

# Interne notater

STATISTISK SENTRALBYRÅ

79/12

8. november 1979

ENERGIBRUK OG UTSLIPP TIL NATURMILJØET VED RAFFINERING AV RÅOLJE

Av Geir Bergvoll

## INNHold

|   | Side |
|---|------|
| 1. Innledning .....   | 1    |
| 2. Produksjonsprosessen i oljeraffinerier .....                                     | 2    |
| 3. Generelt om massebalanser .....  | 4    |
| 4. Klassifisering av oljeprodukter .....  | 5    |
| 5. Energibruk og miljøvirkninger ved Essos raffinerier .....                        | 8    |
| 5.1 Massebalanse 1970-1976 for Essos raffinerier på<br>Slagentangen og Valløy ..... | 8    |
| 5.2 Energibruk ved Essos raffinerier 1970-1976 .....                                | 10   |
| 5.3 Miljøvirkninger ved Esso-raffineriene .....                                     | 13   |
| 6. Energibruk og miljøvirkninger ved Shells raffineri .....                         | 15   |
| 6.1 Massebalanse for Shell-raffineriet .....  | 15   |
| 6.2 Energibruk ved Shell-raffineriet .....  | 17   |
| 6.3 Miljøvirkninger ved Shell-raffineriet .....                                     | 20   |
| 7. Energibruk og miljøvirkninger ved Rafinor .....                                  | 20   |
| 7.1 Massebalanse for Rafinor A/S & Co. ....   | 20   |
| 7.2 Energibruk ved Rafinor .....  | 22   |
| 7.3 Miljøvirkninger ved Rafinor .....   | 24   |
| 8. Sammenligning av energibruk og miljøvirkninger .....                             | 25   |
| 8.1 Sammenligning av energibruken ved Rafinor, Shell og Esso .                      | 25   |
| 8.2 Sammenligning av utslippsgrenser .....  | 26   |
| 9. Avslutning .....   | 27   |

## 1. Innledning

Norge har i dag fire oljeraffinerier, plassert på Slagentangen og Valløy (Esso), Sola (Shell) og Mongstad (Rafinor). Disse raffineriene har tilsammen kapasitet til å foredle omlag 12,5 mill. tonn råolje. I årene etter 1973 da råoljeprisene steg kraftig, har kapasitetsutnyttelsen vært svak. I 1976 var kapasitetsutnyttelsen ca. 67%.

Varestrømmene i norske oljeraffinerier har tidligere ikke vært underkastet noen analyse. I forbindelse med utarbeidelsen av ressursregnskap for energi, ble det avdekket behov for å se på disse herunder studere nærmere energibruken og miljøvirkningene (naturmiljøet) ved raffinering av råolje. Disse faktorer vil utgjøre naturlige bestanddeler i et ressursregnskap for energi.

Hovedkilde for det arbeide som ligger til grunn for notatet har vært de oppgaver raffineriene har sendt inn til industristatistikken. Dessuten er trukket inn noen andre datakilder, så som månedlige produksjonsoppgaver, årlig gasstatistikk og lagerstatistikk. Direkte kontakt med raffineriene har også vært av uvurderlig betydning både med hensyn til datatilgang og i sammenheng med informasjon om selve produksjonsprosessen i oljeraffineriene.

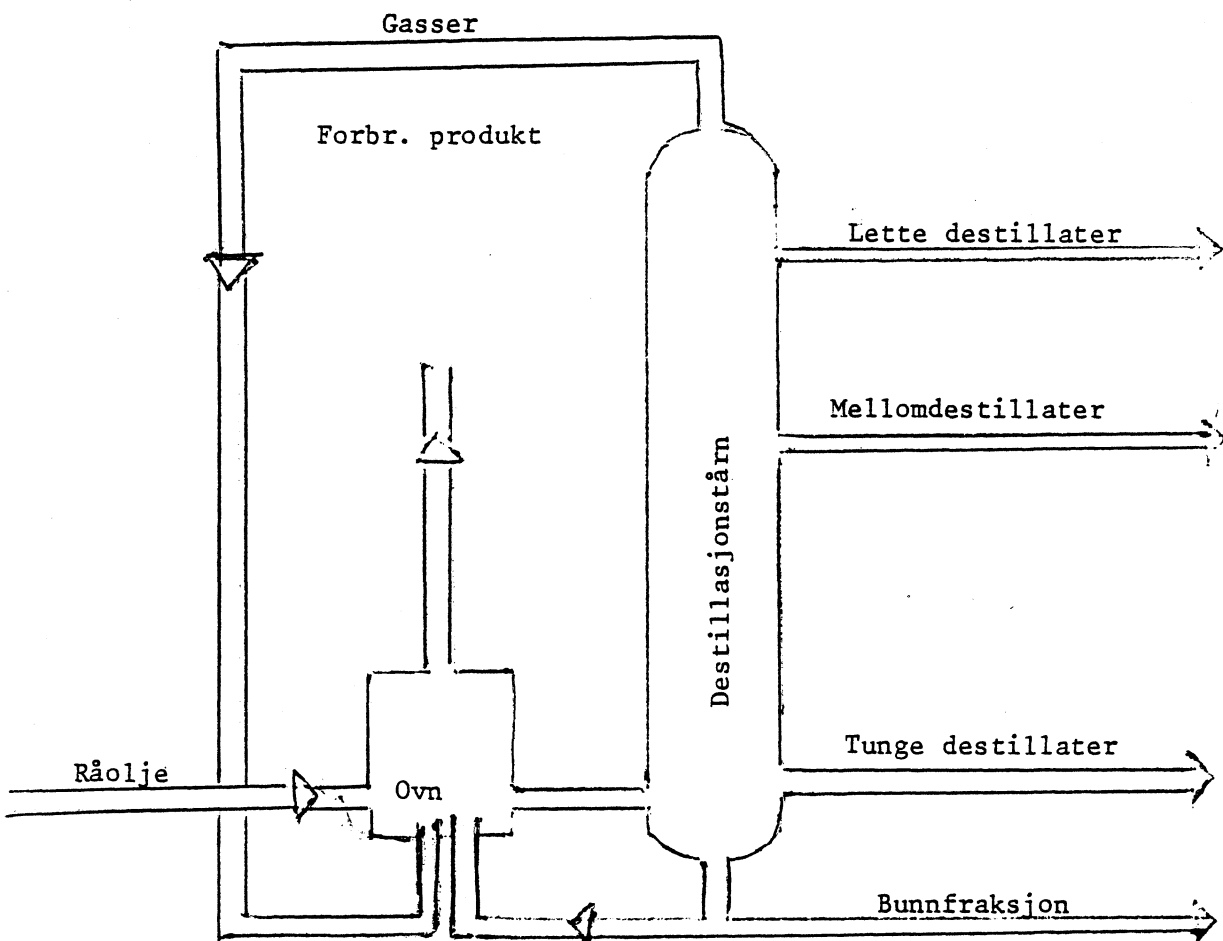
I sum har datatilgangen vedrørende energibruken i norske raffinerier vært tilfredsstillende. Derimot har det vist seg svært vanskelig å skaffe data som beskriver miljøvirkninger, rett og slett fordi disse i hovedsak ikke finnes. Statens Forurensningstilsyn har kunnet oppgi maksimale utslippsgrenser for ulike komponenter ved raffineriene. Samtidig ble det opplyst at bare Rafinor foretar kontinuerlig måling av utslipp. Imidlertid vil sannsynligvis de andre raffineriene i overskuelig framtid ha mulighet til slike målinger. Disse forhold er årsak til at miljøsidene av oljeraffinering blir lite inngående behandlet.

I tillegg til de resultater som fremkommer i dette notatet med hensyn til energibruk og miljøvirkninger ved energikonvertering i oljeraffineriene, har en også fått økt kunnskap om hensiktsmessigheten av Byråets statistikker gitt at utgangspunktet er et ønske om å følge varestrømmene i oljeraffineriene. Problemer i denne sammenheng har særlig tilknytning til ulike statistikkens klassifisering av ulike oljeprodukter. Dette er behandlet en del i vedlegg til dette notatet.

## 2. Produksjonsprosessen i oljeraffinerier

Jeg skal i dette avsnittet gi en skjematisk oversikt over produksjonsprosessen i et typisk oljeraffineri. Formålet er å gi leseren bedre grunnlag til å vurdere resten av notatet. På denne bakgrunn har det selvfølgelig ingen hensikt å studere detaljer i produksjonsprosessen. Fremstillingen gir derfor en sterkt forenklet oversikt.

Fig. 1. Produksjonsprosessen i oljeraffineri.



Produksjonsprosessen i oljeraffineriene utnytter det faktum at ulike oljeprodukter kondenserer ved ulike temperaturer. Tunge oljer kondenserer ved lavere temperaturer enn lette fraksjoner.

