

# Hva koster det å rense vårt avløpsvann?

Av Ole Jacob Johansen

Ole Jacob Johansen er sivilingeniør, Ph.D., og forskningsleder på Norsk institutt for vannforskning.

Kapitalkostnadene for norske renseanlegg utgjorde i 1982 ca. 700 mill. kr. De tilsvarende tall for driftskostnadene var ca. 350 mill. kr. I gjennomsnitt utgjør driftskostnadene 200 kr. pr. tilknyttet innbygger. Dette er så store utgifter at vi må sørge for å oppnå optimal utnyttelse av de ressurser vi setter inn i driften av våre renseanlegg.

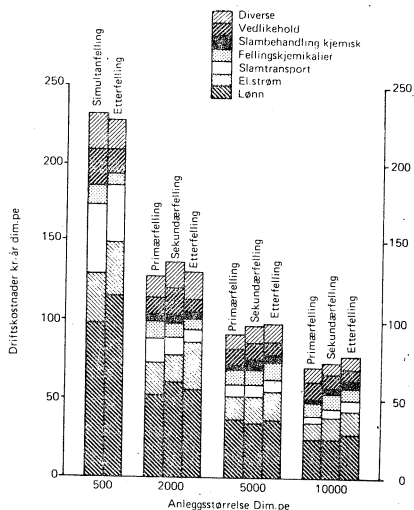
De fleste kommuner har liten eller ingen oversikt over driftskostnadene ved sine renseanlegg. Utgifter til driftskostnader blandes ofte sammen med utgifter fra andre sektorer og utgiftsføres i «sekkeposter». Driftskostnadene som oppgis fra de enkelte kommuner er derfor sjelden sammenlignbare. På bakgrunn av dette satte NTNFs Utvalg for drift av renseanlegg i gang et større prosjekt for å kartlegge kapital- og driftskostnader ved norske renseanlegg. Datamaterialet som presenteres her er hentet fra 90 renseanlegg. Kostnadene for de forskjellige typer anlegg er direkte sammenlignbare fordi priser er indeksregulerte (1980). (Gjelder for kapitalkostnader) og kapasitetene er justert etter samme dimensjoneringskriterier. Anleggene er forholdsvis nye, og bare åtte har et tidligere igangkjøringsår enn 1975. Mer detaljerte opplysninger er gitt i (1).

## LITEN FORSKJELL I DRIFTSKOSTNAD MELLOM ULIKE RENSEMETODER

Figur 1 viser driftskostnader for fire forskjellige anleggsstørrelser og for forskjellige rensemetoder. Kostnadene er beregnet ut fra de statistiske kostnadskurver som ble funnet ut fra kostnadsdataene fra de 90 undersøkte anlegg. Figur 1 viser at driftskostnadene pr. pe reduseres vesentlig med økende anleggsstørrelse. For etterfellingsanlegg vil driftskostnadene for anlegg dimensjonert og tilknyttet henholdsvis 500 og 10 000 pe bli ca. kr. 112 500 ( $225 \times 500$ ) henholdsvis kroner 750 000. Det viser seg at tilknytningen har forholdsvis liten innflytelse på driftskostnadene; det er anleggets dimensjonerende størrelse som er avgjørende for kostnadene. Overdimensjonering av anlegg eller anlegg med unødig stor reservekapasitet fører derfor til urimelig store driftskostnader pr. tilknyttet personekvivalent (se senere).

Figur 1 viser også at det er forbausende liten forskjell i driftskostnader for de forskjellige rensemetodene. Årsaken til dette vil bli diskutert senere.

Figur 2 gir en noe bedre oversikt over fordelingen av driftskostnadene enn figur 1. Anleggene i gruppene 2 000 og 10 000 pe har utstyr for mekanisk slamavvanning.



Figur 1.

*Fordeling av driftskostnader for norske renseanlegg.*

Det understrekes at det er en forholdsvis stor spredning i datamaterialet. Dette går f.eks. frem av driftskostnadene for alle sekundærfellingsanlegg, vist i figur 3. Spredningen i dataene er også ventet i det driften av anleggene er forskjellig.

