 52 80
Teknisk avd. }
Biologisk avd. } 46 69 60
Kjemisk avd. }

Telegramadr.: Niva, Oslo

Postgiro 196 71
Bankgiro 6094.05.11421

Adressater:

Se vedlegg 2.

Deres ref.:

Deres brev av:

Vår ref.:

OSLO, 27. november 1974

THA/OFA
O-40/71-S
Jnr. 3697/74

TILBUD PÅ TRANSPORT AV KLOAKKSLAM

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) arbeider for tiden med PRA-prosjektet "Avvanning av slam ved små rensesanlegg".

Noe av hensikten med prosjektet er å skaffe en oversikt over avvanningskostnadene ved små kloakkrensesanlegg for å sammenlikne disse med transportkostnadene for avvannet så vel som for uavvannet slam.

NIVA har i denne forbindelse vært i kontakt med ved Deres firma med forespørsel om tilbud på transport av kloakkslam. I henhold til avtale vedlegges en nærmere redegjørelse av hva det ønskede tilbudet bør omfatte.

Forespørselen er rettet til flere transportfirmaer. En oversikt over disse følger vedlagt.

Det gjøres for ordens skyld oppmerksom på at de innkomne tilbud ikke vil bli vurdert i forbindelse med konkrete engasjement, men kun er ment å danne grunnlag for de nevnte kostnadsanalyser. Vi håper Deres firma kan gi bistand med de nevnte opplysninger, og sier på forhånd takk.

Vi vil nevne at saken er under sterkt tidspress og ber derfor om at tilbudene må være oss i hende innen 10.12.74.

Skulle De ønske ytterligere opplysninger, ber vi Dem kontakte oss over telefon (02) 23 52 80.

Med hilsen
NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Johannes Thaule
Ingeniør

Vedlegg.

Vedlegg 1.

Til brev jnr. 3697/74 0-40/71-S, 27.11.74

OVERSIKT OVER TILBUDETS OMFANG

1. Transportprisene bør, dersom dette er mulig, gis for transport av uavvannet slam (tanktransport) og for avvannet slam (container - lastebiltransport etc.) Baserer firmaet seg på kun én av disse transporttyper, gis pris for denne.

2. Den årlige transportmengde varierer sterkt, avhengig av anleggsstørrelse og anleggstype. Tilbudet bør således omfatte de variasjoner som er gjeldende for prosjektet.
Variasjonene er som følger:
Uavvannet slam (tanktransport) 0 - 12000 m³/år
avvannet slam (containertransport e.l.) 0 - 2500 m³/år

3. Tilbudet bør inneholde transportpris pr. m³, avhengig av transportlengde og årlig transportmengde (m³/år).
Det bør spesifiseres hvor vidt prisene varierer med transportlengde og -mengde eller ikke, og i tilfelle hvordan variasjonene gir seg utslag.

4. Prisene bør gis under forutsetning av fast engasjement, samt kjøring til faste tider.

Vedlegg 2.

Til brev jnr. 3697/74 O-40/71-S.. 27.11.74

Tanktransport. Oslo området

Brev sendt følgende firmaer:

A/S Bærum Septik og Tanktransport
Bjørnemyrsveien 11, 1344 Haslum

A/S Septik Tank Co.
Alfaset 3, Industriv. 17, Oslo 6

Septik og Renovasjon Akershus
Klokkerjordet
1930 Aurskog

Containertransport e.l. Oslo området

Transportcentralen i Asker og Bærum
Drammensveien 339, 1324 Lysaker

Avfallssystemer A/S
Hasleveien 3/5, Oslo 5

B I L A G II

Actieselskabet

LORENTZEN & WETTRE

Etablert 1895

Norsk Institutt for Vannforskning
 Gaustadalléen 25
 Postboks 260
 Blindern
 Oslo 3

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING	
J.nr.:	2141/75
Sak nr.:	0-40/71-S
Mottatt:	11.8.

TELEX 11359

TELEGRAM:
«EINAR, OSLO»TELEFON:
(02) 67 16 70ENSJØVN. 8, OSLO 6
NORWAY

Deres ref.
 Your ref.
 Ihre zeichen

Vår ref. WW/BE
 Our ref.
 Unsere zeichen

OSLO,

8. august 1975

Vedr.: PRA-rapport om kostnader for avvanning og transport
 av slam, O-40/71-S, Jnr. 1971/75

Vi har med takk mottatt Deres brev av 17.f.m. med vedlagt rapport og tillater oss å komme med en del bemerkninger og muligens tillegg til rapporten.

