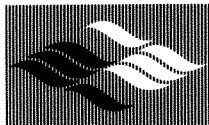


Kostnader for transport og avvanning av slam

Sivilingeniør Bjarne Paulsrud

Ingeniør Johannes Thaule

Norsk institutt for vannforskning



prai

Prosjektkomiteen for rensing av avløpsvann.

Formgivning, NIVAs tegnekontor
Sats og ombrekking, Grafisk Kontor, NTNØ
Trykt hos Reclamo
ISBN 82-90180-13-6
Copyright Prosjektkomiteen for rensing av avløpsvann

PROSJEKT RENSING AVLØPSVANN – PRA

I Stortingsproposisjon nr. 90 "Tilråding fra Industridepartementet av 10. april 1970", godkjent ved kongelig resolusjon samme dag, la Industridepartementet fram forslag til en bevilgning på 5,0 mill. kroner for 1970, som en første bevilgning for et flerårig forskningsprogram for rensing av avløpsvann. Forslaget grunnet seg på Ressursutvalgets innstilling nr. 1 som ble avgitt 3. juli 1969.

For at det faglige grunnlag for utbygging av avløpsanlegg skulle kunne bedres, konkluderte Ressursutvalget med at det måtte skje en utvidet forskningsinnsats for å finne fram til effektive transportmetoder og tilfredstillende metoder for rensing av avløpsvann.

En foreløpig tidsramme ble satt til seks år og kostnadene beregnet til omlag 30 mill. kroner.

St.prp. nr. 90 ble vedtatt av Stortinget og forskningsprogrammet kunne settes i verk. Forskningsprogrammet fikk navnet

PROSJEKT RENSING AVLØPSVANN som forkortes PRA

Det ble opprettet en ad hoc komite, prosjekt-komiteen for et forskningsprogram for rensing av avløpsvann, for å vurdere og prioritere forskningsprosjekter.

Prosjektkomiteen har delt inn forskningsprogrammet i følgende 6 delområder:

1. Avløpsvannets mengde og sammensetning.
2. Rensing av avløpsvann og slambehandling.
3. Bruk av terrestriske resipienter for disponering av avløpsvann og slam.
4. Transportsystemer.
5. Utslipp av forurenset vann i resipienten.
6. Industriens avløpsproblemer.

En har i størst mulig utstrekning forsøkt å konsentrere innsatsen på forsknings- og utredningsoppgaver som vil gi resultater som kan anvendes på kort sikt.

De prosjekter som hittil har blitt prioritert er listet på omslagets side 3.

Prosjektkomiteen gir ut et informasjonsblad, PRA-INFORMASJON, samt såkalte brukerrapporter.

Forespørsel om PROSJEKT RENSING AV AVLØPSVANN kan rettes til PRA-komiteens sekretariat v/avd.dir. John Hatling, Statens forurensningstilsyn, Postboks 8100 Oslo-dep., Oslo 1, tlf. (02) 41 88 60.

Forespørsel om PRA-INFORMASJON og BRUKERRAPPORTER rettes til sivilingeniør Paul Liseth, Ph.D., I/S Miljøplan, Maries vei 20, 1322 Høvik, tlf. (02) 53 88 89.

Brukerrapporter bestilles hos Liv Jansen, Norsk institutt for vannforskning, Postboks 333, Blindern, Oslo 3, tlf. (02) 23 52 80.

Innhold

FORORD	5
1. INNLEDNING	7
2. KOSTNADSSAMMENLIKNINGER	7
3. KOSTNADSFUNKSJONER	9
3.1 Oversikt over parametre	9
3.2 Generelle forutsetninger	9
3.3 Utledning av kostnadsfunksjoner	11
3.3.1 Transportkostnader	11
3.3.2 Avvanningskostnader ved lokalt renseanlegg, sentrifuge og silbåndpresse	12
3.3.3 Avvanningskostnader ved lokalt rense- anlegg, kammerfilterpresse	14
3.3.4 Avvanningskostnader ved sentralt renseanlegg	16
3.4 Sammenstillinger av kostnadsfunksjoner	16
4. KOSTNADSKURVER	17
4.1 Generelt	17
4.2 Valg av parametrenes størrelse	18
4.3 Kostnadskurver for mekanisk slam- avvanning	19
4.4 Kostnadskurver for transport av slam	20
4.5 Lønnsomhetsgrenser for mekanisk slamavvanning ved ulike typer renseanlegg	20
5. REFERANSER	28
<i>Bilag 1 – Forespørsel om tilbud</i>	29
<i>Bilag 2 – Sensitivitetsanalyse</i>	30

FORORD

Denne rapporten er utarbeidet av sivilingeniør B. Paulsrud og ingeniør J. Thaulé ved Norsk institutt for vannforskning. Rapporten gir et sammendrag av resultater fra delprosjektet "Avvanning av slam ved små renseanlegg" under "PRA 2.1 – Forsøksanlegget på Kjeller". Først er generelle kostnader og tilhørende kostnadsfunksjoner behandlet for avvanning og transport av slam fra mindre renseanlegg. Deretter er en del eksempler med bruk av kostnadsfunksjoner presentert. Alle kostnader i rapporten er angitt i 1974-kroner.

Oslo, april 1977

Paul Liseth

redaktør

1. Innledning

En stor del av de kloakkrensaneanlegg som hittil er bygd her i landet, er små anlegg med mindre enn 2000-3000 personer 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 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 [1]. Avløpssambandet Nordre Øyeren har dessuten laget en omfattende analyse av hvilke anlegg innenfor deres område som økonomisk sett bør ha mekanisk avvanningsutstyr [2]. Begge disse rapporter viser at mekanisk avvanning kan være lønnsomt selv ved små renseanlegg (ned til 1000–1500 personer tilknyttet).

Denne rapporten vil først på et generelt grunnlag ta for seg kostnader forbundet med avvanning og transport av slam fra mindre renseanlegg (opp til 5000 personer 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

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.

Som grunnlag for kostnadsanalysen ble det fra en rekke firmaer (se bilag 1) innhentet pristilbud på:

- levering og montering av komplett slamavvanningsutstyr
- transport av både uavvannet og avvannet slam.

2. Kostnadssammenlikninger

Rent kostnadsmessig vil følgende sammenlikninger bli gjort:

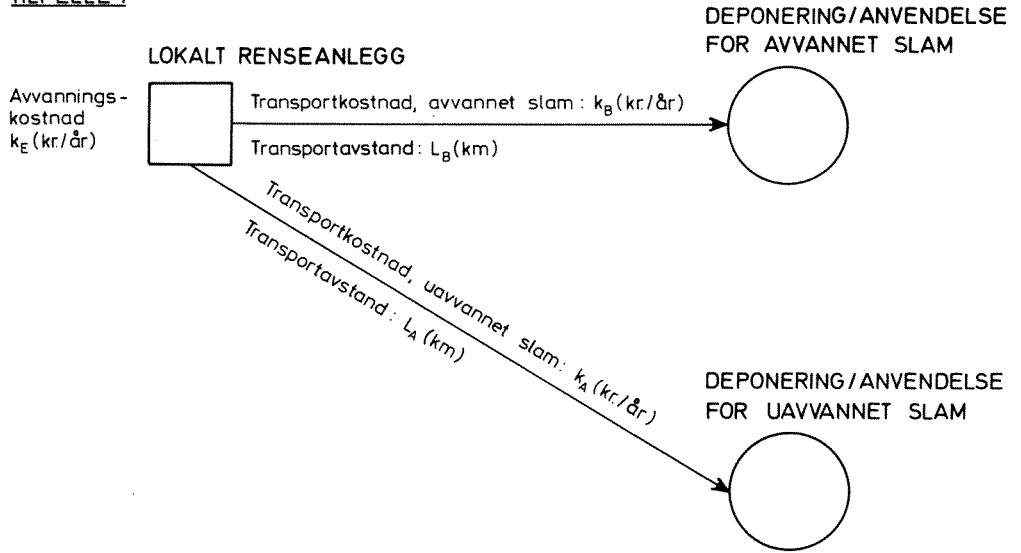
Tilfelle 1. Avvanning ved lokalt renseanlegg kontra transport av uavvannet slam (ingen avvanning).

