

Sammendrag

Oppgavens hovedformål har vært å kartlegge materialflyten av aluminium i Norge. Hensikten med en slik kartlegging var å drøfte dagens og fremtidens resirkuleringsgrad i relasjon til teknologisk løsning og økologisk effektivitet i systemet samlet sett.

I kartleggingsfasen er det samlet inn data for produksjon, import, eksport og bruk i forskjellige deler av materialsyklusen. Dette omfatter primæraluminium, halvfabrikata og ferdigvarer i viktige produktgrupper. Det er også innhentet informasjon om disponering og resirkulering av kassert materiale i form av avfall og biprodukter.

Det viste seg at enkelte viktige materialstrømmer var vanskelige å kartlegge. Dette gjaldt spesielt aluminium til eksport i ferdigvarer, og mengdene skrap som faktisk samles inn og bearbeides av skraphandlere/gjenvinnere. Det var derfor ikke praktisk mulig innenfor rammene av denne oppgaven å gi en fullstendig oversikt over materialstrømmene i materialsystemet, med den tilhørende analysen av total resirkuleringsgrad. For å vurdere forbruk og mengder brukt avfall som oppstår i forskjellige forbrukssektorer i samfunnet, har jeg benyttet meg av eksisterende statistikker for norske eller nordiske forhold. I oppgaven er det fokusert på de fire viktigste forbrukssektorene av aluminium: Bygg, Transport, Emballasje og Elektro

Hovedkonklusjonen er at store deler av aluminiumssystemet i Norge viser høy økologisk effektivitet etter prinsipper innen industriell økologi og industriell metabolisme. Det finnes systemer som samler inn og behandler aluminiumskrap på en tilfredsstillende måte for elementer i materialsyklusen fra primærproduksjon til og med ferdigvareproduksjon. "Flaskehalsen" i systemet er forbruksfasen, hvor det i dag er knyttet en meget lav resirkuleringsgrad til to av de undersøkte forbrukssektorene. Med etablering av materialselskap og de kravene som knytter seg til dette, forventes resirkuleringsgraden i disse delsystemene å øke kraftig. Tabellen under viser estimerte mengder brukt avfall av aluminium og antatt resirkuleringsgrad for de viktigste forbrukselementer i de forskjellige sektorene i dag. Tallene må vurderes kun som grove estimat på grunn av varierende kvalitet på datamaterialet.

	Vurdert produktgruppe	Brukt avfall (tonn/år)	Resirkuleringsgrad Al (%)
<i>Transport</i>	Person- og varebiler	1818	73
<i>Emballasje</i>	Forbruksemballasje	2141 ¹	≈0
<i>Elektro</i>	EE-avfall	6410 ²	25
<i>Bygg</i>	Bygninger	450	(80)

¹Folie og laminater ikke med i mengdetall

²Høyspentledninger av aluminium er ikke tatt med

Det kan ventes markert økte skrapmengder av aluminium fra bygg, elektro og transportsektoren i årene fremover.

Under arbeidet har det kommet frem at de største hindringene mot effektivisering og innføring av tiltak med et systemperspektiv er manglende informasjonsflyt og registrering i systemet

Innholdsfortegnelse

1. Innledning	6
2. Teori	2
2.1 <i>Industriell Økologi</i>	2
2.1.1 Bakgrunn - Utviklingen mot en industriell økologi.....	3
2.1.2 Definisjoner	9
2.1.3 Hvordan operasjonalisere industriell økologi?.....	10
2.1.3.1 Teknologi og infrastruktur	11
2.1.3.2. Organisatoriske og strategiske elementer.....	12
2.2 <i>Materialstrømsanalyser</i>	15
2.2.1 Metodikk.....	15
2.3 <i>Termodynamikk</i>	16
2.4 <i>Industriell metabolisme</i>	17
2.4.1 Materialstrømmer og bærekraftighet	17
2.4.1.1 Eksergi og materialstrømmer	19
2.4.1.2 Mål på bærekraftighet	20
2.5 <i>Systemteori</i>	21
2.5.1 Definisjon av et system.....	21
2.5.2 Systemanalyse	21
2.5.3 Metodikk.....	22
3. Bakgrunn	23
3.1 <i>Aluminium</i>	23
3.1.1 Generelt	23
3.1.2. Resirkulering	24
3.1.2.1 Motivasjon for resirkulering av aluminium	24
3.1.2.2 Skrap og skrapkvaliteter av aluminium.....	27
3.1.2.3 Strategier for resirkulering	30
3.2 <i>Fremveksten av norsk aluminiumsindustri</i>	32
4. Kartlegging av aluminiumssystemet i Norge.....	34
4.1 <i>Innledning</i>	34
4.2 <i>Kartlegging av systemet</i>	34
4.2.1 Mål og fokus	34
4.2.2 Definisjon av hovedsystem og systemgrenser.	34
4.2.3 Definisjon av aktører og interessenter. Videre avgrensning.....	34
4.2.4 Aktørenes behov	35
4.2.5 Oversikt	37
5. Primærproduksjon	40
5.1 <i>Generelt</i>	40
5.2 <i>Primærverket</i>	41
5.2.1 Prosesser.....	42

5.2.2 Skrap og reststoffer	44
5.3 Norsk produksjon av primærmetall.....	45
5.4 Norsk forbruk av Primærmetall	46
5.5 Sammendrag (1994)	48
6. Halvfabrikata	49
6.1 Generelt.....	49
6.2 Valsede halvfabrikata	50
6.2.1 Prosesser og skrapgenerering.....	50
6.2.2 Norsk produksjon og forbruk av valsede halvfabrikata	52
6.3 Ekstrudert halvfabrikata	54
6.3.1 Prosesser og skrapgenerering.....	54
6.3.2 Norsk produksjon og forbruk av ekstrudert halvfabrikata	55
6.4 Tråd halvfabrikata	57
6.4.1 Prosesser og skrapgenerering, valset tråd	57
6.4.2 Norsk produksjon og forbruk av valset tråd.....	58
6.5 Total produksjon og forbruk av halvfabrikata i Norge.....	59
6.6 Sammendrag 1994.....	60
6.6.1 Produksjon og forbruk av halvfabrikata.....	60
6.6.2 Skrap fra halvfabrikataproduksjon.....	61
6.6.3 Kontroll	62
7 Produksjon av ferdigvarer	63
7.1 Generelt.....	63
7.2 Datagrunnlag.....	64
7.3 Metode.....	65
7.4 Beskrivelse av markedet.....	65
7.5 Forbruk av halvfabrikata.....	67
7.6 Produksjonskrap	70
7.6.1 Generelt om håndtering og materialstrømmer	70
7.6.2 Estimerte mengder produksjonskrap fra videreforedling av halvfabrikata.....	71
8. Bruksfasen: Transportsektoren	73
8.1 Generelt.....	73
8.2 Datagrunnlag.....	73
8.3 Aluminium i Biler	73
8.4 Innsamling og gjenvinning.....	75
8.4.1 Beregninger.....	78
8.4.2 Videre utvikling	80
9. Bruksfasen: Emballasje.....	83
9.1 Generelt.....	83
9.2 Datagrunnlag.....	83
9.3 Norsk forbruk.....	84
9.3.1 Drikkebokser	84

9.2.2 Annen forbruksemballasje	85
9.2.3 Spann , esker tanker og liknende beholdere.....	87
9.4 Gjenvinning, innsamlingsystemer	88
10. Bruksfasen: Elektroniske og elektriske produkter.....	90
10.1 Generelt.....	90
10.2 Datagrunnlag.....	90
10.3 Aluminium i EE-avfall.....	91
10.4 Innsamling og gjenvinning.....	93
10.4.1 Hvitevarer.....	94
10.4.2 Kabler og liner	94
10.4.3 Elektriske motorer og generatorer; Elektroavfall.....	95
10.4.4 Estimerte mengder	95
10.4.5 Innsamlingsystem under planlegging	96
11. Bruksfasen: Byggsektoren	97
11.1 Generelt.....	97
11.2 Aluminium i Bygg.....	97
11.3 Datagrunnlag.....	97
11.4 Estimering av forbruk og skrapmengder (Bygninger)	97
11.5 Gjenvinning.....	98
11.5.1 Kildesortering.....	98
11.5.2 Sammensetning og gjenvinningsalternativer	99
11.5.3 Lover, forskrifter og avtaler for gjenvinning	99
12. Skrapbehandling/ innsamling.....	101
12.1 Skraphandlere / Gjenvinnere	101
12.2 Innsamling av skrap	102
12.2.1 Næringsavfall - Private renovasjonsfirmaer	102
12.2.2 Kommunalt avfall.....	102
13. Produksjon av sekunderaluminium.....	104
13.1 Produksjon av støpebarrer.....	104
13.2 Omsmelting til halvfabrikata (HRM)	104
14. Støperier	106
15. Slaggbehandling.....	108
15.1 Generelt.....	108
15.2 Aktører og prosesser.....	108
15.2.1 Behandling av slagg - "sekundærvirksomhet"	108
15.2.2 Behandling av saltslag - "tertiærvirksomhet"	108
16. Diskusjon	110

16.1 Datakvalitet.....	110
16.2 Sammenfatning. Vurdering av systemet.....	111
16.2 Potensial for økt effektivisering av materialsystemet	115
16.2.1 Prosesser.....	115
16.2.2 Resirkulering.....	116
16.2.3 Organisatoriske elementer.....	117
17. Konklusjon.....	120
Litteraturliste.....	122
Vedlegg I Definisjon av termodynamiske begreper	126
Vedlegg II Bedriftseksempler og prosesser	127
Vedlegg III Datagrunnlag	138
Vedlegg IV Kontaktpersoner	152

1. Innledning

Det settes stadig mer fokus på materialstrømmene i samfunnet. Forbruksvekst og "bruk og kast"-mentalitet fører til utarming av energi- og materialressurser og økende avfallsproblemer, grunnleggende trusler mot målet om en bærekraftig utvikling. I mange land har avfallsmengdene lenge vært et aktuelt og synlig problem; i Tyskland er det flere år siden det ble innført regelverk og tiltak med sikte på å styre avfallsstrømmene vekk fra overfylte deponier. Norge er et land med få mennesker og mye plass, og denne problematikken har ikke blitt aktualisert i like stor grad. Men også her har myndighetene begynt å ta disse problemene alvorlig. I nye retningslinjer heter det for eksempel at metall skal bort fra fyllingene, og i samarbeid med næringslivet opprettes det i disse dager materialselskap som får ansvar for innsamling og gjenvinning av flere typer materialer.