Råoljen føres inn i en ovn hvor den varmes opp til gassform før den slippes inn i destillasjonstårnet. Her stiger den oppover og avkjøles kontinuerlig. Oppover destillasjonstårnet finnes flere „lommer" som

fanger opp kondenserte produkter. Hver lomme er plassert slik at den fanger opp kondensater innenfor det temperaturintervall en ønsker. Lette fraksjoner kondenserer på høye trinn i tårnet, tunge på lave trinn. Selv øverst i tårnet er ikke alt kondensert. Dette gjelder særlig raffinerigassen. Dette produktet selges foreløpig ikke på noe marked og brukes i sin helhet i raffineriet til oppvarming av råoljen. Eventuell overskuddsgass brennes normalt av i fakkell. (Shell bruker også gasser til produksjon av elektrisk kraft i et eget varmekraftverk).

En del av råoljen destillerer ikke ved de anvendte temperaturer. Dette utgjør bunnfraksjonen og brukes f.eks. til produksjon av asfalt og vegolje. Ved Mongstadraffineriet er bunnfraksjonen råstoff i produksjonen av petrolkoks. Bunnfraksjoner kan også blandes opp med lettere produkter for derved å bli anvendbar som fyringsolje eller bunkers. Alle raffineriene i Norge bruker en del av disse tunge produktene til oppvarming av råoljen i tillegg til raffinerigassen.

I tillegg til den del av produksjonen som er beskrevet i fig. 1, gjennomgår de fleste produkter ulike former for videre bearbeiding. Det kan f.eks. være avgassing, fjerning av svovel, justering av oktantal m.v.

Raffineriene har bare små muligheter til å påvirke produktfordelingen. Dersom produksjonsteknologien er fast vil en bestemt type råolje gi et forholdsvis fast produktmønster. Et oljeraffineri kan hovedsaklig bare påvirke produktfordelingen ved blanding av ulike typer råoljer. Dette forhold medfører at et raffineri sjelden finner det optimalt å raffinere olje fra bare en kilde. Fordi etterspørselsstrukturen for oljeprodukter avviker fra produktstrukturen søker raffineriene stadig å finne fram til teknologi som øker andelen av lette fraksjoner.

I hovedsak er både energibruken og miljøvirkningene ved raffinering av råolje forbundet med oppvarmingen av råoljen. Noe forenklet kan en si at energibruken representeres av den raffinerigass og tungolje som benyttes til oppvarmingen mens miljøvirkningene er knyttet til de utslipp til luft som denne forbrenningen medfører. Faktorer som påvirker kvantiteten av energibruk og utslipp er ved siden av produsert mengde, produksjonens sammensetning (videreforedling av tunge fraksjoner til lette øker energibruken), anvendt produksjonsteknologi og råoljens kvalitet.

### 3. Generelt om massebalanser

En massebalanse er en oversikt over alle inn- og utgående varestrømmer i en bedrift. Forutsatt at alle inputs og outputs av varer er målt i samme fysiske enhet, vil en slik massebalanse være avstemt idet sum av inputs skal være sum outputs. For oljeraffinerienes vedkommende har en pr. i dag ikke tilstrekkelig data til å lage helt avstemte massebalanser. Videre må en ta i betraktning usikkerhet i data som skyldes målefeil m.v. For oljeprodukter kan slike målefeil være av betydelig størrelse. Dette henger f.eks. sammen med produktenes ulike tettheter ved ulike temperaturer. Spesielt er gassproduksjonen og råoljeforbruket heftet med usikkerhet. Rafinor oppgir f.eks. at raffineriet aksepterer ethvert avvik i mengde på  $\pm 0,5\%$  i forhold til det kvantum selgeren av råoljen oppgir. Dette gjelder for hver enkelt skipslast. For dette spesielle raffineriets vedkommende betyr dette ca.  $\pm 15\ 000$  tonn råolje pr. år.

En massebalanse for oljeraffinerier kan ha følgende utseende:

| <u>Inputs:</u>      | <u>Outputs</u>      |
|---------------------|---------------------|
| Råolje              | Bensiner            |
| Andre oljeprodukter | Parafin             |
| Tilsetningsstoffer  | Mellomdestillater   |
| Oksygen             | Tunge oljer         |
|                     | Ev. andre produkter |
|                     | Forbrenningsprodukt |
| <u>Sum</u>          | <u>Sum</u>          |

(Jeg vil i et senere avsnitt komme nærmere inn på definisjoner av de enkelte produkter.)

Input av oksygen har sammenheng med oppvarming av råoljen. Som kjent krever enhver forbrenning oksygen. Motposten på outputsiden er forbrenningsproduktet som dekker forbrent gass og tungolje inklusive forbrukt oksygen. Forbrenningsproduktet kan i prinsippet splittes opp i sine enkelte bestanddeler så som svoveldioksyd, hydrokarboner, nitrogenoksyder og aske. I mengde representerer sannsynligvis svoveldioksyd og aske de største poster. Totale utslipp av svoveldioksyd fra norske raffinerier er i størrelsesorden 8-9 tusen tonn på årsbasis ved full kapasitetsutnyttelse. Forbruket av tunge oljer til brensel i raffineriene i 1976 tilsier en samlet askemengde på ca. 600 tonn. (0,04% av forbrukt olje regnet i vekt).

Norske oljeraffinerier måler kontinuerlig alle spesifiserte varer i massebalansen over bortsett fra forbruk av oksygen og utslipp av forbrenningsprodukter. Ettersom en følgelig mangler data for både et input og et output, lar det seg vanskelig gjøre å lage fullstendige og avstemte massebalanser for norske raffinerier. I prinsippet kan en gjøre dette når en kjenner hvor mye raffinerigass og olje som er forbrukt. I dette tilfellet må en ha kjennskap til hvor mye oksygen en gitt gass og tungoljemengde bruker ved forbrenning. Ut fra dette kan altså de varer i massebalansen som ikke er gjenstand for måling beregnes. Det må dog poengteres at en i praksis ikke får avstemte massebalanser til tross for slike beregninger. Dette henger sammen med mulighetene for målefeil for de fleste varene som inngår i massebalansen.

#### 4. Klassifisering av oljeprodukter

Ved raffinering av råolje får en som resultat et stort antall produkter, hver med ulike tekniske spesifikasjoner. Ulike statistiske kilder benytter ulike aggregeringsnivå for oljeprodukter. Skjemaet som anvendes til månedlige produksjonsoppgaver fra oljeraffineriene har spesifisert i alt 26 ulike produkter mens industristatistikken opererer med 45 produkter, herav 24 ulike gasser. Lagerstatistikken som benyttes av beredskapsavdelingen i Handelsdepartementet har spesifisert 7 produkter. Med hensyn til avstemming av massebalanser for oljeraffineriene spiller aggregeringsnivået en underordnet betydning. Imidlertid danner massebalansene basis for senere oppsett av energivare og energibalanser for hvert raffineri. I denne sammenheng får klassifiseringen betydning. Et utgangspunkt kunne f.eks. være å aggregere produkter med teoretisk energiinnhold innenfor på forhånd bestemte intervaller. Imidlertid reduseres neppe presisjonen i beregningene av energiinnhold i særlig grad som følge av aggregering. Dette har sammenheng med at de brennverdier raffineriene oppgir for sine produkter må betraktes som gjennomsnittstall. Et annet forhold som taler mot bruk av disaggregerte produktdata er hensynet til ensartet behandling av de ulike raffineriene. F.eks. kan tekniske spesifikasjoner for et gitt oljeprodukt variere fra raffineri til raffineri. Et resultat av dette er at en ved bruk av disaggregerte data sannsynligvis måtte benytte ulike produktspesifikasjoner for hvert raffineri.

Disse forhold samt hensyntet til at tallene også brukes i energiregnskapet Byrået utarbeider har medført at jeg har valgt en produktspesifikasjon som samsvarer i stor grad med energiregnskapets.

Produktene er:

a) Bensiner.

Bensiner omfatter flybensin, bilbensin, båtbensin, ekstraksjonsbensin og naftha. Som påpekt i vedlegget kan en med stor sikkerhet hevde at min hovedkilde, industristatistikken, har for lave tall under produksjon av bensin. Dette henger særlig sammen med at raffineriene ved føring av industristatistikken har oppgitt produksjon av flybensin sammen med parafin. (Se nedenfor) Det har ikke lyktes å skaffe tilstrekkelig spesifiserte historiske data fra raffineriene til å innarbeide i mine tabeller de korreksjoner som i denne forbindelse er nødvendig. Dette innebærer at de tall som i dette notatet oppgis under produksjon av bensiner sannsynligvis er for lave.

b) Parafin (Petroleum)

Denne gruppen dekker produktene jetparafin, jetbensin, fyringsparafin og mineralterpentin (white-spirit). Med utgangspunkt i det som er sagt foran kan fastslås at tallene for produksjon av petroleum sannsynligvis er for høye. Videre bør påpekes at jetbensin, JP4 både i industristatistikken og i månedlig produksjonsstatistikk klassifiseres som petroleum mens dette produktet i den lagerstatistikk Handelsdepartementet benytter klassifiseres sammen med LPG og nafta. Ut fra tekniske spesifikasjoner for JP4 er det så vidt jeg kan se naturlig å klassifisere dette som bensin. Tetthet ligger f.eks. nær opp til bensin. JP4 er forøvrig en blanding av jetparafin JP1 og nafta.

c) Fyringsolje nr. 1.