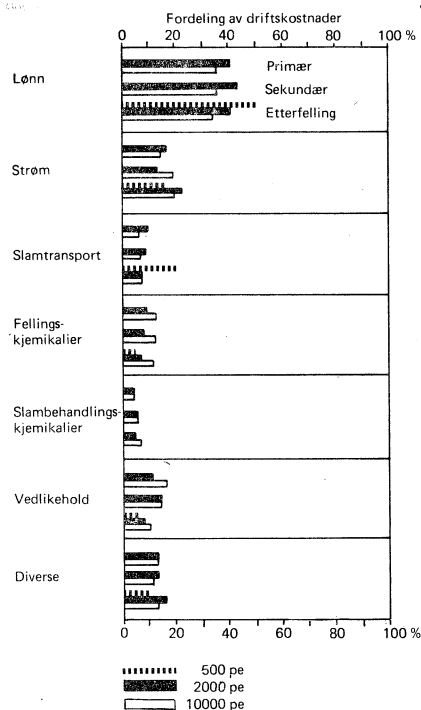
### LØNNSKOSTNADENE UTGJØR DEN STØRSTE ANDELEN AV DRIFTSKOSTNADENE

Av figur 1 går det frem at for alle typer renseanlegg utgjør lønnskostnadene den største andelen av driftskostnadene, fra over 50 prosent ved de minste anleggene til ca. 35 prosent ved den største.

Det er en rekke forhold som influerer på bemanningsbehovet eller lønnskostnadene ved renseanlegg. Blant de viktigste faktorer kan nevnes:

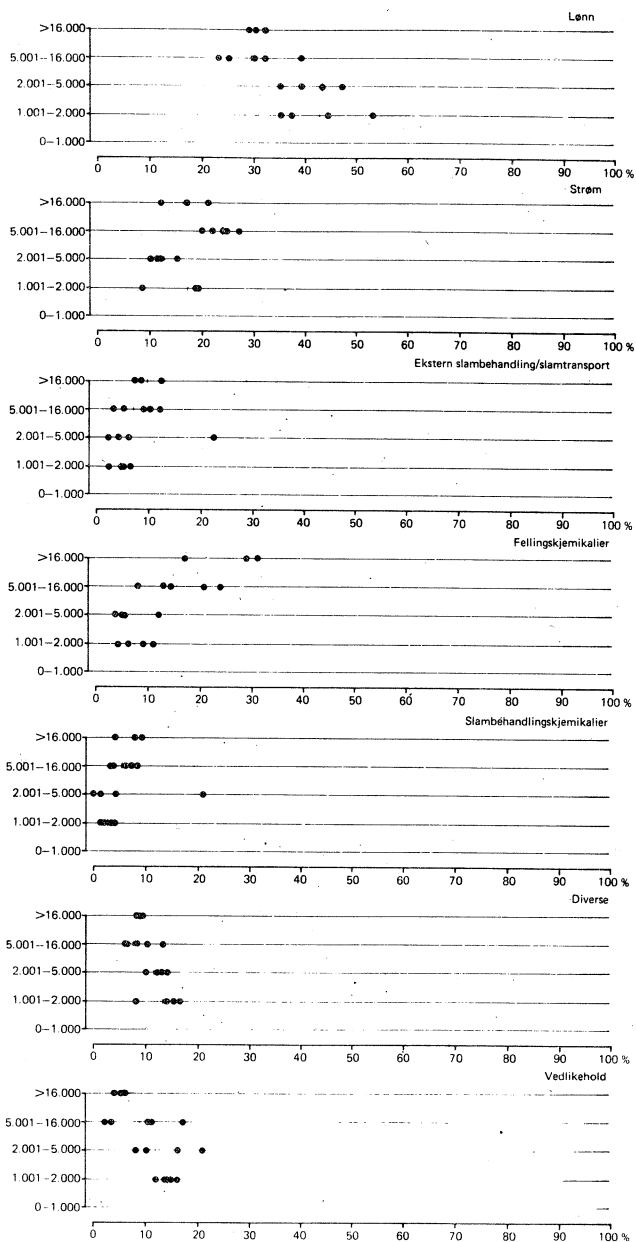
- Anleggsstørrelse
- Tilknytning
- Renseprinsipp
- Slambehandlingsrutiner
- Mottak av eksternt slam
- Maskinell utrustning
- Besøksfrekvens
- Vedlikeholdsrutiner.