Samtidig settes det stadig høyere krav til industrien om miljøeffektivitet. De siste ti årene har kravene til energiforbruk og håndtering av avfallsmengder og utslipp blitt betydelig skjerpet. Dette har ført til at stor fremgang i det tekniske miljøvernet, men det har manglet et koordinerende og helhetlig rammeverk for hvordan industrien kan effektivisere miljøinnsatsen. Det forholdsvis nye konseptet Industriell Økologi har fått en økt oppmerksomhet i industrien fordi det prøver å gjøre akkurat dette. Hovedfokus ligger på hvordan material- og energibruken kan effektiviseres ved å innta et system- og livsløpsperspektiv ved design av produkter og materialsystem. Hydro Aluminium er blant bedriftene som har tatt til seg konseptet for å være i forkant av miljøproblemene knyttet til prosesser og produktene de produserer.

Lettmetallet aluminium er et material som burde få spesiell oppmerksomhet i bredere sammenheng. Det koster meget store mengder energi å fremstille, men ved riktig utnyttelse kan bruken av metallet forsvares og *foretrekkes* fremfor andre materialer, selv

fra et økologisk synspunkt. Dette avhenger av en *høy gjenvinningsgrad*, slik at metallens iboende "potensielle energi" ikke går til spille. Hvis man samtidig tar med i betraktning at aluminium i dag har blitt et av de aller mest benyttede metaller, blir det spesielt viktig å ha et effektivt system for innsamling og gjenvinning.

I denne analysen skal jeg gå inn på materialflyten av aluminium i Norge, og forsøke å vurdere hvorvidt det blir effektivt utnyttet, dvs resirkulert, i systemet.

I den første delen av oppgaven beskriver jeg industriell økologi som et overordnet konsept og motivasjon for å effektivisere og (ideelt sett) lukke materialstrømmer. Da jeg begynte på arbeidet med oppgaven var begrepet nytt for meg, og jeg valgte å gi en noe grundig beskrivelse av motivasjonen bak det å innføre en industriell økologi. Deretter beskriver jeg de viktigste metodiske elementene for å beskrive og vurdere materialstrømmer.

I andre del går jeg først inn på motivasjonen for å resirkulere aluminium spesielt, før jeg går inn på en analyse av system og materialflyt. Til slutt prøver jeg å gi en vurdering av effektivitet og mulige alternativer for å forbedre materialsystemet.

2. Teori

Jeg skal i denne delen først beskrive industriell økologi (IØ) som et overordnet konsept og rammeverk for å studere det industrielle systemet og dets interaksjon med miljøet. Deretter skal jeg gå nærmere inn på teori/metodikk som har direkte tilknytning til analyse av materialsystemer: materialstrømsanalyser; Industriell Metabolisme (IM), og systemanalyse.

2.1 Industriell Økologi

Et økosystem kan defineres som "et fungerende samspill mellom det levende samfunnet og det omsluttende miljøet". I naturen kan økosystemer ofte defineres som systemer med klare, fysiske avgrensninger fra miljøet rundt, som for eksempel livet i en innsjø. Men andre økosystemer kan være definert av mer diffuse systemgrenser, karakterisert for eksempel gjennom sykluser av vann, energi, næringsstoffer eller karbon. Industrielle enheter som er knyttet til hverandre gjennom strømmer av masse eller energi kan analogt ses på som deltakere i et *industrielt økosystem* (Sagar og Frosch 1997).

Industriell Økologi baserer seg på denne analogien og er et forsøk på å utvikle et rammeverk for hvordan et slikt system kan gjøres bærekraftig. Begrepet er relativt nytt, og forskjellige forfattere gir ulike definisjoner på hva det innebærer. Noen ser på industriell økologi (IØ) kun som en fysisk utveksling og utnyttning av avfallsstrømmer mellom bedrifter. Andre oppfatter IØ som et langt mer vidtgående begrep, et rammeverk for en bærekraftig tenkning og oppbygging av samfunnet.

John Ehrenfeld representerer den andre kategorien. Han beskriver IØ som et nytt *paradigme* for forståelsen av forholdet miljø og samfunn (Ehrenfeld 1994). I det følgende har jeg valgt å først ta utgangspunkt i hans definisjoner på eksisterende

miljø/økonomi paradigmer i samfunnet og sette tankene bak industriell økologi inn i et «historisk» perspektiv. Deretter skal jeg beskrive hovedelementene i konseptet.

2.1.1 **Bakgrunn - Utviklingen mot en industriell økologi**

Et sosialt paradigme eksisterer i ethvert samfunn, og kan defineres som en konstellasjon av verdier, holdninger og oppfatninger. Innenfor en vitenskap kan et paradigme beskrives som et sett "universelle" grunnsetninger for hvordan et problem skal forstås.

Et *paradigmeskifte* oppstår når ny viten dukker opp og forkaster den tradisjonelle måten å tenke på, slik at problemene settes inn i nye rammer. Ifølge Thomas Kuhn oppstår et paradigmeskifte ved at observasjoner dukker opp som ikke kan forklares ved hjelp av det eksisterende paradigmet. Dette gjør det umulig å bruke det videre, siden noe viktig ikke kan forklares. Man søker nye paradigmer som tar de nye problemene opp i seg¹. Et viktig poeng er at en slik endring ofte møter stor motstand fra elementer eller organisasjoner som baserer sin eksistens på det allerede rådende paradigmet. Det kanskje mest berømte eksempelet på et paradigmeskifte kom med Einsteins generelle relativitetsteori i 1906, som resulterte i en forkastelse av det eksisterende newtonske verdensbilde.

Det dominerende sosiale paradigme i det vestlige samfunnet i de siste århundrene kan karakteriseres som "paradigmet om det menneskelige unntak" ("Human Exemptionalism Paradigm"). Mennesket betraktes nærmest som fritatt fra naturlovene og som herskere over den fysiske verden. Forbundet med denne oppfatningen er en tro på teknologiens ubegrensede muligheter.

Ehrenfeld definerer tre forskjellige syn på miljø / økonomi-forholdet som alle er del av det eksisterende paradigmet. Disse er (i Ehrenfelds egne ord) "Frontier Economics", "Externality Control (Environmental Protection)" og "Resource Management" (Ehrenfeld 1994). Det er mulig å relatere disse paradigmene til miljøproblemene i et historisk perspektiv. Selv om de alle tre fremdeles kan sies å være en del av det totale vestlige paradigmet, kan man si at de har fulgt hverandre som små "paradigmeskift" etterhvert som synet på miljøet og menneskets innvirkning på det har endret seg.

"Frontier Economics" - paradigmet

"Frontier Economics" bærer i en tro på frie markedsøkonomier, og her representerer begrepet bærekraftighet ikke noe problem. Naturen antas å være "uendelig" og alltid i stand til å tjene menneskeheten. Det fokuseres på nåsituasjonen: Fremtiden klarer seg selv. Nye, bedre og mer økonomiske teknologiske løsninger vil komme istedet for de gamle etterhvert som kostnadene knyttet til dem blir konkurranse udyktige.

Man kan si at visse trekk med dette paradigmet over lengre tid var dominerende i den vestlige verden. Fra den industrielle revolusjonen til midten av vårt århundre ble naturen oppfattet som noe "uendelig". Naturen var en ubegrenset kilde for ressurser og samtidig et slags uendelig sluk for de avfallstoffene samfunnet produserte. Beskyttelse av miljøet

¹ Det foreligger andre teorier på hvordan et paradigmeskifte oppstår. Spesielt Karl Poppers teorier står sentralt som en motvekt til Kuen, men en videre diskusjon her ligger utenfor rammene av oppgaven.

gikk for det meste ut på å verne spesielle dyr, skogområder, fossefall og lignende som ble direkte truet av industriell aktivitet (Brattebø 1995)

Miljøvern i industrien

Industrien handlet i dette verdensbildet ut fra "*the dilute and disperse paradigm*", eller "fortynningstrategien" (Van der Vorst 1997). Forurensning fra produksjonen gikk uhindret ut fra fabrikkene, og kun hvis det var snakk om sterke anomalier (sterk opphopning av forurensning) ble det reist spørsmål. En tidlig reaksjon på slike miljøproblemer i de industrialiserte byene i Europa var, riktignok kun for de rike, å flytte vest for fabrikkpipene. Produksjonen og forbruket hadde en utpreget lineær natur.

"Externality Control"- paradigmet

Heller ikke i dette paradigmet representerer begrepet bærekraftighet noe problem. Miljøproblemene ses på som symptomer på feil i det økonomiske systemet. Fremtiden kan beskyttes ved å regulere markedet, og forurensning i industrien reduseres ved hjelp av lover og pålegg.

Dette paradigmet har i følge Ehrenfeld vært dominerende i den industrialiserte verden siden sekstiårene. Økt produksjon og sentralisering i den vestlige verden hadde gjort at utslippene vokste til meget høye nivåer, og enkelte steder ble konsekvensene store og dramatiske også for mennesker: Mellom 5. til 10. desember 1952 ble London rammet av en giftig smog, og over 4000 mennesker døde i ettertid som et direkte resultat. Boken *Silent Spring* av Rachel Carson som kom ut i 1962 demonstrerte konsekvensene av den økende bruken av pestisider. Sammen med flere miljørelaterte hendelser på 1960-tallet, bl.a. flere store oljesøl, bidrar disse hendelsene til en "miljørevolusjon", en økt kollektiv bevissthet om miljøproblemene som var i emning. Som en reaksjon innførte myndighetene i mange land lover for å kontrollere utslippene til miljøet.

Miljøvern i industrien

I industrien førte de pålagte restriksjonene til innføring av såkalt "end-of pipe" teknologi (fig. 2.1). Dette er en ren teknisk metode for å minske miljøforurensningen, og den er fremdeles preges av lineær tenkning. Det legges til et trinn i etterkant av prosessene for å fange opp og eventuelt tillate etterbehandling av avfall og forurensning før det deponeres. Denne typen teknisk miljøvern går inn under det van der Vorst kaller for "*the clean-up technology paradigm*" - eller "rensestrategien"

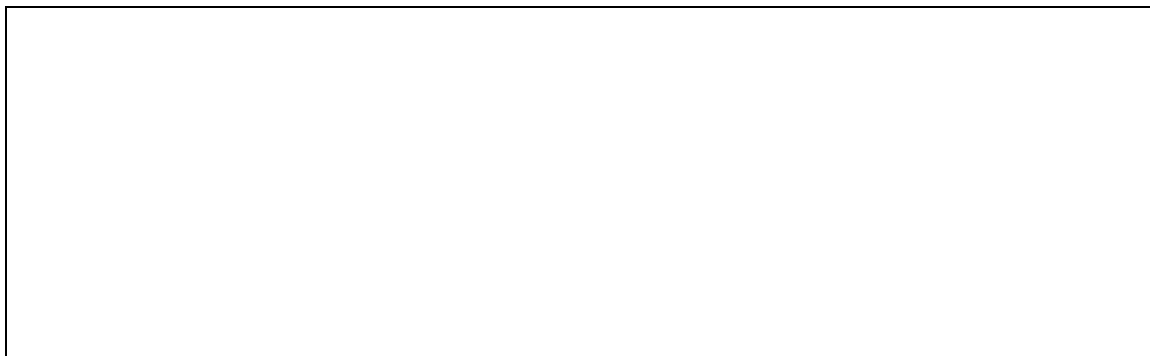


Fig. 2.1 System med lineær produksjon og forbruk med end-of pipe behandling
(van der Vorst 1997)

"Resource Management" - paradigmet

Bærekraftighet representerer et problem, men ikke av altfor stor betydning. Vi må være på vakt overfor fremtiden, men vi kan fremdeles forbruke reservene så lenge den totale mengden av ressurser i naturen og samfunnet holder seg noenlunde konstant.