Fyringsolje nr. 1 omfatter foruten de letteste fyringsoljene også diesellolje og gassolje. Det er ingen spesielle problemer forbundet med klassifisering m.v. i dette tilfelle.

d) Fyringsolje nr. 2.

Dette produktet dekker middels tunge fyringsoljer.

e) Fyringsolje nr. 3 m.v.

I dette notatet dekker dette de tyngste fyringsoljer, dvs. fyringsoljer med viskositet over ca. 40 Redwood no. 1 ved 100°F. Dette innbefatter fyringsoljer nr. 3 og over samt spesialdestillater.

Fyringsolje nr. 1 og nr. 2 (gruppe c og d ovenfor) utgjør tilsammen gruppen mellomdestillater som anvendes i energiregnskapet. I tillegg vil mellomdestillater innbefatte spesialdestillater. Dette henger sammen med at spesialdestillater etter sin viskositet naturlig hører inn under mellomdestillater. Spesialdestillater har viskositet i området 40-50 Redwood no. 1 ved 100°F mens gruppen mellomdestillater (medium ful oil) etter internasjonale standarder anvendt av både FN og OECD lar mellomdestillater omfatter produkter med viskositet opp til 115 Redwood no. 1 ved 100°F. Energiregnskapets klassifisering er altså på linje med internasjonal statistikk på dette området. Også i dette notatet ville det selvfølgelig være ønskelig å benytte samme kriterium for skillet mellom mellomdestillater og tunge oljer (jfr. gruppe e)

Imidlertid har data for produksjon av spesialdestillater bare vært tilgjengelig f.o.m. 1975 mens dette notatet skal dekke perioden 1970-1976. Av hensyn til ønsket om å ha ensartet klassifisering for hele denne perioden, har jeg funnet nødvendig å la fyringsolje nr. 3 mv. dvs. tunge fyringsoljer, innbefatte også spesialdestillater.

#### f) Raffinerigass

Raffineriene oppgir produksjon av raffinerigass til tre ulike statistikker, industristatistikken, månedsstatistikken og gassstatistikken. Mulighetene til kryss-sjekking av data er altså gode. Fra raffineriene oppgis imidlertid gassdata å være blant de mest usikre. Dette har bl.a. sammenheng med mulighetene for lekkasjer og temperaturvariasjoner som medfører varierende tetthet.

#### g) Propan, butan m.v.

Bare Esso har slik produksjon. I alle tilgjengelige kilder er denne gassproduksjonen oppgitt i volum. Esso setter tettheten på denne gassen til 0,53 kg/dm<sup>3</sup>.

#### h) Endringer i varer i arbeid

Destillasjonsprosessen i et raffineri fremskaffer vanligvis ikke produkter som er identiske med de som velges til forbrukerne. De komponentene som produseres må enten blandes i visse forhold eller tilsettes ulike typer kjemikalier før de er klare for salg. Med utgangspunkt i produktspesifikasjonen i produksjonsstatistikkene, definerer raffineriene produkter som varer klare til salg.



De av komponentene som ikke er klarert for salg registreres som lager av varer i arbeid. Dette betyr at i år da raffineriene tærer på denne lagerbeholdningen kan spesifisert produksjon overstige inntaket av råolje m.v. i raffineriet. Denne posten i massebalansen kan altså være både positiv og negativ.

#### i) Petrolkoks

Petrolkoks produseres bare ved Rafinor.

Varegruppene a)-i) utgjør tilsammen energivarene produsert ved norske oljeraffinerier. I tillegg til disse har jeg spesifisert følgende produkter som også inngår i massebalansene.

#### j) Bitumen, veiolje

Separate data for h.h.v. bitumen og veioljeproduksjonen finnes. Da disse er lite interessante i denne sammenheng har jeg aggregert her p.g.a. felles anvendelsesområde.

#### k) Svovel

##### 1) Andre varer

Herunder hører visse spesielle produkter så som forstveske, smøreoljer og tilsetningsstoffer (input)

Til slutt skal bemerkes at alle raffineriene ikke har produksjon av alle varer som er spesifisert over. I massebalansene for hvert raffineri spesifiseres således bare de varene som er aktuelle for vedkommende raffineri.

### 5. Energibruk og miljøvirkninger ved Essos raffinerier 1970-1976

#### 5.1 Massebalanse 1970-1976 for Essos raffinerier på Slagentangen og Valløy

Byrådet innhenter ikke separate data for raffineriene på Slagentangen og Valløy da disse ligger i samme kommune. Av denne grunn har jeg måttet behandle disse som om de var en fysisk enhet.

Essos raffinerier har tilsammen kapasitet til foredling av ca. 5,5 mill. tonn råolje og råoljeprodukter pr. år. Raffineriene kjører for tiden med omlag 50% kapasitetsutnyttelse. Et særtrekk ved Essos raffineri er det forholdsvis store forbruk av andre inputs enn råolje. I hovedsak er dette importerte halfabrikata.

Tabell 1. Massebalanse for Esso 1970-1976. Uavstemt. Enhet: 1000 tonn.

|                             | 1970         | 1971         | 1972         | 1973         | 1974         | 1975         | 1976         |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Inputs:</b>              |              |              |              |              |              |              |              |
| Råolje                      | 3 635        | 3 507        | 3 911        | 4 017        | 3 581        | 3 215        | 3 110        |
| Bensiner                    | 66           | 45           | 43           | 54           | 60           | 128          | 62           |
| Petroleum                   | -            | 29           | 60           | 32           | -            | 51           | 144          |
| Fyr.olje nr. 1              | 27           | 12           | 4            | -            | -            | -            | 39           |
| " " " 3                     | 5            | -            | -            | 19           | 27           | -            | -            |
| Andre                       | 17           | 15           | 14           | 19           | 14           | 18           | 2            |
| <b>Sum</b>                  | <b>3 750</b> | <b>3 608</b> | <b>4 032</b> | <b>4 141</b> | <b>3 682</b> | <b>3 412</b> | <b>3 357</b> |
| <b>Outputs</b>              |              |              |              |              |              |              |              |
| Bensin                      | 478          | 492          | 543          | 651          | 705          | 623          | 533          |
| Petroleum                   | 204          | 118          | 195          | 226          | 130          | 187          | 145          |
| Fyr.olje nr. 1              | 855          | 784          | 933          | 988          | 985          | 910          | 1 034        |
| " " " 2                     | -            | 191          | 193          | 182          | 280          | 44           | 4            |
| " " " 3                     | 1 935        | 1 809        | 1 833        | 1 846        | 1 357        | 1 421        | 1 399        |
| Raffinerigass               | 71           | 73           | 81           | 83           | 68           | 68           | 62           |
| Propan, butan               | 29           | 30           | 43           | 50           | 42           | 33           | 31           |
| Bitumen                     | 73           | 69           | 63           | 91           | 79           | 152          | 127          |
| Andre                       | 34           | 27           | 43           | 32           | 15           | 4            | 2            |
| <b>Sum</b>                  | <b>3 679</b> | <b>3 593</b> | <b>3 927</b> | <b>4 149</b> | <b>3 661</b> | <b>3 442</b> | <b>3 337</b> |
| Sum output i %<br>av inputs | 98,1         | 99,6         | 97,4         | 100,2        | 99,4         | 100,9        | 99,4         |

Det fremgår av tabell 1 at denne massebalansen er noe ulik den presentert som eksempel tidligere. Jeg har her ikke gått inn på de kjemiske prosessene som er knyttet til forbrenningen av raffinerigass og fyringsoljer i raffineriene. Følgelig er ikke forbruk av oksygen og produksjon av forbrenningsprodukt med i tabell 1. Ettersom all raffinerigass forbrennes representerer denne noe av forbrenningsproduktet sammen med oljeforbruket som også er med i balansen under fyringsoljer. I senere avsnitt skal presenteres noen ad-hock beregninger av deler av forbrenningsproduktet, nemlig utslipp av svoveldioksyd.

Bortsett fra årene 1970 og 1972 ligger differansen mellom input og output innenfor de grenser en kan forvente med utgangspunkt i sannsynligheten for målefeil m.v. Dersom en antar hele differansen skyldes målefeil, kan en forvente at disse slår begge veier slik at en over lengre tid får godt samsvar mellom inputs og outputs. For hele perioden 1970-1976 har vi for Esso-raffineriet registrert tilsammen 194 000 t mindre produksjon enn forbruk. Dette svarer til 0,7% av samlet forbruk i perioden. Ekskluderer vi årene 1970 og 1972 ved å se

på perioden 1973-1976 finner en at samlet forbruk overstiger samlet produksjon med bare 3 000 tonn, dvs. 0,02% av totalforbruket i perioden. Dersom massebalansen ble komplettert ved å ta med forbrukt oksygen og samlet forbrenningsprodukt forandres ikke differansene i absolutte verdier, men relativt til forbruket totalt, går disse ned. Spesielt for perioden 1973-1976 må avstemmingen av massebalansen i tabell 1 sies å være tilfredsstillende.