Når det gjelder avvanningsutrustning er det også kanskje et spørsmål om man skal ha en stasjonær utrustning på hvert, alternativt en mobil som kan betjene 2, 3 eller flere anlegg. For dette vil vi eventuelt foreslå f. eks. en utrustning med silbåndpresse 10/30.

Ellers når det gjelder våre betraktninger, kan vi angi følgende:

Vedr.: 4.2. Generelle forutsetninger.

Forutsetningene er avvanning 5 dager pr. uke.
 Maksimal driftstid pr. dag er:
 Sentrifuge 6 timer, og for silbåndpressene 12 timer.

Da kapasiteten for de mindre typer som er aktuelle for såvel₃ silbåndpresser som sentrifuger ligger 2,5-3 m³/h, samt 5-6 m³/h vil det si at man etter overnevnte forutsetninger med silbåndpressene avvanner dobbelt så meget slam som sentrifugene - eller at man kan installere en mindre billigere type istedenfor, da denne vil ha tilstrekkelig kapasitet.

Da det i rapportens innledning er omtalt små anlegg med mindre enn 2000-3000 pe tilknyttet, synes det som om det vil være riktig å gjøre en vurdering for disse anleggs vedkommende. Vi har her gått ut fra avvanning av mekanisk/aluminiums-felt-slam med inntil 4,0 l/pe.d.. Vi har lagt avvanningsmaskinenes effektbehov (fastabonnement + kWh-avgift) samt arbeidslønn til grunn, da den øvrige utrustning doseringspumper, flokningsmidler osv. er satt lik hverandre og derfor ikke medtatt i sammenligningen.

Norsk Institutt for Vannforskning,

8. august 1975

I Deres rapport er arbeidstiden satt lik for sentrifuge og silbåndpresser, noe som må bero på en misforståelse.

Sentrifugene er hurtigløpende maskiner med 1000-1450 omdr./min. og blir derfor i praksis overvåket, særlig etter eventuelt at man har hatt lagerhavarier o.l. Denne utrustningen må dessuten spyles grundig etter bruk for å unngå avleiringer og ubalanse.

Silbåndpressen kan gå helautomatisk med automatisk overvåkning. De startes om morgenen av personalet samtidig som disse ordner med tillagning av flokningsmiddelløsning og kontrollerer anlegget. Dette tar ½-1 time tid pr. dag.

Avvanningsanlegget løper så etter innstilt tidsprogram eller til slam eller flokningsmiddel er oppbrukt, hvorefter anlegget automatisk kobler seg ut, etter at maskinen er rengjort. (i programmet).

For sentrifuger anbefales det dessuten å benytte en gorator (her 7,5-11 kW) foran sentrifugen for oppmaling av filler og faste partikler. Sandholdig slam vil være til stor sjenanse for såvel gorator som sentrifuge med derpå følgende slitasje.

Silbåndpressene vil ikke ha behov for dette ekstrautstyr, da anleggene vanligvis er utstyrt med finrist med 10 mm spalt, og sanden dessuten ikke gjør skade, da den innkapsles i slamkaken.

Sentrifugene har videre behov for en kranbjelke samt talje, for vedlikehold av skruen o.l. Dette er heller ikke nødvendig for silbåndpressene.

Vi antar at disse ekstra "hjelpemidler" ikke er medtatt i vurderingen av anleggsomkostnader, ei heller i driftsomkostningene, f.eks. strømprisen. Dette vil f.eks. for goratorens del utgjøre ca. 25 øre pr. m³ slam i tillegg til de andre omkostninger.

Når det gjelder arealbehov, synes det å være en misforståelse for silbåndpressens del, likeså for effektbehovet. Vi har derfor angitt bredde og lengde for avvanningsmaskinene med flateinnhold i vår Tabell I. Når det gjelder sentrifugene, må man også ta hensyn til demonteringen av materøret (Aufgaberohr) for noen av sentrifugene, da dette tilsier 600-850 mm i lende-retningen. Som De vil se er det ingen stor forskjell i plass-behovet for avvanningsmaskinen og fra brosjyrer, tegninger og besøkte anlegg har man i praksis benyttet samme areal. Dette er angitt med 40 m² for type 5/30 og 50 m² for 10/30, noe som angir at det er god plass med adgang til de enkelte enheter innen avvanningsutrustningen. Når det gjelder containere eller annet utstyr hvor slamkaken avgis, vil denne være den samme for avvanningsutrustningene.