Bærekraftig utvikling defineres ikke med noen konkrete grenser - men det er enighet om at det må settes grenser for den økonomiske veksten (Brundtlandkommisjonen).

Paradigmet har vokst frem etterhvert som man har forstått at økosystemet viser tegn til skade på grunn av menneskelig aktivitet. Det introduseres et globalt perspektiv på miljøproblemene. I 1972 ga et forskersteam ved MIT ut boken *The limits to Growth*, et resultat av en undersøkelse hvor forskjellige potensielle verdensscenarier var vurdert ut fra systemdynamisk teori. Her het det blant annet:

"Technological optimism is the most common and the most dangerous reaction to our findings from the world model. Technology can relieve the symptoms of a problem without affecting the underlying causes... (and) can thus divert our attention from the most fundamental problem - the problem of growth in a finite system".

De varslet en kollaps innen hundre år hvis trenden fortsatte slik som den var, men understreket likevel muligheten for å snu denne utviklingen ved å skape en økologisk og økonomisk stabilitet (bl.a. basert på at ethvert menneske fikk dekket sine basale materielle behov). Rapporten fikk sterk motstand og mye kritikk fra mange hold, bl.a. fordi man mente de hadde sett bort fra muligheten for fortsatt teknologisk progresjon. Men uansett var den et viktig signal om et videre og mer langsiktig og globalt fokus på miljødebatten (Brattebø 1995).

En rekke internasjonale konferanser og kommisjoner har siden den gang satt det globale miljøvern på agendaen, og miljøprogrammer og miljøvernmyndigheter har blitt opprettet i de fleste land.

The World Commission on Environment and Development, også kalt Brundtlandskommisjonen, kom til å bli spesielt viktig. Med sin endelige rapport "Our Common Future" i 1987 understreket de bl.a. hvordan utvikling og miljø uløselig er knyttet sammen, og lanserte begrepet "*bærekraftig utvikling*". Dette kom som en erkjennelse av at menneskelig aktivitet er i stand til å skade økosystemene, og at en uhemmet økonomisk vekst er uforenelig med en opprettholdelse av ressursgrunnlaget over tid. Teknologi og naturvitenskap alene kan ikke løse problemene knyttet til ressursforvaltning. De sosiale vitenskapene må også trekkes med.

Brundtlandskommisjonen initierte flere viktige internasjonale konferanser, deklarasjoner, konvensjoner og protokoller for å møte de nye utfordringene forbundet med en bærekraftig utvikling. Den viktigste av disse var *UNCED konferansen* i Rio,

1992, som blant annet resulterte i "Aganda 21", en aksjonsplan for det følgende århundre.

Miljøvern i industrien

I disse årene har det vært store fremganger når det gjelder forurensningskontroll og avfallsbehandling, både i offentlig og privat sektor. Når det gjelder det tekniske miljøvernet ble det tidlig klart at end-of-pipe teknologi alene var dyrt, og ikke engang alltid til det beste for miljøet. En alternativ måte å tenke på i industrien ble allerede synlig i 1975 da selskapet 3M i USA startet et program de kalte "Pollution Prevention Pays". I stedet for blindt å satse på end-of-pipe løsninger forsøkte de å unngå avfall og forurensning ved å gå *tilbake* i årsakskjeden og se på fremstillingsprosessene og etterhvert også produktene de produserte. Man kunne dokumentere at slike tiltak ikke bare ga en ønsket positiv miljøeffekt, men også økonomiske fordeler: I 1990, 15 år etter at prosjektet startet, hadde man dokumentert over 50% reduksjon i totale avfallsmengder, og 500 millioner sparte dollar.

Utviklingen og implementering av en slik "renere teknologi" skjøt fart. Etterhvert ble det klart at det er nødvendig av å utvide systemgrensene fra fabrikkens vegger når man skal se på et produkts miljøpåvirkning. Produktene bør vurderes også i et *livsløpsperspektiv*: Et produkts miljøeffekt begrenser seg ikke bare til det som skjer under produksjonen, men også til det som skjer under og etter bruksfasen. *Resirkulering* blir et viktig virkemiddel for minske belastningen på ressursene, og fremme en "bærekraftig utvikling".

Cleaner Production (CP) har blitt utviklet som en metode for å minimere ressursbruk og miljøpåvirkning langs hele produktets livsløp. Dette gjøres ved tiltak som å optimalisere eller endre prosesser og utstyr, finne substitutter til miljøfarlige stoffer i produksjonen, gjøre endringer i produktene o.l. I et makroperspektiv ønsker man altså å innføre (Brattebø 1996):

- Renere produksjonsprosesser (lokalt ved alle enheter), og
- renere produkter (ved å se på både hoved og biprodukter i et livsløpsperspektiv).

For å gjennomføre disse målene tas det i bruk forskjellige verktøy, som for eksempel teknisk miljøanalyse, livsløpsanalyser (LCA) og miljøledelsessystemer (ISO 14000, EMAS).

Dagens situasjon

Miljøproblemenes karakter

Ved implementering av forskjellige forurensningsreducerende tiltak har man fjernet det meste av den akutte (og synlige) miljøbelastningen. Som et resultat har også miljøproblemenes karakter endret karakter (Holmberg 1995):

1. Lokale \Rightarrow globale

Smogproblemer i London i femtiårene ble overført til problemer med surt regn i

Skandinavia i syttiårene, da industrien bygget høyere skorsteiner. Utslipp av nitrogen- og svoveloksider er redusert i mange land (lokale tilsnitt), men utslippene av klimagassen CO₂ (globalt) står fremdeles som et uløst problem. Ikke minst er problematikken knyttet til ressursbruk av global karakter.

2. *Spesifikke ⇒ diffuse*

Tidligere kunne miljøproblemene knyttes til lett identifiserbare kilder, som for eksempel fabrikkpiper eller avløpsrør. I dag samles store mengder av de forurensende stoffene opp i filtere, som blir til diffuse forurensningskilder når de deponeres. For mange stoffer og produkter er de diffuse miljøproblemene knyttet til forbruket i samfunnet større enn de som oppstår i produksjonen.

3. *Kort tidsperspektiv ⇒ langt tidsperspektiv*

Stoffer som bindes i filtere og går til deponi bruker for eksempel kanskje flere hundre år på å nå grunnvann. Det tar lengre tid før vi kan se skade i naturen.

4. *Lav kompleksitet ⇒ høy kompleksitet*

Årsakssammenhengene bak miljøproblemene er blitt mer kompliserte. I dag skaper «mange aktiviteter forskjellige miljøproblemer på mange forskjellig vis».

Disse faktorene gjør krav på en mer *systemanalytisk* tilnærming når man skal vurdere miljøproblemer. Det er ikke nok å se på enkeltelementer alene, man må også se på funksjoner og mekanismer i det overordnede systemet for å kunne si noe om effekter og tiltak.

Mot en bærekraftig utvikling?

Brundtlandkommisjonen lanserte i 1987 følgende definisjon av en "bærekraftig utvikling":

"En utvikling som møter dagens behov uten å ødelegge fremtidige generasjoners muligheter for å dekke sine egne."

Denne definisjonen har i ettertid blitt kritisert for å være meget vid fordi den sier lite konkret om hvilke grenser vi har med å gjøre.

En annen måte å uttrykke bærekraftighet er gitt av Holmberg (1995). Han gir et mer praktisk rammeverk i form av fire *sosio-økologiske prinsipper* for et bærekraftig samfunn:

Prinsipp 1: Stoff utvunnet fra litosfæren må ikke systematisk akkumuleres i økosfæren.

Prinsipp 2: Stoff produsert i samfunnet må ikke akkumulere i økosfæren.

<i>Prinsipp 3:</i>	De fysiske vilkårene for produksjon og diversitet innenfor økosfæren må ikke systematisk ødelegges.
<i>Prinsipp 4:</i>	Ressursbruken må være effektiv og bare rettet mot å møte menneskenes behov.

Det synes som vi er langt fra å nå et slikt mål: I en verden med begrensede ressurser og muligheter til å ta imot avfall er materialstrømmene i teknosfæren² større enn noen gang. For enkelte materialer har de vokst seg *større* enn naturlige kretsløp i naturen (Holmberg 1995). Når i tillegg over 90% av utvunnet materiale ender opp som ubrukt avfall i vårt sosio-økonomiske system (Ayres 1997) har man en indikasjon på at situasjonen i alle fall ikke tilfredsstillende Holmbergs definisjoner på en bærekraftig utvikling. Tilnærmelser som Pollution Prevention og Cleaner Production har sine begrensinger i denne sammenhengen fordi de fleste industrielle aktiviteter nødvendigvis *må* generere avfall.

Industriell Økologi - Et nytt paradigme?

I sin ytterste konsekvens vil det være nødvendig å kutte ned på forbruket i seg selv for å løse problemene knyttet til det store energi- og materialforbruket i samfunnet, men det er kanskje urealistisk å tro at dette vil skje i tilstrekkelig grad i overskuelig fremtid. Industriell Økologi presenteres som en mulig løsning på veien mot et bærekraftig samfunn.

Konseptet representerer ikke noe grunnleggende nytt i måten å tenke teknisk miljøvern, men søker å sette miljøvernarbeidet inn i et koordinerende, *helhetlig* rammeverk. Hovedmålet er å redusere material- og energibelastningen fra det økonomiske systemet bl.a. ved å søke lukkede materialstrømmer ved hjelp av systemanalyse og livsløpstenkning f.eks. i produktutvikling.

