

# Arbeidsnotater

S T A T I S T I S K S E N T R A L B Y R Å

Dronningensgt. 16, Oslo-Dep., Oslo 1. Tlf. 41 38 20, 41 36 60

IO 72/20

Oslo, 22. desember 1972

FORURENSINGSPROBLEMER I KJEMISK  
TREFOREDLINGSINDUSTRI BELYST VED  
EN LP-MODELL

Av  
Hans Erstad

I n n h o l d

	Side
1. Innledning .....	2
2. Kort beskrivelse av kjemisk treforedling .....	3
3. Data-materialet .....	4
4. Beskrivelse av analysemodellen .....	7
5. Beregningene .....	16
6. Resultatet av forskjellige politikker .....	18
6a. Relative beskrankninger på SO <sub>2</sub> -gassutslippet .....	18
6b. Skatt eller avgift på utslippet av oppløst organisk stoff (DOS) .....	22
6c. Skatt eller avgift på utslippet av faste partikler (solids) .....	25
7. Avsluttende merknader .....	27
8. Konklusjon .....	29

Dette arbeid er opprinnelig skrevet som spesialoppgave ved det sosialøkonomiske studium. Forfatteren har stått fritt i valg av opplegg og undersøkelsesmetoder. Arbeidet gjengis her en del forkortet og med en del endringer som forfatteren har ønsket å foreta. Synspunkter og konklusjoner står for forfatterens regning.

*Ikke for offentliggjøring. Dette notat er et arbeidsdokument og kan siteres eller refereres bare etter spesiell tillatelse i hvert enkelt tilfelle. Synspunkter og konklusjoner kan ikke uten videre tas som uttrykk for Statistisk Sentralbyrås oppfatning.*

FÖRURENSNINGSPROBLEMER I KJEMISK TREFÖREDLINGSINDUSTRI BELYST  
VED EN LP-MODELL.

1. Innledning

Med kjemisk treforedlingsindustri forstår vi i denne undersökelsen den industrien som framstiller halv kjemisk tremasse, sulfitt- og sulfat cellulose. Denne framstillingen foregår ved hjelp av forskjellige prosesser med forskjellig forurensningsgrad. Vi vil her undersøke hvordan en omfordeling av produksjonen mellom prosessene vil innvirke på utslippene av spillprodukter og hvilke økonomiske konsekvenser det vil ha både privatøkonomisk for næringen og til dels samfunnsøkonomisk. Vi vil regne med at en slik forandring ikke innvirker på prisene.

I de seinere åra har ord som miljøvern og forurensning stått langt framme i den offentlige og politiske debatt. Grunnen er at disse er stikkord til et problemkompleks av dyptgripende art som virker inn på menneskelig liv og trivsel.

Med forurensninger vil vi ikke nødvendigvis forstå spillprodukter i seg sjøl, men snarere en forringelse av de leveranser og tjenester menneskene får fra naturen (de fysiske omgivelsene) som følge av spillproduktutslipp i naturen på nåværende og/eller tidligere tidspunkt som resultat av menneskelig produksjon og konsumsjon av varer og tjenester. Som det går fram er dette et problem som ofte vil være av kumulativ karakter, særlig i tilfeller der det løpende utslippet er så stort at naturen ikke klarer å bryte det ned fort nok.

Dette er en viktig grunn til den økende interessen for miljøvern og forurensningsspørsmål de seineste åra. Det har vært en tverrfaglig forståelse for at dette er et problem vi må ta alvorlig, og det har til og med fra noen hold kommet fram teorier som forutsier katastrofe om vi ikke gjør så.

Økonomene må bidra med sitt analyseverktøy for å komme fram til en løsning av problemet. Denne oppgava er et forsøk på å vise hvordan en med enkle og generelle virkemidler kan redusere spillproduktutslipp uten for store kostnader i produksjon av kjemisk og halv kjemisk tremasse.

Kvaliteten på tremassen vil variere en del etter hvilken prosess som er brukt i framstillingen. Kvaliteten vil også avhenge av hvilket trevirke som er brukt og av hvor mye en tørker og bleker tremassen.

Vi vil her likevel regne med at kvaliteten ikke forandrer seg særlig mye ved en omfordeling av produksjonen mellom produksjonsprosessene, slik at vi ikke gjør noen stor feil ved å se bort fra etterspørselsforholdene.

En omfordeling av produksjonen mellom prosesser kan være forårsaket av forskjellige ting som forandring i teknologi, forandring i de relative inputpriser evt. outputpriser. Vi vil imidlertid her regne med at disse forhold ikke endres, dvs. vi forutsetter konstant teknikk og faste priser både på input og output. Vi vil se på endringer som oppstår ved at myndighetene pålegger direkte begrensninger på utslippene eller ved at de pålegger skatt på utslippet av ett eller flere spillprodukt.

Denne oppgava er sjølsagt ikke ment som et argument mot bruk av renseutstyr. Det en tar sikte på å vise er at produktet kan framstilles på en annen og mindre forurensende måte og hvordan myndighetene kan påvirke produksjonsmetoden i denne retningen. Dessuten vil vi se på kostnaden av forskjellige tiltak fra myndighetenes side i denne forbindelse.

## 2. Kort beskrivelse av kjemisk treforedling

Vi skal altså i denne oppgava se på produksjonen av kjemisk og halv kjemisk tremasse. I denne industrien foregår produksjonen ved at den opphakkede veden blir kokt ved høyt trykk og høy temperatur sammen med kjemikalieoppløsning i vann. Ved denne kokeprosessen blir bindestoffene i veden oppløst og cellulosefibre frigjort.

Hovedforskjellene mellom de forskjellige tremasseprosessene er den kjemiske sammensetningen av kokevæskeblandingen. Kraft- eller sulfatprosessen er en alkalisk behandling med natriumsulfatoppløsning ( $\text{NaSO}_4$ ). Sulfittprosessene er forskjellige prosesser der det i kokeblandingen brukes svovel i alle prosessene kombinert med kalkstein, magnesiumoksyd, magnesiumhydroksyd eller ammoniakk avhengig av hvilken prosess det gjelder. I den halv kjemiske framstillingen finnes det to prosesser der begge blant annet benytter seg av soda ash ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

De beskrevne prosessene framstiller våt tremasse som kan tørkes, eller selges utørket. Tørkeprosessen er lik for kjemisk og halv kjemisk tremasse og altså uavhengig av hvilken prosess som er brukt i framstillingen.

Enten tremassen er våt eller tørr kan den blekes slik at den blir lysere. I 1969 ble over halvparten av tremassen bleket. (Industristatistikk 1969). I blekingen skiller vi mellom to prosesser, én for sulfitt-tremasse og én for kraft. Halv kjemisk tremasse blir ikke bleket. I blekeprosessen blir det brukt klor, natronlut og kalk.

I alle disse prosessene (unntatt tørking) blir det brukt svære mengder av vann. Det vil alltid følge litt fiber, bark og lignin med spillvannet når dette slippes ut i vassdraget igjen.

De materielle spillproduktene (i motsetning til de ikke-materielle

energitap som støy og varme) blir klassifisert etter sin materielle tilstand: gass, flytende (eller oppløst) og fast (solids). Disse blir så stort sett levert henholdsvis til luft, vann og land.

Den største forurensningskomponent er utslippet av oppløste organiske stoffer (DOS) som hovedsakelig kommer fra sulfittproduksjonen. Disse organiske stoffene er hovedsakelig lignin som gir vannet en brun farge og dårligere sikt. Dette kan ha konsekvenser for algenes fotosyntese da fargen hindrer lyset å trenge ned i vannet.<sup>1)</sup> De andre organiske stoffene nedbrytes raskt av mikroorganismer i vannet. Dette vil igjen føre til skadevirkninger for fisk ved oksygenmangel på grunn av at mikroorganismene som vokser kraftig forbruker oksygen i vannet.

Når det gjelder luftforurensning er vel lukten fra kraftprosessene den mest kjente. Den skyldes reduserte svovelforbindelser (RS) i gassform.

Svoveldioksydutslipp kommer fra alle prosessene ved framstilling av tremassen, men også ved forbrenning av fyringsolje. Dette representerer altså et stort gassutslipp. I stille vær vil det medføre skader lokalt sett, og det er slike utslipp som medfører såkalt "sur nedbør".

Det er også mindre mengder av klorgass-utslipp. Klorgassen kommer fra blekeprosessene.

I tillegg kommer de faste avfallsproduktene. Tømmeret som tidligere ble barket i skogen, blir idag i større grad barket ved fabrikkene. Dette resulterer i store mengder bark, som enten blir brent eller kjørt til fylling. Bark til fylling, aske fra forbrenning av bark og tre-rester er det viktigste faste avfallet. Men i tillegg kommer bl.a. skitt fra vasking av tømmeret.

### 3. Data-materialet

Undersøkelsen bygger hovedsakelig på tekniske ingeniørdata. Disse er utarbeidet ved en undersøkelse av prosessene for kjemisk og halv-kjemisk treforedling i USA. Undersøkelsen er foretatt av en gruppe forskere nær tilknyttet instituttet Resource for the Future (RFF).

Ved sammenligning av disse prosessene med input-tall for norske treforedlingsbedrifter slik de framkommer i skjemaene for industristatistikken for 1969, kan en identifisere de norske bedriftene med disse prosessene med unntak av én mindre bedrift.

---

1) Det kan også tenkes at ligninen har andre skadevirkninger, spesielt på lengere sikt. Foreløpig vet en lite om dette, men det drives forskning på området.

Det viser seg altså at norske bedrifter bruker de samme prosessene som de amerikanske. Det er riktignok en prosess som ikke blir nyttet i Norge i tillegg til den bedriften som bruker en uidentifisert prosess.