## 5.2 Energibruk ved Essos raffinierier 1970-1976

### Innledende merknader

Energibruken i et raffinieri kan beregnes på ulike måter. Et alternativ er å trekke parallell mellom energibruk og virkningsgrad. En lager da en energibalanse for raffinieriet der en med utgangspunkt i energivarenes teoretiske energinnhold beregner differansen mellom forbruket og produsert energimengde. Det er flere svakheter ved dette opplegget. Skillet mellom energivarer og andre varer er ikke skarpt. F.eks. finnes argumenter for å definere veiölje som energivare selv om denne varen faktisk ikke brukes som energivarer. Skillet mellom energivarer og andre varer er definert ut fra varenes anvendelse ikke deres potensielle anvendelse. Ut fra dette er det således også argumenter mot å definere mineralterpentin som energivare ut fra en antakelse om at mineralterpentin i hovedsak brukes i produksjon av maling. Ettersom raffinieriene kan endre produktsammensetningen (dog i begrenset grad) ved endring i relative priser, kan ovennevnte metode for beregning av energibruken i en viss grad bli et uttrykk for raffinierienes produksjon av andre varer enn energivarer.

Alternativt til ovennevnte metode kan en definere energibruken i oljeraffinieriene som raffinierienes forbruk av brensel. I dette tilfellet adderes, etter omregning til felles energienhet, forbruket av olje, raffinierigass og elektrisitet. Metoden er enkel og såvidt jeg kan se, hensiktsmessig da en unngår de problemer som er skissert over.

Som nevnt tidligere, benytter ikke raffinieriene nødvendigvis all produsert raffinierigass til brensel, idet noe brennes i fakkell. Denne avbrente gassen representerer en energikilde som foreløpig ikke har alternative anvendelser. Rafinor avfaklet i 1976 gass tilsvarende omtrent 18 000 tonn råolje. (1 tonn råolje = 1 000 Nm<sup>3</sup> raffinierigass) Denne overskuddsenergien er altså av en slik størrelsesorden at den burde

berettigede egen innrapportering i statistikken til Byrådet.

-

Vi skal ved beregning av energiforbruket ved Essos raffinierier anvende begge de metoder som er nevnt innledningsvis.

Essos forbruk av brensel i perioden 1970-1976 er vist i tabell 2.

Tabell 2. Forbrukt brensel ved Essos raffinierier. Enheter: 1000 t og GWh.

|              | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Gass         | 71   | 73   | 81   | 83   | 68   | 68   | 62   |
| Fyringsoljer | 27   | 23   | 19   | 22   | 28   | 20   | 22   |
| El.kraft     | 54   | 56   | 63   | 64   | 61   | 63   | 62   |

Omregnet til summerbare størrelser får en:

Tabell 3. Brenselsforbruk ved Esso. TJ.

|                    | 1970  | 1971  | 1972  | 1973  | 1974  | 1975  | 1976  |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Gass               | 4 240 | 4 360 | 4 840 | 4 960 | 4 060 | 4 060 | 3 700 |
| Fyringsoljer       | 1 140 | 970   | 800   | 930   | 1 180 | 850   | 930   |
| El.kraft           | 190   | 200   | 230   | 230   | 220   | 230   | 220   |
| Sum                | 5 570 | 5 530 | 5 870 | 6 120 | 5 460 | 5 140 | 4 850 |
| i % av tot.forbruk | 3,5   | 3,6   | 3,4   | 3,5   | 3,5   | 3,6   | 3,4   |

Det fremgår av tabell 3 at energiforbruket ved Esso pr. år (def. som brenselsforbruket) er i størrelseorden 5-6 000 TJ svarende til 120-140 tusen tonn råolje omregnet etter teoretisk energiinnhold. Energiforbruket regnet som andel av total energitilgang i raffinieriet viser stor stabilitet. (Elastisiteten av energibruken m.h.p. total energiinput er tilnærmet 1) Raffinerigassen dekker alene omlag 75% av energiforbruket, elektrisk kraft i underkant av 5% og fyringsolje resten.

Økt foredlingsgrad i raffinierigene medfører normalt økt energiforbruk. Essos produktfordeling i perioden 1970-1976 framgår av tabell 4.

Tabell 4. Essos produktfordeling. Vekt %.

|                   | 1970  | 1971 | 1972  | 1973  | 1974  | 1975  | 1976  |
|-------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Gass+bensin+petr. | 21,3  | 19,8 | 22,0  | 24,3  | 25,8  | 26,5  | 23,1  |
| Fyr.nr. 1+ nr. 2  | 23,2  | 27,1 | 28,7  | 28,2  | 34,6  | 27,7  | 31,1  |
| Fyr. nr. 3        | 52,6  | 50,3 | 46,7  | 44,5  | 37,1  | 41,3  | 41,9  |
| Andre             | 2,9   | 2,7  | 2,7   | 3,0   | 2,6   | 4,5   | 3,9   |
| Sum               | 100,0 | 99,9 | 100,1 | 100,0 | 100,1 | 100,0 | 100,0 |

Tabellen viser klart hvordan Essos produksjon er vridd fra tunge til lette produkter. (Dette er helt i samsvar med etterspørselsutviklingen) Sammenligner en tabell 3 og 4 ser en at endringer i produktfordelingen har skjedd uten økning i energiforbruket. Såvidt jeg kan se, finnes to forklaringer på dette.

1. Essos forbruk av lette produkter har økt i perioden. (Jfr. tabell 1)
2. Essos investeringer i energiøkonomiserende tiltak.

Disse to forhold har altså tilsammen bevirket at Esso har maktet å stabilisere energiforbruket til tross for økt produksjon av lette produkter (Et tredje moment som kan være av betydning, er de varierende produktutbytter ulike råoljer gir. Et raffineri kan altså til en viss grad øke produktandelen for lette produkter ved å endre råoljesammensetningen til raffineriet. Dersom en hadde fullt kjennskap til alle råoljepriser cif, produktpriser og produktfunksjon for raffineriet, kunne en ved antakelse om profittmaksimerende adferd beregne optimal råoljesammensetning for hvert år og herav få et bilde av i hvilken grad dette momentet spiller inn.)

Energibalansen for Esso er laget med utgangspunkt i massebalansen i tabell 1. Energibalansen gir en oversikt over samlet energitilgang ved raffineriet og hvor mye energi raffineriet har produsert for salg. Fyringsolje og raffinerigass brukt til brensel er altså ikke tatt med. Det samme gjelder varer som ikke defineres som energivarer.

Tabell 5. Energibalanse for Esso. TJ

|                         | 1970          | 1971          | 1972          | 1973          | 1974          | 1975          | 1976          |
|-------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>Energiforbruk</b>    |               |               |               |               |               |               |               |
| Råolje                  | 153710        | 148300        | 165380        | 169870        | 151430        | 135950        | 131510        |
| Bensin                  | 2900          | 1980          | 1890          | 2370          | 2640          | 5630          | 2730          |
| Petroleum               | -             | 1240          | 2560          | 1370          | -             | 2180          | 6150          |
| Fyr.olje nr. 1          | 1140          | 510           | 170           | -             | -             | -             | 1650          |
| " " " 3                 | 210           | -             | -             | 800           | 1130          | -             | -             |
| El.kraft                | 190           | 200           | 230           | 220           | 230           | 230           | 220           |
| <b>Sum</b>              | <b>158150</b> | <b>152230</b> | <b>170230</b> | <b>174640</b> | <b>155420</b> | <b>143990</b> | <b>140610</b> |
| <b>Energiproduksjon</b> |               |               |               |               |               |               |               |
| Bensin                  | 21010         | 21630         | 23870         | 28620         | 30990         | 27390         | 23430         |
| Petroleum               | 8710          | 5040          | 8330          | 9650          | 5550          | 7990          | 6190          |
| Fyr.olje. nr 1          | 36160         | 33150         | 39450         | 41780         | 41650         | 38480         | 43720         |
| " " " 2                 | -             | 8080          | 8160          | 7700          | 11840         | 1860          | 170           |
| " " " 3                 | 79880         | 74780         | 75950         | 76370         | 55730         | 58600         | 57650         |
| Propan, butan           | 1400          | 1450          | 2080          | 2420          | 2030          | 1600          | 1500          |
| <b>Sum</b>              | <b>147160</b> | <b>144130</b> | <b>157840</b> | <b>166540</b> | <b>147790</b> | <b>135980</b> | <b>132660</b> |
| <b>Forbruk÷ prod.</b>   | <b>10990</b>  | <b>8100</b>   | <b>12390</b>  | <b>8100</b>   | <b>7630</b>   | <b>8010</b>   | <b>7950</b>   |
| <b>i % av forbruk</b>   | <b>6,9</b>    | <b>5,3</b>    | <b>7,3</b>    | <b>4,6</b>    | <b>4,9</b>    | <b>5,6</b>    | <b>5,7</b>    |

Tabell 5 viser at virkningsgraden ved Essoraffineriet varierer fra 92,7% til 95,4%. Energitalpet viser altså svingninger fra år til år. (Jfr. dog at Essos tall for 1970 og 1972 er antatt å være dårligere enn de andre årene). Omregnet til råolje tilsvarer energitalpet omlag 180-290 tusen tonn. Egentlig er ikke energitalpet slik det beregnes i tabell 5 særlig interessant. Energitalpet fratrukket brenselsforbruket vil jo variere tilnærmet proporsjonalt med Essos produksjon av andre varer enn energivarer, i hovedsak vegolje og bitumen. Dette forklarer f.eks. økningen fra 1974 til 1975.