Ehrenfeld går langt, og presenterer IØ som et nytt miljø/økonomi paradigme, eller en «rekonstruksjon av det fundamentale forholdet mellom menneske og natur», basert på følgende grunnprinsipper:

- Mennesket kan ikke stå utenfor naturen - samfunnet utvikler seg side om side med de naturlige økosystemene:
-De samme termodynamiske lover gjelder for det økonomiske systemet som for verden rundt.
- Økonomiske system er åpne sub-systemer innenfor et begrenset, ikke-voksende og lukket økosystem. Utviklingen de siste årene har hatt en størrelse og hastighet som ikke tar hensyn til jordens bæreevne.
- Bærekraftighet er en *separat* opprettholdelse av menneskelig og naturlig kapital. (jfr. Holmbergs 4 sosio-økologiske prinsipper for et bærekraftig samfunn)

² Omfatter menneskelig aktivitet

2.1.2 Definisjoner

Forskjellige forfattere gir forskjellige definisjoner på hva industriell økologi i praksis innebærer.

Graedell & Allenby (1995) skriver:

"The means by which humanity can deliberately and rationally approach and maintain a desirable carrying capacity, given continued economic, cultural and technological evolution. The concept requires that an industrial system be viewed not in isolation from its surrounding systems, but in concert with them. It is a systems view in which one seeks to optimize the total materials cycle from virgin material to finished material, to product, to waste product, and to ultimate disposal. Factors to be optimized include resources, energy and capital."

John Ehrenfeld (1994):

"One view of industrial ecology is that of a largely analytic framework that ... identifies and enumerates the myriad flows of materials and technological artifacts within a web of producers and consumers. This aspect of industrial ecology has been called industrial metabolism. The idea ... can be expanded to include the public and private institutions that are involved in the technological evolution process. Without the institutional aspects, industrial ecology is not likely to be effective as a practical guide towards sustainable development... Elements bearing on economic, legal, political, managerial and other social processes must also be included. "

Tross forskjellige tolkninger går en del grunnprinsipper igjen:

⇒Analogi mellom industrielle systemer og naturlige økosystemer

De industrielle systemene kan sees på som spesielle typer økosystem: Akkurat som i naturlige økosystemer kjennemerket de av en flyt av materialer, energi og informasjon.

⇒Holistisk tankegang

Det industrielle økosystemet baserer seg på ressurser og tjenester fra biosfæren, og kan ikke eksistere isolert. All industriell aktivitet inngår i systemer som må virke innenfor begrensningene i de lokale økosystemene og biosfæren.

⇒Optimalisering av ressursbruk

For å oppnå et bærekraftighet innenfor de gitte rammene må man optimalisere materialstrømmene, og i høyeste instans oppnå nær lukkede materialsykluser for all bruk av ikke-fornybare ressurser.

⇒Naturen som metafor

Man utvider økosystem-analogien og retter oppmerksomheten mot naturen for å nå disse målene³: Det naturlige økosystemet har i løpet av millioner av år utviklet seg fra en

³ "Human history cannot provide metaphors for sustainable ways of living as our history is a succession of states generally built on the last one." (Ehrenfeld og Rorty, "Contingency, Irony and Solidarity", Cambridge 1989)

lineær opprinnelse til et dynamisk, lukket, syklisk system, hvor ingenting regnes som avfall. Syklusen drives ved hjelp av ekstern energi i form av sollys (import av eksergi). IØ bruker trekk fra dette sykliske systemet som motivasjon: Som én tilnærming for å nå målet om lukkede materialsykluser søker man å kartlegge og bygge opp strukturer innenfor det industrielle og sosiale økosystemet. Avfallsstoffer (eller i denne konteksten biprodukter) fra en type industri kan brukes som innsatsfaktor i en annen. Naturen blir en ledesnor for hvordan sosiale og industrielle strukturer kan organiseres.

⇒Systemperspektiv

Slik representerer IØ en *systemorientert* måte å tenke på: Man søker å trekke forbindelser mellom forskjellige fagområder og tankesystem.

I studiet av naturlige økosystemer er det vanlig å se på de overordnede strukturene for å få forståelse for konteksten, og på lavere nivåer for å forstå de underliggende mekanismene. På denne måten skapes et grunnlag for å si noe om hvordan systemet fungerer og eventuelt vil oppføre seg over tid. Et slikt systemperspektiv kan også overføres til studiet av et industrielt økosystem. Kunnskap om hvordan systemet fungerer på forskjellige nivåer er meget viktig for å kunne forstå, forutsi og påvirke videre aktivitet og utvikling (Sagar et al. 1997)

⇒Livsløpstankegang

I tråd med holistisk tankemåte er en langsiktig tidshorisont og livsløpstankegang for produkter viktig. For å redusere miljøpåvirkninger (inkludert helse) må forbedringer foregå parallelt på mikro-, meso- og makroplan.

- På *mikro-* og *mesonivå* ved hjelp av produktdesign og verktøy som for eksempel Cleaner Production, Environmental Management, LCA o.l. Dette kan kalles en teknisk innfallsvinkel.
- På *makronivå* må endringene omfatte bredere felt som økonomi og kulturell utvikling - en mer samfunnsvitenskapelig innfallsvinkel.

2.1.3 **Hvordan operasjonalisere industriell økologi?**

Harding Tibbs (1992) har utviklet 7 elementer av en Industriell Økologi som fremstår som et praktisk rammeverk for hvordan man kan implementere hovedelementene som ble beskrevet foran. Disse kan igjen deles inn i to kategorier: Teknologiske elementer og organisatoriske elementer:

Teknologiske elementer

1. Forbedre materialbruk og metabolske gangveier i industrielle prosesser.
2. Konstruere industrielle økosystemer som går mot mer lukkede materialstrømmer.
3. Dematerialisering.
4. Systematisere energibruk.

Organisatoriske elementer

1. Balansere innsatsfaktorer og utgang fra industrien med naturlig økokapasitet.
2. Tilpasse policy til langsiktig industriell systemutvikling
3. Skape nye handlingskoordinerende strukturer og kommunikasjonsnett

Her kan man se på de teknologiske elementene som elementer av et *ideelt* industrielt system. Men i motsetning til naturen er et slikt system ikke selvorganiserende, slik at man trenger organisatoriske elementer for å sette det i system. Her ser man også nødvendigheten av å kombinere forskjellige fagdisipliner for å jobbe mot et felles mål.

Elementene viser også at IØ ikke representerer noen ny «revolusjonerende» måte å tenke teknisk miljøvern. Det er snakk om å plassere eksisterende teknologi (for eksempel Cleaner Production) inn i et større samordnende system. Figur 2.2 visualiserer samvirket mellom de organisatoriske og teknologiske elementene.

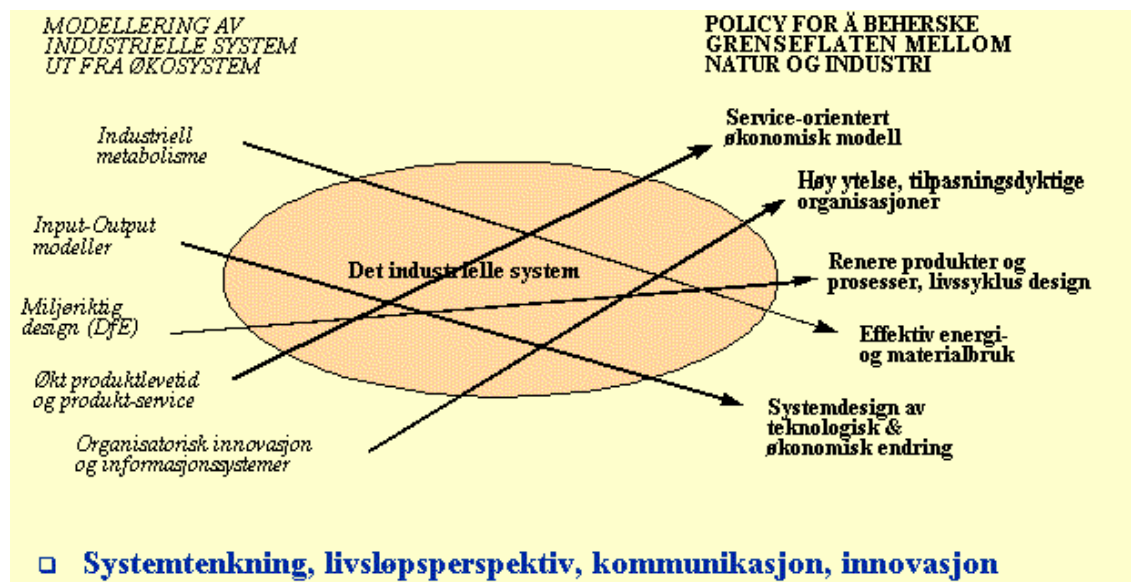


Fig 2.2 Samvirke mellom tekniske og organisatoriske elementer (Brattebø 1997)

2.1.3.1 Teknologi og infrastruktur

1) Forbedre materialbruk og metabolske gangveier i industrielle prosesser

Denne kategorien inneholder en del gamle og kjente metoder for miljøkontroll. Fremdeles har disse en viktig plass i en total strategi, men metabolsk kontroll i seg selv er ikke nok til å nå et bærekraftig nivå. Viktige momenter er:

- Beskrivelse og forståelse av industrielle gangveier → *Industriell metabolisme*

- Pollution Prevention (PP), som for eksempel "Pollution Prevention Pays"-programmet ved 3M.
- End-of-pipe kontroll og Wastemanagement

2) Konstruere industrielle økosystemer som går mot mer lukkede materialstrømmer

Her kommer systemorienteringen inn. I tillegg til å fremme tiltak som økt gjenbruk og "closed-loop" resirkulering av produkter, søker man i denne kategorien å identifisere komplekse mønstre mellom aktører i industri og samfunn som ytterligere kan redusere behovet for en kilde- og slukfunksjon i naturen. Viktige tiltak:

- Gjenbruk av produkter
- Materialgjenvinning
- Resirkulering av emballasje
- Integreerte industrielle samfunn (industriell symbiose) med avfallskaskadering på lokalt nivå (Eksempel: Kalundborg i Danmark)
- Gjenvinning og omforming av industrielle biprodukter til bruk som innsatsfaktorer og råvare i andre områder (Eksempel: slam fra behandling av avfallsvann til bruk i biogassproduksjon o.l.)

3) Dematerialisering.

Dematerialisering er en viktig del av IØ-konseptet fordi det er med på å minske størrelsene på materialstrømmene. Slik blir belastningen på de naturlige ressursene mindre.

- Salg av funksjon istedet for konsumering ("Paperless office" med datateknologi, Xerox)
- Light-weighting (Lettere produkter, mindre masse)
- Re-manufacturing
- Bruk av resirkulert materiale i produkter

4) Systematisere energibruk.

Energibruken er et viktig element. Med dagens energikilder og bruksmønster representerer dette en direkte trussel mot en bærekraftig utvikling (jfr. drivhuseffekten og et enormt forbruk av ressurser som ikke er fornybare).