Figur 4 viser arbeidsinnsatsen pr. uke for primær-, sekundær- og etterfellingsanleggene, alle med slamavvanning. Dataene for bemanning viser en forholdsvis



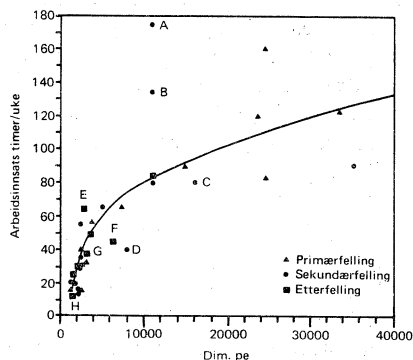
Figur 2.

*Fordeling av driftskostnader.*



Figur 3.  
Fordeling av driftskostnader. Sekundærfellingsanlegg.

stor spredning. Dette gjelder i første rekke for sekundærfellingsanleggene. Hovedårsaken til at anlegg A har så høy bemanning, skyldes at anlegget mottar ca. 17 000 m<sup>3</sup> septikslam pr. år. Fortykking,



Figur 4.

*Bemanning for anlegg med slamavvanning.*

avvanning og annen håndtering av så store slammengder krever nødvendigvis en stor arbeidsinnsats. I tillegg er anlegget fullt belastet.

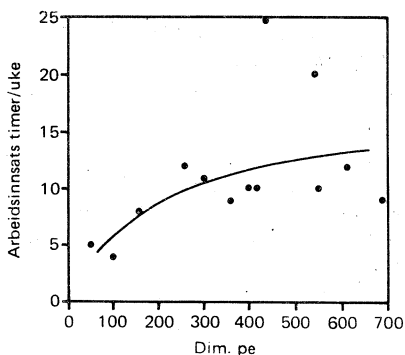
Arbeidsinnsatsen for drift pr. uke for etterfellingsanleggene med slamavvanning viser betydelig mindre spredning enn for sekundærfellingsanleggene. De to anleggene E og F som faller lengst vekk fra kurven, er begge biorotoranlegg. Alle etterfellingsanleggene, unntatt G og H mottar septisk slam.

Bemanningen pr. uke for primærfellingsanleggene viser liten spredning for sammenlignbare anleggsstørrelser.

Figur 4 viser at det ikke er noen markert forskjell i bemanningsbehovet for primær-, sekundær- og etterfellingsanlegg med slamavvanning. En mulig forklaring på det er så liten forskjell i arbeids-

innsats for drift pr. uke mellom f.eks. primær- og etterfellingsanlegg er at etterfellingsanleggene produserer mindre slam enn primærfellingsanleggene og at etterfelling normalt er en stabilere prosess som f.eks. stiller mindre krav til styring av fellingskjemikaliene. På den annen side må styring og renhold av det biologiske trinnet nødvendigvis ta noe tid. Ved de fleste anlegg med biologisk trinn drives neppe den prosesskontroll som er nødvendig for å drive den biologiske prosess optimalt. Derfor burde bemanningsbehovet for etterfellingsanlegg trolig være noe større enn for primær- og sekundærfellingsanlegg.

Figur 5 viser bemanningen for drift av mindre etterfellingsanlegg uten slamavvanning. Dataene viser end a større spredning. Dataene viser enda større spredning med slamavvanning (figur 4). Den store spredningen skyldes ti første rekke antall besøk for drift pr. uke. Anleggene som ligger lengst under kurven, besøkes bare tre ganger pr. uke. Dette er mulig ved at det er installert effektivt varslingssystem

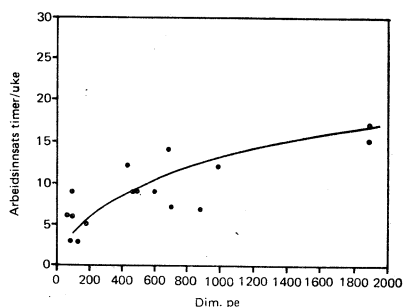


Figur 5.

*Bemanning for etterfellingsanlegg uten slamavvanning.*

som varsler til hovedanlegget, eller driftsoperatør hvis noe unormalt inntreffer.