Vi vil se bort fra den bedriften som vi ikke klarte å identifisere prosessen til. Dette vil ikke få noen betydning for vår analyse. Dessuten vil vi bare bruke de prosessene som blir brukt i Norge. Vi vil i det følgende kalle dem: Magnesiumprosess nr. 1, Magnesiumprosess nr. 2, Ammoniakkprosess og Kalsiumprosess som utgjør sulfittprosessene, NSSC nr. 1 og NSSC nr. 2 som utgjør de halvkjemiske prosessene, og Kraftprosessen. I tillegg har vi tørkeprosessen og de to blekeprosessene sulfitt-blekeprosess og kraft-blekeprosess.

Tabell 1. Oversikt over produksjonens fordeling på disse prosessene i 1969

Prosesser:	Produksjon
Magnesiumprosess nr. 1 .....	37 000 tonn
Magnesiumprosess nr. 2 .....	53 000 "
Ammoniakkprosess .....	30 000 "
Kalsiumprosess .....	492 000 "
NSSC nr. 1 .....	44 000 "
NSSC nr. 2 .....	14 000 "
Kraftprosess .....	199 000 "

Denne tabellen viser hvor stor produksjon hver prosess hadde i 1969. I tillegg kan vi nevne at ca. 140 000 tonn av sulfittcellulosen ble bleket og ca. 60 000 tonn av kraft (sulfat) cellulosen ble bleket.

Ingeniørdataene er faste koeffisienter som gir uttrykk for at vi må ha en bestemt mengde av de forskjellige innsatsvarer for å produsere en enhet av output i en prosess. Siden det dreier seg om kjemiske prosesser vil koeffisientene kunne bestemmes med stor nøyaktighet. På samme måte er det rimelig at spillprodukter vil genereres i bestemte forhold til totalproduksjonen i prosessen.

Ingeniørdataene gir altså en nær eksakt beskrivelse av prosesser som i sitt vesen er slik at det må settes inn bestemte mengder kjemikalier pluss vann og luft for å produsere bestemte mengder tremasse. I disse prosessene er det lønnsomt å gjenvinne en del av de kjemiske avfallsstoffene, for å sette det inn i produksjonen igjen. En slik gjenvinning av kjemikaliene er "tatt vare" på i ingeniørdata, slik at koeffisientene for spillproduktene gir uttrykk for de reelle residua. Vi forutsetter her at dette også er de

reelle utslippene, altså at det ikke er noen form for renseanlegg. Dette medfører antagelig ikke riktighet da det i den senere tid er investert en del i slike anlegg. Men dette betyr heller ikke noe særlig for vårt hovedformål med oppgava, som er å se på forandringer i utslippene ved prosessbyttning. En annen sak er at en slik omlegging bør skje i samsvar med hvor det er lettest og billigst å bygge effektive renseanlegg.

Når det gjelder utslippet av  $SO_2$  i gassform så gir koeffisienten for dette bare uttrykk for utslippet forårsaket av prosessen og ikke  $SO_2$ -utslipp ved bruk av fyringsolje. Det kommer i tillegg og er ikke tatt med i oppgava.

Vi har ikke noe tall for tømmerinnsatsen i beregningene. Dette gjør at vi vil få problemer med tolkningen av de resultater vi kommer fram til.

Vi skal imidlertid komme tilbake til dette i kommentarene til resultatet.

For kapitalinnsatsen har vi heller ikke noe tall. Dette er sjølsagt også en svakhet, men vi kan likevel "rette" dette litt opp igjen ved å sette øvre (og nedre) grense på produksjonen i hver prosess. Dette skal vi komme inn på senere når vi innfører grensene.

Arbeidskraftkoeffisientene har vi funnet ved å ta forholdet mellom antall arbeidstimer for arbeiderne og total produksjon for hver prosess. Oppgavene over disse tallene hentet vi fra industristatistikkskjemaene. Dessverre var ikke disse talloppgavene spesifisert for blekeprosessene og tørkeprosessene. Når en bedrift i tillegg til å framstille tremasse også bleker en del av den, vil sjølsagt en del av arbeidskraftinnsatsen gå med i blekeprosessene. På grunn av at det ikke gis direkte oppgaver over dette, har vi regnet som om all arbeidskraftinnsats går med i framstilling av tremassen mens blekeprosessene og tørkeprosessene ikke har innsats av arbeidskraft. Dette er sjølsagt ikke realistisk, men arbeidskraftens fordeling mellom prosessene for tremasseframstilling er noenlunde riktig.

Ved framstillingen av tremasse framkommer det også mindre mengder av biprodukter. I de tekniske dataene finnes ikke oppgaver over dette. I industristatistikkskjemaene finner vi at det i kraftprosessene også blir framstilt en del mengder av terpentiner og tallolje. Koeffisienter for disse finnes ved å dividere total produksjon av biproduktene med total produksjon av kraft-tremasse.

I de andre prosessene var produksjonen av biprodukter ubetydelig, samtidig som en del av oppgavene var ufullstendige. Vi har derfor ikke tatt med biprodukter i de andre prosessene.

Alle de omtalte koeffisientene er koeffisienter for fysiske størrelser og har med unntak av arbeidskraftkoeffisientene betegnelsen tonn/tonn. Det

vil si at koeffisienten gir uttrykk for at vi må bruke så og så mye av en bestemt innsats, eller at det blir generert så og så mye av et spillprodukt, regnet i tonn for å framstille ett tonn tremasse. For arbeidskraften har koeffisientene betegnelsen arbeidstimer/tonn som har en tilsvarende tolkning.

Prisene på produktene (hovedproduktene og biproduktene) og innsatsfaktorene (de kjemiske stoffene og arbeidskraften) er funnet ved å ta gjennomsnittet ut fra industristatistikk-skjemaene. Total salgssum for hvert produkt dividert med total produksjon gir produktprisene mens tilsvarende for innsatsfaktorene gir faktorprisene.

#### 4. Beskrivelse av analysemodellen

Slik produksjonsstrukturen er beskrevet i det foregående faller det naturlig å bruke en lineær programmeringsmodell i analysen.

Et lineært programmeringsproblem består i å optimalisere (i vårt tilfelle maksimere) en lineær funksjon av de variable under bibetingelse av at de variable skal være ikke-negative og at en del lineære beskrankninger på de variable skal være oppfylt.

Vi kan skrive et slikt problem på den generelle formen:

$$\begin{array}{ll} \text{Maks} & c'x \\ \text{når} & Ax \leq b \\ & x \geq 0 \end{array}$$

$x$  = aktivitetsvektoren (variable)

$c$  = prisvektoren (pris på produkt og faktorer)

$A$  = koeffisientmatrisen (inneholder prosessene)

$b$  = høyresidene (som gir uttrykk for beskrankninger)

$c'x$  = Kriteriefunksjonen (den lineære funksjonen som skal maksimeres)

I vår undersøkelse har vi tatt med alle innsatsfaktorene som må kjøpes i markedet og to såkalte ikke-markedsgoder (faktorer); luft og vann. Av spillproduktene har vi bare tatt med de mangdemessig største og de som er årsak til de største forurensingene.

Modellen omfatter således følgende variable

a. Produkter og biprodukter:

$x_1$	=	Tremasseproduksjon i magnesiumprosess nr. 1
$x_2$	=	" " magnesiumprosess nr. 2
$x_3$	=	" ammoniakkprosessen
$x_4$	=	" kalsiumprosessen
$x_5$	=	" NSSC-prosess nr. 1
$x_6$	=	" NSSC-prosess nr. 2

- $x_7$  = Bleket sulfitt-tremasse
- $x_8$  = Tremasseproduksjon i kraftprosessen
- $x_9$  = Bleket kraft-tremasse
- $x_{10}$  = Tørket tremasse
- $x_{11}$  = Ubleket sulfitt-tremasse
- $x_{12}$  = Ubleket kraft-tremasse
- $x_{13}$  = Våt tremasse
- $x_{14}$  = Total sulfitt-tremasse + halvkjemisk tremasse
- $x_{15}$  = Total halvkjemisk tremasse
- $x_{16}$  = Terpentinproduksjon
- $x_{17}$  = Talloljeproduksjon

b. Innsatsfaktorer

- $x_{18}$  = Vann
- $x_{19}$  = Luft
- $x_{20}$  = Kalkstein  $\text{CaCO}_3$
- $x_{21}$  = Svovel S
- $x_{22}$  = Magnesiumhydroksyd  $\text{Mg(OH)}_2$
- $x_{23}$  = Klor  $\text{Cl}_2$
- $x_{24}$  = Natronlut NaOH
- $x_{25}$  = Kalk CaO
- $x_{26}$  = Soda ask  $\text{Na}_2\text{CO}_3$
- $x_{27}$  = Magnesiumoksyd MgO
- $x_{28}$  = Ammoniakk  $\text{NH}_3$
- $x_{29}$  = Natriumsulfitt  $\text{NaSO}_3$
- $x_{30}$  = Natriumsulfat  $\text{Na}_2\text{SO}_4$
- $x_{31}$  = Arbeidskraft i timer

c. Spillprodukter

i) Flytende

- $x_{32}$  = Fiber
- $x_{33}$  = Oppløst organisk stoff (DOS: dissolved organic solids)
- $x_{34}$  = Oppløst uorganisk stoff (DIS: dissolved inorganic solids)
- $x_{35}$  = Spillvann
- $x_{36}$  = Svoveldioksyd oppløst i vann
- $x_{37}$  = Karbonhydrat og klor ( $\text{CH} + \text{Cl}_2$ )
- $x_{38}$  = ALS (Ammonium Lignin Sulfite or Sulfate)
- $x_{39}$  = NVO (Non Volatile Organics)



## ii) Gassform

$x_{40}$  = Svoveldioksydgass ( $\text{SO}_2$ )

$x_{41}$  = Klorgass ( $\text{Cl}_2$ )

$x_{42}$  = Reduserte svovelforbindelser (RS)

## iii) Fast form

$x_{43}$  = Faste partikkelutslipp (solids)

Som det går fram av listen over de variable så er det en viss overlapping. For å unngå dette og samtidig få en fullstendig liste måtte vi i prinsippet i stedet for hver produksjonsprosess ha 4 aktiviteter med henholdsvis våt bleket-, våt ubleket-, tørr bleket - og tørr ubleket tremasse. I praksis ville ikke alle bli drevet, slik at antallet ville bli redusert en del.