- Minimalisering av energiforbruk
- Energikaskadering og resirkulering (effektiv utnyttelse av energien og minimal produksjon av entropi)
- "Decarbonization" - mer vekt på andre energikilder enn de fossile (vannkraft...)
- Fornybare energikilder

2.1.3.2. Organisatoriske og strategiske elementer

1) Balansere innsatsfaktorer og utgang fra industrien med naturlig økokapasitet.

Denne kategorien er på høyeste "strategiske nivå", og ligger til grunn for utforming av strategier fra mikro- til makronivå.

- Kunnskap om hva som er bærekraftig
 - Kunnskap om jordens bæreevne
 - Integrerte miljø-datasystemer
- Nødvendig handling
 - "Ren" teknologi (Clean Technologies - omfatter alle prosesser og produkter)
 - Kvalitet istedetfor kvantitet
 - Bærekraftig jordbruk og havbruk
 - Føre-var prinsippet (Mangler reell informasjon om hva som er bærekraftig)
 - Risikoanalyser (potensiell risk ved innføring av nye teknologier)
 - Befolkningskontroll (Bærekraftighet er ikke bare et spørsmål om teknologi...)

2) Tilpasse policy til langsiktig industriell systemutvikling

Her presenteres en del eksempler på alternative virkemidler for å omforme strategiene i bedriftene slik at de tar hensyn til de langsiktige målene.

- Makro-policy
 - Strategiske/integrerte analytiske verktøy (LCA, Integrated chain management)
 - Forlenget produsentansvar
 - Prioritere bruk av resirkulert materiale
- Regulering
 - Substitusjonsprinsippet, product take-back
 - Forbud og restriksjoner på bruk av miljøfarlige stoffer (oson, tungmetaller)
 - Regulering på bruk av land, retningslinjer for bygging ...
- Økonomiske instrumenter
 - Gjøre miljøkostnader interne, miljøskatter, deponeringsavgifter
 - Produktgarantier,...

3) Skape nye handlingskoordinerende strukturer

Denne kategorien beskrives som meget viktig fordi det er i siste instans hva samfunnet gjør som vil være utslagsgivende for om vi får en bærekraftig fremtid. Ifølge Ehrenfeld må enhver policy som har som mål å skape et bærekraftig samfunn, først gå inn for å endre strukturene i de primære sektorene som produserer og konsumerer. I denne sammenhengen kan de andre kategoriene oppfattes som veiledende for designen av disse strukturene. Men det er nødvendig å trekke inn en del aspekter som går videre enn disse. Ehrenfeld legger frem nøkkelspørsmål på fire nivåer hvor valg foretas:

- På økonomisk nivå er det primære spørsmålet relatert til IØ og produkt policy:
 - "Kan vi komme forbi det "åpne" markedet?"
- På bedriftsnivå er spørsmålet:
 - "Kan vi komme under 'the bottom line'?"

- På individnivå er spørsmålet:
-*"Kan vi komme forbi interessen for oss selv?"*
- På verdensnivå er spørsmålet:
-*"Kan vi komme forbi nasjonalstatene?"*

Det første teknologiske elementet - *forbedring av materialbruk og metabolske gangveier* er knyttet til studiet av materialstrømmer spesielt. Det er viktig å ha god forståelse av hvordan materialsystemet fungerer for å kunne vurdere effektivitet. I en kartleggingsfase kommer materialstrømsanalyser og systemanalyse inn som viktige elementer. *Industriell metabolisme*, et av "hovedverktøyene" innenfor industriell økologi-konseptet går et skritt videre. Her prøver man å si noe om effektivitet og bærekraftighet i materialsystemer ved å koble materialstrømsanalyse med termodynamikk.

I den grad det er mulig blir disse verktøyene benyttet for å beskrive aluminiumsystemet i de senere kapitlene. Jeg skal gå nærmere inn på metodegrunnlaget i følgende rekkefølge:

- Materialstrømsanalyser
- Termodynamikk
- Industriell Metabolisme
- Systemteori

2.2 Materialstrømsanalyser

Materialstrømsanalyser brukes som et verktøy for å få overblikk over den totale materialflyten gjennom et gitt system. Man baserer seg på den enkle, men universelle loven om massebevaring: *Masse kan verken oppstå eller forsvinne*. Dette betyr at masse som går inn i et system enten vil akkumuleres eller finnes igjen i videre massestrømmer:

Generelt:	Akkumulert masse = masse inn - masse ut
Forbruk i samfunnet:	Forbruk = Produksjon + Import - Eksport - Δ (lager)

En materialstrømsanalyse består reelt sett av en systematisk anvendelse av masseballanser for å beskrive et større system.

2.2.1 Metodikk

Selv om prinsippene bak materialstrømsanalyser er meget enkle, er det ofte en annen virkelighet som gjelder ved en praktisk gjennomføring. Systemet som skal beskrives kan være komplisert, og det kan ofte være vanskelig å skaffe til veie data. I tillegg er det sjelden man får data som er 100% pålitelige. Fremgangsmåten vil avhenge av detaljeringsnivå og hvilket mål man har med analysen, men en generell fremgangsmåte vil kunne se ut som vist i tabell 2.1 (Miljøministeriet 1993)

Tabell.2.1 Fremgangsmåte ved gjennomføring av en materialstrømsanalyse

Fase 1: Systemanalyse

- Gjennomgang av hele systemet for å få oversikt over aktører, transportere og prosesser.
- Definisjon av systemgrenser.
- Hvilken grad av nøyaktighet ønskes? Hvilke data trenger man?
- Dette er en iterativ prosess hvor man opparbeider stadig mer kunnskap om systemet

Fase 2: Datainnsamling

- Innhenting av lett tilgjengelige data, som produksjonsstatistikker, import og eksport etc.
- Strategi for videre datainnsamling. Finnes det ressurspersoner? Hvilke bedrifter skal kontaktes?

Fase 3: Databearbeiding og -vurdering

- "Brikkene" samles til en helhet.
- Bruk av massebalanse for å sammenlikne data fra forskjellige kilder.
- Uoverensstemmelser kan tyde på dårlige datakilder eller strømmer som er oversett.
- Iterativ prosess - Forbedring av datainnsamling til «puslespillet» går opp.

Det vil nesten alltid være usikkerhet knyttet til de innsamlet dataene, ofte er det bare mulig å få tall basert på skjønn for hvordan markedet ser ut. Den viktigste redskapen i denne sammenhengen er *kryssjekking* for å se om massebalansene henger sammen.

2.3 Termodynamikk

(Definisjon av begreper i vedlegg 1)

Alle systemer som involverer masse og energi og overføringer mellom disse er underlagt termodynamikkens lover. Disse brukes derfor som et grunnlag for å forstå prinsippene bak samfunnets utveksling og påvirkning på naturen:

- *Termodynamikkens 1. lov* sier at energi konserveres:

"When mechanical work is transformed into heat or heat into work, the amount of work is always equivalent to the quantity of heat"

Dette betyr at energien i et isolert system aldri kan minke eller øke. Energi kan bare overføres fra en form til en annen, for eksempel fra potensiell kjemisk energi til varme og lys. Denne loven impliserer sammen med $E=mc^2$ at verken masse eller energi kan forsvinne, bare overføres fra en form til en annen.

- *Termodynamikkens 2. lov* sier at entropi produseres i enhver ikke-reversibel prosess:

"It is impossible by any continuous self-sustaining process for heat to be transferred from a colder to a hotter body"

Første lov sier ingenting ut over at den totale mengden energi i et isolert system er konstant. Med den andre loven trekkes kvalitetsbegrepet inn - den sier noe om energiens "tilgjengelighet" og hvordan denne endres når energien overføres fra en form til en annen. Entropi produseres i enhver prosess, eller alternativt: Eksergi forbrukes i enhver prosess. Noe energi går alltid fra å være tilgjengelig til å være utilgjengelig. Energi degraderes med andre ord når den transformeres fra en form til en annen.

Ethvert isolert system vil i følge termodynamikkens andre lov nå en termodynamisk likevekt hvor det ikke lenger finnes drivkraft i form av tilgjengelig eksergi. Man når et maksimalt entropi-nivå. Dette kan derimot unngås hvis systemet kan eksportere entropi til omgivelsene (import av eksergi). Det siste forutsetter et lukket system der "varme", men ikke masse utveksles med omgivelsene. Jordkloden er et tilnærmet lukket system.

2.4 Industriell metabolisme

IM basert på både på materialstrømsanalyser og termodynamikk. Man tar for seg hele materialkjeden, fra utvinning av råmateriale og frem til det før eller senere går tilbake til de naturlige systemene som avfall (materialstrømmer). Men det fokuseres også på de fysiske prosessene som omformer materialene i syklusen ved hjelp av arbeid og *energi* (termodynamikk).

Ordet metabolisme er hentet fra biologien, hvor det refereres til de interne prosessene i en levende organisme. Det er beskrivelsen av de kjemiske prosessene og gangveiene som sørger for at mat assimileres, komplekse molekyler bygges opp for vedlikehold og vekst, og energi lagres og forbrukes. Man kan peke på flere paralleller mellom mekanismene i biologiske organismer og industrielle aktiviteter:

"The organism ingests energy rich, low entropy materials (food) to provide for its own maintenance and functions, as well as a surplus to permit growth and/or reproduction. The process also necessarily involves excretion or exhalation of waste outputs, consisting of degraded, high entropy materials. There is a compelling analogy between biological organisms and industrial activities - not only because both are materials processing systems driven by a flow of exergy,...but because both are examples of self-organizing dissipative systems in a stable state, far from thermodynamic equilibrium." (Robert Ayres, 1997)

Med språkdrakt fra biologien kan man si at industriell metabolisme ser på hvordan det industrielle systemet omsetter og utnytter næringsstoffene det avhenger av. Man forsøker å si noe om hvor effektivt masse og energi blir utnyttet i systemet og videre fra dette hvorvidt systemet er bærekraftig eller ikke.

2.4.1 Materialstrømmer og bærekraftighet

En materialsyklus kan visualiseres som et system med *lagre* av ett eller flere næringsstoff som forbindes av strømmer seg i mellom. (Ayres 1997) En analogi fra naturen er vannsyklusen, hvor isbreer, innsjøer og hav er lagre av vann, mens elver og nedbør er strømmer som forbinder dem.

Et slikt materialsystem er lukket hvis det ikke finnes eksterne kilder eller sluk, og en *lukket syklus* hvis strømmene i systemet i tillegg er stabile over tid. Enkel massebalanse forteller da at det må være balanse mellom det som går inn og det som går ut av hver enkelt enhet. En åpen materialflyt vil føre til reduksjon av masse i en del av systemet og akkumulering i en annen. Systemet vil per definisjon være ustabil og ikke bærekraftig.