Silbåndpressene vil ha følgende effektbehov:

Model 5/30 og 10/30: Drivmotor for silbånd 0,74 kW, motor for blandingstrømmel 0,15 kW og stillsylinder for sporing av silbåndet 0,11 kW, tilsammen 1 kW.

-3-

Norsk Institutt for Vannforskning,

8. august 1975

For modell 15/30 er motorstørrelsen som følger:

1,5 kW, 0,15 kW og 0,11 kW tilsammen 1,76 kW.

Ved 260 arbeidsdager i året (5 dagers uke) og 6 henholdsvis 12 timer pr. dag får man driftstid på 1560 timer, henholdsvis 3120 timer ved full utnyttelse.

Sammenligner vi da kun effektforbruket gir dette:

Avvanningskapasitet/time:	3 m ³ /h	5-7 m ³ /h	10-12 m ³ /h
Sentrifuger:	17160-23400	23400-29640	ca. 31200 kWh
Silbåndpresser	1716	1716	3432 "

Når det gjelder kammerfilterpressene har man 2 presykluser pr. dag med arbeidstid 2 timer pr. dag.

Fra praksis i utlandet kan dette neppe godtas hvis ikke pressen er forsynt med automatisk kakeutkast og spyling av dukene. Slamkakene kan ha en tendens til å dele seg og må tas ut med hånden eller dukene gjentettes etter et visst antall avvannings- sykluser og må rengjøres. Vi tror dette vil gi vesentlig større utslag i arbeidslønnen enn her nevnt. Eventuelt hvis pressen utrustes med ekstrautstyr for dette, vil prisen bli vesentlig høyere. Dette må man ta spesielt hensyn til ved sammenligning. (Se også erfaring fra f.eks. Finland, rapport Uppsala).

Det er også angitt 10% filterhjelpemidler mens mange leverandører ellers angir 15%.

I forbindelse med tabell 1 i Deres rapport synes det å være noen misforståelser vedrørende effektbehovet. Dette gjelder for sentifuge 1. Av de forespurte typer angir:

Humbold-Bird 15 kW motor for modell S2-1 for 4-6 m³/h,

Alfa-Laval for AVNX314B-31G, 4-6 m³/h 15 kW motor som sentrifuge- motor + 4 kW for solhjulsdrift (skrue),

Sharples P-3000, 15 kW motor og det samme gjør Krüger.

Disse opplysninger stemmer således ikke overens med angivelsen i tabellen og så vidt vi forstår vil denne sentrifuge høre til en av de ovennevnte typer. Eventuelt vil det vel på markedet i dag neppe være noen sentrifuge som ellers skiller seg ut så vesentlig når det gjelder effektforbruket i forhold til de andre modeller.

Vi har sammenlignet avvannet slammengde i m³ pr. år og dividert dette med de faste avvanningskostnader for å se hva dette vil gi i omkostninger pr. m³. Vi har tillatt oss å foreta noen

-4-

Norsk Institutt for Vannforskning,

8. august 1975

justeringer for silbåndpressene i henhold til effekt- og plass-behovet, som angitt ovenfor. For sentrifuge I vil tallene i virkeligheten, på grunn av ovennevnte kommentarer, ligge høyere enn angitt, da effekforbruket vel vil ligge høyere.

Som det vil fremgå av vår vedlagte tabell III vil ikke de årlige avvanningsomkostninger være like for sentrifuge og silbåndpresse, da arbeidskraftbehovet er så vidt forskjellig.

Vi har her regnet for

1000 p.e. a 4 l/p.e. x d	= 4 m ³ /d	= ½ h arbeid ved oppstarting			
2000 " " " "	= 8 m ³ /d	= 1 h	"	"	"
3000 " " " "	= 12 m ³ /d.	= 1 h	"	"	"

En annen sak er at man vel også bør sammenholde utstyret for avvanningsanleggene, som f.eks. slamdoseringspumper, flokningsmiddel, doseringspumper, flokningsmiddelbeholdere, utstyr og kapasiteter, muligheter for regulering og tilpassing av maskinene til de forskjellige slamtyper, automatikk og nødvendig ekstrautrustning samt gi en orientering om dette, da dette er viktig for en helhetsvurdering.