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

Disse to tilfeller er vist skjematisk i figur 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 <i>uavvannet</i> slam fra lokalt renseanlegg til deponering/ anvendelse	k_A
Transport av <i>avvannet</i> slam fra lokalt renseanlegg til deponering/ anvendelse	k_B
Transport av <i>uavvannet</i> slam fra lokalt renseanlegg til sentralt renseanlegg	k_C
Transport av <i>avvannet</i> slam fra sentralt renseanlegg til deponering/ anvendelse	k_D
Avvanning ved lokalt renseanlegg	k_E
Avvanning ved sentralt renseanlegg	k_F

TILFELLE 1



TILFELLE 2

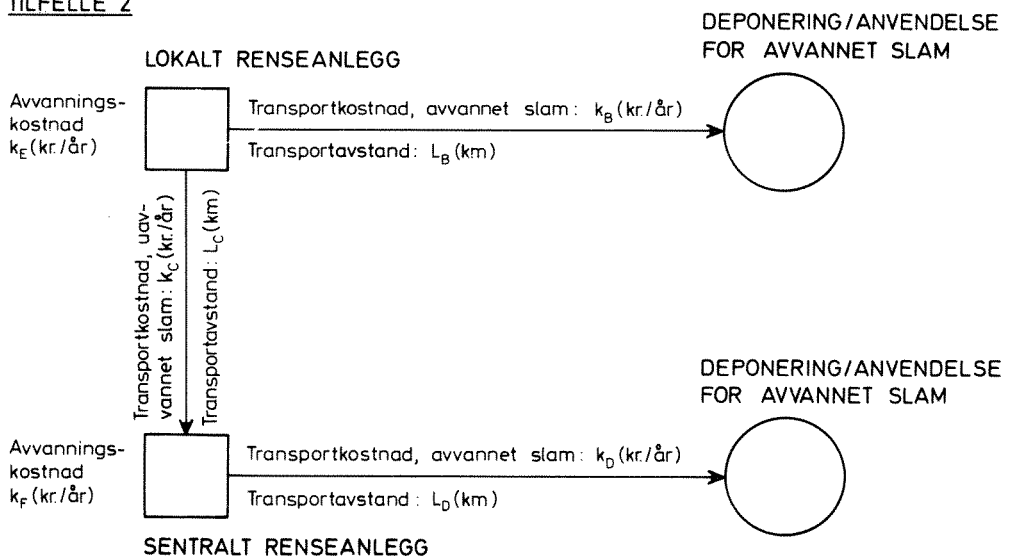


Fig. 1. Alternative løsninger for avvanning og transport av slam.

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

$$k_A = k_E + k_B$$

eller

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

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

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

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:

- mekanisk
- mekanisk + kjemisk. Fellingsmiddel: aluminium, jern
- biologisk (normalt belastet)
- biologisk. Fellingsmiddel: aluminium, jern

I ref. [3] er det også tatt med kostnadsanalyser for følgende typer anlegg:

- mekanisk + kjemisk. Fellingsmiddel: kalk

- biologisk (lavt belastet)
- biologisk + kjemisk (simultanfelling). Fellingsmiddel: aluminium, jern
- biologisk + kjemisk (etterfelling). Fellingsmiddel: kalk

3. Kostnadsfunksjoner

3.1 Oversikt over parametre

For oversiktens skyld har en sammenstilt de parametre som inngår i de etterfølgende kostnadsfunksjoner på side 10.

3.2 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 [3].
$$1,5 + 0,07 \cdot n \cdot a$$
 - n = antall maskiner
 - a = antall driftstimer pr. dag
- For kammerfilterpresse er arbeidstiden pr. dag satt til 2 timer uansett maskinstørrelse.
- 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 for maskiner.
- Restverdien ved avskrivningstidens slutt: 0.
- Rentefot: 7,0%.
- Årlige kostnader for ventilasjon og oppvarming: kr. 20,- pr. m².

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

- 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.
- Alle kostnader er gitt i 1974-kroner.
- Merverdiavgift – Investeringsavgift.
 - Forutsatt at kommunen har innført kloakkavgift, er miljøverntiltak fra og med september 1974 fritatt for merverdiavgift, men pålagt 13% investeringsavgift. Videre kan kommunen benytte den merverdiavgift som er pålagt kloakkavgiften til drift av sine avløpsanlegg. På bakgrunn av dette er det satt opp følgende forutsetninger:
 - Lønn, kjemikalier, transport:
 - Avgiftsfritt.
 - Resterende kostnader:
 - 13% investeringsavgift.

I forbindelse med beregningsforutsetningene er det i ref. 3 tatt med de kommentarer som kom inn etter at forutsetningene hadde vært ute til uttalelse hos de leverandørfirmaer som leverte inn tilbud. Nedenfor er det gitt en kortfattet oversikt over de viktigste bemerkninger.

LEVERANDØR AV SILBÅNDPRESSE

- Nødvendig arbeidstid og således lønnskostnader vil være mindre for silbåndpresse enn for sentrifuge.
- Arealbehovet for silbåndpresse er angitt for høyt. Som eksempel kan nevnes at det for presse 5130 (5 m³/h) er angitt et areal på 70 m², mens behovet ikke er større enn 40 m².
- Kjemikaliekostnadene for silbåndpresse er angitt for høyt.

LEVERANDØR AV SENTRIFUGE (TYPE III, SE TABELL 1)

- Antall arbeidstimer pr. dag er angitt for høyt. Formelen $1,5 + 0,07 \cdot n \cdot a$ burde forandres til $1,0 + 0,07 \cdot n \cdot a$.
- Vedlikeholdskostnader for sentrifuge er satt for høyt (kr 4,50 pr. driftstime, se tabell 4, side 18). Det burde vært regnet med kr 20,00 pr. driftstime.

De øvrige leverandører hadde ingen bemerkninger.

3.3 Utledning av kostnadsfunksjoner

Basert på det innsamlede grunnlagsmateriale og de forutsetninger som er nevnt under pkt. 3.2, kan det settes opp relativt generelle kostnadsfunksjoner for både transport og avvanning av slam.

3.3.1 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 kjøpreiser pr. 1.7.1974.

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 (hvh. 15 og 20 km), mens det tredje tilbud angav en lineær kostnadsøkning slik som for avvannet slam. Ut fra dette datamateriale 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.

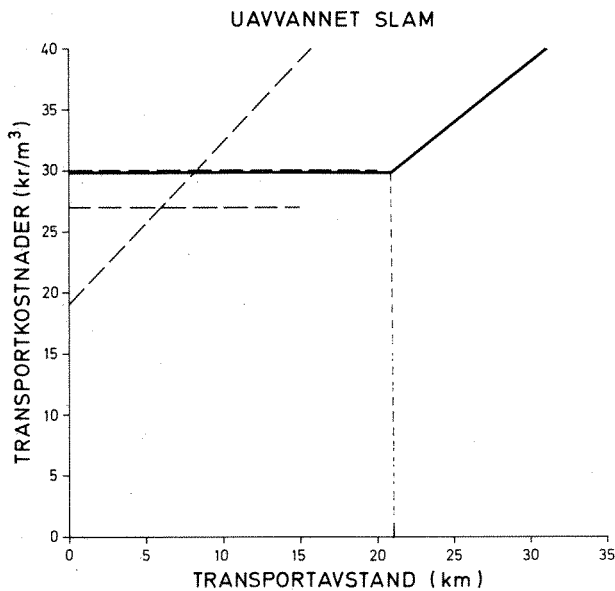
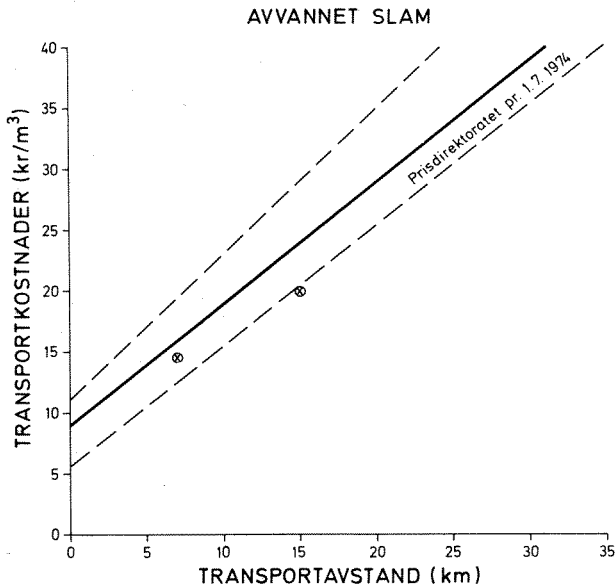


Fig. 2. Transportkostnader for slam.

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.

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

$$M + f \cdot (kr/m^3)$$

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

$$N (kr/m^3)$$

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:

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

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

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

Transportkostnader, avvannet slam:

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

hvor

- P = antall personer tilknyttet rensenanlegget
- t = spesifikk slamproduksjon (g TS/p.d)
- T₁ = tørrstoffinnhold i avvannet slam (%)
- T₂ = tørrstoffinnhold i uavvannet slam (%)

3.3.2 Avvanningskostnader ved lokalt rensenanlegg, sentrifuge og silbåndpresse

Faste kostnader, Q, eksklusive lønnskostnader

Disse kostnader er sammenstilt i tabell 1 og er beregnet på grunnlag av de innkomne tilbud fra

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. avvan.enhet	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

leverandørfirmaene og de generelle forutsetninger som er angitt i pkt. 3.2. 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 $(1,5 + 0,07 \cdot n \cdot a)$, hvor antall avvanningsenheter (n) settes lik 1.