Når vi ikke har brukt denne måten, skyldes det flere ting. Viktig er at en slik stor oppdeling lett vil føre til at en mister oversikten og at vanskeligheten med å få alle inn i basis øker. Det avgjørende var likevel at prisforskjellene på cellulosen produsert i de forskjellige sulfitprosessene var liten. Det samme gjaldt for våt og tørr tremasse fra samme produksjonsprosess, fordi våt tremasse blir målt i tørr vekt.

De prisforskjellene som var interessante og påtagelige var i første rekke mellom sulfitt-, kraft-, halv-kjemisk-tremasse og biproduktene, men også mellom bleket- og ubleket-tremasse uavhengig av produksjonsprosess.

For faktorprisene oppstår ikke et slikt problem. Vi har her regnet med at alle bedriftene uansett hvilken prosess de driver står overfor samme pris. Faktorprisene er altså gjennomsnittspriser for hele kjemisk og halv-kjemisk treforedlingsindustri. Dette er nok ikke helt riktig da bedrifter som bruker store kvanta av et bestemt kjemikalium vil dra fordel av f.eks. kvantumsrabatt. Nå er imidlertid bruken av hvert kjemikalium i stor grad begrenset til en bestemt prosess. Dette fører til at en eventuell forskjell i rabatt i første rekke vil bli mellom store og små bedrifter innen prosessene. Dette betyr at prosessene i virkeligheten ikke står overfor prisforskjeller av større betydning.

Gir vi faktorprisene negativt fortegn vil kriteriefunksjonen bli en lineær funksjon for "bruttoprofitt" for hele sektoren. Vi får dermed følgende liste over prisene (kostnadsvektoren):

Produktprisene:

$P_7$	=	1005	(Bleket sulfitt)
$P_9$	=	991	(Bleket kraft)
$P_{11}$	=	825	(ubleket sulfitt)

$P_{12}$	=	802	(Ubleket kraft)
$P_{15}$	=	409	(Halvkjemisk)
$P_{16}$	=	464	(Terpentin)
$P_{17}$	=	540	(Tallolje)

## Faktorprisene:

- $P_{20}$	=	-49	(Kalkstein)
- $P_{21}$	=	-327	(Svovel)
- $P_{22}$	=	-470	(Magnesiumhydroksyd)
- $P_{23}$	=	-440	(Klor)
- $P_{24}$	=	-441	(Natonlut)
- $P_{25}$	=	-137	(Kalk)
- $P_{26}$	=	-297	(Soda ask)
- $P_{27}$	=	-514	(Magnesiumoksyd)
- $P_{28}$	=	-589	(Ammoniakk)
- $P_{29}$	=	-373	(Natriumsulfitt)
- $P_{30}$	=	-201	(Natriumsulfat)
- $P_{31}$	=	-12,80	(Arbeidskraft)

Vi skal se litt på oppbygningen av sjølve matrisa. Den vertikale inndelinga følger de aktivitetene vi har vært inne på. Den horisontale inndelinga skal indikere forskjellige former for begrensninger. For å se dette tydeligere tar vi utgangspunkt i en skissemessig tegning av hoveddelene i matrisa:

Tabell 2. A-matrisa, x-vektor og b-vektor

	Produksjonsprosessene	Bi-prod	Total bruk av innsatsfaktorene	Total spillprodukter	Variable	Høyresiden
Definisjoner og sammenhenger i produksjonen	E	0	0	0	$x_1$	= 0
Biprodukter	B	-I	0	0	·	
Innsatsfaktorer	D	0	I	0	·	
Spillprodukter	R	0	0	I	·	
Produksjons-skranker	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$x_{43}$	≤ $S_5$
Kriteriefunksjon	$C_1$	$C_2$	$C_3$	0		

Figuren trenger litt forklaring. Som vi ser har vi delt matrisa i fem grove deler horisontalt pluss kriteriefunksjonen. De fire første består som vi ser av likninger, mens den siste inneholder ulikheter. Det er her begrensningene kommer inn, og de gjelder bare produksjonen, ikke innsatsfaktorene som i dette opplegget regnes å forefinne i tilstrekkelig store nok mengder. Når vi i figuren bruker tegnet  $\leq$  så utelukker dette ikke at vi også vil ha begrensninger der  $\geq$  forekommer.

På figuren representerer I enhetsmatrisa, og den inngår altså som submatrise i A-matrisa. Submatrisa E består av 0,1 eller -1 på en slik måte at den tar vare på alle sammenhengene mellom produksjonsprosessene, blekeprosessene, tørkeprosessen og totaltalla:

Tabell 3. Definisjonssammenhenger

	MAGN 1	MAGN 2	AMMONIAKK	KALSIUM	NSSC 1	NSSC 2	SULFITT BLEKING	KRAFT	KRAFT BLEKING	TØR KING	UBLEKET SULFITT	UBLEKET KRAFT	VÅT TREMASSE	SULFITT + H.KJ.	HALVKJEMISK
Sulfitt + h.kj.	1	1	1	1	1	1									-1
Bleket, ubleket h.kj. sulfitt							1				1			-1	1
Halvkjemisk					1	1									-1
Bleket, ubleket kraft								1	-1			-1			
Tørket, våt								-1		1			1	-1	

Siden dette her er koeffisientene i lineære likninger som er lik null, får vi alle definisjonssammenhengene som er nødvendige.

Submatrisene B, D og R inneholder den produksjonsmessige delen av prosessene:

Tabell 4. Matrisene B, D og R

		Magn. prosess nr. 1	Magn. prosess nr. 2	Ammoniakk prosess	Kalsium prosess	NSSC 1	NSSC 2	Bleket sulfitt	Kraft	Bleket kraft	Tørking
BIPRO- DUKT	Terpentin								0.008		
	Tallolje								0.060		
INNSATS- PRODUKTER	Vann	-192.090	-36.400	-78.278	-96.651	-33.841	-1.050	-120.706	-75.862	-140.242	
	Luft	-5.310	-6.421	-0.559	-0.585	-1.269			-7.483		
	Kalksten				-0.146						
	Svovel	-0.050	-0.035	-0.119	-0.124	-0.028					
	Mg(OH) <sub>2</sub>	-0.070									
	Klor							-0.050		-0.064	
	Natronlut							-0.005		-0.036	
	Kalk							-0.023	-0.013	-0.008	
	Soda ash					-0.140	-0.035				
	MgO		-0.019								
	NH <sub>3</sub>			-0.048							
	NaSO <sub>3</sub>						-0.133				
	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>								-0.037		
	Arbeidskr.	-2.750	-4.298	-13.854	-7.290	-1.766	-5.157		-8.069		
SPILL- PRODUKTER	Fiber	-0.001									-0.005
	DOS	-0.013		-0.013	-1.258		-0.016			-0.011	
	DIS				-0.003		-0.026		-0.001	-0.054	
	Vann	-161.928	-1.988	-56.301	-76.360	-24.526	-0.100	-121.728	-61.322	-142.182	-19.930
	SO <sub>2</sub> i vann				-0.013						
	CH + Cl <sub>2</sub>									-0.056	
	ALS			-0.763							
	NVO			-0.458							
	SO <sub>2</sub> -gass	-0.012	-0.011	-0.052	-0.057	-0.002	-0.00025		-0.002		
	Cl <sub>2</sub> -gass							-0.0005		-0.0005	
	R.S.					-0.000045	-0.00024		-0.011		
Solids	-0.210	-10.837	-0.095	-0.133			-0.013	-0.139	-0.0044		

Vi har i oppstillinga ovenfor bare tatt med de prosessene som inneholder minst én koeffisient forskjellig fra null. Vi har brukt negative koeffisienter for innsatsfaktorene og for spillproduktene, mens biproduktene er symbolisert med positive koeffisienter.

Sammen med enhetsmatrisa, som vist på figur 1 vil denne oppstillinga gi totaltallene for hvert biprodukt, innsatsfaktor og spillprodukt som egen variabel. Dette får vi fordi vi har likninger. Bruken av innsatsfaktorene i hver prosess vil da summere seg opp til totaltallet. Tar vi f.eks. utgangspunkt i innsatsfaktoren kalk får vi:

$$-0,023x_7 - 0,013x_8 - 0,008x_9 + x_{25} = 0$$

$x_{25}$  som er lik totalt forbruk av kalk blir da:

$$x_{25} = 0,023x_7 + 0,013x_8 + 0,008x_9$$

altså summen av kalkforbruk i de prosessene som bruker kalk.

Når vi på denne måten får alle totaltallene som egne variable, tilegner vi dem bare sine respektive priser. Det er dette som er gjort i  $C_1$ ,  $C_2$  og  $C_3$ . Vi får på denne måten totale utgifter (og inntekter) for de aktuelle variable.

Til slutt skal vi se litt på hva som skjuler seg bak  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  og  $S_5$ . Det kan kort sies å være koeffisienter for begrensninger på produksjonen. Vi har tidligere vært litt inne på det vi kan kalle den kapasitetsmessige begrunnelsen for dette, nemlig at det faste realkapitalutstyret setter begrensninger på hvor mye som kan produseres i hver prosess på kort sikt.