Et slikt system vil ut fra termodynamikkens andre lov måtte stabiliseres ved enten å a) lukke sløyfen og importere *eksergi* for å holde syklusen i gang, eller b) nå en termodynamisk likevekt hvor all flyt av masse og eksergi stanser opp (kollaps).

Kontrast mellom de naturlige og industrielle materialsystemene

Figur 2.3 viser analogien mellom naturlige og industrielle systemer

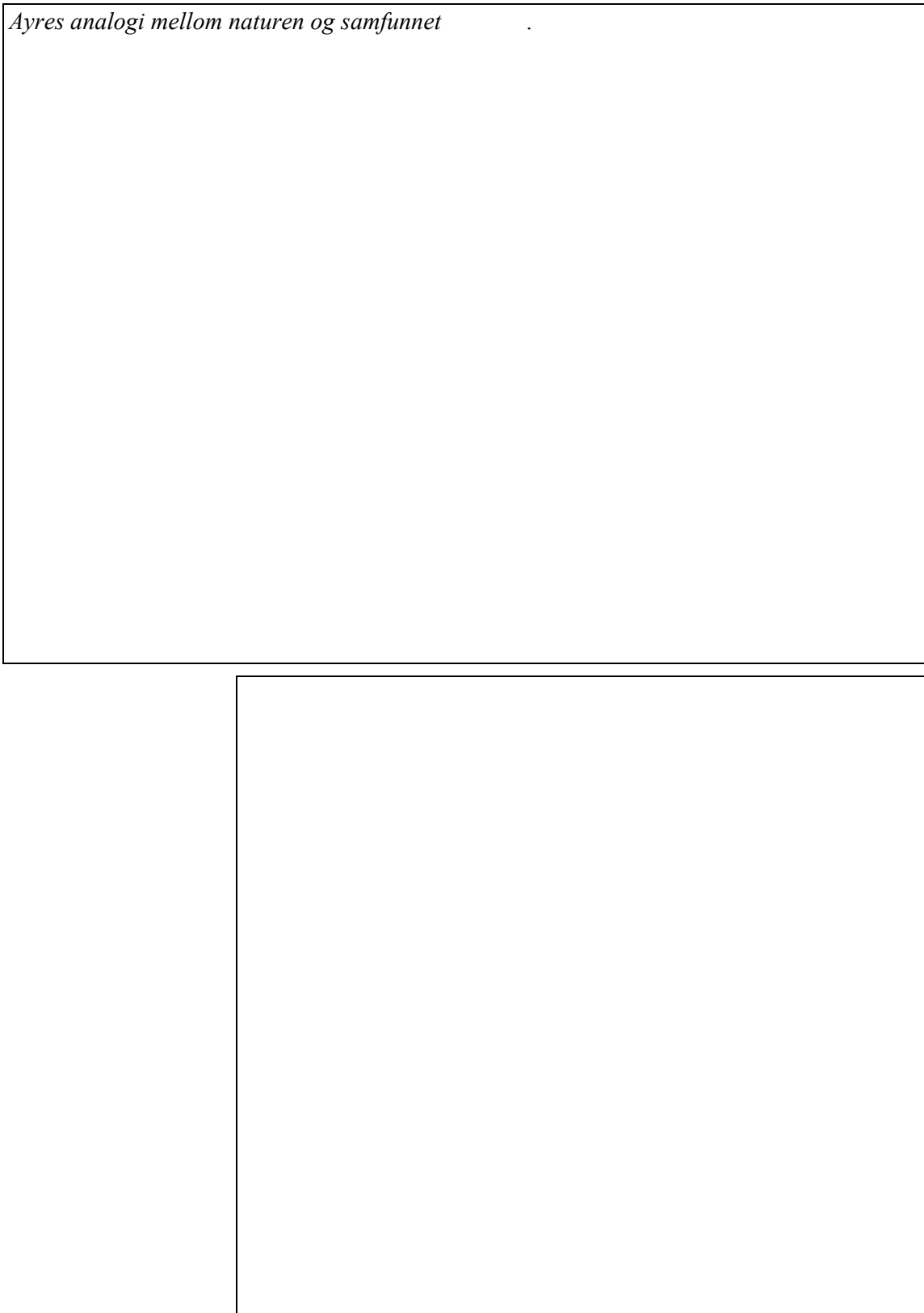


Fig.2.3 Masseflyt i naturen og i det menneskeskapte systemet

En IM-analyse får frem den dramatiske forskjellen mellom de naturlige og industrielle materialsystemene. De industrielle systemene er vanligvis åpne og drevet av ufornybare energikilder, i kontrast til de lukkede naturlige syklene (vann, karbon, nitrogen, svovel...) som drives av en jevn strøm importert eksergi fra sola. Næringstoffene som "driver" industrien blir generelt ikke resirkulert. Slike systemer kan ut fra det tidligere resonnementet ikke beskrives som bærekraftige.

Dette blir aktualisert på grunn av *størrelsen* på de menneskeskapte materialsystemene. I flere tilfeller dominerer allerede menneskelig aktivitet over naturlige prosesser. De *kumulative* endringene i naturen på grunn av antropogene aktiviteter er fremdeles ganske små i størrelse⁴, men *gjennomstrømningshastigheten* av enkelte næringsstoffer i den industrielle metabolismen er på størrelse med de naturlige. Dette gjelder så viktige elementer som for eksempel karbon, fosfor og svovel ifølge Ayres (1997) og Holmberg (1995).

Den store utfordringen ligger derfor i en lukking av materialsyklusene, spesielt for materialer som er ikke er fornybare eller er miljøgiftige.

2.4.1.1 Eksergi og materialstrømmer

Forbruk av en råvare i det industrielle samfunnet har derimot to aspekter (Connelly & Koshland 1997):

- *Massegjennomgang*, som viser strømningshastigheten av materialet gjennom en prosess eller system (= konvensjonell materialstrømsanalyse).
- *Degradering av kvalitet*, som kan uttrykkes termodynamisk ved hvor mye eksergi som tappes fra ressursen.

Det kan derfor argumenteres at en lukking av materialsyklusen ikke bare må relateres til massestrømmer, men også til eksergisykluser, hvor både masse og *kvalitet* blir regnet med. Dette betyr at også materialet tilstand ved tilbakeføring i materialsyklusen har betydning. En fullstendig oppgradering eller resirkulering av materialet vil kreve tilførsel av minst like mye energi som nedgangen i materialets eksergiinnhold etter prosesser og forbruk i samfunnet. *Dette er argumenter som favoriserer så korte materialsløyer som mulig i et materialsystem.*

Ved å kombinere eksergiforhold og materialstrømssanalyser får man også et utvidet grunnlag for å kommentere materialeffektivitet (Ayres et al):

- Ved å se på eksergi-effektivitet i et system eller prosess (eksergiratio ut / total eksergiratio inn) kan man få et inntrykk av potensielle forbedringer: Hvis effektiviteten er lav (f.eks. under 20%) er det gode muligheter for at det vil komme prosessforbedringer i framtiden.
- Ved bruk av eksergitall kan man sammenlikne "appelsiner" med "bananer", dvs effektiviteten i forskjellige materialsystem kan sammenliknes med hverandre.

⁴ Det finnes unntak, f.eks. CO₂ i atmosfæren.

- Eksergivurderinger gjør det mulig å visualisere miljøforbedringer innenfor et system eller industri over en tidsperiode på en bedre måte enn rene utslippsdata.

2.4.1.2 Mål på bærekraftighet

I IM-litteraturen settes det frem alternative metoder for å sette mål på bærekraftighet, avhengig av hva slags materialsystem man ønsker å analysere:

1. Resirkuleringsgrad - andel av inngående material som blir resirkulert i systemet.
2. Resirkulert materiale / Potensielt mulig resirkulert materiale
3. «Materialproduktivitet» - økonomisk gevinst pr. enhet material eller ressurs som forbrukes (Eksterne miljøkostnader kan inkluderes)
4. Eksergi pr vektenhet.- Mål på materialets kvalitet gjennom syklusen

Total resirkuleringsgrad vil være naturlig for et material som generelt kan gjenvinnes. Dette vil gjelde for de fleste metaller, og spesielt for aluminium på grunn av den høye energiintensiteten i materialet.

Men dette målet for "bærekraftighet" trenger en kommentar. Ut fra diskusjonen om eksergi foran, er klart at en overgang mot mer lukkede materialsykluser favner mer enn kun resirkulering av masse. Det har vært reist kritikk mot industriell økologi-litteraturen at den har rettet for liten oppmerksomhet på energiaspektet ved resirkulering (Connors et al. 1996). Ved forbruk i samfunnet skjer en spredning av masse i systemet. Dette betyr økt uorden, eller entropi⁵, og at det vil koste energi å samle massene inn for resirkulering. Ved en vurdering av hva som er optimal resirkuleringsgrad må energiaspektet tas med. En slik analyse vil kun være mulig ved hjelp av en mer omfattende LCA-analyse hvor transport og diverse andre forhold tas med i vurderingene. Generelt kan det sies at den store energigevinsten ved resirkulering av aluminium vil føre til en meget høy ønsket resirkuleringsgrad.

⁵ Forbruk av eksergi

2.5 Systemteori

Som det har gått frem tidligere diskusjonen regnes systemteori som et meget viktig verktøy for å implementere IØ konseptet. Systemteori er hovedsakelig utviklet som en metode for å definere og *designe* system slik at de fungerer opp mot definerte mål eller ytelseskriterier. I denne oppgaven skal jeg vurdere et allerede eksisterende system, og velger derfor her å se spesielt på den analytiske delen av systemteorien, nemlig systemanalyse.

2.5.1 Definisjon av et system

Et *system* er en strukturert samling av elementer og delsystemer som er koblet sammen. Hvert subsystem eller element besitter egenskaper som avviker fra egenskapene for det totale systemet - dette betyr at man ikke kan redusere et system uten å miste deler av helheten, eller viktige egenskaper ved systemet.

Påvirkning skjer mellom systemelementene og mellom systemet og det omsluttende miljøet, avhengig av om det er et *lukket* eller *åpent* system.

Asbjørnsen definerer tre typer elementer i et system (Asbjørnsen 1992):

- Hardware-elementer: Fysiske elementer
- Software-elementer : Programmer, regler og instruksjoner
- Personell: Menneskene som opererer systemet

2.5.2 Systemanalyse

En systemanalyse går ut på å bryte et komplekst problem ned til håndterbare bestanddeler. Man søker å dele systemet inn relevante enkeltkomponenter og delsystemer, og identifisere og beskrive egenskaper og interaksjoner mellom disse. I et materialsystem kan man på denne måten for eksempel identifisere "flaskehals" med tanke på gjenvinning og miljøeffektivitet.