Antall driftstimer pr. dag (a) er avhengig av slamproduksjonen og avvanningskapasiteten. Forutsatt 5 dagers arbeidsuke kan a uttrykkes som:

$$a = \frac{t \cdot P}{10\,000 \cdot T_2 \cdot S} \cdot \frac{7}{5}$$

hvor

- P = antall personer tilknyttet anlegget
- t = spesifikk slamproduksjon (g TS/p.d)
- T_2 = tørrstoffinnhold i uavannet slam (%)
- S = avvanningskapasiteten (m³/h)

Årlige lønnskostnader kan da uttrykkes som:

$$391 \cdot Z_1 + \frac{365 \cdot t \cdot P}{10\,000} \cdot \frac{0,07 \cdot Z_1}{S \cdot T_2} \text{ (kr/år)}$$

Variable vedlikeholdskostnader

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

Årlige variable vedlikeholdskostnader:

$$\frac{365 \cdot t \cdot P}{10\,000} \cdot \frac{Z_2}{S \cdot T_2} \text{ (kr/år)}$$

Kjemikaliekostnader

Z_3 angir kjemikaliekostnadene i kr/tonn TS.

Årlige kjemikaliekostnader:

$$\frac{365 \cdot t \cdot P}{10\,000} \cdot \frac{Z_3}{100} \text{ (kr/år)}$$

Strømkostnader

Z_4 angir strømkostnader i kr/m^3 slam.

Årlige strømkostnader:

$$\frac{365 \cdot t \cdot P}{10\,000} \cdot \frac{Z_4}{T_2} \text{ (kr/år)}$$

De totale årlige kostnader for avvanning med sentrifuge og silbåndpresse ved mindre renseanlegg ($< 500 P$) kan nå settes opp som summen av de faste og variable kostnader.

Årlige avvanningskostnader for sentrifuge og silbåndpresse:

$$k_E = \frac{365 \cdot t \cdot P}{10\,000} \left(\frac{0,07 \cdot Z_1}{S \cdot T_2} + \frac{Z_2}{S \cdot T_2} + \frac{Z_3}{100} + \frac{Z_4}{T_2} \right) + 391 \cdot Z_1 + Q \text{ (kr/år)}$$

3.3.3 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:

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

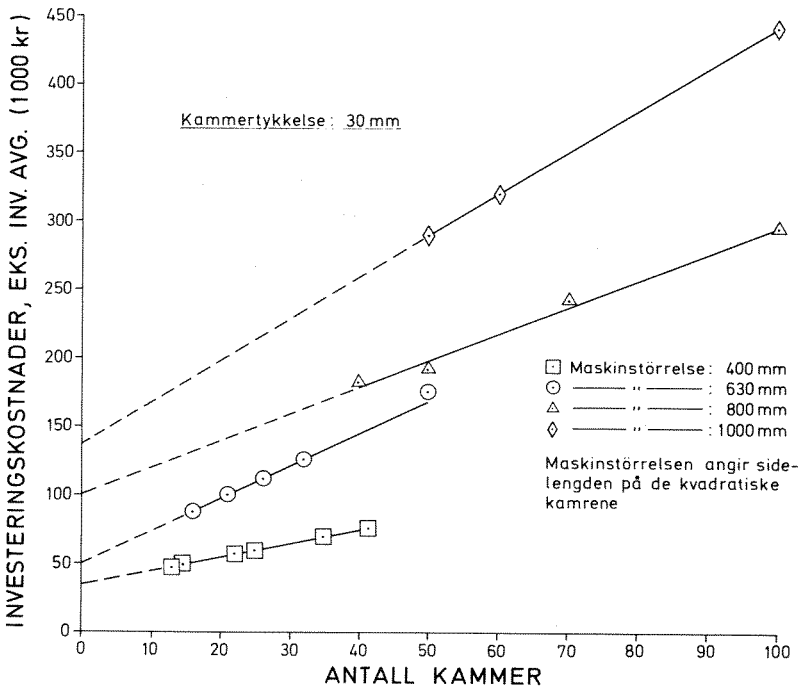


Fig. 3. Investeringskostnader for kammerfilterpresse.

hvor

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

k = antall kamre

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

Ved en bestemt maskinstørrelse vil nødvendig antall kamre være avhengig av slamproduksjonen (tørrestoffmengden) og tørrestoffkonsentrasjonen i slammet etter endt avvanning. Dette fordi hvert kammer ved en bestemt maskinstørrelse har plass til et gitt volum (v) med *avannet* 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. 3.2, 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.

Nødvendig antall kamre kan da uttrykkes som:

$$k = \frac{7}{5} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,15 \cdot \frac{t \cdot P}{1000 \cdot V} \cdot \frac{100}{T_1} = 0,081 \cdot \frac{t \cdot P}{V \cdot T_1}$$

hvor

P = antall personer tilknyttet anlegget

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

T₁ = tørrestoffinnhold i avannet slam (%)

V = kammervolum (l)

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

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

Faste kostnader, Q, (eksklusive lønnskostnader)

De faste kostnader for avvanning med kammerfilterpresse er satt opp i tabell 2. Det er brukt de

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.

generelle forutsetninger som er nevnt under pkt. 4.2, men i tillegg har man her for enkelthetens 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, 5 dagers arbeidsuke, og Z_1 kr/arbeidstime, får man:

$$\text{Årlige lønnskostnader: } 365 \cdot \frac{5}{7} \cdot 2 \cdot Z_1 = 521 Z_1 \quad (\text{kr/år})$$

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:

$$x \cdot 0,081 \cdot \frac{t \cdot P}{v \cdot T_1} \cdot 0,0944 = \frac{365 \cdot t \cdot P}{10\,000} \left(\frac{0,21 \cdot x}{v \cdot T_1} \right) \quad (\text{kr/år})$$

Kjemikaliekostnader

Z_3 angir kjemikaliekostnader i kr/tonn TS.

Årlige kjemikaliekostnader:

$$\frac{365 \cdot t \cdot P}{10\,000} \cdot \frac{Z_3}{100} \quad (\text{kr/år})$$

Variable vedlikeholdskostnader

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

Årlige variable vedlikeholdskostnader:

$$x \cdot 0,081 \cdot \frac{t \cdot P}{v \cdot T_1} \cdot 0,025 = \frac{365 \cdot t \cdot P}{10\,000} \cdot \left(\frac{0,06 \cdot x}{v \cdot T_1} \right) \quad (\text{kr/år})$$

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:

$$k_E = \frac{365 \cdot t \cdot P}{10\,000} \left(\frac{0,21 \cdot x}{v \cdot T_1} + \frac{0,06 \cdot x}{v \cdot T_1} + \frac{Z_3}{100} \right) + 521 Z_1 + Q \quad (\text{kr/år})$$

3.3.4 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 det sentrale renseanlegg, og en har derfor valgt å angi avvanningskostnadene (R) i kr. pr. m³ slam tilkjørt anlegget.

Årlige avvanningskostnader ved sentralt renseanlegg:

$$k_F = \frac{365 \cdot t \cdot P}{10\,000} \cdot \frac{R}{T_2} \quad (\text{kr/år})$$

3.4 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, side 8).