Ved henvendelse til Treforedlingens informasjonskontor blir det opplyst at kapasitetsutnyttelsen i 1969 var ca. 90%. Produksjonen ved 100% utnyttelse ville da vært ca. 966 250 tonn når vi regner at utnyttelsen var akkurat 90% i 1969. På bakgrunn av disse talla, har vi forutsatt at total produksjon skal være mindre enn 1 000 000 tonn:

$$(1) \quad x_8 + x_{14} \leq 1\,000\,000$$

En egenskap ved lineær programmering er at den kan gi såkalte hjørneløsninger ved optimalisering av modellen. I vårt tilfelle vil dette konkret si at dersom vi optimaliserer modellen med bare begrensning (1) vil vi få samla hele produksjonen i den mest lønnsomme prosessen som er magnesiumprosess nr. 2. Det viser seg også at det er lønnsomt å bleke all tremassen,

men ikke å tørke den. Et sentralt begrep i lineær programmering er basisløsning. Med basisløsning forstår vi en løsning med like mange variable som uavhengige lineære betingelser. De variable som ikke er med i basisløsningen er alle lik null. Blant de variable som er ute av basis i denne situasjonen, er alle de andre produksjonsprosessene. Grunnen til dette ligger sjølsagt i at vi har 43 variable mens det bare er 34 linjer (likninger og ulikheter), og dermed blir 9 variable kastet ut av basis. For å få alle variable inn i basis må vi legge på minst 9 uavhengige betingelser til.

Under utarbeidelse av slike betingelser er det flere forhold vi må ta hensyn til. Vi kan si det slik at vi gjerne vil ha en løsning som utgangspunkt for senere beregninger av effekten av alternative opplegg for den offentlige politikk for begrensning av spillproduktutslipp. Dette betyr at de nye betingelsene ikke må være så snevre at det ikke er rom for en omfordeling av produksjonen. Dessuten er vi interessert i å ha et utgangspunkt som ikke avviker svært mye fra den produksjonssammensetningen vi hadde i 1969.

For å sikre produksjon i alle prosessene kan vi rett og slett sette en nedre grense i hver prosess. Dessuten krever kapasitetsforutsetningen at vi setter en øvre grense. Dersom vi i tillegg til (1) setter slike øvre og nedre grenser for hver prosess (produksjon- og blekeprosessene), vil vi få et resultat der produksjonen i noen prosesser blir lik den øvre grensa. Høyst én prosess vil tilpasse seg mellom grensene, og resten vil ha produksjonen lik den nedre grensa.

De prosessene hvis produksjon blir lik den øvre grensa er følgelig de mest lønnsomme. Det viser seg at disse prosessene på mange måter også er de rensligste. De resirkulerer kjemiske stoffer på en økonomisk fordelaktig måte istedet for å la dem gå til spille. Vi vil derfor av to grunner være interessert i å utføre en omfordeling av produksjonen til disse prosessene, nemlig fordi de produserer billigere og fordi de er rensligere. Dette lar seg ikke gjøre dersom de ligger på den øvre kapasitetsgrensa, og en omfordeling må da gå fra prosesser som ligger på den nedre grensa, og det går sjølsagt heller ikke.

Vi vil derfor istedenfor den nedre grensa i kalsiumprosessen og kraftprosessen innføre to enkle forutsetninger, nemlig at forholdet mellom produsert kalsiumtremasse og tremassen bleket i sulfittblekeprosessen skal være større enn et bestemt forhold og det samme mellom kraftprosessen og sulfittblekeprosessen i et annet bestemt forhold.

Slike forutsetninger er jo ikke oppfylt i virkeligheten. Allikevel vil både kalsium- og krafttremasseproduksjonen kunne øke ut fra initial-

løsningen uavhengig av hverandre og bleket sulfitt-tremasse til sine respektive øvre grenser. Derimot kan vi ikke redusere kalsium- eller kraftmassen uten også å redusere mengden av bleket sulfitt. I mange tilfeller vil ikke dette være urimelig fordi når mengden av sulfitt-tremasse synker, vil vel også den delen som blir bleket synke om kanskje ikke slik som forutsetningen tilsier. Når det gjelder kraft-tremasse så er den mørkere enn sulfitt-tremasse før bleking, slik at en reduksjon i kraft og økning i sulfitt ikke ville nødvendigjøre at like mye tremasse fremdeles blir bleket, snarere vil den blekte delen reduseres. Dette gjør at disse forutsetningene kanskje ikke er fullt så urimelige som en først kunne tro. Imidlertid vil en nedgang i bleket sulfitt-tremasse også gi nedgang i fortjenesten. Når det gjelder virkningen på spillproduktene, vil ikke disse være så store i noe tilfelle. Det vil føre til en viss reduksjon av  $Cl_2$ -gassutslippet og mer ubetydelig på de faste stoffene, som vi kan se på figur 3. lenger framme.

Til slutt må vi nevne at vi her kan få proporsjonal nedgang i kalsium- og kraftproduksjonen, og det ville vært den uheldigste virkningen. Men som oftest vil vi få istand en omfordelingseffekt i kalsiumprosessens disfavør og i favor av kraftprosessen.

Vi benytter oss nå av følgende forutsetninger:

- (2)  $40\ 000 \leq x_1 \leq 120\ 000$
- (3)  $20\ 000 \leq x_2 \leq 350\ 000$
- (4)  $20\ 000 \leq x_3 \leq 50\ 000$
- (5)  $x_4 \leq 600\ 000$
- (6)  $\frac{7}{8} \leq \frac{x_4}{x_7}$
- (7)  $30\ 000 \leq x_5 \leq 75\ 000$
- (8)  $10\ 000 \leq x_6 \leq 50\ 000$
- (9)  $x_7 \leq 600\ 000$
- (10)  $x_8 \leq 550\ 000$
- (11)  $\frac{2}{5} \leq \frac{x_8}{x_7}$
- (12)  $x_9 \leq 120\ 000$
- (13)  $1 \leq \frac{x_{10}}{x_{13}}$

Det er klart at alle forutsetningene slik de står listet her ikke kan settes direkte inn i modellen. Forutsetningene med både øvre og nedre grense må deles opp slik at en linje tar vare på den ene ulikheten og en annen linje tar vare på den andre. På denne måten blir alle grensene enten

de er øvre eller nedre såkalte hogresider.

Kvotient-forutsetningene (6), (11) og (13) kan heller ikke benyttes direkte. Vi må multiplisere ut som f.eks. her med (6):

$$\frac{7}{8} \leq \frac{x_4}{x_7} \Rightarrow 7x_7 \leq 8x_4 \Leftrightarrow (6a) \quad 8x_4 - 7x_7 \geq 0$$

(6a) kan nå benyttes som vanlig linjebegrensning med null som høyreside.

Forutsetning (13) sier bare at vi vil ha tørket minst halvparten av tremassen. Denne forutsetningen får ingen betydning for fortjenesten og liten betydning på spillproduktutslippene fordi den resulterer bare i fiberutslipp i vann som det framgår av figur 3.,

Grensene i forutsetningene er ikke fastsatt i noe bestemt forhold til den virkelige produksjonen i 1969. De er mer skjønnsmessig fastsatt med rommelig muligheter til produksjonsutvidelse i de mest lønnsomme prosessene. Det er klart at slike grenser spiller inn på resultatet av denne oppgaven. For å undersøke betydningen av grensene, kunne vi foreta beregninger for alternative grenser. Dette har vi imidlertid ikke gjort i denne oppgaven.

Når det gjelder forholdstallene i (6) og (11) er de valgt ut fra å få en overensstemmelse mellom vårt resultat og 1969-tallene.

## 5. Beregningene

Det er utviklet flere metoder for løsning av slike lineære programmeringsproblemer. Den mest kjente og mest brukte er den såkalte Simplexmetoden. Vi skal ikke her gå inn på hvordan metoden fungerer, bare nevne at den alltid vil resultere i den beste basisløsningen dersom en slik finnes.

Å løse et lineært programmeringsproblem av noen størrelse er svært tidkrevende. I praksis blir derfor datamaskiner brukt.

Til våre utregninger har vi brukt maskina UNIVAC 1108 på Computas. Denne har et program ILONA for løsning av et lineært programmeringssystem der en revidert utgave av simplexmetoden blir nyttet.

Ved løsning av modellen som beskrevet i punktet foran uten noen form for offentlig politikk, vil vi få et resultat som vi kaller initialmodellen. Siden dette er et utgangspunkt for offentlige reguleringer, vil vi sammenligne det med en del offentlige tall for 1969.



Tabell 5. TREMASSE I TONN

	Initialmodell	Industristat. 1969
Halvkjemisk .....	40 000	83 296
Kraft .....	240 000	198 674
Ubleket sulfitt .....	120 000	139 620
Bleket sulfitt .....	600 000	473 015
Total .....	1000 000	894 605

Vi ser altså fra tabell 4 at våre beregninger gir større produksjon av kraft- og bleket sulfitt-tremasse enn virkelig i 1969. Det måtte vi også vente siden disse er de mest lønnsomme delene.

Når det gjelder utslippene, så er ikke de offisielle talloppgavene særlig gode. Vi har imidlertid noen tall fra Industriforbundet som er framkommet på grunnlag av målinger ved enkelte fabrikker og supplerende beregninger for 1969.

Tabell 6. UTSLIPP I TONN

	Initialmodell	Industriforb. 1969
SO <sub>2</sub> -gass .....	33 470	12 500
Andre svovelforbindelser .....	2 641	400
Oppløst organisk stoff .....	662 710	520 000
Oppløst uorganisk stoff .....	8 555	
SO <sub>2</sub> oppløst i vann .....	6 825	
Cl <sub>2</sub> -gass .....	360	
Solids .....	1 548 808	

Tabell 5 gir bare sammenligning for noen få utslippstoffer, men for disse tre stoffene viser initialmodellen betydelig større tall enn de beregningene Industriforbundet har foretatt.