Avhengig av om egenskapene ved systemet er emergente eller ikke-emergente, kan man etter den analytiske fasen sammenstille resultatene og si noe om det totale systemets ytelse.

- En *ikke emergent egenskap* kan relateres til en enkeltkomponent, dvs at det er mulig å identifisere et delsystem som forsyner det totale systemet helt og holdent med denne egenskapen. Tilførsel av masse til et system er en emergent egenskap.
- En *emergent egenskap* er egenskaper som ikke alene kan relateres til en delkomponent, men som oppstår i kraft av systemets struktur. Påliteligheten i et system er et eksempel på en slik egenskap - den avhenger effektivitet av alle komponenter i felles samvirke.

Materialeffektivitet i et komplekst system vil være en emergent egenskap. Det vil si at det i prinsippet ikke er riktig å bruke lineære forklaringsmodeller. Men selv i systemer med emergent oppførsel vil vanlige forklaringer egne seg godt til å lokalisere flaskehalsen i delsystemene. Årsaken er at noen av delsystemene er langt unna å være lukket, og oppførselen beskrives dermed godt av lineære modeller:

2.5.3 **Metodikk**

Systemanalyse dreier seg i bunn og grunn om å bruke sunn fornuft for å beskrive et system.

En generell fremgangsmåte kan se ut som følger (Asbjørnsen 1992)

1. Kartlegging av interessenter, deres behov og motivasjoner (Definerer systemet)
2. Kartlegging av interessentenes *systemkrav*
3. Avgrensning av systemet
4. Systemanalyse - oppdeling i delsystemer og elementer (Iterativ prosess - tilbake til punkt 2)
5. Kartlegging av egenskaper i det endelig definerte systemet ut fra definerte *ytelseskriterier*.
6. Vurdering av systemets ytelse (hvordan effektivisere?).

I de fire første punktene kartlegger man systemet ved hjelp av iterativ "dekomponering" til man når et oversiktlig nivå. Systemet defineres her i realiteten av hva slags type interessenter eller aktører man ønsker å ta med. For å kunne forstå dynamikken er det viktig å kartlegge de forskjellige motiver og krav som stilles til systemet. Hvordan skal de forskjellige elementene fungere i et ideelt system? Sammenstilling av målbare egenskaper og vurdering av det totale systemet mot definerte ytelseskriterer foretas til slutt.

3. Bakgrunn

3.1 Aluminium

3.1.1 Generelt

Som kommersielt metall er aluminium er et meget "ungt" metall. Det er et av de mest alminnelig forekommende elementer i jordskorpen (ca. 7,5%), men her forekommer det alltid i stabile kjemiske forbindelser med andre stoffer. Det var først i 1885 at Hall og Heroult utviklet en prosess som gjorde det økonomisk mulig å utvinne metallet fra alumina (aluminiumoksid) ved hjelp av elektrisitet i en elektrolyseprosess. Metallet kom raskt i bruk på grunn av sine egenskaper: Det er blant annet lett å forme, er meget korrosjonsmotstandsdyktig og har en lav egenvekt. Økende kunnskaper om hvordan disse egenskapene kan utnyttes har ført til et forbruk som har økt helt frem til i dag, som det fremgår av figur 3.1. Aluminium er nå det mest brukte metall i verden etter stål.

Metallfløden side 14

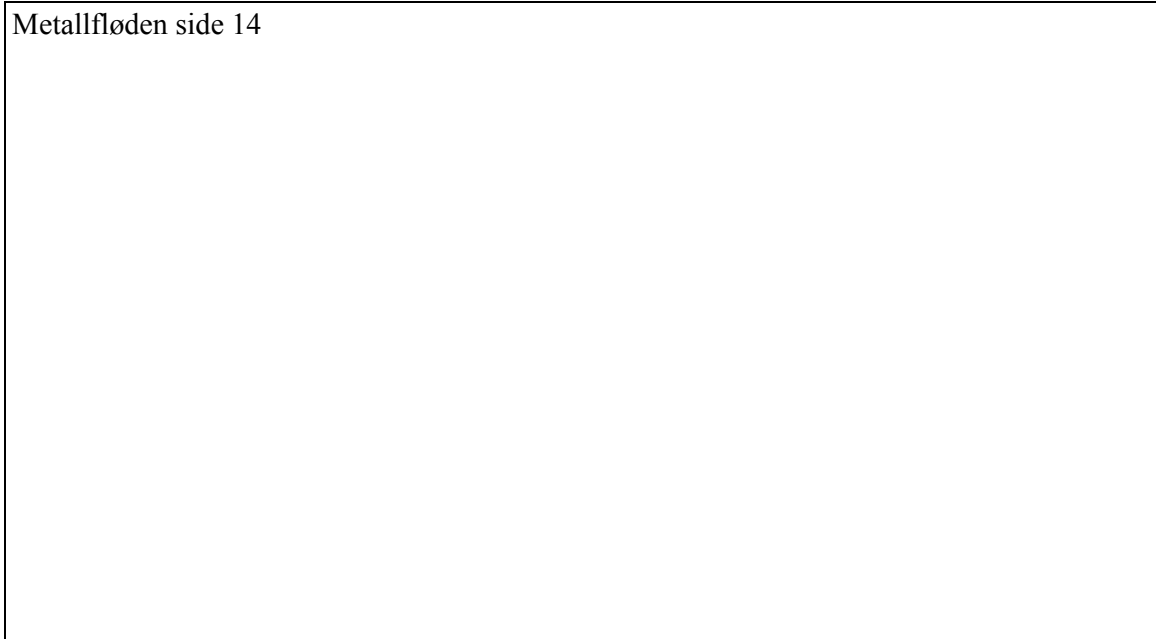


Fig. 3.1 Utviklingen av aluminiumsproduksjonen i verden (Naturvårdsverket 1996)

En rask forbruksutvikling kombinert med at metallet introduseres i stadig flere bruksområder med lang levetid, gjør at mengdene brukt aluminiumskrap vil øke med tid i takt med at første generasjons aluminiumsprodukter skrotes.

I 1993 lå den totale primærproduksjon i verden på 19,1Mt, mens det samme år ble produsert ca 6 Mt (25%) sekunderaluminium. Tabell 3.1 viser en oversikt over hvordan forbruket fordeler seg på forskjellige områder.

Tabell 3.1 Aluminiumsforbrukets fordeling på forskjellige markeder (Thomas 1994)

	Emballasje (%)	Bygg/Konstr.(%)	Transport (%)	Annet (%)
<i>Vesten</i>	23	21	23	33
<i>Europa</i>	12	22	29	37

Den generelle materialstrømmen knyttet til aluminium ser ut som følger:

- Utvinning av bauxitt (tropiske strøk)
- Produksjon av alumina (aluminiumoksid)
- Produksjon av primæraluminium (elektrolyse og opplegering)
- Produksjon av halvfabrikata og støpte komponenter
- Ferdigvareproduksjon
- Forbruk
- Innsamling og produksjon av sekundæraluminium

I aluminiumsystemet i Norge inngår elementer fra primærproduksjon og nedover,

3.1.2. Resirkulering

3.1.2.1 Motivasjon for resirkulering av aluminium

Aluminium er som nevnt et meget vanlig element i naturen, og i teorien kan man nesten snakke om en ubegrenset ressurs. Aluminium i seg selv representerer heller ikke noen miljøproblem ved deponering (annet enn at den høye bestandigheten gjør det til et synlig avfall som ikke korroderer vekk med tid, som f.eks. jern)

Hovedmotivasjonen for å gjenvinne aluminium er knyttet til *energiintensiteten i materialet*

1) *Høy energigevinst ved substitusjon av primærmotall med sekundæraluminium*

Det koster store mengder energi å produsere metallet fra bauxitt Fremstilling av 1 tonn primærmotall krever totalt ca. 32 kWh energi, hvorav det meste går med til å bryte de sterke kjemiske bindingene i aluminuimoksidet ved elektrolysen (fig 3.2).

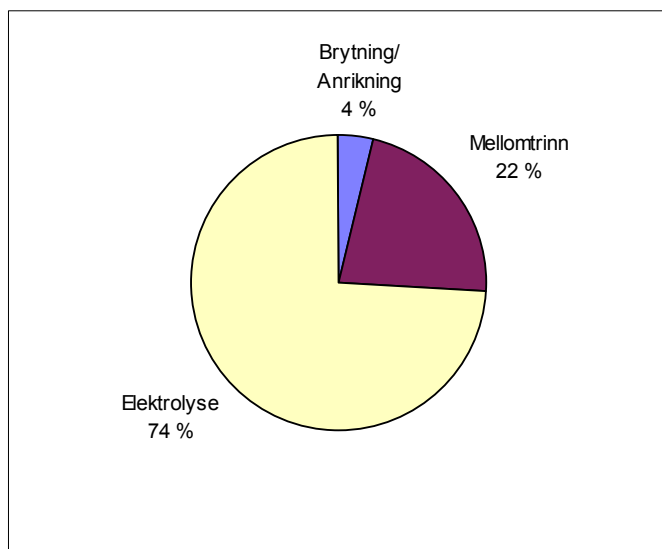


Fig. 3.2 Fordeling av energiforbruket knyttet til produksjon av primæraluminium (Naturvårdsverket 1996)

Omsmelting av skrap til sekundærmetall krever kun 5% av denne energien, slik at energibesparelsene som oppstår ved substitusjon av primært metall med sekundær aluminium vil være betydelige.

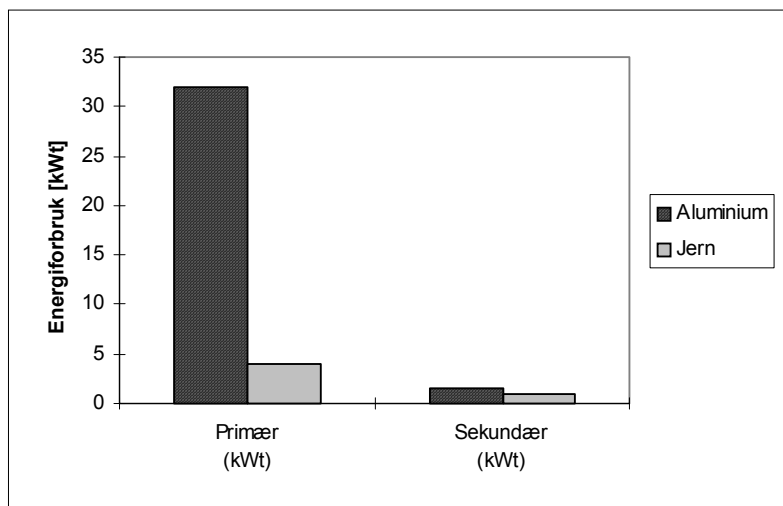


Fig. 3.3 Energiforbruk ved primær og sekundær produksjon, aluminium og jern/stål

Figur 3.3 viser en sammenstilling av energiforbruk ved produksjon av aluminium og jern. Det store relative energiforbruket i primærproduksjonen av aluminium kommer tydelig frem. Energikostnadene ved å smelte om aluminium (1,5kWh) er bare noe større enn for jern (1 kWh), men hvis man sammenlikner energiforbruk pr *vekt* kommer aluminium bedre ut.