### 5.3 Miljøvirkninger ved Esso-raffineriene

Som nevnt innledningsvis, er tilgangen på data som dekker miljøvirkninger ved oljeraffinering svak. Fra Statens Forurensnings-, tilsyn har en fått oppgitt utslippsgrenser av visse stoffer. Dette

samt spredte kommentarer i oljeselskapenes årsberetninger er eneste grunnlag for det som i dette notat skrives om virkninger på miljøet.

Essos raffinierier har følgende utslippsgrenser.

Tabell 6. Utslippsgrenser ved Essos raffinierier. Kg/pr. døgn. Årsgj.

| Til  | Komponent     | Esso Slagentangen | Esso Valløy |
|------|---------------|-------------------|-------------|
| Vann | Olje          | 85                | 60          |
|      | Fenol         | 5                 | 2           |
|      | Sulfid        | 10                | 4           |
|      | Aumoniakk     | 12                | 6           |
| Luft | Svoveldioksyd | 12 600            | 2 640       |

Som en ser av tabellen, er alle utslippsgrensene bortsett fra SO<sub>2</sub> i massebalansesammenheng svært små. Ettersom Statens Forurensningstilsyn opplyser at bare Rafinor har mulighet til måling av løpende utslipp kan sannsynligvis grensene i tabell 6 tolkes som faktiske utslipp ved full kapasitetsutnyttelse. Utslipp av noen stoffer kan være uavhengig av kapasitetsutnyttelsen. F.eks. har oljeutslippene nok sin årsak i lekkasjer m.v., mens svoveldioksydutslippet som altså er et resultat av forbrenningen av raffinierigass og olje, kan styres ved ulike valg av fyringsoljer. I vekt-prosent varierer svovelinnholdet fra 0,5% til 2,5% fra letteste til tyngste fyringsolje.

Regner en med gjennomsnittlig driftstid pr. år på 285 døgn tilsvarer utslippsgrensen for svoveldioksyd ca. 4 350 tonn SO<sub>2</sub> pr. år for begge raffinieriene tilsammen. Esso oppgir å bruke i hovedsak tunge fyringsoljer til brensel. I 1976 var forbruket 22 000 tonn, svarende til 550 tonn svovel (2,5 vektprosent) Svovelets atomvekt og oksygenets molekylvekt er omlag den samme, dvs. forbrenningen av tungoljen gir et svoveldioksyd-„potensiale" på omlag 1 100 tonn. Det har ikke lyktes å få rede på svovelgehalten i raffinierigassen. Anta denne er 2,5 vektprosent som for tungolje (Dette overstiger med sikkerhet den reelle svovelgehalten, da svovelet fordeler seg over produktene i økende mengde med stigende kokepunkt. Et rimelig anslag, mottatt fra Rafinor, er ca. 0,02 vektprosent svovel i raffinierigassen.) Ved samme resonnement som over, finner en at dette tilsvarer 3 100 tonn svoveldioksyd-utslipp i 1976. Dette regnestykket forutsetter at all svovel binder seg til oksygen i luften. Svovelet kan også bindes til hydrogen (hydrogensulfid)

Tilsammen gir dette som et anslag 4 200 tonn SO<sub>2</sub> i 1976 som altså er lavere enn utslippsgrensen. Her bør en selvfølgelig ta i betraktning at Esso i 1976 bare utnyttet halve kapasiteten. Tilsvarende regneeksempel som over anvendt på 1973-data gir 5 250 tonn svoveldioksyd, dvs. klart over grensen for det tillatte.

Omregnet til utslipp på årsbasis, får en for de andre komponentene:

|           |           |
|-----------|-----------|
| Olje      | 41,3 tonn |
| Fenol     | 2,0 "     |
| Sulfid    | 4,0 "     |
| Aumoniakk | 5,1 "     |

Disse utslippene, som i og for seg er betydelige vil i massebalansen forsvinne. Den måleteknikk som anvendes ved raffineriene er heller ikke god nok til at en kan forvente å få en fullstendig avstemt massebalanse der utslippene over inngår. I prinsippet skulle det jo la seg gjøre å beregne summen av alle størrelser som ikke måles ved å saldere massebalansen. Dette er i dag i praksis umulig.

## 6. Energibruk og miljøvirkninger ved Shells raffineri

### 6.1 Massebalanse for Shellraffineriet.

Shellraffineriet ved Sola har årskapasitet ca. 3 mill. tonn råolje pr. år. Kapasitetsutnyttelsen i 1976 var omlag 67%, dvs. betydelig over Essos kapasitetsutnyttelse.

Shell raffinerer endel „feedstocks", (importerte halvfabrikata av ulike slag) og crude slop (diverse råoljerester fra bunkerstanker m.v.) i tillegg til råolje. På grunn av disse varenes varierende kvalitet, har jeg i energibalansen behandlet dem likt med råolje.

Tabell 7. Massebalanse for Shellraffineriet. 1000 t.

|                 | 1970         | 1971         | 1972         | 1973         | 1974         | 1975         | 1976         |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Inputs</b>   |              |              |              |              |              |              |              |
| Råolje          | 2 098        | 2 182        | 2 169        | 2 283        | 2 481        | 2 102        | 1 955        |
| Feedstocks      | 8            | 60           | 38           | 24           | 43           | 48           | 54           |
| Fyr.olje. nr. 2 | 6            |              |              |              |              |              |              |
| " " " 3         | 2            |              |              |              |              |              |              |
| Kj.produkter    | 1            | 1            | 1            | 1            | 1            | 1            | 1            |
| <b>Sum</b>      | <b>2 115</b> | <b>2 243</b> | <b>2 208</b> | <b>2 308</b> | <b>2 524</b> | <b>2 151</b> | <b>2 010</b> |



Tabell 7. Massebalanse for Shellraffineriet 1000 t. (forts.)

|                     | 1970  | 1971  | 1972  | 1973  | 1974  | 1975  | 1976  |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Outputs</b>      |       |       |       |       |       |       |       |
| Bensin              | 315   | 347   | 367   | 400   | 384   | 368   | 335   |
| Petroleum           | 148   | 143   | 133   | 167   | 152   | 112   | 144   |
| Fyr.olje.nr.1       | 388   | 416   | 517   | 532   | 582   |       | 538   |
| " " " 2             | 284   | 323   | 282   | 265   | 320   | 810   | 269   |
| " " " 3             | 797   | 827   | 838   | 864   | 921   | 714   | 596   |
| Raff.gass           | 76    | 79    | 78    | 84    | 81    | 83    | 75    |
| Endr. varer iarb.47 |       | 0     | -17   | 19    | 109   | 48    | 45    |
| Svovel (tonn)       | 379   | 823   | 1 769 | 1 325 | 1 413 | 1 090 | 1 231 |
| Sum                 | 2 055 | 2 136 | 2 200 | 2 332 | 2 550 | 2 137 | 2 003 |
| <b>Outputs i %</b>  |       |       |       |       |       |       |       |
| av inputs           | 97,2  | 95,2  | 99,6  | 101,0 | 101,0 | 99,3  | 99,7  |

Shells massebalanse skiller seg ut fra Essos på et par punkter. Shell har, i motsetning til Esso varelager av halvfabrikata (komponenter) som må tas med i massebalansen. Denne posten har sammenheng med hvilket punkt i produksjonsprosessen produksjonen av et gitt produkt måles. Som nevnt innledningsvis i notatet produserer raffineriene ulike komponenter som må bearbeides (tilsettes kjemiske forbindelser, blandes m.v.) før en får produkter som kan selges. Dersom disse komponentene ikke videreføres øyeblikkelig og kontinuerlig fremkommer de i massebalansen som endringer i varer i arbeid. Dersom en måler produksjonen direkte ut fra raffineriet, må en bruke andre produktbetegnelser, men vil da i massebalansen få eliminert posten varer i arbeid. Denne kan selvfølgelig være både positiv og negativ. Shellraffineriet kan altså ha produksjon (def. som ferdige produkter) som overstiger inntaket i raffineriet fordi det tæres av komponentlageret.

Massebalansen for 1974 har for Shellraffineriet vært umulig å beregne på grunnlag av eksisterende primærmateriale. Dette er nærmere beskrevet i vedlegget. Produksjonstallene i tabell 7 vedrørende 1974 er funnet ved å benytte tidligere publiserte totaltall for alle raffinerier og substrahere Essos produksjon. (Rafinor hadde ikke produksjon i 1974)

Differensen mellom registrerte inputs og outputs ved Shellraffineriet viser betydelige variasjoner. Spesielt i 1970 og 1971 er avvikene store. Raffinerigassproduksjonen disse år er beregnet av meg da Shell ikke oppga slik produksjon. Imidlertid viser raffinerigassproduksjonens andel av råoljeinntaket så stor stabilitet at det er svært lite trolig at avviket mellom faktisk og beregnet produksjon av raffinerigass kan

forklare den forholdsvis lave registrerte output i 1970 og 1971.

I perioden 1972-1976 ligger differensene innenfor akseptable grenser. For hele perioden under ett, er registrert produksjon 21 tusen tonn større enn registrert inntak, svarende til 0,2% av inntaket i perioden.