På grunn av at vi operer med en større produksjon måtte vi jo også vente mer som spillprodukt. Men dette forklarer på langt nær alt. Siden Industriforbundets tall er resultat av empiriske undersøkelser, vil de bare registrere utslippene etter en eventuell renseprosess, mens våre tall er uttrykk for spillproduktmengden før en slik renseprosess. Dersom vi har en annen fordeling av produksjonen i initialmodellen enn det virkelig var i 1969, vil jo dette igjen gi seg utslag i skjeve tall for spillproduktene.

På den andre sida kan Industriforbundets tall være beheftet med måleveil. Dessuten kan omfanget av tallene være litt forskjellig. For SO<sub>2</sub> har

Industriforbundet skilt mellom gassutslipp fra forbrenning av fyringsolje, fra avlutforbrenning og fra sulfittkokeri, syrehus etc. Det er bare de to siste som inngår i tabellen vår. Tar vi med utslippet som resultat av fyring, får vi 38 300 tonn SO<sub>2</sub>-gass utslipp. Men dette er jo ikke tatt med i tallet for initialmodellen. Det Industriforbundet kaller for "andre svovelforbindelser", har vi sammenlignet med det vi kaller for reduserte svovelforbindelser (RS). Men på dette området er det satt inn renseutstyr for å redusere luktplagen de siste åra, og med godt resultat, så her kan nok forklaringen på forskjellen ligge.

Trass i disse til dels dårlige overensstemmelsene, vil vi bygge på vår initialmodell når vi nå utfører de videre beregningene.

Vi gjør igjen oppmerksom på at vi ikke har med tall for tømmerinnsatsen i beregningene. Dersom vi hadde hatt det med ville resultatet antagelig blitt en del anderledes, men kanskje ikke så mye. Vi vil derfor bare trekke utlegget til tømmerinnsatsen fra fortjenesten i de resultatene vi har fått. Vi måtte foretatt helt nye beregninger for å se resultatet på produksjonsfordelingen på prosessene, og dermed på spillproduktutslippene. Vi vil derfor mene fortjenesten korrigert for tømmerinnsatsen på denne måten, når vi i det følgende snakker om fortjeneste.

## 6. Resultatet av forskjellige politikker

Slik modellen nå er oppstilt, kan vi utføre beregninger for forskjellige slags offentlige tiltak. Det vil føre for langt her å presentere en utfyllende oversikt over tiltak som reduserer ett eller flere utslipp. Vi skal begrense oss til å se på noen bestemte virkemidler. Vi vil i første omgang se på virkningene av de enkelte virkemidler isolert, men i ett tilfelle også se på en simultanvirkning mellom to virkemidler. Modellen kan for øvrig brukes til utallige kombinasjoner av virkemidler.

### 6a. Relative beskrankninger på SO<sub>2</sub>-gassutslippet

Med relative beskrankninger på et utslipp forstår vi at myndighetene fører en politikk der de ikke tillater utslippsmengder som er større enn en viss skranke i forhold til total produksjon av tremasse. Vi kan skrive denne betingelsen som

$$\frac{\text{SO}_2\text{-utslipp}}{\text{Total tremasseprod.}} \leq \text{skranke}$$

Vi ser at det offentliges instrument her er skranken og ikke (eller bare indirekte)  $\text{SO}_2$ -utslippet. I vårt tilfelle der vi har satt en øvre grense på 1 000 000 tonn for total tremasseproduksjon vil total produksjon bli lik 1 000 000 tonn for realistiske skrankeverdier og dermed vil myndighetene ha direkte kontroll med  $\text{SO}_2$ -utslippet fordi produksjonen ikke kan økes.

Med våre symboler kan vi skrive ulikheten slik

$$\frac{x_{40}}{x_8 + x_{14}} \leq S \text{ (skranke)}$$

eller

$$x_{40} \leq S(x_8 + x_{14})$$

eller

$$(14) \quad -Sx_8 - Sx_{14} + x_{40} \leq 0$$

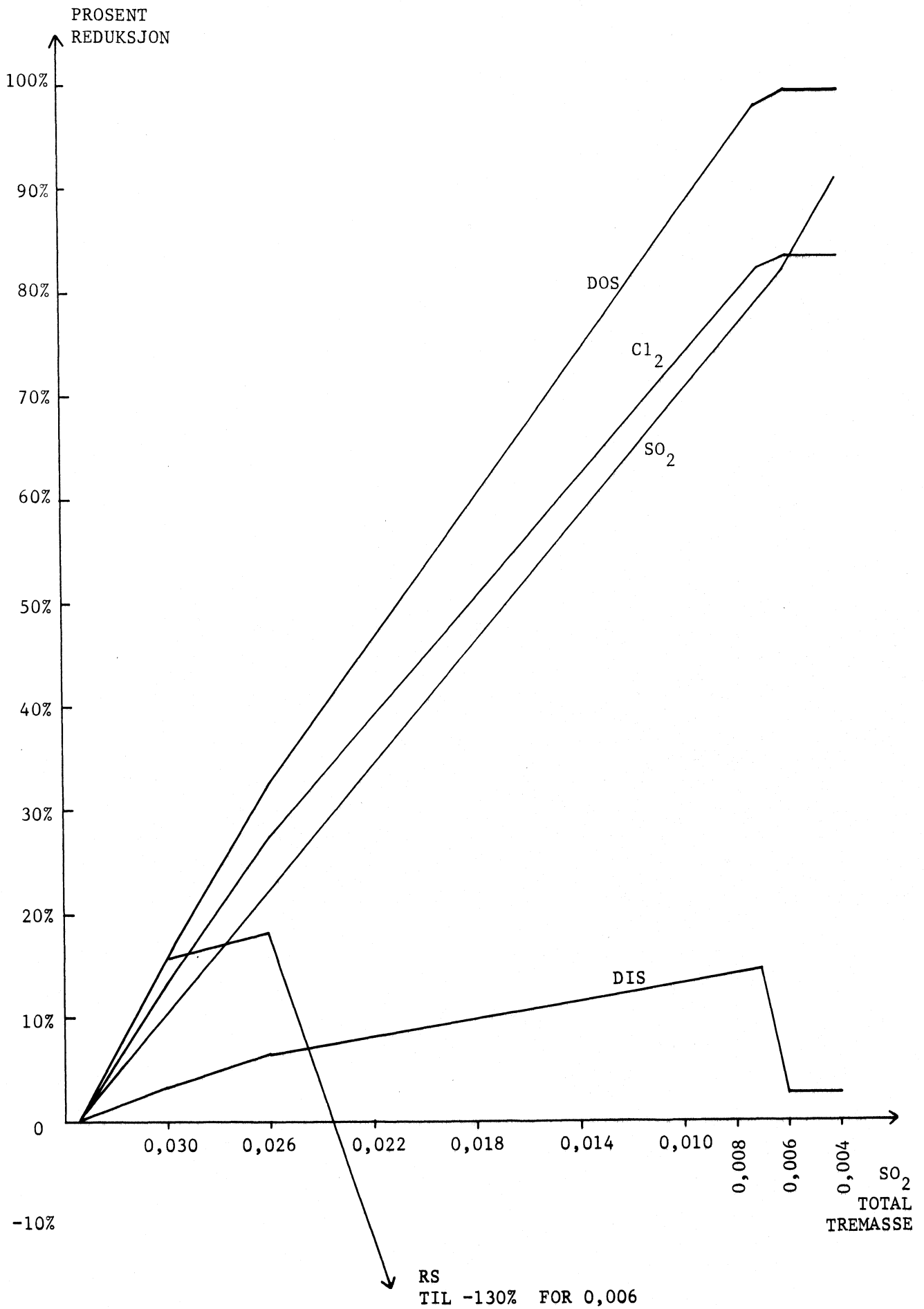
På formen (14) kan vi så bruke ulikheten som en ny linjebegrensning i modellen vår. Dersom vi varierer  $S$  vil vi få resultater som viser variasjoner i  $\text{SO}_2$ -utslippet og de andre utslippene. I tillegg vil vi også se hvordan fortjenesten endrer seg etter som de forskjellige krav til  $\text{SO}_2$ -utslippet forandres.

På figur 1 kan vi se resultatet grafisk framstilt. Langs den horisontale akse har vi målt skrankene for forholdet mellom  $\text{SO}_2$ -utslipp og total tremasseproduksjon. Den vertikale akse viser den prosentvise reduksjon. Vi har valgt den prosentvise reduksjonen i utslippene fordi det gir best inntrykk av virkningene.

Som vi ser har vi stort sett jevne utviklinger. For DIS er reduksjonstakten ikke så stor, og ved 0,007 øker utslippet av DIS igjen før det stabiliserer seg på en total reduksjon på nesten 3%. For RS har vi først en heller stor reduksjon, men fra 0,026 øker RS-utslippet ganske kraftig og ved 0,006 har utslippet mer enn fordoblet seg.

Ser vi på utslippene av  $\text{DOS}$ ,  $\text{Cl}_2$  og  $\text{SO}_2$  så reduseres de jevnt og forholdsvis mye fram til skrankeverdien 0,007. Etter 0,007 jevner  $\text{DOS}$ -utslippet seg ut på nesten 100% og  $\text{Cl}_2$ -utslippet på opp imot 85%.  $\text{SO}_2$ -reduksjonen blir her faktisk sterkere. Dette er litt merkelig fordi før 0,007 var denne reduksjonen helt jevn og lå på skranken mens den nå ligger under slik at (14) her er oppfylt med bare ulikhet. Grunnen til dette siste må nok ligge i at for å redusere  $\text{SO}_2$  så kraftig må vi faktisk også redusere

Figur 1. Virkning på forskjellige utslipp ved relative skranker på  $\text{SO}_2$ -utslippet.



totalproduksjonen.