Tilfelle 1

Avvanning ved lokalt renseanlegg er kostnads-
messig likeverdig med transport av uavannet
slam dersom:

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

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

SENTRIFUGER OG SILBÅNDPRESSE

$$\frac{\frac{365 \cdot t \cdot P}{10\,000} \left(\frac{0,07 \cdot Z_1}{S \cdot T_2} + \frac{Z_2}{S \cdot T_2} + \frac{Z_3}{100} + \frac{Z_4}{T_4} \right) + 391 \cdot Z_1 + Q}{\frac{365 \cdot t \cdot P}{10\,000} \left(\frac{N}{T_2} - \frac{M + f \cdot L_B}{T_1} \right)} = 1$$

KAMMERFILTERPRESSE

$$\frac{\frac{365 \cdot t \cdot P}{10\,000} \left(\frac{0,27 \cdot x}{v \cdot T_1} + \frac{Z_3}{100} \right) + 521 \cdot Z_1 + Q}{\frac{365 \cdot t \cdot P}{10\,000} \left(\frac{N}{T_2} - \frac{M + f \cdot L_B}{T_1} \right)} = 1$$

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

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

$$\frac{365 \cdot t \cdot P}{10\,000} \left(\frac{M + f \cdot L_A}{T_2} - \frac{M + f \cdot L_B}{T_1} \right)$$

Tilfelle 2

Avvanning ved lokalt renseanlegg er kostnads-
messig likeverdig med avvanning ved sentralt
renseanlegg dersom:

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

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

SENTRIFUGER OG SILBÅNDPRESSE

$$\frac{\frac{365 \cdot t \cdot P}{10\,000} \left(\frac{0,07 \cdot Z_1}{S \cdot T_1} + \frac{Z_2}{S \cdot T_2} + \frac{Z_3}{100} + \frac{Z_4}{T_2} \right) + 391 \cdot Z_1 + Q}{\frac{365 \cdot t \cdot P}{10\,000} \left(\frac{N}{T_2} - \frac{f \cdot (L_B - L_D)}{T_1} + \frac{R}{T_2} \right)} = 1$$

KAMMERFILTERPRESSE

$$\frac{\frac{365 \cdot t \cdot P}{10\,000} \left(\frac{0,27 \cdot x}{v \cdot T_1} + \frac{Z_3}{100} \right) + 521 \cdot Z_1 + Q}{\frac{365 \cdot t \cdot P}{10\,000} \left(\frac{N}{T_2} - \frac{f \cdot (L_B - L_D)}{T_1} + \frac{R}{T_2} \right)} = 1$$

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

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

$$\frac{365 \cdot t \cdot P}{10\,000} \left(\frac{M + f \cdot L_C}{T_2} - \frac{f \cdot (L_B - L_D)}{T_1} + \frac{R}{T_2} \right)$$

4. Kostnadskuver

4.1 Generelt

Basert på de relativt generelle kostnadsfunksjo-
ner som er utledet under pkt. 3.3, skulle det nå
være mulig å beregne årlige avvannings- og trans-
portkostnader i konkrete tilfeller. Det forutset-
tes bare at brukeren skaffer til veie aktuelle data
for de variable parametre som inngår i kostnads-
uttrykkene.

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. 3.4.

For å illustrere bruken av kostnadsfunksjo-
nene samt uttrykkene for kostnadsbalanse, vil

en i det etterfølgende gi eksempler for fire typer renseanlegg, basert på de gitte opplysninger fra maskin- og transportfirmaene. Det har i tillegg vært nødvendig å gjøre bruk av en del egne data. Disse er nærmere angitt i pkt. 4.2.

De kostnadskurver og lønnsomhetsgrenser som her gis som eksempler, må *ikke* ses på som almengyldige. I bilag 2 er det imidlertid vist hvordan man kan vurdere den relative innvirking 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.

4.2 Valg av parametrenes størrelse

SLAMMENGDER

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

sjonen ved ulike typer renseanlegg samt tørrstoffinnholdet i slammet i uavvannet (fortykket) og avvannet form.

TRANSPORT

Verdiene for de variable transportparametre er tatt ut av fig. 2 (side 12). De valgte kostnadskurver gir:

Faste transportkostnader for uavvannet slam for L_A og $L_C \leq 21$ km: $N = 30$ kr/m³

Faste transportkostnader for avvannet slam samt for uavvannet slam for L_A og $L_C > 21$ km: $M = 9$ kr/m³

Variable transportkostnader for avvannet slam samt for uavvannet slam for L_A og $L_C > 21$ km: $f = 1$ kr/m³ .km

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
Biologisk (normalt belastet)	80	2,5	20
Etterfelling (Al, Fe)	130	2,5	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.

Tabell 4. Data for avvanningsparametre.

Parameter	Symbol	Enhet	Sentrifuger	Silbåndpresse	Kammerfilterpresse
Timelønn	Z ₁	kr/time	40,00	40,00	40,00
Variable vedlikeholdskostn. for sentrifuge og silbåndpresse	Z ₂	kr/driftstunde	4,50	2,25	—
Kjemikaliekostnader*	Z ₃	kr/tonn TS	75,00	75,00	120,00
Strømkostnader**	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 kostnader (ekskl. lønn)	Q	kr/år	se tab. 1	se tab. 1	se tab. 2
Avvanningskapasitet for sentrifuge og silbåndpresse	S	m ³ /h	»	»	—
Volum pr. kammer i kammerfilterpresse	v	l/kammer	—	—	se tab. 2
Variable investeringskostn. for kammerfilterpresse	x	kr/kammer	—	—	»

*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.

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

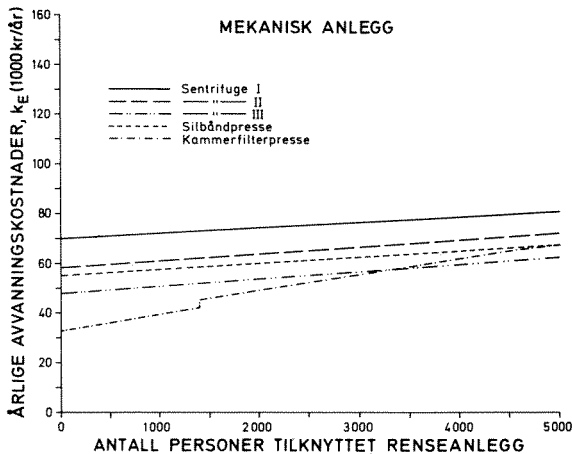


Fig. 4. Avvanningskostnader, mekanisk anlegg.

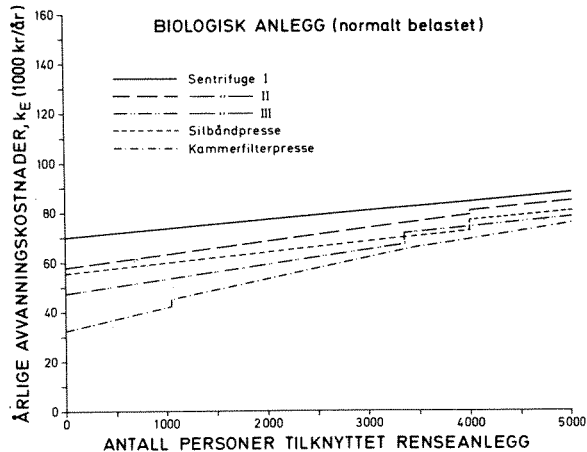


Fig. 6. Avvanningskostnader, biologisk anlegg (normalt belastet).

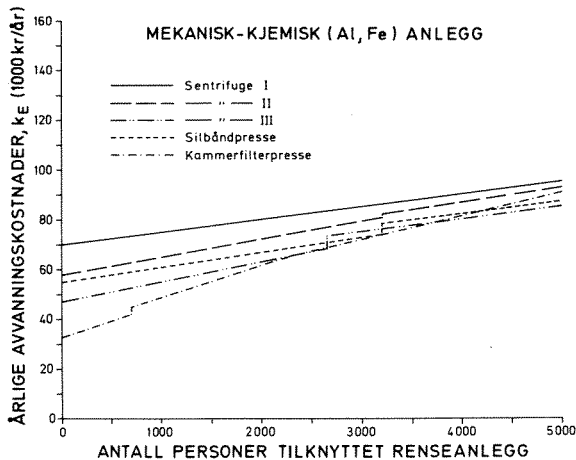


Fig. 5. Avvanningskostnader, mekanisk-kjemisk (Al, Fe) anlegg.

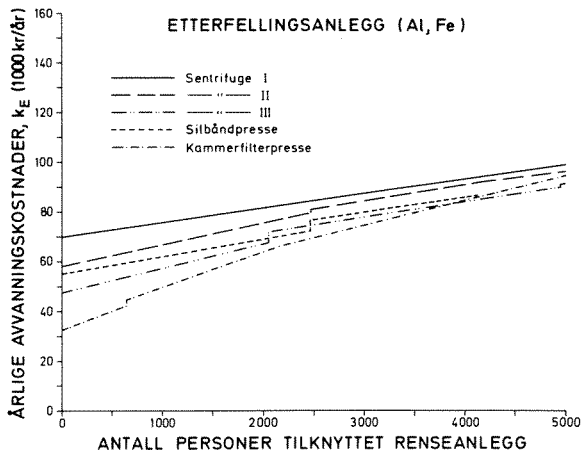


Fig. 7. Avvanningskostnader, etterfellingsanlegg (Al, Fe).

AVVANNING

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

4.3 Kostnadskurver for mekanisk slamavvanning

De funksjoner for årlige avvanningskostnader som er utledet under pkt. 3.3.2 (s. 12) og pkt. 3.3.3 (s. 14), er framstilt i figurene 4–7 for ulike

typer renseanlegg. Kurvene er basert på tilbudene fra leverandørfirmaer og de parameterstørrelser som er antatt under pkt. 4.2.