For å få en best mulig avvanningsgrad og filtrat, da dette jo vil belaste renseanlegget, har man for silbåndpressen en meget skånsom behandling av slammet i forhold til annet avvanningsutstyr.

Slamdoseringspumpene er dimensjonert så turtallet ikke overstiger 250 o/min. for de nevnte kapasiteter. Dette vil gi en meget forsiktig behandling. Flokningsmiddelbeholdernes kapasiteter gir tid for modning av flokningsmiddelet, noe som anses gunstig, og flokningsmiddelet tilsettes foran blandingstrommelen, som er regulerbart, det vil si at oppholdstid og blanding av flokningsmiddel og slam før det siger videre ned på silbåndet for gravitær avvanning, lett kan påvirkes. I trinn I på silbåndpressen får man en gravitær avvanning før slammet føres inn i press-sonen. Denne skånsomme behandling og effektive utnyttelse av flokningsmiddelet fører oftest til en reduksjon i forbruk av flokningsmiddel i forhold til annet avvanningsutstyr. (Se bl.a. kopi av rapport fra Uppsala).

Arbeidstiden, det vil si utnyttelsesgraden for silbåndpressen, kan være et vesentlig plusspoeng, da man har muligheten for å velge et mindre anlegg for avvanning av en bestemt mengde slam. Dette på grunn av at de kan kjøres automatisk. Hvis man f.eks. dimensjonerer etter 12 timers arbeidstid pr. dag, hvor det arbeider helautomatisk etter manuell oppstarting, får man også en høyere ledig reservekapasitet (inntil døgnkontinuerlig drift) uten at personalets arbeidstid (lønnsutgiftene) øker. Dette er ikke tilfelle for sentrifugene.

-5-

Norsk Institutt for Vannforskning,

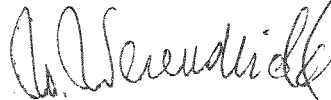
8. august 1975

Vi håper at De vil kunne ta hensyn til våre kommentarer, da vi mener en del av disse er av viktighet for vurderingen, samtidig som driftsomkostningene og det miljømessige er av stor viktighet for kundekretsen.

Skulle De ha eventuelle spørsmål i sakens anledning, hører vi gjerne nærmere fra Dem.

Med vennlig hilsen

E/S Lorentzen & Wettre

Vedlegg.

PS.

I tillegg til forannevnte ønsker vi å gi noen supplerende opplysninger. På Deres institutt har vi en medarbeider ved navn tekn.lic. Peter Balmér, som kjenner til silbåndpresser og deres drift.

I tillegg til forannevnte vil vi gjerne poengtere:

Den oppståtte flokningsdannelsen ved tilsetning av høy-molekylære polyelektrolytter er av meget skjør natur og en voldsom behandling gjennom en mekanisk prosess medfører at flokkene utsettes for å slås istykker. Jo større krefter flokkene blir utsatt for, jo dårligere blir filtratet, respektive rejectet. Dette faktum er nå allmenn kjent og har resultert i utbredning av en lang rekke forskjellige pressetyper. Som De selv kjenner til, blir slammet i en sentrifuge utsatt for et meget høyt antall g, mens slambehandlingen, eller rettere sagt flokningsbehandlingen i en silbåndpresse skjer ytterst forsiktig, og utover dette kan denne forsiktige behandling varieres gjennom forandring av hastigheten på blandingstrommelen og silbåndet og man har i Sverige og på kontinentet samt Finland gjennom 100-talls testforsøk fastslått at rejectet fra en langsomtgående silbåndpresse alltid er bedre enn fra en sentrifuge.