## 6.2 Energibruk ved Shell-raffineriet

Shell fullførte i 1973 et varmekraftverk som benytter raffinerigass til brensel. Varmekraftverket produserte hvert av årene 1974-1976 15 GWh. For å unngå dobbeltelling ved beregning av Shellraffineriets energibruk, har jeg holdt elektrisitetsproduksjonen utenfor. Energibruken beregnes derfor som summen av raffinerigassproduksjonen, fyringsoljeforbruket og innkjøpt elektrisk kraft.

Tabell 8. Forbruk av brensel ved Shell-raffineriet. 1000 t og GWh.

|               | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Raffinerigass | 76   | 79   | 78   | 84   | 81   | 83   | 75   |
| Fyringsolje   | 26   | 15   | 10   | 11   | 18   | 12   | 11   |
| El.kraft      | 50   | 50   | 54   | 56   | 41   | 39   | 38   |

Omregnet til felles energienhet gir dette:

Tabell 9. Forbruk av brensel ved Shell-raffineriet. TJ.

|                   | 1970  | 1971  | 1972  | 1973  | 1974  | 1975  | 1976  |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Raffinerigass     | 3 680 | 3 820 | 3 770 | 4 060 | 3 920 | 4 010 | 3 630 |
| Fyringsolje       | 1 090 | 630   | 420   | 460   | 750   | 500   | 460   |
| El.kraft          | 180   | 180   | 190   | 200   | 150   | 140   | 140   |
| Sum               | 4 950 | 4 630 | 4 380 | 4 720 | 4 820 | 4 650 | 4 230 |
| i % av tot.forbr. | 5,5   | 4,9   | 4,7   | 4,8   | 4,5   | 5,1   | 5,0   |

Shell bruker altså på årsbasis 5-6 TJ. Dette tilsvarer 120-140 tusen tonn råolje. Energiforbruket regnet som andel av totalt energiinntak viser variasjoner fra år til år. Videre ser en at p.g.a. elektrisitetens lave andel av totalforbruket, reduseres ikke dette i nevneverdig grad etter at Shells varmekraftverk ble tatt i bruk. Dersom en definerer energibruken ut fra den energi som brukes til produksjonen av oljeprodukter,

ville en faktisk ha registrert en økning i energibruken fra og med det tidspunkt varmekraftverket ble tatt i bruk. Dette har sammenheng med at varmekraftverket i prinsippet bruker den gass som tidligere ble avfaklet. Ettersom varmekraftverket ikke har virkningsgrad 100 blir selvfølgelig ikke elektrisitetsforbruket redusert tilsvarende den energimengde som tidligere ble avfaklet. Ovenstående behøver ikke å være til hinder for at investering i et slikt varmekraftverk er lønnsomt fordi den avbrente gassen ikke har andre alternative anvendelsesmuligheter og dens pris derfor kan settes lik null.

Jeg skal kort se på eventuelle sammenhenger mellom variasjoner i energibruken og produktfordelingen ved Shell-raffineriet. Produktfordelingen ved Shell-raffineriet er gitt i tabell 10. Endringer i denne tabellen regnet sammen med fyringsolje nr. 1 og nr. 2.

Tabell 10. Produktfordeling ved Shell-raffineriet. Vekt %.

|                       | 1970  | 1971  | 1972  | 1973  | 1974  | 1975  | 1976  |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Gasser+bensin+petr.   | 26,2  | 26,6  | 26,3  | 27,9  | 24,2  | 26,3  | 27,7  |
| Fyringsolje nr.1 og 2 | 35,0  | 34,6  | 35,5  | 35,0  | 39,6  | 40,1  | 42,4  |
| Fyringsolje nr. 3     | 38,8  | 38,7  | 38,1  | 37,0  | 36,1  | 33,5  | 29,8  |
| Andre                 | -     | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 0,1   |
| Sum                   | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Hovedtrekket i tallene er en markert overgang fra tunge til lette fyringsoljer. De lette produkters andel av totalproduksjonen varierer uregelmessig. Da raffinerigassproduksjonens relative andel varierer svært lite, er variasjonene et uttrykk for varierende andel bensin og petroleumsproduksjon. Lavest relativt energiforbruk har Shell i 1974, samme år som produksjonen av lette produkter er relativt minst. En har imidlertid at energibruken ikke er spesielt stor i 1976 da Shells produksjon av lette fyringsoljer og bensiner m.v. er større enn noe annet år. Årsaken kan være at de variasjoner som framtrer i tabell 10 oppnås ved ulike blandinger av råoljer, som også påvirker raffinerigassutbyttet og dermed energibruken i retninger en ikke kan forutse uten å kjenne produktutbyttene for de anvendte råoljer. Forøvrig kan produktfordelingen i tabell 10, særlig mellom tunge og lette fyringsoljer påvirkes uten at energibruken endres. Dette har sammenheng med mulighetene for å blande tunge komponenter med lette i varierende grad ved endring i etterspørsels- og prisforhold.

Energibalansen for Shell-raffineriet er laget etter samme prinsipper som Esso's.

Tabell 11. Energibalanse for Shell-raffineriet. TJ.

|                       | 1970         | 1971         | 1972         | 1973         | 1974          | 1975         | 1976         |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| <b>Energiforbruk</b>  |              |              |              |              |               |              |              |
| Råolje inkl.feedst.   | 89060        | 94850        | 93330        | 97560        | 106690        | 90920        | 84950        |
| Fyr.olje nr. 2        | 250          |              |              |              |               |              |              |
| " " " 3               | 80           |              |              |              |               |              |              |
| El.kraft              | 180          | 180          | 190          | 200          | 150           | 140          | 140          |
| <b>Sum</b>            | <b>89570</b> | <b>95030</b> | <b>93520</b> | <b>97760</b> | <b>106840</b> | <b>91060</b> | <b>85090</b> |
| <b>Energiprod.</b>    |              |              |              |              |               |              |              |
| Bensin                | 13850        | 15250        | 16130        | 17580        | 16880         | 16180        | 14730        |
| Petroleum             | 6320         | 6110         | 5680         | 7130         | 6490          | 4780         | 6150         |
| Fyr.olje nr. 1        | 16410        | 17590        | 21860        | 22500        | 24610         | 34250        | 22750        |
| " " " 2               | 12010        | 13660        | 11920        | 11210        | 13530         |              | 11380        |
| " " " 3               | 32280        | 34000        | 34670        | 35710        | 37810         | 29390        | 24490        |
| Endr.varer i arb.     | 1990         | -            | ÷720         | 800          | 4610          | 2030         | 1900         |
| <b>Sum</b>            | <b>82860</b> | <b>86610</b> | <b>89540</b> | <b>94930</b> | <b>103930</b> | <b>86630</b> | <b>81400</b> |
| <b>Forb.-prod.</b>    | <b>6710</b>  | <b>8420</b>  | <b>3980</b>  | <b>2830</b>  | <b>2910</b>   | <b>4430</b>  | <b>3690</b>  |
| <b>i % av forbruk</b> | <b>7,5</b>   | <b>8,9</b>   | <b>4,3</b>   | <b>2,9</b>   | <b>2,7</b>    | <b>4,9</b>   | <b>4,3</b>   |

Dersom utgangspunktet for ovenstående energibalanse var en avstemt massebalanse med korrekt klassifiserte produkter, skulle differansen mellom forbrukt og produsert energi samsvare med brenselsforbruket i tabell 11. Dette fordi Shell produserer kun energivarer. (Bortsett fra svovel)

Sammenligner en tabell 9 og 11, ser en at Shell-raffineriet tilsynelatende produserte mer energi enn det forbrukte hvert år fra og med 1973. Dette kan ikke være korrekt. Følgende momenter kan forklare ovennente

a) Shell oppgir systematisk feil produktfordeling, dvs. oppgir for stor produksjon av produkter med stor brennverdi. Sammenligner en produktfordelingen ved Shell og Esso, ser en at Shell's andeler av lette produkter er klart høyere enn for Esso.

b) Koeffisientene for de ulike produktenes teoretiske energiinnhold er gjennomsnittsstørrelser, som kan passe dårlig for Shells produkter.

Det er imidlertid lite sannsynlig at Shells produkter har systematisk lavere energiinnhold enn gjennomsnittet. Konklusjonen er at produktfordelingen må tillegges størst vekt ved forklaring av den store relative energiproduksjonen ved Shell-raffineriet.

Som dokumentert i vedlegg til dette notatet er det behov for nøye presisering av de produktdefinisjonene Statistisk Sentralbyrå benytter for oljeraffineriene. Ovennevnte styrker ytterligere dette behovet.

### 6.3 Miljøvirkninger ved Shell-raffineriet

Statens forurensningstilsyn har oppgitt følgende utslippsgrenser for Shell-raffineriet.