Figur 6 viser bemanningen for drift pr. uke for simultanfellingsanleggene. Dataene viser som for små etterfellingsanlegg stor spredning. I gjennomsnitt ligger de registrerte verdier for simultanfellingsanlegg på ca. halvparten av verdiene for etterfellingsanleggene. Hovedårsaken til den store forskjell ligger sannsynligvis i at simultanfellingsanleggene drives dårligere enn etterfellingsanleggene. Dette går klart frem av driftsresultatene fra simultanfellingsanleggene (1).



Figur 6.

*Bemanning for simultanfellingsanlegg uten slamavvanning.*

De fleste av de undersøkte anlegg er trolig underbemannet, særlig de mindre anlegg. Erfaringsmessig viser det seg at vedlikeholdsarbeidet ved de fleste anlegg ikke er tilfredsstillende. Den store spredningen i dataene tyder også på at enkelte anlegg kan være overbemannet.

Fordi lønnskostnader er den betydeligste enkeltpost av driftskostnadene, er det i første rekke arbeidssituasjonen ved renseanleggene som må vies den største

oppmerksomhet for eventuelt å kunne redusere driftskostnadene, eller oppnå bedre drift av de arbeidsressurser som settes inn. Arbeidsrutinene bør studeres, for blant annet å finne ut om de forskjellige arbeidsoperasjoner gjøres i en logisk rekkefølge. Hvis spesielle operasjoner er meget arbeidskrevende på grunn av utilstrekkelig utrustning, kan det være en god investering å forbedre eller skifte utstyret som fungerer som en flaskehals i driften.

Spesielt de minste renseanleggene er forbehandlingen ofte problematisk og arbeidskrevende. Ved bygging av nye, mindre anlegg bør det tas hensyn til dette ved f.eks. å benytte mindre slamavskiller som forbehandlingsenhet slik at rist og sandfang blir unødvendig. Ved mindre anlegg med mekanisk slamavvanning kan arbeid med slambehandlingen medføre en urimelig andel av den totale arbeidsinnsats.

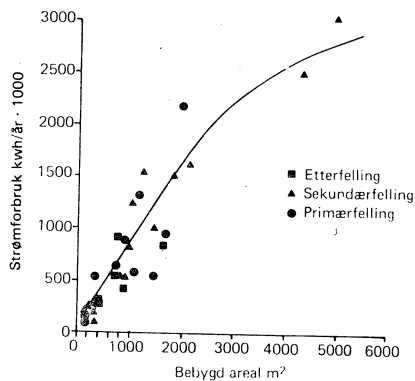
God organisasjon av drift av renseanlegg har også avgjørende betydning for arbeidssituasjonen på renseanleggene og de driftsresultater som blir oppnådd.

## ELEKTRISK KRAFT

For renseanlegg med slamavvanningsutstyr, utgjør utgifter til elektrisk strøm den største enkeltpost etter lønnskostnader. For alle anlegg varierer kostnadene for elektrisk strøm fra ca. 15 til ca. 20 prosent av de totale driftskostnader. Etterfellingsanlegg med slamavvanning har de høyeste kostnader for elektrisk kraft. Figur 7 viser energiforbruket for primær-, sekundær- og etterfelling fremstilt som funksjon av anleggenes bebygde areal. Det er stor spredning i data, men det er ingen vesentlig forskjell i energiforbruk pr. be-

bygd areal for de forskjellige rensemetoder.

Årsaken til at anlegg med biologisk rensetrinn ikke har vesentlig høyere energiforbruk er at energiforbruket til aktivslamprosessen grovt regnet utgjør bare



Figur 7.

*Strømforbruk som funksjon av bebygd areal.*

10 prosent av totalforbruket. Største andelen av energiforbruket går med til oppvarming og ventilasjon. For anlegg med stort mottak av eksternt slam kan også slamavvanningen utgjøre en betydelig del av totalforbruket.

Energiforbruket kan reduseres vesentlig ved bruk av riktigere ventilasjon og installasjon av varmegjenvinnere for ventilasjonsluften. I hovedprosjektet «Ventilasjon i kloakkrenseanlegg» (2) er det lansert en del nye tanker om ventilasjon i renseanlegg, og forslag til bedre systemer er fremlagt. Riktigere ventilasjonssystemer vil kunne redusere ventilasjonskostnadene vesentlig og gi et bedre arbeidsmiljø.