F.eks. ser vi at vi med en skranke på 0,007 vil vi ha en reduksjon i DIS på nesten 15%, for  $SO_2$  på nesten 80%, for  $Cl_2$  på nesten 82% og for DOS på 98%. Kostnaden for en slik reduksjon er en nedgang i fortjenesten på ca. 25%, dvs. mellom 60 og 70 millioner kroner pr. år. Dette når vi har trukket tømmerutgiftene fra. Til sammenligning kan nevnes at Industriforbundet regner med at bransjen (som foruten kjemiske- og halv-kjemiske fabrikker også omfatter mekaniske-, papir-, papp- og kartong-fabrikkene) har brukt ca. 100 millioner kroner innen miljøvernsektoren i de senere åra. I Sverige drives et miljøvernprosjekt som skal være avsluttet i 1974 og vil koste 32 millioner norske kroner. Dette er et utforskningsprosjekt. På lengre sikt er miljøvernet i treforedlingsindustrien i Sverige beregnet til å koste minst 1 milliard norske kroner.

Når vi ser på nedgangen i fortjenesten på ca. 25%, så skal vi i tillegg være klar over at en god del skyldes nedgangen i den blekede mengden av sulfitt-tremassen. Dette er en følge av vår forutsetning (6) om forholdet mellom kalsiumproduksjonen og bleket sulfittproduksjon.

La oss se litt nærmere på dette. I våre beregninger for en skranke på 0,007 ble bare 129 761 tonn tremasse bleket, og av dette var bare 9 761 tonn sulfitt-tremasse. Total mengde av sulfitt-tremasse var 418 541 tonn. Dersom vi nå antar at 200 000 tonn av dette i tillegg til 9 761 også blir bleket, vil fortjenesten gå opp igjen med ca. 30 millioner av de 70 millionene vi først opererte med. Det vil altså si at reduksjonen i fortjenesten vil bli nesten halvert.

Vi ser altså at nedgangen i fortjenesten henger nøye sammen med nedgangen i mengde av bleket sulfitt-tremasse. I virkeligheten er nok forutsetningen vår for streng, slik at beregningene med 200 000 tonn større blekeproduksjon ovenfor nok gir et riktigere bilde av lønnsomhetsnedgangen.

Vi valgte sulfitt-blekingen i forutsetning (6) fordi denne prosessen ikke virket særlig inn på utslippene. Men når vi nå utfører tilleggsberegninger med 200 000 tonn større bleket sulfitt-tremasse må vi også regne med at reduksjonen av  $Cl_2$  ikke blir så stor som vist på figuren. Men ellers vil disse tilleggsberegningene ikke få noen særlig virkning på utslippene. Vi kan si at for å redusere  $Cl_2$ -utslippet må vi produsere mindre av bleket tremasse, men siden prisen er svært høy på bleket tremasse vil dette redusere fortjenesten kraftig. Men sjølve omfordelingen på produksjonsprosessene vil ikke koste så mye.

Disse tilleggsberegningene er bare ment å vise at den relativt store reduksjonen i fortjenesten er svært avhengig av våre forutsetninger,

slik at det ikke er så kostbart som resultatet gir uttrykk for. Tilleggsberegningene må ikke tolkes som om de tilhørte modellen, men bare som et supplement.

6b. Skatt eller avgift på utslippet av oppløst organisk stoff (DOS)

Med skatt eller avgift på et utslipp mener vi at myndighetene bestemmer at bedrifter som slipper ut et bestemt skadelig stoff skal svare et bestemt beløp pr. tonn utslipp av dette stoffet.

I vår modell har vi regnet med at alle utslipp er gratis ("ikke-markeds goder"). Dette kommer til uttrykk i tabell 2 side 10, der siste ruta i kriteriefunksjonen består av nuller. En avgift på et spillprodukt innføres i modellen ved at den tilhørende nullen i kriteriefunksjonen byttes ut med den pålagte avgift (med negativt fortegn).

For å unngå en proporsjonal nedgang i kalsium- og kraftproduksjonen har vi i stedet for forutsetning (11) sagt at kraftproduksjonen skal være større enn 240 000 tonn.

Vi bytter altså ut (11) med

$$(11a) \quad 240\,000 \leq x_8$$

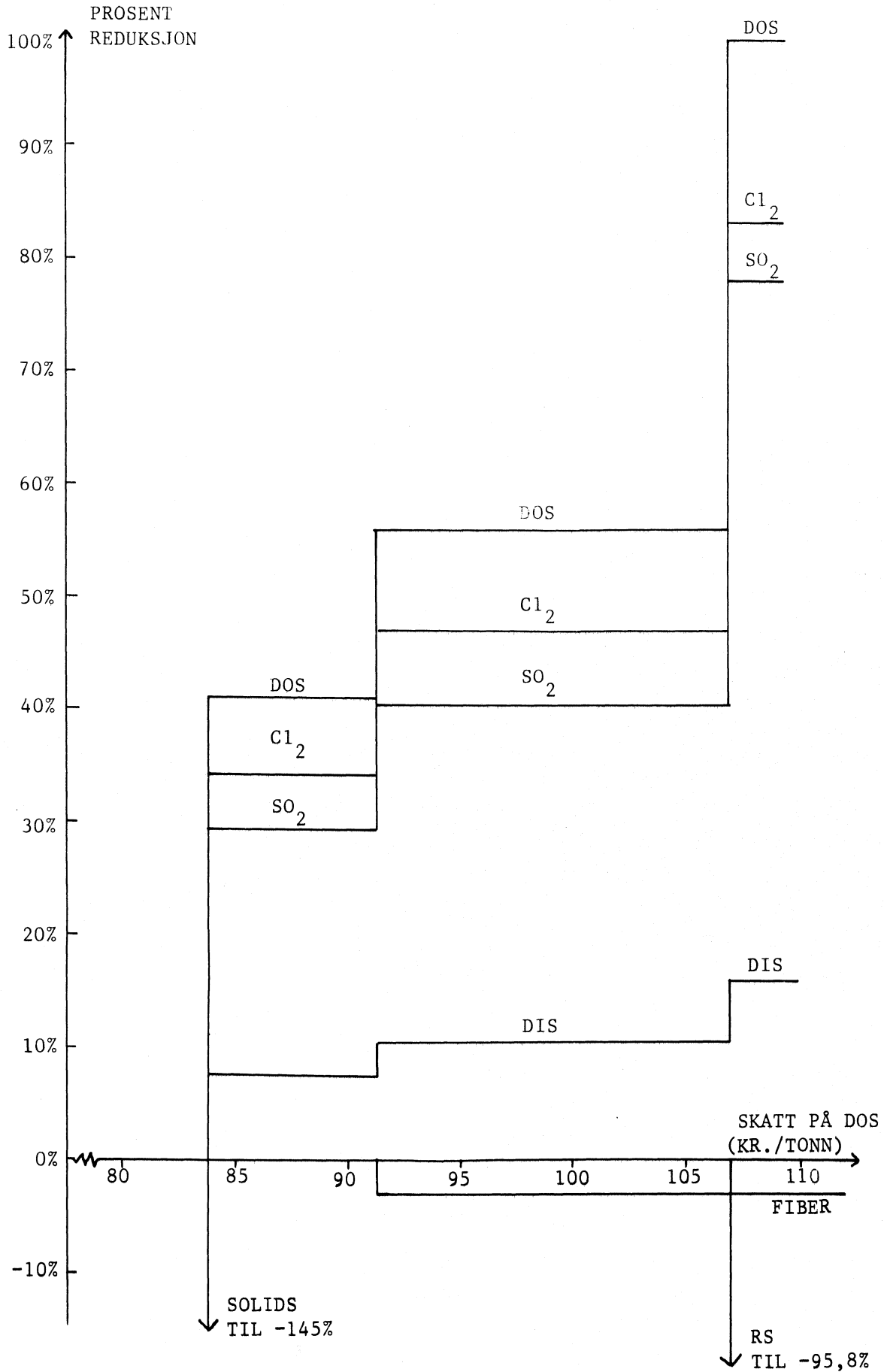
Her er det ikke noe urimelig med en forutsetning som hindrer reduksjon i kraftproduksjonen, fordi kraftprosessen resulterer ikke i DOS-utslipp.

På figur 7 måles avgiftssatsen langs den horisontaleaksen, mens den prosentvise produksjonen måles langs den vertikale.

Den trappetrinneeffekten som figuren gir et godt uttrykk for, er et resultat av analysemetoden lineær programmering. Ved en bestemt avgiftssats blir en prosess ulønnsom, og produksjonen blir fordelt i en eller flere andre prosesser. Vi får altså ikke noen jevn overgang som på figur 6 der den innbyrdes lønnsomhetsforskjellen hele tiden er intakt. Der skjedde reduksjonen ved at produksjonen ble nedtrappet jevnt for en prosess ad gangen, slik at  $SO_2$ -skranken hele tiden er overholdt.

Vi ser at vi også her får store reduksjoner i DOS, Cl og  $SO_2$  utslippene. Vi har ikke tegnet inn reduksjonen i  $SO_2$ -utslippet i vann, men den ligger hele tiden ca. 0,5% høyere enn DOS-reduksjonen. Også her ligger nedgangen i fortjenesten på under 25%, men her spiller nedgangen i bleket sulfitt-tremasse samme om kanskje enda større rolle enn i 6.a. Produksjonen av sulfitt-tremasse ved en skattesats på kr. 107 var på 530 000 tonn, mens ingenting av dette ble bleket. Dersom vi for eksempel antar at 400 000 tonn ble bleket, ville reduksjonen i fortjenesten bare blitt under en prosent. Det skulle altså ikke så mye større bleket mengde enn 400 000 tonn før en

Figur 2. Virkning av skatt (avgift) på utslippet av oppløst organisk stoff (DOS).



faktisk ville ha øket fortjenesten. Grunnen til at vi kan få slike resultater ligger sjølsagt i at det i Norge blir nyttet prosesser som i andre land er regnet for uøkonomiske og som vi har funnet mindre profitable slik vi har stilt opp prosessene i tabell 4. Når vi så forsøker å løse opp de forutsetningene vi gjorde for å simulere den norske produksjonen, vil slike underlige resultater oppstå.