-6-

-6-

Norsk Institutt for Vannforskning

8. august 1975

Flokningsmiddelforbruk:

Under tabell 4 er kjemikaliekostnadene for sentrifuger og silbåndpresser likestilt, men en lang rekke forsøk og praktisk drift viser at man ved slambehandling i silbåndpresser behøver mindre flokningsmiddel pr. tonn tørrsubstans enn i en sentrifuge. Dette beror i første omgang på en bedre utnyttelsesgrad av flokningsmiddelet. Det lavere flokningsmiddelforbruk er av stor økonomisk interesse, ettersom 70-80% av driftskostnadene for en silbåndpresse utgjøres av flokningsmiddelforbruket. Ovennevnte antagelse er således helt feilaktig. Et flertall steder i Sverige har man gjort omfattende sammenligningsforsøk og disse har entydig vist at flokningsmiddelforbruket er lavere ved anvendelse av silbåndpresse enn ved en sentrifuge. Vi kan her referere til Västerås, ing. Osborn Wedlin, Uppsala, ing. Kurt Lindblad, Norrköping, ing. Rolf Kvarfordt samt samtlige godkjente anlegg i Finland, f.eks. Uleåborg, Kuopio, Tavastehus, Janakkala, Iisalmi, Bjørneborg.

Ellers kan vi meddele at man på Elmia-messen i Jönköping kalt Verden, Vannet og Vi, den 1.-5. september vil vise Kleins nye S-presse type S-5 og vi vedlegger i denne forbindelse et adgangskort, hvis messen skulle besøkes.

DS.

Sentrifuger

Avvanningsutrust. Silbandpresser

Modell	5/30	10/30	15/35	AVX-314G	P3000	S1-1	S2-1	350	500
--------	------	-------	-------	----------	-------	------	------	-----	-----

Kapasiteter m ³ /h	3	5	10	4 - 6	6	4	8	3	10
Arealbehov m ²	3,16	5,05	8	3,7		4,3	3,05 (3,6)	3,8	3,8
pr. avvann.mask.	3800x1330			1630x2270		1600x2700	1320x2310	1500x2588	
B x L	3800x830	4370x1830							

Arealbehov m ²	40	50	56						
avvann.utrust. eks. container									
Lffektbehov kW	1,0	1,1	1,76	19 (15+4)	15	15	18,5	15	20
pr. avvann.mask.									

Regulerings- muligheter for påvirkn. av kaken TS	5	5	5	3	3	3	3	3	3
Kjøres m/auto- matikk og fjern- ja regulering	ja	ja	ja	nei	nei	nei	nei	nei	nei

Slampumpe	NE40	NE60	NE60	NE50	NE40	EA401			
-Beholderkap. m ³	2x3	2x4	2x5	1,1	1,5				
for flokn. middel m/røre- verk osv.									

Nødvendig ekstra- utstyr:									
Gorator	nei	nei	nei	ønskelig	ønskelig				
Talje m/bjelke	nei	nei	nei	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Avvannet slamm mengde pr. maskin / år i m ³	9360	15.600	31.200	9.360	9.360	6.420	12.480	4.680	15.600
(Anlegg - Pris Kr. 310.000.-)									

Overkostn./m³ 3,73
 slamm i Kr. 2,74
 4,65
 4,32
 1,61

Elektrisitetkost. kun for avvanningsmaskinen ved
6 m³/h eller ca. 9360 m³/år. Fast ab. kr. 150.-. kW + 4 øre/kWh.

Modell	5/30	10/30	15/30	AVNX-314G	P. 3000/S2-1
Fast årsavg.	kr. 165.-.	165.-.	300.-.	2.850.-.	2.250.-.
Årlig drift	kr. 137.30	68.64	75.20	1.185.60	936.-.
E.utgift	kr. 302.30	231.64	375.20	4.035.60	3.186.-.
Strømkost. øre/m ³ slam	3.23	2.47	4.01	43.16	34.40
m/gorator	11 kW	(1650 + 686.40)	= + kr. 0.2496 / m ³		
Ved 10 m ³ /h = 15600 m ³ /år:					
Fast årsavg.	165.-.	300.-.	300.-.	2.775.-.	3.750.-.
Årlig drift	137.28	124.80	124.80	936.-.	1.248.-.
	302.28	424.80	424.80	3.711.-.	4.998.-.
Strømkost. øre/m ³ slam	1.95	2.72	2.78	23.78	32.04

Slamavvanning (kun avvanningsmask. strømonk.)

1000 p.e. a 4 l/p.e.d = 4 m³/d 260 arbeidsdager - uke 28 m³/5 = 5,6 m³
Arbeidsbehov (lønn) silbåndpresse 1/2 h/d - sentrifuge 1 h/d.