Tabell 1 viser midlere fordeling av energiforbruk i 40 norske renseanlegg. For nærmere opplysninger vises til (2).

Tabell 1.

*Midlere fordeling av energiforbruk i 40 norske renseanlegg.*

| Område      | Prosent |
|-------------|---------|
| Vegg        | 3,3     |
| Tak         | 4,8     |
| Vindu       | 3,8     |
| Ventilasjon | 54,5    |
| Basseng     | 6,0     |
| Prosess     | 27,9    |
| Totalt      | 100,0   |

Det er bare ca. 20 prosent av ventilasjonsanleggene ved våre renseanlegg som har varmevekslere. Lønnsomhetsberegninger viser at installasjon av varmevekslere er lønnsomt selv ved små ventilasjonsanlegg. Varmegjenvinnere har de senere år gjennomgått en stor utvikling og tåler i dag svært tøffe forhold. Ut fra pris og plasshensyn, synes de roterende varmevekslere å foretrekkes. Disse gir virkningsgrader i området 70—80 prosent. Lønnsomheten ved installasjon av varmevekslere er så god at de vil være nedbetalt i løpet av et par års drift.

Ved større renseanlegg kan det være aktuelt å installere varmepumpe for utnyttelse av avløpsvannets energiinnhold. Hovedprosjektet «Bruk av varmepumpe ved avløpsrenseanlegg» tar for seg avløpsvann som energikilde og hvordan dette kan utnyttes ved bruk av varmepumpe (3). Driftoppfølging av det første varmepumpeanlegget på avløpsrenseanlegg i Norge, HIAS, viser en forrentning av investeringene på ca. 25 prosent. Dette

er en meget høy forrentning på bakgrunn av at størsteparten av investeringene utgjør ombyggings- og tilpasningskostnader i eksisterende varmesystem.

Installasjon av varmepumpe i avløpsrenseanlegg er så lønnsomt at flere varmepumpeinstallasjoner er under bygging ved flere større renseanlegg i Norge.

## FELLINGSKJEMIKALIER

Utgiftene for fellingskjemikalier utgjør for de fleste anlegg fra 5% av de totale driftskostnader ved de minste anleggene til ca. 10% ved de største. De besparelser som kan oppnås ved overgang til andre fellingskjemikalier eller endrete fellingsmetoder, er for de fleste anlegg lave sammenlignet med de besparelser som kan oppnås ved endrete arbeidsrutiner eller energibesparelser. Overgang til andre fellingsmetoder kan imidlertid gi betydelig bedringer i driftsresultatene. Et eksempel er flertrinnsfelling som normalt vil øke fosforfjerningen betydelig. Dette er en fellingsprosess som er i utstrakt bruk i Sverige.

## VEDLIKEHOLD

Vedlikeholdskostnadene ved de fleste anlegg er meget lave. For de nyeste anlegg er dette naturlig. De lave vedlikeholdskostnader for de eldre anlegg skyldes et svært mangelfullt vedlikehold. Ved nesten ingen av anleggene drives det noe systematisk vedlikehold; anleggskomponenter blir bare reparert ved havari. Vedlikeholdskostnadene som er gitt i figur 1 gjelder bare kostnader for deler og reparasjonsarbeider eller vedlikehold utført ved eksternt hjelp.