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:

$$\begin{array}{l} \text{Sentrifuge:} \\ \text{Silbåndpresse:} \end{array} \quad \begin{array}{l} 1,7 \\ 6,5 \end{array} \cdot \frac{t \cdot P}{10\,000 \cdot T_2} \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

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

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 pressesykluser 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 renseanleggsstørrelser det her dreier seg om.

4.4 Kostnadskurver for transport av slam

Ved hjelp av den sammenstilling av kostnadsfunksjoner som er gjort under pkt. 3.4, er det i fig. 8–11 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. 4.2. Nedenfor gis et eksempel på bruk av kurvene (se fig. 9).

Mekanisk-kjemisk (Al, Fe) anlegg

Tilfelle 1: (se side 17)

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 17)

Dersom transportavstanden for avvannet slam er den samme for det lokale og sentrale renseanlegg ($L_B - L_D = 0$ km) og transportavstanden for uavvannet slam fra lokalt til sentralt renseanlegg ($L_C \leq 21$ 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.

4.5 Lønnsomhetsgrenser for mekanisk slamavvanning ved ulike typer renseanlegg

Basert på de fullstendige uttrykk for kostnadsbalanse som er angitt i pkt. 3.4, kan man trekke opp kurver som representerer lønnsomhetsgrensen for avvanning ved lokalt renseanlegg i tilfelle 1 og tilfelle 2. I fig. 12–15 er ved hjelp av dataene fra pkt. 4.2 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 krysnings-

MEKANISK ANLEGG

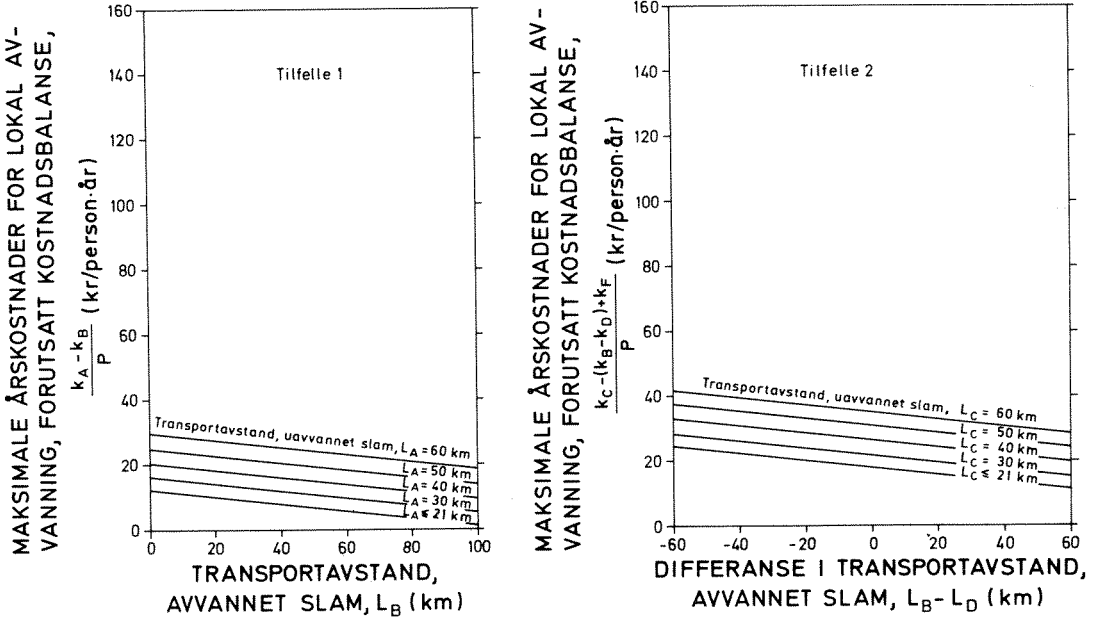


Fig. 8. Transportkostnader, mekanisk anlegg.

MEKANISK-KJEMISK (Al, Fe) ANLEGG

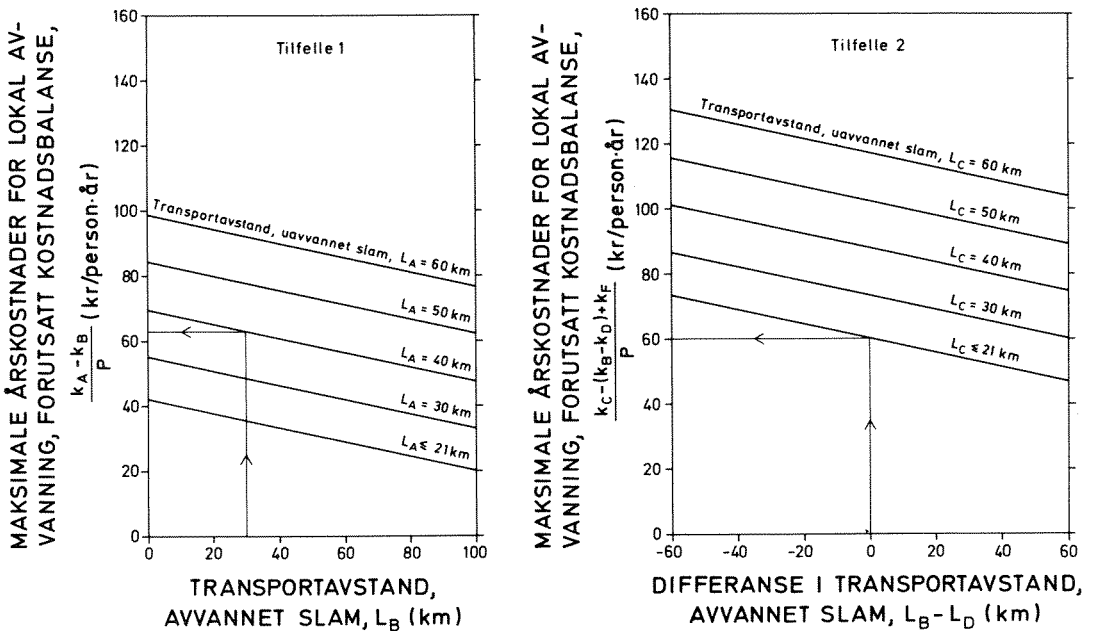
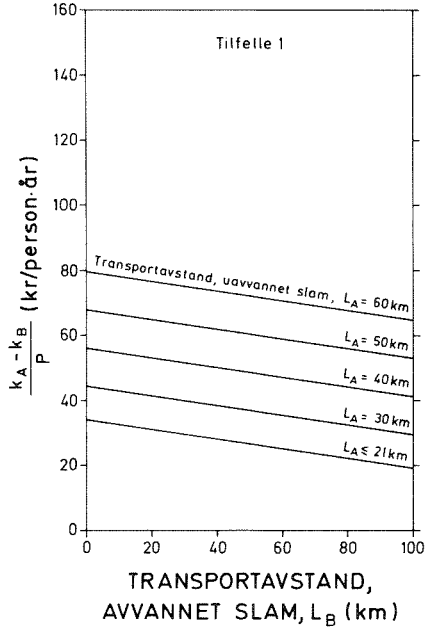


Fig. 9. Transportkostnader, mekanisk-kjemisk (Al, Fe) anlegg.

BIOLOGISK ANLEGG (normalt belastet)

MAKSIMALE ÅRSKOSTNADER FOR LOKAL AVVANNING, FORUTSATT KOSTNADSBALANSE,



MAKSIMALE ÅRSKOSTNADER FOR LOKAL AVVANNING, FORUTSATT KOSTNADSBALANSE,

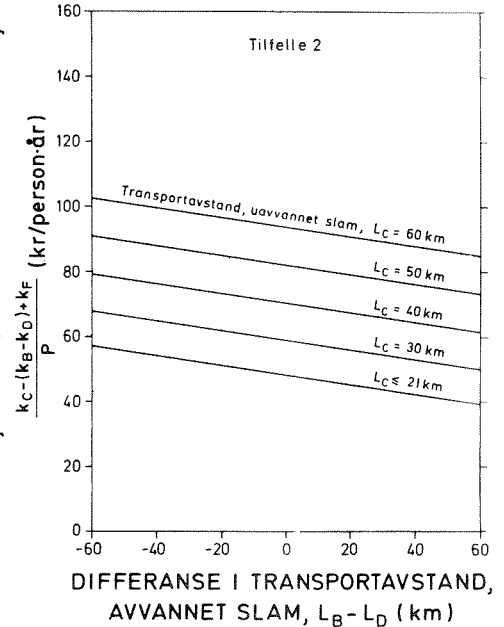
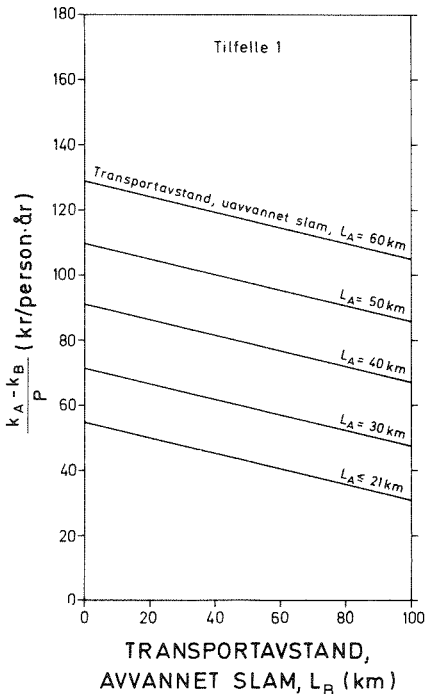


Fig. 10. Transportkostnader, biologisk anlegg (normalt belastet).