Modell	5/30	10/30	AVNX-31B	P3000/S2-1
Strøm fast	165.-.	165.-.	2.850.-.	2.250.-.
Drift	20,80	17.16	197.60	156.-.
Arbeidslønn	5.200.-.	5.200.-.	10.400.-.	10.400.-.
kr.	5.385.80	5.382.16	13.447.60	12.806.-.

2000 p.e. a 4 l/p.e.d = 8 m³/d, pr. arbeidsdag = 11,2 m³
Arbeidsbehov presse 1 h, sentrifuge 2 h.

Strøm fast	165.-.	165.-.	2.850.-.	2.250.-.
Drift	41.60	26.-.	395.20	312.-.
Arbeidslønn	10.400.-.	10.400.-.	20.800.-.	20.800.-.
kr.	10.606.60	10.591.-.	24.045.20	23.362.-.

3000 p.e. = 12 m³/d = 16,8 m³/arbeidsdag
presse 6-4 h, derav 1 h arb., sentrifuge 3 h.

Strøm fast	165.-.	165.-.	2.850.-.	2.250.-.
Drift	62.40	41.60	592.80	468.-.
Arbeidslønn	10.400.-.	10.400.-.	31.200.-.	31.200.-.
kr.	10.627.40	10.606.60	34.642.80	33.918.-.



MASKIN-AKTIESELSKAPET ZETA

Norsk Institutt for Vannforskning
Postboks 260 - Blindern
OSLO 3

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING	
J.nr.	2873/75
Sok nr.	0-40/71-S
blottar.	2.10.

PAU/OFA
0-40/71-S
Jnr. 1971/75

VÅR REF
VA

BEHANDLET AV

Heidenreich/IJO

30. september 1975

Vedr. PRA-RAPPORT OM KOSTNADER FOR AVVANNING OG TRANSPORT AV SLAM.

Vi takker for det mottatte korrekturforslag til ovennevnte rapport og vil gjerne få komme med følgende kommentarer i den rekkefølge de behandles i rapporten.

4.2. Generelle forutsetninger:

- Se tredje og fjerde avsnitt som behandler arbeidstimer for personalet ved henholdsvis sentrifuge- og kammerfilterpresseinstallasjon.

Her er det for sentrifugens vedkommende benyttet en formel beregnet av konsulent, mens man for kammerfilterpressens vedkommende har benyttet opplysning fra leverandøren.

Etter ALFA-LAVAL's og vårt syn som bygger på lengre tids erfaring med kommunal slamavvanning, gir formelen for høye verdier og i det aktuelle tilfellet skulle en maskin, ALFA-LAVAL type AVHX 309 med 6 timers driftstid etter formelen gitt en arbeidstid på 2 timer. Dette er åpenbart for meget, Vi ville beregnet denne til 1 time pr. døgn.

Hvis anlegget utvides med ytterligere en maskin, skulle arbeidstiden stige med ytterligere 25 minutter. Dette er meget, men kan aksepteres.

Vi foreslår at formelen for ALFA-LAVAL sentrifuger forandres til $1,0 + 0,07 \cdot n \cdot a$. Silbåndpressen behøver sansynligvis mer overvåkning.

De årlige vedlikeholdsomkostningene burde også for filterpressen være avhengige av antallet driftstimer. I Sheffield f.eks. byttes filterdukene ut etter 450 pressecykler.

Dukene vaskes etter 140 cykler. I 1971 har det blitt oppgitt 0,49£ pr. tonn TS som filterdukkostning, 0,48£ pr. tonn TS som reparasjonsomkostning, og 0,11£ som reservedelsomkostninger.
Kopi av STP 74026 med originalrapport fra Sheffield vedlegges.

4.32 Avvanningskostnader ved lokalt renseanlegg sentrifuge og silbåndpresse.

Tabell 1.

Sentrifuge III, ALFA-LAVAL AVNX 309, vil sansynligvis i nær fremtid bli utstyr med 7,5 kW motor istedenfor 11 kW som den har i dag.

5. Kostnadskurver:

Vi anser det som en vesentlig kommentar at man setter inn de aktuelle tall for hvert enkelt tilfelle, da de lokale forhold vil variere meget.

Ved transport av slam bør det sterkere understrekes at slamkaken fra sentrifugen og silbåndpressen fyller en container godt. De stive slamkakene fra filterpressen vil pakkes dårlig og fyllingsgraden blir ikke god.