Det vi ellers legger merke til på figur 2, er at vi får større utslipp av flere spillprodukter. Det gjelder fiber, solids og RS. Dette har vi ikke tatt med på figur 1, men den samme effekten gjør seg også gjeldende der. Vi får også der en og en halv gang så mye solids-utslipp, og det holder seg nokså fast på et slikt nivå. For øvrig legger vi merke til at RS-utslippet ikke forandrer seg her før ved en skatt på 107 kroner, men at det da nesten fordobles.

Det er nok en forskjell mellom relative beskrankninger, slik den er definert i 6.a og skattepåleggelse i 6.b. Ved en skattepolitikk blir nemlig en del av nedgangen i fortjenesten for tremasseprodusentene inndratt som skatt til staten. Hele fortjenestenedgangen går altså ikke "tapt", slik som ved pålegg av skranker. Når vi sammenligner disse reduksjonene i fortjenesten, må vi altså ha klart for oss at nedgangen ved skattepålegging er privatøkonomisk og ikke samfunnsøkonomisk. Ved valg av virkemidler vil sjølsagt myndighetene ta hensyn til dette.

Resultatet for vår modell vises i tabell 8.

Tabell 7. Skattebeløp ved forskjellige skattesatser for DOS-utslipp

Skattesats i kr./tonn	(i) Skattebeløp ca.	(ii) Nedgang i fortjenesten	Differensen (ii) - (i)
84	33 mill.	55.5 mill.	22.5 mill.
94	27 mill.	59.5 mill.	22.5 mill.
107	0.23 mill.	63.08 mill.	62.85 mill.

Vi ser at ved den høyeste satsen på 107 kroner blir skattebeløpet lite i forhold til de andre. Dette skyldes nettopp at utslippet er redusert med nesten hundre prosent, ved en så høy sats.

Jeg vil imidlertid ikke gå inn på de vurderinger myndighetene måtte gjøre med hensyn til statens inntekter og reduserte spillproduktutslipp.

Det presiseres også at dersom tømmerinnsatsen var eksplisitt med i beregningene her, ville vi kunne fått et anderledes resultat m.h.t. avgiftsatser som er brukbare.



### 6.c. Skatt eller avgift på utslippet av faste partikler (solids)

Som vi har sett tidligere i 6.a og b, så fikk vi der en stor reduksjon i utslippet av DOS,  $\text{SO}_2$ -oppløst i vann,  $\text{SO}_2$ -gass og  $\text{Cl}_2$ -gass (når bleket sulfitt reduseres), men samtidig fikk vi en motsatt virkning for utslippet av solids. Dette skyldes at produksjonen ble forskjøvet til den mest lønnsomme prosessen, magnesiumprosess nr. 2, som nettopp har det største solids-utslippet. Det synes altså som om økt solids-utslipp er en del av prisen for å redusere utslippet av andre stoffer.

Vi vil derfor nå se om vi kan redusere utslippet av solids ved å legge en skatt på det. Resultatet er vist på figur 3. Den viser at med små skattesatser og liten reduksjon i fortjenesten får vi heller store reduksjoner i solids-utslippene.

Samtidig øker utslippet av fiber og RS en del. Vi har også økning av DOS og DIS, men de er svært små (h.h.v. -0,16 og -0,14) og kan ikke framstilles på figuren. For  $\text{SO}_2$  sitt vedkommende får vi en liten økning (-0,24) ved en skattesats fra 0,75 til 2,75, mens vi får en litt større reduksjon (0,70) fra 2,75.

Disse små skattesatsene på kr. 0,75 og kr. 2,75 er altså bare egnet til å redusere solids-utslippet. Jamvel om vi øker skattesatsen til kr. 295,-, blir ikke resultatet stort anderledes. Solids-reduksjonen holder seg konstant på 77%, mens reduksjonen i  $\text{SO}_2$  blir 3% og RS øker utslippet med nesten halvparten av initialmodellen (til -48%). Men dette blir privatøkonomisk dyrt, da fortjenesten reduseres med over 35%, slik at en solids-skatt på over kr. 3,- ikke er realistisk.

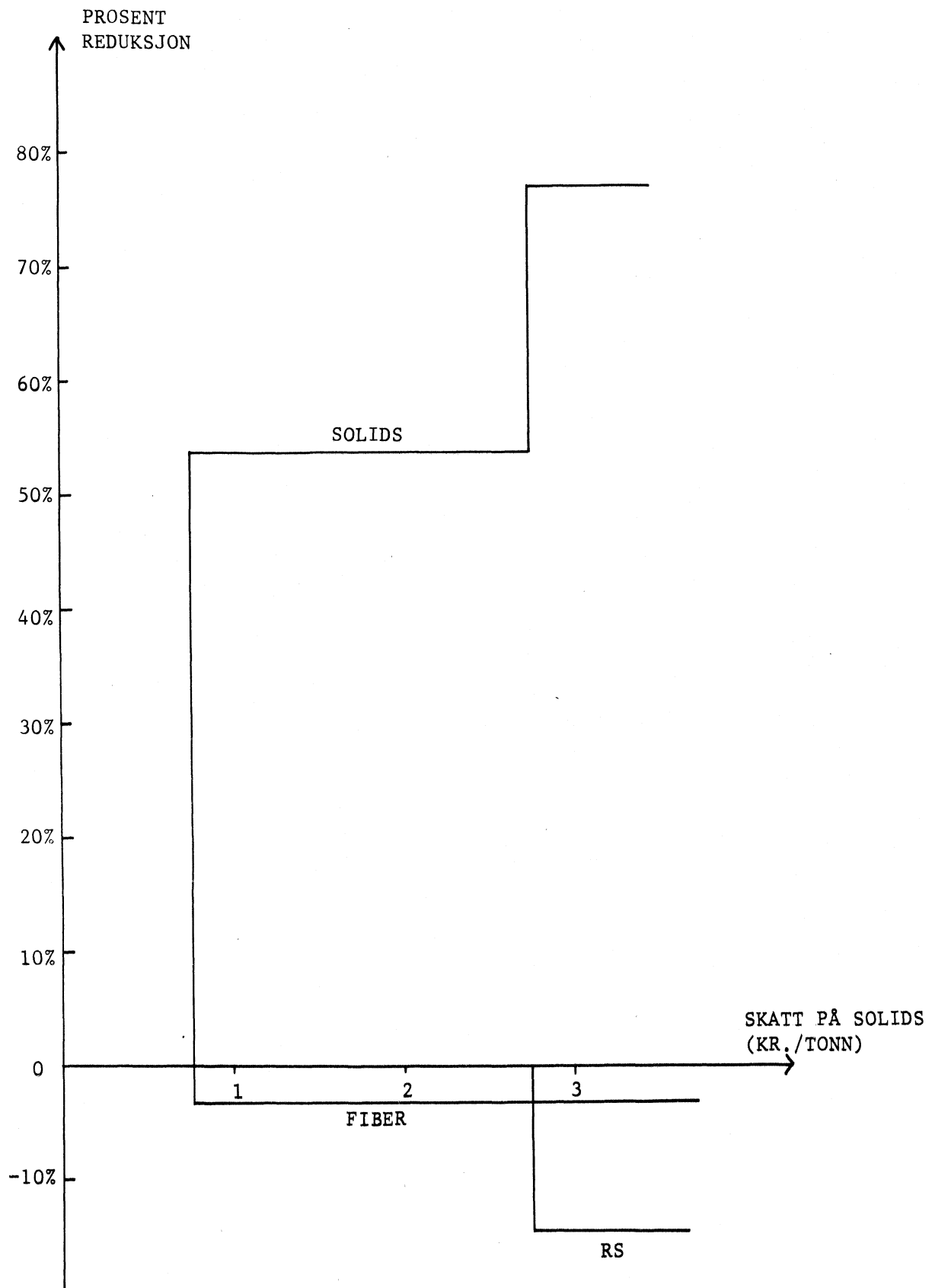
Vi skal imidlertid nå se på simultanvirkningen av en skatt på DOS-utslippet på kr. 107,- og Solids-skatt på kr. 3,-.

Det viser seg at reduksjonen i solids blir ca. en halv prosent større, altså liten forskjell. Men for  $\text{SO}_2$ -oppløst i vann, DOS,  $\text{SO}_2$ -gass og  $\text{Cl}_2$ -gass blir reduksjonen betydelig. For DIS og  $\text{SO}_2$ -oppløst i vann blir den på 52%, for  $\text{SO}_2$ -gassen nesten 46% og for  $\text{Cl}_2$ -gassen 43,5%. Men for RS-utslippet blir situasjonen verre, da dette øker kraftig.

Men denne reduksjonen gjør seg også utslag i fortjenesten, som ved innføring av DOS-skatt på kr. 107,- når solids-skatten er kr. 3,- reduseres med ca. 25%. Men her skyldes mye av denne reduksjonen nedgangen i bleket sulfitt, og dette får vi ikke utskilt av modellen uten at vi må foreta slike tilleggsberegninger.

Vi skal til slutt se på det offentliges skatteinndragninger ved disse skattene som vist i tabell 8.