ETTERFELLINGSANLEGG (Al, Fe)

MAKSIMALE ÅRSKOSTNADER FOR LOKAL AVVANNING, FORUTSATT KOSTNADSBALANSE,



MAKSIMALE ÅRSKOSTNADER FOR LOKAL AVVANNING, FORUTSATT KOSTNADSBALANSE,

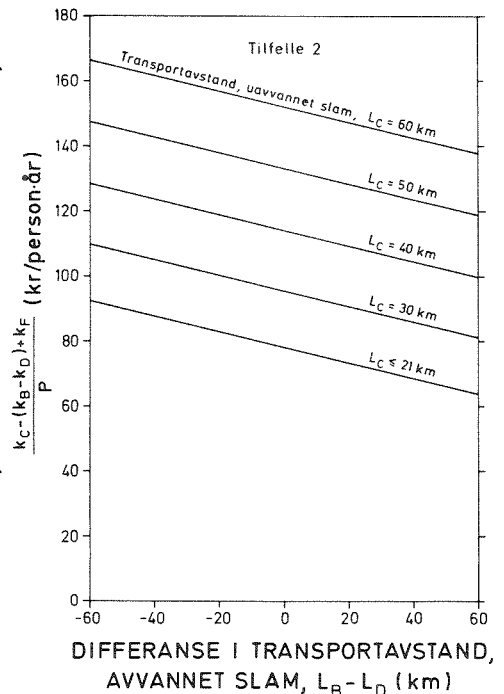


Fig. 11. Transportkostnader, etterfellingsanlegg (Al, Fe).

MEKANISK ANLEGG

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

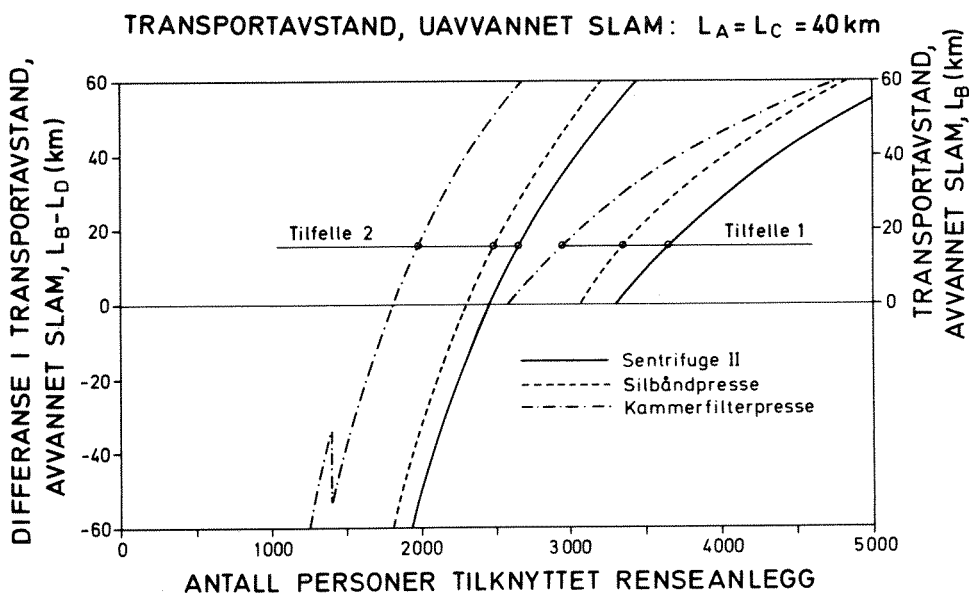
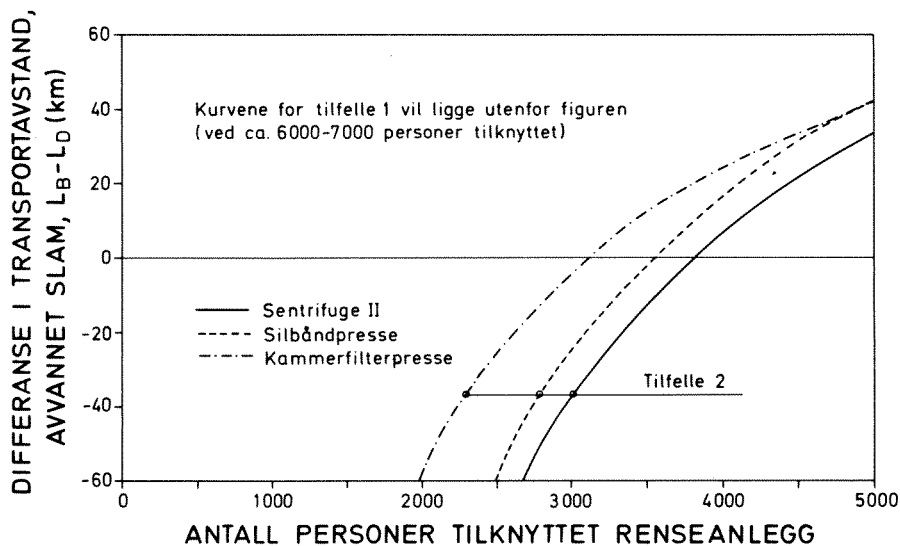
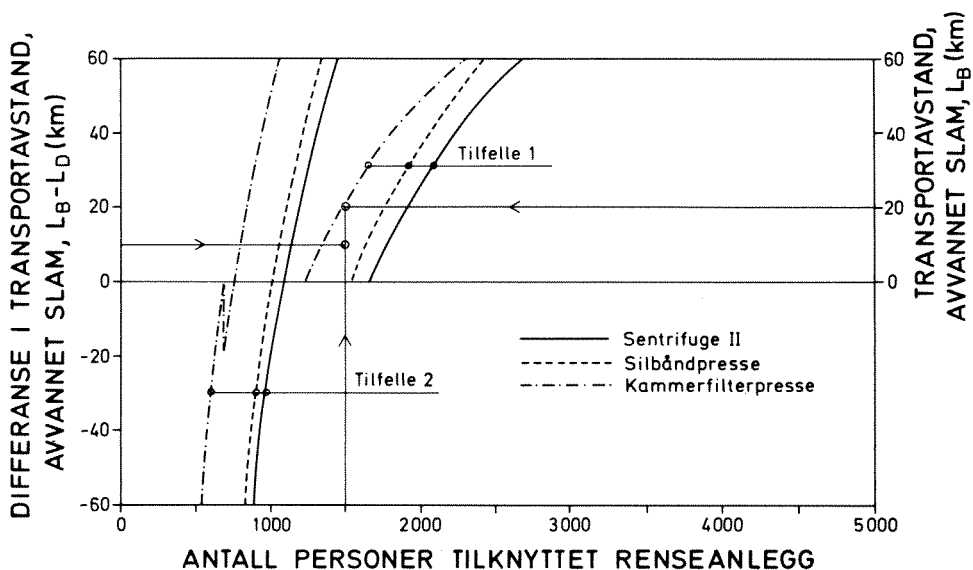


Fig. 12. Lønnsomhetsgrenser, mekanisk anlegg.