Tabell 12. Utslippsgrenser ved Shell-raffineriet. Kg/døgn. årsgj.sn.

| Komponent |               |       |
|-----------|---------------|-------|
| Vann      | Olje          | 100   |
|           | Fenol         | 1     |
|           | Sulfid        | 4     |
|           | Amoniakk      | 10    |
| Luft      | Svoveldioksyd | 6 600 |

Shells maksimalt tillatte utslipp av svoveldioksyd tilsvarende på årsbasis omlag 1 900 tonn (basert på 285 driftsdøgn pr. år). Shell brenner forholdsvis lite fyringsolje hvert år. Ved antakelse om forbrenning av olje med 2,5 vektprosent svovel, representerer Shells forbruk i 1976 et potensielt svoveldioksydutslipp på omlag 550 tonn. Selv med rimelige anslag på svovelgehalten i raffinerigassen (<0,1 vektprosent) vil en ikke nå opp i den utslippsgrense som gjelder for Shell.

## 7. Energibruk og miljøvirkninger ved Rafinor

### 7.1 Massebalanse for Rafinor A/S & CO.

Rafinor startet produksjon første halvår 1975. For dette raffineriet eksisterer altså massebalanser for to år av den perioden dette notat skal dekke.

Rafinor er et kompaniaksjeselskap som eies av Norsk Hydro, Statoil (begge 30% andel) og Norol (40% andel). Industristatistikken

innhenter data for virksomheten ved Rafinor fra alle disse bedriftene. Det har vist seg at de varedata leiebedriftene oppgir i IS til Byrået avviker fra samme data fra Rafinor. Etter å ha sjekket data oppgitt i Industristatistikken mot Rafinors interne oljeregnskap for driftsårene 1976 og 1977, synes det åpenbart at de data Rafinor selv har oppgitt i IS er korrekte. Dette gjelder dog ikke produksjon av raffinerigass der Rafinor oppgir produksjon av raffinerigass eksklusive avfaklet gass.

Med utgangspunkt i ovenstående, har jeg valgt å se helt bort fra de data Hydro, Statoil og Norol oppgir i Industristatistikken, og jeg har følgelig fullt ut basert meg på Rafinors egne opplysninger.

Tabell 13. Massebalanse for Rafinor. 1000 tonn.

|                            | 1975         | 1976         |
|----------------------------|--------------|--------------|
| <b>Inputs</b>              |              |              |
| Råolje                     | 2 175        | 3 300        |
| Kjemiske produkter         | 1            | 2            |
| <b>Sum</b>                 | <b>2 176</b> | <b>3 302</b> |
| <b>Outputs</b>             |              |              |
| Bensin                     | 423          | 694          |
| Petroleum                  | 61           | 98           |
| Fyr.olje nr. 1             | 561          | 994          |
| " " " 2                    | 68           | 256          |
| " " " 3                    | 759          | 973          |
| Raffinerigass              | 110          | 168          |
| Petrolkoks                 | 30           | 97           |
| Svovel (tonn)              | 194          | 1 438        |
| Endr. varer i arb.         | 162          | 46           |
| <b>Sum</b>                 | <b>2 174</b> | <b>3 277</b> |
| <b>Output i % av input</b> | <b>99,9</b>  | <b>99,2</b>  |

Det framgår av tabellen over at differensen mellom registrerte inputs og outputs er tilfredsstillende. De massebalanser Rafinor utarbeider hver måned til internt bruk, viser differenser som varierer i prosent fra 3,0 til ÷0,4 i 1976. I gjennomsnitt for årene 1975 og 1976 er avviket 0,5%. Rafinor oppgir at produksjonstallene er de beste. På inntakssiden kan faktisk forbruk avvike fra det målte med  $\pm$  0,5%. Dette har sammenheng med de målemetoder Rafinor benytter, som forøvrig ikke kjennes i detalj.

## 7.2 Energibruk ved Rafinor

Brenselsforbruket ved Rafinor er beskrevet i tabellene nedenfor.

Tabell 14.. Forbruk av brensel ved Rafinor. 1000 t og TWh.

|               | 1975 | 1976 |
|---------------|------|------|
| Raffinerigass | 110  | 168  |
| Fyringsolje   | 18   | 30   |
| El.kraft      | 40   | 65   |

Omregnet til felles energienhet, tilsvarer dette:

Tabell 15. Brenselsforbruk ved Rafinor TJ.

|                   | 1975  | 1976  |
|-------------------|-------|-------|
| Raffinerigass     | 4 770 | 7 280 |
| Fyringsolje nr 3  | 750   | 1 260 |
| El.kraft          | 140   | 230   |
| Sum               | 5 660 | 8 770 |
| I % av tot.forbr. | 6,2   | 6,3   |

Tabellen over viser at Rafinors brenselsforbruk inklusiv avfaklet gass på årsbasis (1975 tallene dekker omlag tre kvartaler) er omlag 9 000 TJ svarende til vel 200 tusen tonn råolje omregnet etter teoretisk energiinnhold. Brenselsforbrukets andel av totalt energiinntak er omtrent den samme begge driftsår, i overkant av seks prosent. Over 80% av brenselsforbruket er gass. Rafinors gassproduksjon er sammenlignet med de andre rafineriene, svært stor. Dette har sammenheng med videreforedling av de tyngste fraksjonene. Shell og Esso blander disse med lettere fraksjoner til tunge fyringsoljer, eller bruker de som basis til asfalt og vegolje-produksjon. Ved Rafinor benyttes destillasjonsrestene som råstoff i petrolkoksproduksjonen. I gjennomsnitt gir en gitt mengde destillasjonsrest 85 vektprosent petrolkoks og 15 vektprosent gass. Denne gassen kommer altså i tillegg til den ordinære gassproduksjonen i destillasjonstårnet.

Rafinor har vært i virksomhet så få år at en vanskelig kan si noe om eventuelle sammenhenger mellom produktfordeling og energiforbruk.

Produktfordelingen ved Rafinor framgår av tabell 14. Produksjon av komponenter er for enkelthet skyld slått sammen med fyringsolje nr. 1 og 2.

Tabell 16. Rafinors produktfordeling. Vekt-%.

|                        | 1975  | 1976  |
|------------------------|-------|-------|
| Gass + bensin + petr.  | 27,3  | 29,3  |
| Fyr.olje nr. 1 + nr. 2 | 36,4  | 38,0  |
| Fyr. olje nr. 3        | 34,9  | 29,7  |
| Andre                  | 1,4   | 3,0   |
| Sum                    | 100,0 | 100,0 |

Tabellen viser særlig stor endring i de tunge fyringsoljers andel av produksjonen. Det synes som om Rafinor i 1976 økte videreførelsen av tunge fraksjoner, både til lettere produkter og til petroلكoks. Av tabell 15 ser en at disse endringene ikke har hatt nevneverdig innvirkning på energibruken.

Ellers er å bemerke at en ikke bør legge for stor vekt på absolutte prosentandeler i tabell 16 fordi all komponentproduksjon i tabellen er ført sammen med de lette fyringsoljene. Rafinor har komponentlige innenfor alle produktgruppene over. Det har ikke vært mulig å få dette fordelt begge produksjonsår.

Energibalansen for Rafinor er presentert i tabell 15.

Tabell 17. Energibalanse for Rafinor. TJ.

|                         | 1975   | 1976    |
|-------------------------|--------|---------|
| <b>Energiforbruk</b>    |        |         |
| Råolje                  | 91 970 | 139 550 |
| El.kraft                | 140    | 230     |
| Sum                     | 92 110 | 139 780 |
| <b>Energiproduksjon</b> |        |         |
| Bensin                  | 18 600 | 30 510  |
| Petroleum               | 2 610  | 4 190   |
| Fyr.olje. nr. 1         | 23 720 | 39 920  |
| " " " 2                 | 2 880  | 10 830  |
| " " " 3                 | 31 020 | 39 480  |
| Petroلكoks              | 1 060  | 3 410   |
| Endr. varer i arb.      | 6 850  | 1 950   |
| Sum                     | 86 740 | 130 290 |
| Forbruk ÷ prod.         | 5 370  | 9 490   |
| i % av forbruk          | 5,8    | 6,8     |



Tabellen viser at Rafinor produserer energivarer med teoretisk energiinnhold h.h.v. 94,2 og 93,2% av energiinnholdet i forbrukte energivarer. Forskjellen i virkningsgrad i 1975 og 1976 er et resultat av økt differanse mellom registrert forbruk og produksjon, jfr. Rafinors massebalanse. En merker seg forøvrig at samlet beregnet energiproduksjon (inkl. brensel) i 1975 overstiger energiforbruket totalt, jfr. også avsnitt 5.

Differansen mellom forbrukt og produsert energi svarer for 1976 til ca. 220 tusen tonn råolje. Herav er altså omlag 200 tusen tonn forbrukt til brensel.

### 7.3 Miljøvirkninger ved Rafinor

Rafinor søkte ved etableringen om tillatelse til å slippe ut hele 14 000 tonn svoveldioksyd pr. år. Konsesjon ble gitt for adskillig lavere utslipp, 2 500 tonn pr. år. Fra Rafinor blir opplyst at denne grensen midlertidig er økt til 3 200 tonn svoveldioksyd pr. år. Tabellen nedenfor gir en oversikt over hvilke utslippsgrenser som i følge SFT gjelder for Rafinor.