Figur 3. Virkning av skatt (avgift) på faste avfallutslipp (SOLIDS)



Tabell 8. Skattebeløp ved forskjellige skattesatser for solids- og DOS-utslipp

Skattesats i kr./tonn		Ca. skattebeløp (i)	Nedgang i for- tjenesten (ii)	(ii) - (i)
DOS	SOLIDS			
0	0,75	0,55 mill.	1,04 mill.	0,49 mill.
0	2,75	0,99 mill.	2,53 mill.	1,54 mill.
107	3,00	35,08 mill.	73,78 mill.	38,70 mill.

Det skulle være greitt å forstå at den store økningen fra de to første linjene til den siste skyldes den store skatten på DOS.

### 7. Avsluttende merknader

I vår initialmodell er det tre prosesser som tilpasser seg på sin nedre kapasitetsgrense. Det er Ammoniakk-prosessen og begge de halvkjemiske prosessene. Vi kan altså ikke få en reduksjon av produksjonen i noen av disse, sjøl om det hadde vært ønsket ut fra et forurensningsmessig synspunkt. Dette er sjølsagt uheldig, og kan bare løses ved ytterligere forutsetninger som kanskje kan gjøre modellen mer urealistisk på andre områder. På den andre siden er produksjonen i disse prosessene forholdsvis liten både i vår modell og i virkeligheten.

Som vi har vært inne på tidligere, er forurensing i all hovedsak et regionalt problem. Dette kommer til uttrykk ved at det er de nært omliggende områdene rundt en forurensingskilde som får de negative virkningene av forskjellige utslipp. Vi har sett på utslippene for hele sektoren under ett uavhengig av om for eksempel et spillproduktutslipp var særlig konsentrert i et lokalt sett begrenset område, f.eks. en elv.

Generelle virkemidler som de relative skrankene på utslippet, vil ikke da nødvendigvis føre med seg et mindre utslipp i et slikt utsatt område. En reduksjon av utslippet andre steder i landet kan da være nok til at grensen ikke overskrides. I det hele tatt kan det oppstå vanskeligheter ved kontrolleringen av et så generelt virkemiddel. Det ville vært mer naturlig om en slik utslippsbeskranking skulle gjelde for hver bedrift eller totalt for de bedriftene som leverer skadestoffet i samme resipient (elv, luft, innsjø, fjord, etc.).

Modellen slik den er framstilt her, kan ikke vise resultatet av slike virkemidler. Imidlertid går det an å bygge en regional inndeling inn i modellen.

Med en slik regional utvidelse av modellen kan vi beregne resultatet av at myndighetene pålegger skranker på utslippet av et stoff i forhold til

totalproduksjonen i hver region.

For skattevirkemidlet er forholdet et noe annet, fordi her er det en hel prosess som plutselig blir ulønnsom, og som derfor ikke blir drevet (unntatt på sitt minimumsnivå). Med en slik regionalinndeling kunne f.eks. skattesatsene differensieres, slik at det bare er innenfor regioner at en bestemt prosess blir ulønnsom.

Vi har vært inne på bruken av renseanlegg uten at dette har kommet eksplisitt til uttrykk i modellen. Grunnen ligger i at vårt datamateriale har vært utilstrekkelig i så henseende. Teoretisk sett er det enkelt å bygge virkningene av et renseanlegg inn i modellen. Dersom en prosess har innført et renseanlegg som all avluten fra prosessen går gjennom, er det rimelig å anta at anlegget bare klarer å redusere utslippet, ikke å fjerne det helt. Vi antar at renseprosessen klarer å redusere utslippet i bestemte forhold, slik at vi også her opererer med faste koeffisienter.

Vi tenker oss at en prosess  $i$  slipper ut  $r_{ij}$  av spillprodukt  $j$  pr. enhet produsert i prosessen. Videre vil vi innføre et renseanlegg som reduseres spillprodukt  $j$  med  $h_{ij}$  pr. enhet av spillproduktet. Vår nye koeffisient for utslippet av spillprodukt  $j$  fra prosess nr.  $i$  blir da  $(1-h_{ij})r_{ij}$ .

Dersom renseprosessen er lik for alle prosessene, vil vi ha  $h_{ij} = h_j$ . Vi kan også bruke dette resonnementet sjøl om bare en del av avluten fra prosessen(e) blir rensert. Vi må da innføre flere aktiviteter.

Myndighetene har som vi har vært inne på, flere muligheter når det gjelder virkemidler. Avgift på kjøp av et kjemisk stoff som nyttes i en eller flere av prosessene, er et slikt middel. Vi kan ved hjelp av modellen se resultatet av en slik politikk. Imidlertid vil en slik avgift også ha en annen effekt.

Studerer vi lista over variable på side 7 og 8, ser vi at mange av de kjemiske stoffene som blir brukt som innsatsfaktorer, også finnes blant spillproduktene. Grunnen til at bedriftene kaster bort etter måten store mengder av kjemiske stoffer som de også må gå til innkjøp av, er at det ganske enkelt lønner seg. Dersom disse stoffene ble dyrere i innkjøpspris på grunn av statens avgifter, kan det tenkes at bedriftene gikk til innstallering av utstyr for gjenvinning av stoffene, fordi dette da ville være mest lønnsomt.

En slik effekt kan vi ikke undersøke ved hjelp av modellen vår. En slik effekt vil nemlig forandre koeffisientene i prosessen, mens vi har forutsatt konstant teknikk.

Men dersom vi kjenner til de forandringene i koeffisientene dette fører med seg, vil vi på denne måten kunne bruke modellen til å finne virkningene.

## 8. Konklusjon

Vi har i denne oppgava sett på forurensningen fra kjemisk treforedlingsindustri. Produksjonen i denne sektoren foregår i klart avgrensede tekniske prosesser som vi har klart å identifisere. Vi har brukt disse prosessene i en lineær programmeringsmodell der kriteriefunksjonen som vi vil maksimere er et uttrykk for "bruttofortjenesten" i hele sektoren. Dette bruttofortjeneste begrepet vi har brukt i beregningene inneholder foruten kapitalutgifter og renprofitt også utgifter til tømmer og dette gjør resultatene en del skeive. Vi har forsøkt å korrigere resultatet for "bruttofortjenesten" for tømmerutgiftene etter at beregningene er foretatt og kaller det da korrigert fortjeneste, men for tilfellet med avgifter kan det tenkes at det ville blitt andre resultater om utgiften til tømmer var eksplisitt med i analysen.

Vi har satt begrensninger på totalproduksjon og produksjonen i hver prosess. Innenfor disse grensene har vi i modellen ved hjelp av enkle virkemidler fått en omfordeling av produksjonen mellom prosessene. Denne omfordelingen mellom prosessene resulterer videre i endringer i spillproduktutslippet. Vi har lagt vekt på slike virkemidler som reduserer spillproduktutslippene og da særlig de mest skadelige stoffene. Resultatene kan sees grafisk på figurene 1, 2 og 3.

Vi skal kort se på dem her. Det viser seg at vi kan redusere flere store skadestoffutslipp ganske betraktelig, men da vil den korrigerte fortjenesten reduseres med opp til 25%. Ved å pålegge at utslippet av svoveldioksyd i forhold til total produksjon av tremasse ikke skal overstige skranken 0,007, vil utslippet av oppløst organisk stoff (DOS) kunne reduseres med 98%, svoveldioksyd med nesten 80% og oppløst uorganisk stoff med 15%. Samtidig vil den korrigerte fortjenesten reduseres med ca. 25%. Det er imidlertid godt mulig at den korrigerte fortjenestereduksjonen bare vil være den halve fordi i beregningene har vi med en forutsetning som krever en nedgang i den blekte mengden av tremassen.

I virkeligheten vil en kunne fortsette å bleke like mye tremasse som tidligere uten at det endrer de resultatene vi har fått med unntak av klor-gass som bare skriver seg fra blekeprosessen. En omfordeling av produksjonen uten at den blekte mengden av tremasse reduseres, vil altså ha som effekt de ovenfor nevnte reduksjoner i spillprodukter, men ikke så stor reduksjon i korrigert fortjeneste. Men derimot vil altså klorgassutslippet være like stort. Det kan reduseres ved at vi bleker mindre tremasse, men dette vil altså resultere i kraftig nedgang i korrigert fortjeneste siden prisen på bleket tremasse er stor i forhold til ubleket.

Det utslippet som volder størst forurensning er de oppløste organiske stoffene som hovedsakelig består av lignin. Dette forurenser elver, innsjøer og fjorder. Vi har undersøkt hvordan en avgift på utslippet av dette stoffet virker.

Ved en avgift på kr. 92,- pr. tonn får vi en nedgang i DOS på 56% og i  $\text{SO}_2$  på 40%. Dette gir en skatteinntekt på 27 mill. kroner, mens nedgangen i den korrigerte fortjenesten var på nesten 60 mill. kroner dvs. en samfunnsmessig kostnad på 33 mill. kroner. 60 mill. kroner utgjør ca. 21% av korrigert fortjeneste.

For avgift på kr. 107,- pr. tonn vil vi kunne få redusert DOS-utslippet med 99% og  $\text{SO}_2$  med 78%, men her blir skatteinntekten bare 0,23 mill. mens fortjenestenedgangen er 63 mill.

Den store nedgangen i fortjenesten må også her forklares hovedsaklig ut fra nedgang i den blekte mengden. Dersom vi bare regner med en liten nedgang i bleket tremasse vil reduksjonen i korrigert fortjeneste for en avgift på 107, bare være ca. 2%.

Konklusjonen vår må da bli at dersom vi ikke tar noe særlig hensyn til klongassutslippet ved at vi holder på at en stor del av tremassen fremdeles skal blekes, lar det seg gjøre å redusere utslippet av DOS og  $\text{SO}_2$  med oppimot henholdsvis 100 og 80% uten for store kostnader.