MEKANISK - KJEMISK (Al, Fe) ANLEGG

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



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

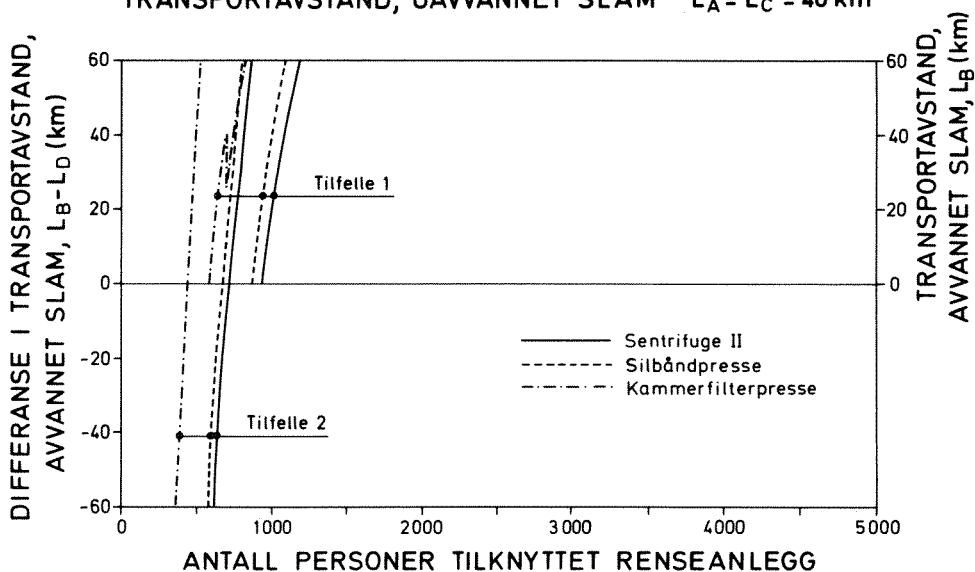
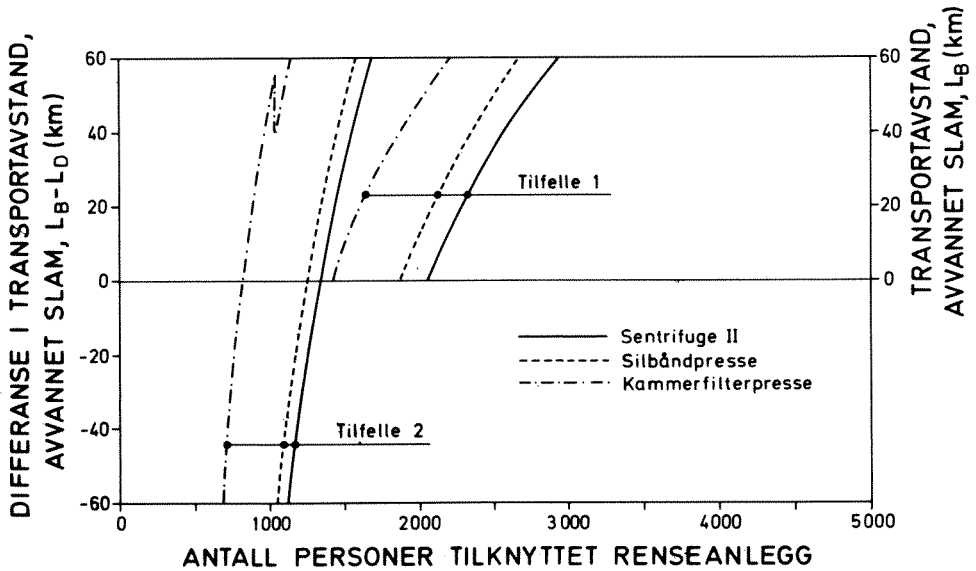


Fig. 13. Lønnsomhetsgrenser, mekanisk-kjemisk (Al, Fe) anlegg.

BIOLOGISK ANLEGG (NORMALT BELASTET)

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



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

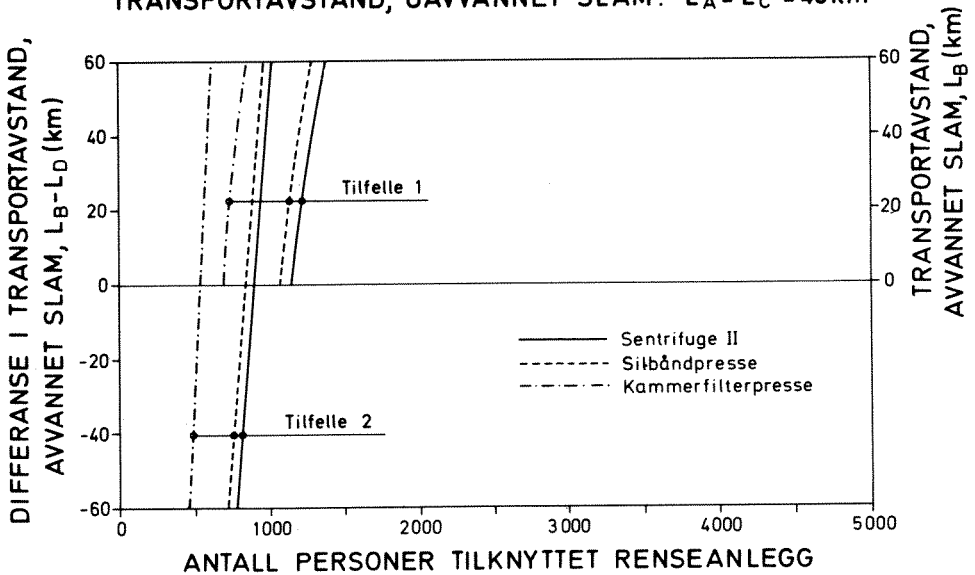
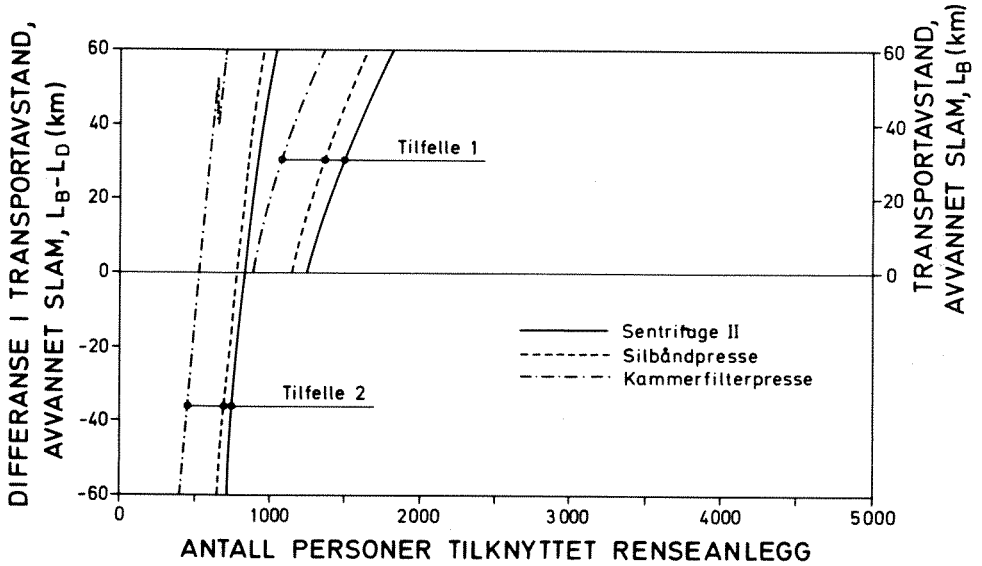


Fig. 14. Lønnsomhetsgrenser, biologisk anlegg (normalt belastet).

ETTERFELLINGSANLEGG (Al, Fe)

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



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

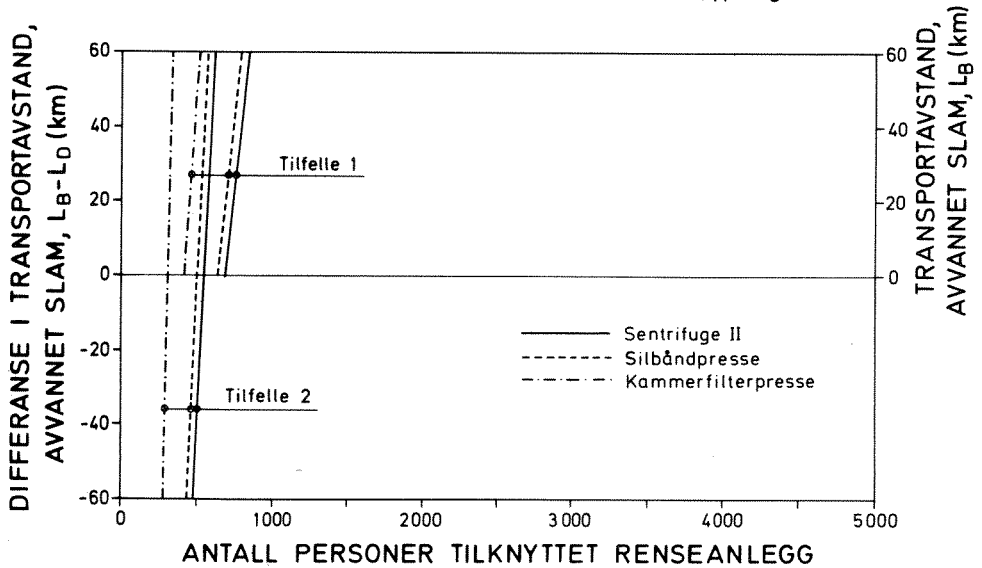


Fig. 15. Lønnsomhetsgrenser, etterfellingsanlegg (Al, Fe).

punktet 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 fig. 13):

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. 12–15 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.