Dessuten må man ved filterpresse transportere bort store mengde kalk. Det angis 400 kg kalk og 120 kg jernsulfat pr. tonn TS. Dette er mere enn 50% av den opprinnelige tørrsubstansen. Trolig blir slamvolumet etter filterpresser ennu større enn hva som er antatt.

Tabell 4:

Vedlikeholdsomkostninger for sentrifugen er satt til N.kr. 4.50 ! pr. time. Dette er utvilsomt for høyt. Som det fremgår av vedlagte oppfølging av omkostninger (SPW 7504-04) er riktig siffer ca. N.kr. 2,- pr. time. Dette har også blitt bekreftet fra annet hold. I "Müllhandbuch" oppgis 1 DM pr. time (1975).

Energibehovet er i denne rapport satt til 4 kW/m³ mens direkte effektmåling på den aktuelle maskin AVNX 309 i virkeligheten viser 1,9 kwh/m³. Effektmålinger på våre øvrige maskintyper som varierer meget i lengde/diameterforhold, viser verdier fra det mest ufordelaktige 2,5 til 1,0 kW/m³.

Her kan vi også henvise til "Gas-und Wasserfach" (Wasser/abwasser Ausgabe) for Flottweg dekanter og 3,1 for Klein silbåndpresse.

Silbåndpressens spylevannsbehov utgjør en betydelig belastning på anleggene da dette i volum utgjør like meget som det totale slamvolum som skal avvannes. Det kreves dessuten et spylevannstrykk på ca. 7 bar og for å unngå driftsproblemer benyttes i de fleste tilfeller rent vann fra nettet. Så vidt vi kan se er omkostningene for dette betydelige vannforbruk ikke tatt med i beregningene hverken som ren omkostning eller i energiforbruk.

Det er interessant å notere de større kjemikalieomkostninger for filterpresse.

5.5. Lønnsomhetsgrenser for mekanisk slamavvanning ved ulike typer renseanlegg.

Hvorfor har man benyttet sentrifuge II i betraktningene når dette åpenbart ikke er den gunstigste maskin? Sentrifuge III er de maskiner som etter beregningene klart peker seg ut som det beste alternativ og som i størrelse dessuten er tilpasset nettopp for små renseanlegg. Å benytte sentrifuge II for sammenligningenes skyld er etter vår oppfatning ikke riktig.

7. Sammendrag og konklusjon:

Det er viktig at følgende er understreket: "---må ikke oppfattes som almengyldige".

Det er også viktig at rapporten leses nøye og at man ikke taper hovedhensikten av syne; en påvisning av de generelle kostnadsfunksjoner for transport og avvanning av slam.

Sekundært kan det se ut som om man også har fått et sammenligningsgrunnlag for ulike typer avvanningsutstyr, men dette har ikke vært hensikten og grunnlaget er som forfatteren selv sier for lite og heller ikke basert på dette.

Som en av de største leverandører av maskinelt utstyr for renseanlegg og kanskje den betydeligste når det gjelder for kommunal slamavvanning, vil vi gjerne få tilføye at kammerfilterpresser som vi forøvrig også har i vårt leveringsprogram, etter vår oppfatning vil være beheftet med mange betydelige driftsmessige problemer for de varierende slamtyper som kan forekomme på så små anlegg. Kondisjoneringen med kalk og jern vil også komplisere driften betydelig for kommunene; og kammerfilterpressen er derfor heller ikke benyttet meget for små kommunale anlegg.

Vi nevner dette fordi vi mener at den i rapporten har fått en plass som den på det nåværende utviklingstrinn neppe fortjener.

Etter vår oppfatning vil sentrifugene som ikke er meget dyrere (selv i syrefaste materialer) på grunn av fleksibilitet, driftssikkerhet og liten følsomhet overfor variasjoner i slamkonsentrasjon og sammensetning fortsatt beholde sin ledende stilling i overskuelig fremtid ved disse mindre anlegg der kravet til betjening og regulering og vanntilsetning under drift bør være minimalt.

ALFA-LAVAL og vi vil også få takke for at vi har fått være med i rapporten og kommentere denne, som vi håper vil bli studert nøye.

Med vennlig hilsen

p. MASKIN-AKTIESELSKAPET ZETA