Tabell 18. Utslippsgrenser for Rafinor. Kg/pr. døgn. Årsgjennomsnitt.

|      | Komponent     | Kg/døgn |
|------|---------------|---------|
| Vann | Olje          | 40      |
|      | Fenol         | 1,3     |
|      | Sulfid        | 2       |
|      | Ammoniakk     | 16      |
| Luft | Svoveldioksyd | 11 260  |

Antar vi at all fyringsolje anvendt ved Rafinor i 1976 inneholdt 2,5% svovel, innebærer dette et svoveldioksydpotensiale på 1 500 tonn dvs. vel halvparten av tillatt utslipp. Hver vektprosent svovel i raffinerigassen tilsvarer i 1976 en svoveldioksydmengde på omlag 3 400 tonn.

Omregnet til årsbasis, tilsvarer utslippsgrensene til vann følgende mengder: (285 driftsdøgn pr. år)

Olje: 11,4 tonn  
 Fenol: 0,4 "  
 Sulfid: 0,6 "  
 Ammoniakk: 4,6 tonn

I likhet med utslippsgrensene til vann som gjelder for de andre raffineriene, er også ovenstående utslippsgrenser i massebalansesammenheng uinteressante.

## 8. Sammenligning av energibruk og miljøvirkninger

### 8.1 Sammenligning av energibruken ved Rafinor, Shell og Esso

Absolutt energibruk ved de enkelte raffineri er ikke særlig interessant å sammenligne fordi raffineriene har ulik kapasitet. I dette avsnittet skal jeg derfor særlig se på energibruken relativt til totalt energiinntak ved hvert raffineri.

Tabell 19. Relativt energibruk ved norske oljeraffinerier.

|         | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| Esso    | 3,5  | 3,6  | 3,4  | 3,5  | 3,5  | 3,6  | 3,4  |
| Shell   | 5,5  | 4,9  | 4,7  | 4,8  | 4,5  | 5,1  | 5,0  |
| Rafinor |      |      |      |      |      | 6,2  | 6,3  |

Tabellen over gir et noe overraskende bilde av raffinerienes energibruk. Ut fra raffinerienes alder, skulle en vente et helt annet forhold. Essos raffineri, som er Norges eldste, viser minst energiforbruk mens det nyeste raffineriet viser størst energibruk. Nå avhenger selvfølgelig energibruken av andre faktorer enn raffinerienes alder. Dersom raffineriene kontinuerlig investerer i ny og bedre produksjonsteknologi, behøver en ikke finne sammenheng mellom byggetidspunkt og energibruk.

Ser en på produktspekteret ved raffineriene, finner en straks momenter som kan forklare noen av de ulikhetene i energibruk vist i tabell 19.

Esso har relativt liten produksjon av raffinerigass. Dette har sammenheng med at Esso benytter raffinerigass sammen med de letteste oljeproduktene som råstoff ved produksjon av propan og butan. Shell har siden 1974 benyttet raffinerigassen til produksjon av elektrisitet, men som tidligere påpekt påvirker ikke dette energibruken i særlig grad. Ved Rafinor blir hele produksjonen av raffinerigass registrert som energibruk. Rafinors produksjon av raffinerigass ligger også klart høyere pr. tonn råolje enn Shell og Essos. Dette er bl.a. et resultat av behovet for fjerning av gass i forbindelse med petrolkoksproduksjonen. Rafinor produserer altså gass i to trinn i produksjonsprosessen, ved destillering av råoljen og i forbindelse med videreforedling av de tyngste komponentene. Rafinor får av denne grunn et betydelig overskudd av gass. I 1976 ble 18 000 tonn gass brent

i fakkell. Dette tilsvarer 0,6% av totalt energiinntak ved raffineriet.

Ser en på produktfordelingen ved raffineriene, finner en at Essos andel av tunge fyringsoljer er klart større enn ved de andre raffineriene. (Jfr. dog indikasjonene på feil produktfordeling, særlig fra Shell) Dette tyder på at Esso har et produktmønster som er mindre energikrevende enn de andre raffinerienes. Esso er f.eks. eneste raffineri som benytter destillasjonsrestende til asfalt og vegolje, dvs. lite energikrevende bearbeidinger.

I tillegg til de momenter som er nevnt ovenfor, kan energibruken påvirkes av råoljekvalitet og kapasiteten. De data som har vært tilgjengelige for dette notat har ikke vært tilstrekkelige til å si noe om i hvilken grad disse forhold spiller inn. Raffinerienes kapasitets-utnyttelse har variert betydelig i perioden 1970-1976. Spesielt ved Esso-raffineriene er den relative energibruken stabil og altså tilsynelatende uavhengig av kapaistetutnyttelsen. Shell og Rafinors tall peker heller ikke klart i retning av noen slik sammenheng.

## 8.2 Sammenligning av utslippsgrenser

Raffinerienes utslippsgrenser for svoveldioksyd varierer lite dersom en sammenligner med kapasiteten ved hvert raffineri. Esso har samlet kapasitet til å raffinere 5,5 mill. tonn råolje. Esso kan maksimalt slippe ut ca. 4 350 tonn  $\text{SO}_2$  pr. år, dvs. 0,79 kg pr. tonn kapasitet. På tilsvarende måte finner en at Shell med kapasitet 3 mill. tonn, har utslippsgrense tilsvarende 0,63 kg pr. tonn kapasitet. Den utslippsgrense Rafinor opprinnelig hadde (2 500 tonn pr. år) gir akkurat samme utslipp pr. kapasitetstonn som Shell-raffineriet. Ved sammenligning av disse tallene må en ta i betraktning at Shell og Rafinor oppgir produksjon av svovel, noe Esso ikke gjør. Pr. tonn olje raffinert, fjernet Rafinor og Esso h.h.v. 0,61 og 0,44 kg svovel i 1976. (Rafinor benytter mye svovelfattig Ekofiskolje)..

Utslippsgrenser til vann viser ingen sammenheng med raffinerienes kapasitet. Dette sannsynligvis fordi disse utslippene er produksjonsuavhengige. Setter en Rafinors utslippsgrenser lik 1, får en for alle raffineriene:

|           | Rafinor | Shell | Esso |
|-----------|---------|-------|------|
| Olje      | 1       | 2,5   | 3,6  |
| Fenol     | 1       | 0,8   | 5,4  |
| Sulfid    | 1       | 2,0   | 7,0  |
| Ammoniakk | 1       | 0,6   | 1,1  |
| Kapasitet | 1       | 0,8   | 1,4  |

Rafinor er det nyeste, Esso det eldste raffineri i Norge. Tabellen over viser, særlig for utslipp av olje og sulfid, en tilsynelatende positiv korrelasjon mellom alder og utslippsgrenser. Dette tyder på at raffinerienes tekniske utforming har påvirket de grensene for utslipp raffineriene er tildelt.

## 9. Avslutning

Avslutningsvis kunne det være av interesse å sammenligne norske raffinerier med utenlandske i den hensikt å se om det eksisterer betydelige forskjeller i energibruk. Med dette formål for øye, har jeg sett gjennom en rekke internasjonale oljepublikasjoner. Det finnes publikasjoner (f.eks. OECD: Quarterly oil statistics) som i prinsippet skal gi de nødvendige data. Imidlertid viser det seg raskt at en rekke enkeltdata mangler for de fleste land. Dette nødvendiggjør beregninger og anslag fra min side for å få fram data som er sammenlignbare med de norske. En slik framgangsmåte vil gi såpass usikre resultater at jeg ikke har funnet det hensiktsmessig å gjennomføre sammenligninger.

I prosjektskissen som lå til grunn for dette notatet, ble presisert at en ønsket belysning av miljøvirkningene ved oljeraffinering. Denne del av prosjektet har av ulike årsaker blitt forsømt. Bl.a. har dette sammenheng med de svært begrensede opplysninger som foreligger på dette felt. Hensynet til best mulige data i ressursregnskapet for oljeprodukter har også påvirket fordelingen mellom energi- og miljøsidene under utarbeidelsen. Med utgangspunkt i datatilgangen vedrørende miljøvirkningene, synes det kalrt at det vil kreve betydelige ressurser å få denne siden av oljeraffineringen belyst.

V E D L E G G

Gjennomsnittlige brennverdier. (Tatt fra Energistatistikk 1970-1977, NOS, Statistisk Sentralbyrå 1978)

|                       |         |                        |
|-----------------------|---------|------------------------|
| Råolje                | 42, 287 | TJ/1000 tonn           |
| Bensin                | 43, 961 | " "                    |
| Parafin               | 42, 705 | " "                    |
| Fyringsolje nr 1 og 2 | 42, 287 | " "                    |
| Fyringsolje nr 3      | 41, 868 |                        |
| LPG                   | 25, 659 | TJ/1000 m <sup>3</sup> |
| Raffinerigass         | 48, 358 | TJ/mill m <sup>3</sup> |
| El.kraft              | 3,6     | TJ/GWh                 |
| Petrolkoks            | 35,2    | TJ/1000 tonn           |

Følgende tettheter er anvendt for raffinerigassen. (Kilde: raffineriene)

|          |                        |
|----------|------------------------|
| Esso:    | 0,81 kg/m <sup>3</sup> |
| Shell    | 1,00 kg/m <sup>3</sup> |
| Rafinor: | 1,12 kg/m <sup>3</sup> |