5. Referanser

- [1] 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.
- [2] Avløpssambandet Nordre Øyeren (1974): "Slambehandling og slamtransport". Rapport nr. 3, Slam- og renovasjonsutredninger for Romerike.
- [3] Paulsrud, B. og Thaule, J. (1975): "Avvanning av slam ved små renseanlegg. Kostnader for avvanning og transport av slam". PRA 2.1, NIVA-rapport 0–40/71–S.
- [4] Rennerfelt, J. (1972): "Slamavvattningsapparat, driftserfarenheter och kostnader". Åttonde nordiska symposiet om vattenforskning, Publikation 1972:3, Miljøvårdssekretariatet, NORDFORSK.

Bilag 1

Forespørsel om tilbud

Forespørsel om tilbud ble sendt til en rekke firmaer hvorav følgende ga tilbud:

SLAMAVVANNINGSUTSTYR

Sentrifuger:

Flygt Pumper A/S
A/S E. Sunde & Co.
Maskinaktieselskapet ZETA

Silbåndpresse:

Lorentzen og Wettre A/S

Kammerfilterpresse:

Alfsen og Gunderson A/S

SLAMTRANSPORT

Transport av uavvannet slam:

A/S Bærum Septik og Transportforretning,
Bærum
A/S Septik Tank Co., Oslo
Septik og Renovasjon, Aurskog

Transport av avvannet slam:

Transportsentralen, Asker og Bærum A/L,
Bærum
Avfallsystemer A/S, Oslo
Septik og Renovasjon, Aurskog

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.

Bilag 2

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 avvaning.

I fig. 16 og 17 er det vist to eksempler på sensitivitetsanalyse av uttrykkene for kostnadsforholdet mellom lokal avvaning og transport av uavvannet slam respektive sentral avvaning (se pkt. 4.4). Eksempelene 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 avvaning 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. 16 (sentrifuge II) og fig. 17 (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. 16 og 17 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.

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 avvaning utgjør telleren i begge uttrykkene, vil disse altså kunne være 55%. Siden kostnadene for lokal avvaning utgjør telleren i begge uttrykkene, vil disse altså kunne være 55% høyere før det inntreer kostnadsbalanse med henholdsvis transport av uavvannet slam og sentral avvaning.

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.

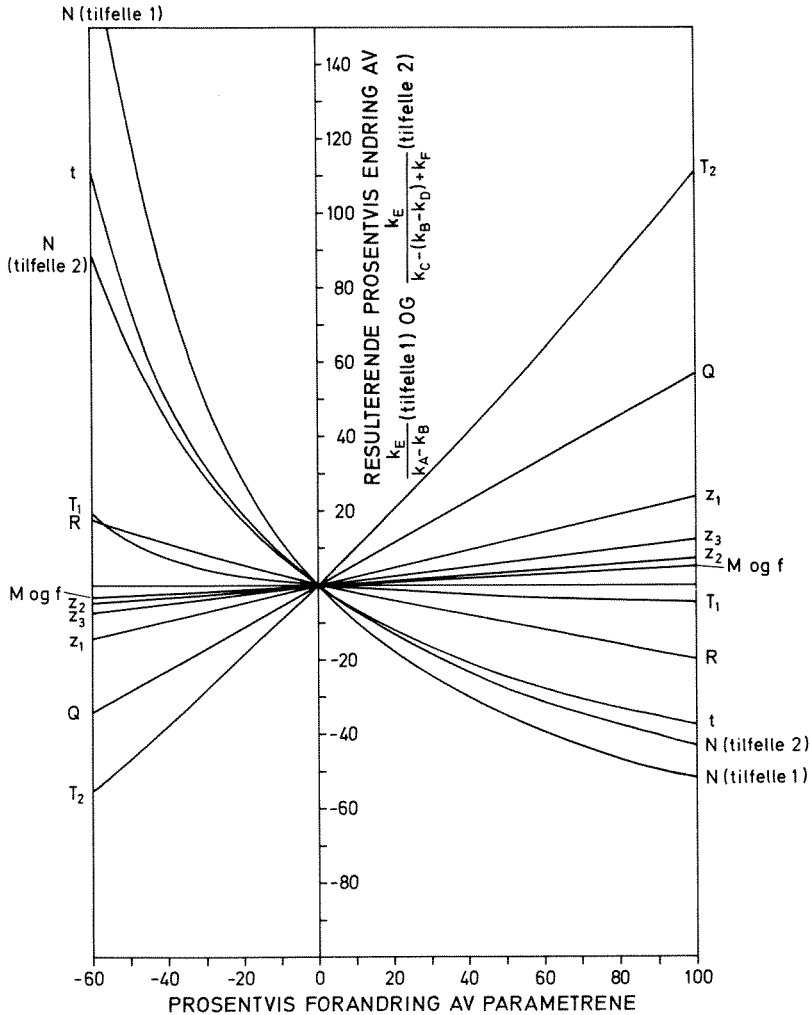
Alle parametre som inngår i uttrykkene for transportkostnader, vil egentlig ha forskjellige sensitivitetskurver i tilfelle 1 og tilfelle 2. Nå viser det seg imidlertid at det bare er transportprisen for uavvannet slam (N) som gir så store avvik at det er nødvendig å benytte én kurve for hvert tilfelle.

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.

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



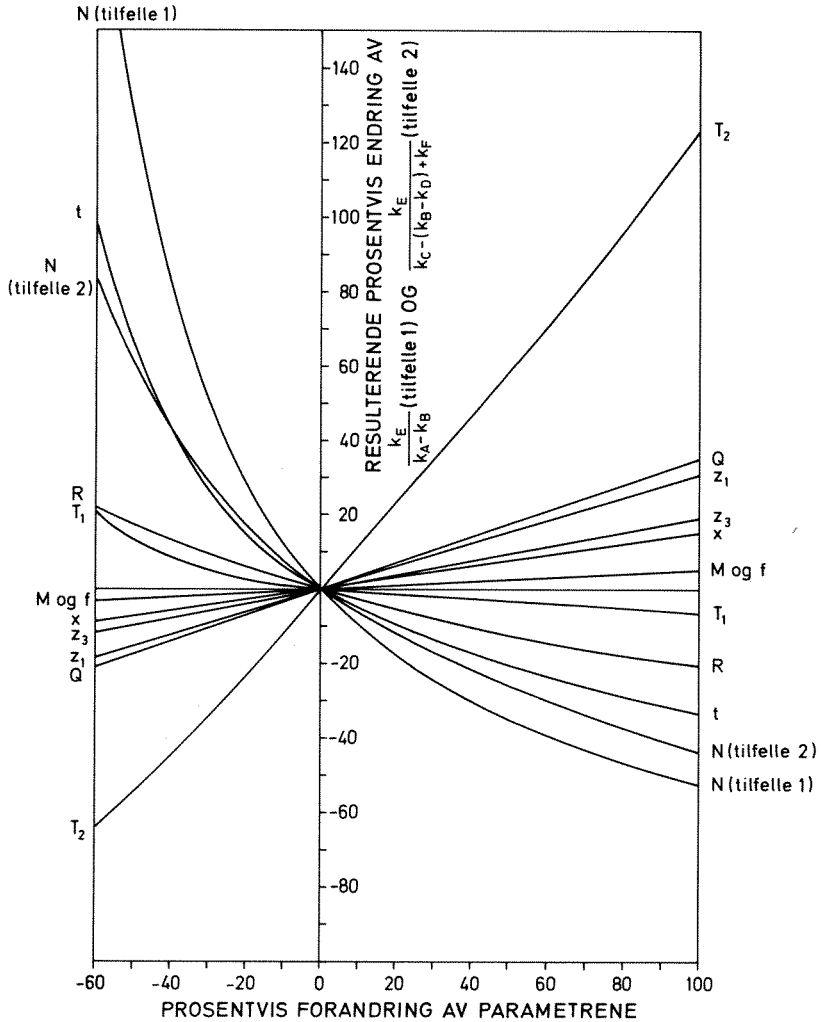
Utgangsdata for de variable parametre (se tegnforklaring s. 10)

$t = 120$ 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. 16. Eksempel på sensitivetsanalyse (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. 10)

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. 17. Eksempel på sensitivitetsanalyse (kammerfilterpresse).