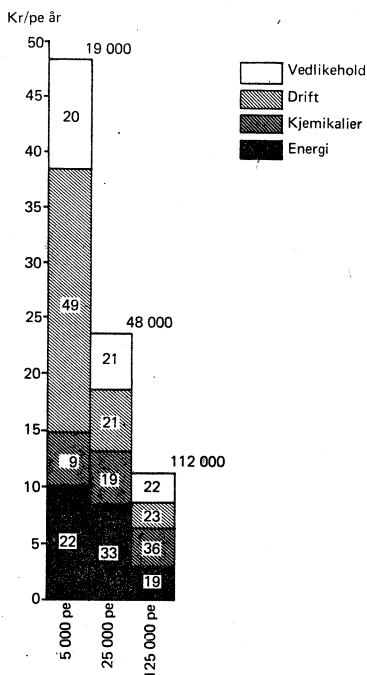
## SLAMBEHANDLING — SLAM-TRANSPORT

I prosjektet «Slamavvanning ved mindre renseanlegg» er det foretatt beregninger av kostnader for slambehandling og gitt lønnsomhetskriterier for når mekanisk slamavvanning bør installeres (4). For et renseanlegg, dimensjonert og tilknyttet 2000 pe. utgjør driftskostnadene for slambehandling (lønn, strøm, variable vedlikeholdskostnader, slambehandlingskjemikalier, slamtransport) ca. 25% av de totale driftskostnader. Ovennevnte tall kan ikke tas ut av kostnadsdataene i figur 1, fordi postene lønn og elektrisk strøm ikke er fordelt på de enkelte gjøremål eller enhetsprosesser som f.eks. slamavvanning.

Figur 8 viser fordeling av slambehandlingskostnader. Tallene er hentet fra svenske beregninger (5). For de mindre anlegg utgjør lønnskostnadene den største andel av driftskostnadene mens utgifter til slambehandlingskjemikalier er den største post ved større anlegg. Figuren viser at for et anlegg dimensjonert og tilknyttet 5 000 pe vil driftskostnadene med slamavvanning utgjøre kr. 190 000 pr. år eller 30 kr./pe. For en anleggsstørrelse på 125 000 pe vil driftskostnadene for slambehandling bli ca. 1,2 mill. kr. pr. år.

For anlegg uten slamavvanning utgjør utgifter til slamtransport mellom 15% og 20% av driftskostnadene. Disse utgifter vil være proporsjonale med tilknytningen. Den gitte andel ovenfor gjelder for en tilknytning på ca. 60% av dimensjonerende kapasitet.

# SLAMBEHANDLING Driftskostnader



Figur 8.

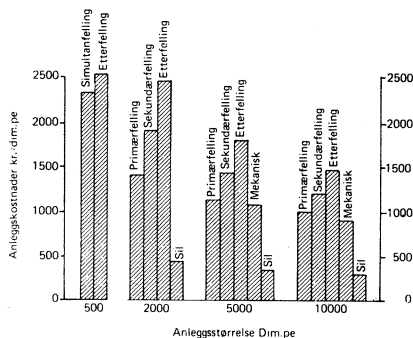
Fordeling av driftskostnader, slambehandling.

## STOR SPREDNING I BYGGEKOSTNADENE

Figur 9 viser midlere anleggskostnader for fire anleggsstørrelser. Anleggsgruppen med kapasitet 2 000 og 10 000 person-ekvivalenter har alle slamavvanningsutstyr, mens anleggsgruppen 500 pe kun har luftet slamlager som slambehandling. Anleggskostnader er omregnet etter byggeindeks til kostnadsnivå 1980.

Tallmaterialet viser stor spredning i anleggskostnadene for anlegg med samme

renseprinsipp og kapasitet. Dette er illustrert ved anleggskostnadene for sekundærfellingsanleggene med slamavvanning i figur 10.



Figur 9.

Anleggskostnader pr. dimensjonerende pe, inklusiv avgift.

Årsaken til den store spredning i byggekostnadene kan hovedtrekk forklares ut fra forskjeller i bebygget areal for anlegg med samme kapasitet. Dette er vist i figur 11. Med byggeareal menes her areal av bassenghaller, containerrom, slamavvanningsrom, servicerom og andre nyttbare arealer. Det er altså forskjell i planløsning som er hovedårsaken til den store spriket i byggekostnadene. Anlegg med rommelige kjellerløsninger som i liten grad er nyttbar og «dødplass» andre steder i anlegget gir uforholdsvis kostbare anlegg.

## KAPITALKOSTNADENE ER BETYDELIG STØRRE ENN DRIFTSKOSTNADENE

Figur 12 viser et sammendrag av kapital- og driftskostnadene av de samme anlegg som er vist i figur 1. Kapitalkost-

nadene er betydelig større enn driftskostnadene for alle de undersøkte renseanlegg uansett rensemetode. Felles for alle er at også driftskostnadenes andel av årskostnadene synker med anleggsstørrelsen og økende antall rensetrinn. For eksempel primærfellingsanlegg med kapasitet 5 000

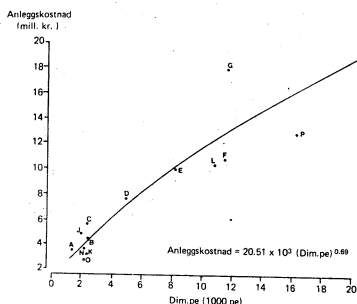
personequivallenter utgjør driftskostnadene ca. 37% av årskostnadene, mens tilsvarende tall er ca. 28% for etterfellingsanlegg av samme størrelse. Årsaken til dette er at byggekostnadene for et etterfellingsanlegg av denne størrelse er ca. 40% høyere enn for et primærfellingsanlegg.

Ved beregning av kapitalkostnadene er det benyttet avskrivningstider på 25 og 10 år for henholdsvis bygg og maskin. Renter er satt til 10,5%. Vedrørende andre forutsetninger vises til (1).

Kapitalkostnadene er gitt direkte av anleggskostnadene, mens driftskostnadene er sterkt avhengig av anleggets drift og i mindre grad avhengig av tilknytningen. Dette fordi øvrige arbeidsoperasjoner enn slamavvanning influeres lite av tilknytningen. For eksempel for et primærfellingsanlegg med dimensjonerende kapasitet 5 000 pe med tilknytning 2 000, henholdsvis 5 000 pe viser beregninger at driftskostnadene øker med 20% og årskostnadene med ca. 7%.

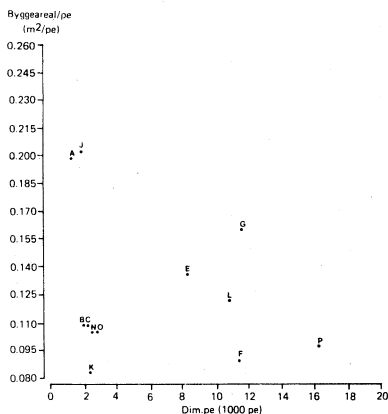
Figur 12 viser at årskostnadene for et etterfellingsanlegg dimensjonert for 500 pe er ca. kr. 310 000 pr. år (620x500). For en anleggsstørrelse på 10 000 pe vil årskostnadene være ca. 2,2 og 2,8 mill. kr./år for et primær- henholdsvis etterfellingsanlegg.

For å belyse rensekostnadene noe nærmere, vil vi ta utgangspunkt i et vannforbruk på 130 l pr. pe døgn og regne ut hvor mye abonnenten skal betale pr. m<sup>3</sup> for rensing av dette drikkevann. Hvis vi antar at dette vannet skal renses i et sekundærfellingsanlegg med dimensjonerende kapasitet 5 000 pe som er fullt belastet, vil utgiftene pr. tilknyttet personequivallent bli 310 kr./år eller en rensekostnad på kr. 6,60 pr. m<sup>3</sup> vannforbruk.



Figur 10.

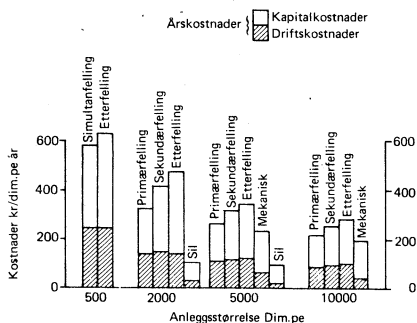
Anleggskostnader for sekundærfellingsanlegg med slamavvanning.



Figur 11.

Totalt areal pr. pe dim. Sekundærfellingsanlegg.

Med en tilknytning på 2 000 pe vil tilsvarende tall bli 880 kr./år eller kr. 18,50 pr. m<sup>3</sup>. Er abonnenten tilknyttet et etterfellingsanlegg med kapasitet 500 pe, vil



Figur 12.

*Kapital- og driftskostnader for norske renseanlegg inkl. avgift.*

prisen pr. m<sup>3</sup> vannforbruk bli kr. 13,00 og kr. 32,60 for en tilknytning på henholdsvis 200 og 500 pe. Disse kostnader er betydelig høyere enn de kloakkavgifter som benyttes av kommunene i dag. Basert på vannforbruket, ligger typiske kloakkavgifter i Norge på kr. 1,5–2 pr. m<sup>3</sup>. Skal renseanleggene vurderes forretningsmessig slik som f.eks. elektrisitetsverkene, må normalt avgiftene mer enn fordobles.

## STORE BESPARELSER VED BEDRE PLANLEGGING

Den store spredning i årskostnadene for likeverdige renseanlegg, skyldes først og fremst spredningen i kapitalkostnader eller indirekte byggekostnader. Hovedårsaken til dette er den måte anleggene er bygget på. Som vist tidligere varierer byg-

geareal pr. dimensjonerende personekvivalent for anlegg med samme kapasitet med en faktor på over 2. For å redusere årskostnadene, må det derfor settes i gang tiltak på planleggingssiden slik at løsnin- gene blir mest mulig optimale.

For å redusere byggekostnadene kan flere tiltak settes i gang. Ved f.eks. å bygge over luftebassenger og slamlagere, og plassere servicedel, slamavvanningsrom, containerrom etc. oppå bassengene, kan anleggenes bebygde areal og dermed byggekostnadene reduseres betraktelig. Dette vil også gi et bedre arbeidsmiljø ved at støy og aerosolproblemer reduseres. Ved de større anlegg som skal bygges langs vår kyst, bør det også vurderes om det er nødvendig med overbygg av bassenger som trenger forholdsvis lite ettersyn som f.eks. sedimenteringsbassenger. Dette vil ikke bare redusere byggekostnadene, men også driftskostnadene ved at oppvarming og ventilasjon for de ikke overbygde bassenger bortfaller.

For å oppnå bedre planlegging av renseanlegg både når det gjelder økonomi og funksjon, bør det sørges for at de nødvendige erfaringer blir tilbakeført til planleggerne av anleggene. Slik systemet fungerer i Norge i dag, er planleggeren vanligvis ferdig med prosjektet når anlegget står klart til drift. Dette fører til at anleggene ikke blir fulgt opp og planleggeren får ikke tilbakeført de nødvendige driftserfaringer. De samme feil og mangler går derfor igjen fra anlegg til anlegg. Det må derfor sørges for at de nødvendige erfaringer og nye idéer blir formidlet til planleggerne slik at mest mulig optimale løsninger oppnås både når det gjelder drift og bygging av renseanlegg.

## KONKLUSJONER

Ut fra datamaterialet kan følgende konklusjoner trekkes:

- Kapitalkostnadene er betydelig høyere enn driftskostnadene.
- For de undersøkte anlegg varierte byggekostnadene for likeverdige anlegg med en faktor på 2. For å redusere kapitalkostnadene må derfor anleggene planlegges bedre, dvs. bygges rimeligere og mer funksjonsdyktige.
- Årskostnadene bestemmes av dimensjonerende kapasitet og er forholdsvis lite avhengig av tilknytningen. Over-

dimensjonering eller unødig stor reservekapasitet vil derfor gi uforholdsmessig store årskostnader.

- Det er liten forskjell driftskostnader mellom ulike rensemetoder.
- Lønnskostnadene utgjør den største andel av driftskostnadene og utgifter til energiforbruk nest størst.
- Det er liten eller ingen forskjell i bemanning mellom like store primær, sekundær eller etterfellingsanlegg.
- Energiforbruket er stort sett proporsjonalt med bebygget areal og synes å være lite avhengig av rensemetode.

## REFERANSER

- (1) *Johansen, O. J.*: «Driftskostnader for kloakkrenseanlegg». Prosjekttransport nr. 35, NTNFs Utvalg for drift av renseanlegg, 1982.
- (2) *Hermansen, R., Neple, T. O.*: «Ventilasjon i kloakkrenseanlegg». Prosjektrapport nr. 36, NTNFs Utvalg for drift av renseanlegg.
- (3) *Bråten, Ø.*: «Bruk av varmepumpe ved avløpsrenseanlegg». Prosjektrapport nr. 33, NTNFs Utvalg for drift av renseanlegg, 1981.
- (4) *Ofte, J.*: «Slamavvanning ved mindre renseanlegg». Prosjektrapport nr. 38, NTNFs Utvalg for drift av renseanlegg, 1982.
- (5) *Andersson, C., Bornø, C.*: «Kostnader för avloppsrening». Statens Naturvårdsverk. PM 1237.