Aluminiumets atomstruktur gjør i tillegg resirkulering ekstra gunstig. Kvaliteten endres ikke ved omsmelting, slik at metallet *kan* smeltes om igjen til samme formål. Med økende antall ganger resirkulering vil dette føre til en minkende total energibelastning per vektenhet. Dette er vist i figur 3.4.

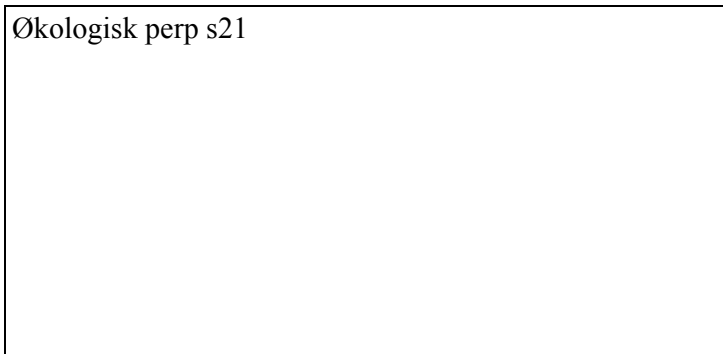


Fig. 3.4 . Energiforbruk pr. anvendelse (Hydro Aluminium 1993)

2) **Reduserte utslipp og mindre forbruk av materialressurser**

Aluminiumsproduksjonen baseres på bauxitt (20-30% Al), og denne malmen må videreforedles til alumina (aluminiumoksid) ved den såkalte *Bayerprosessen* før aluminium kan produseres ved elektrolyse.



De kjente reservene av bauxitt vil vare i 200 år ved dagens utvinningstempo⁶ (Naturvårdsverket 1994). Viktig i denne sammenhengen er at store landareal påvirkes ved bauxitt-utvinning, fordi malmen kun finnes som tynne skikt i det øvre jordlaget. Ved videreforedling til oksid i Bayerprosessen går det dessuten ut store mengder såkalt "red mud" som restavfall (ca. 2kg pr kg aluminium går til deponi).

I tillegg forbrukes det store mengder av andre innsatsfaktorer i elektrolysen, som kryolitt (elektrolytt) og karbon (anode- og katodemasse). Tabell 3.2 viser *størrelsesorden* for forskjellen i materialforbruk ved primær og sekundærproduksjon.

⁶ Det finnes andre mineraler med like høyt Al-innhold (f.eks. ansalusitt), men her er metallet mye vanskeligere å utvinne.

Tabell 3.2 *Materialinnsats pr. kilo aluminium (Bauman et al.)*

Resirkuleringsgrad	0%	100%
Materialinnsats	[g]	[g]
Bauxittmalm	4788.0	0
Kalkstein	87.4	0
Lut	428.7	0
Anodemasse	430.0	0
Kryolitt (allmenn)	18.0	0
NaCl	0	400.0

Med loven om massebevaring i bakhånd sier det seg selv at det også vil være større mengder reststoffer knyttet til primærproduksjonen. Blant annet unngår man utslipp av CO₂ (anodeforbruk), PAH (anodeproduksjon) og fluorider (elektrolysebad) ved å føre sekundærmetall tilbake i materialsyklusen. Tabell 3.3 viser de store miljøgevinstene ved å substituere primærmetall med sekundært metall.

Tabell 3.3. *Miljøgevinstene ved substitusjon med sekundært metall (Naturvårdsverket 1994)*

Miljøgevinst	%
Utslipp til luft	95
Utslipp til vann	97
Fast avfall	98
Forbruk av vann	98

3.1.2.2 Skrap og skrapkvaliteter av aluminium

Produksjonen av sekundærmetall baserer seg på skrap som oppstår i de forskjellige delene av aluminiumets materialsyklus. Kvalitet, form og gjenvinningsstrategi vil variere.

I litteraturen er det vanlig med en grovinndeling i *nytt* og *brukt* skrap:

- *Nytt skrap*, eller prosessskrap, dekker alt skrap som oppstår i syklusen fra elektrolyse og bearbeiding frem til det ferdige produktet som selges til

konsumenten. Prosessskrapet består for det meste av rent, kappet materiale med kjent legeringssammensetning, som enkelt kan smeltes om igjen til samme type kvalitet.

- *Brukt skrap* omfatter produkter og komponenter etter bruk, og krever mer prosessering. Innsamlere samler inn og sorterer aluminiumskrap fra utrangerte biler, revne hus o.l. Ofte er forskjellige aluminiumslegeringer og annet skrap blandet ved innsamlingen.

Legeringer

Aluminiumskrapets sammensetning er viktig. Ren aluminium (99,9%) er meget duktilt, og avhengig av bruksområde blir derfor metallet legert opp med forskjellige legeringselementer for å gi ønskede egenskaper.

Man skiller normalt mellom *smilegeringer* og *støpelegeringer*.

I tabellene 3.4 og 3.5 gis en oversikt over hovedgruppene (*Aluminium Association nominklatur*), med angivelse av hovedlegeringselementer og de viktigste anvendelsesområder for de to gruppene.

Tabell 3.4 *Smilegeringer. Legeringselementer og anvendelsesområder (Ytterås 1996).*

1xxx:	Denne betegnelsen står for tilnærmet rent aluminium, hovedsakelig brukt i elektrisk og kjemisk industri
2xxx:	Legeringer der kopper er hovedlegeringselement, med et kopperinnhold helt opp i 6.8 wt% for enkelte legeringer. En del av familiens legeringer kan også være rike på magnesium. Hyppig brukt i som konstruksjonsmateriale i fly.
3xxx:	Legeringer der <i>mangan</i> er hovedlegeringselement, med et manganinnhold på opp imot 1.8 wt%. Mye brukt i bygningsmaterialer, og ellers i forskjellige produkter.
4xxx:	Legeringer der silisium er hovedlegeringselement. Si-innholdet kan være opptil 13.5 wt%. Disse legeringene brukes i materialer som skal sveises.
5xxx:	Legeringer der <i>magnesium</i> er hovedlegeringselement. Innholdet av magnesium kan være opptil 5.5 wt%. Slike legeringer benyttes i produkter som brukes i marint miljø, pga høy korrosjonsresistans.
6xxx:	Legeringer der magnesium og silisium er hovedlegeringselementer. Enkelte av disse legeringene kan ha opptil 1.5 wt% Mg, mens andre har opp imot 1.8 wt% Si. 6xxx-legeringer brukes ofte til bygningsmessige formål.
7xxx:	Legeringer der <i>sink</i> er hovedlegeringselement, med inntil 8.7 wt Zn for enkelte legeringer. Enkelte av disse legeringene kan også inneholde større mengder av andre legeringselementer, som Cu, Mg, Cr og Zr. Legeringer av 7xxx-familien brukes i strukturelle bestanddeler i fly, samt i andre produkter som krever høy styrke.

Tabell 3.5 *Støpelegeringer. Legeringselementer og anvendelsesområder (Ytterås 1996)*

1xx.x:	Denne betegnelsen står for tilnærmet <i>ren aluminium</i> , dvs legeringer med et minimum Al-innhold på 99.00 - 99.70 wt%. Disse brukes til rotorframstilling.
--------	--

2xx.x:	Legeringer der <i>kopper</i> er hovedlegeringselement, med inntil 5.2 wt% Cu i enkelte legeringer. Andre legeringselementer kan også spesifiseres.
3xx.x:	Legeringer der <i>silisium</i> er hovedlegeringselement, men <i>også andre</i> legeringselementer, som kopper og magnesium, kan være spesifisert. Si innholdet kan være så mye som 23 wt% for enkelte legeringer. 3xx.x legeringene utgjør nesten 90 % av alle produserte støpelegeringer, og er brukt i et vidt spekter av produkter.
4xx.x:	Legeringer der <i>silisium</i> er hovedlegeringselement, med inntil 13 wN Si for enkelte av legeringene i familien.
5xx.x:	Legeringer der <i>magnesium</i> er hovedlegeringselement. De Mg-rikeste medlemmene i familien inneholder inntil 10.6 wt% av dette elementet.
6xxx:	Ubrukt betegnelse.
7xx.x:	Legeringer der <i>sink</i> er hovedlegeringselement, men også andre legeringselementer, som kopper og magnesium, kan være spesifisert. Sinkinnholdet kan være inntil 8 wt% for enkelte av legeringene.
8xx.x:	Legeringer der <i>tinn</i> er hovedlegeringselement. Tinninnholdet ligger mellom 5.5 og 7.0 wt% for alle medlemmene av familien.
9xx.x:	Ubrukt betegnelse.

- Smilegeringene brukes i produkter som produseres ved hjelp av fysisk bearbeiding, som f.eks. valsing eller smiing, ut fra av utgangsemner
- Støpelegeringer brukes i støpte produkter, dvs. komponenter og ferdigvarer som støpes direkte til sin endelige form.

Støpeprosessen krever at støpelegeringene totalt sett må inneholde mer legeringselementer enn det som er vanlig for smilegeringer. Spesielt *silisium* er viktig, siden dette elementet sørger for at støpbarheten av metallet er god - hele 90% av alle støpelegeringer hører til 3xx.x-gruppen (Si) i tabell 3.5. Silisium gir dessuten sammen med andre elementer som Cu og Mg metallet høy styrke og fasthet.

→Samtlige støpelegeringer inneholder mer enn 4 wt% legeringselementer, mens for smilegeringene ligger nivået stort sett under dette.

Betydning for gjenvinningsstrategi

Resirkulering av aluminiumskrap til *smilegeringer* vanskeligjøres av forholdene som er beskrevet foran. Man er nødt til å skille støpelegeringene fra smilegeringene før omsmelting av skrapet. Omsmelting av skrap med stor andel av støpelegeringer vil kreve en stor tilsats av både primæraluminium og legeringselementer for å gi salgbare legeringer. Dette er årsaken til at størsteparten av resirkulert materiale i dag går til støpelegeringer. Dette er en uheldig praksis fordi dette innebærer nedgradering av smilegeringsskrapet, eller alternativt: *Sløsing av eksergi*. Dette gjelder også i en økonomisk sammenheng. Smilegeringer har høyere verdi enn støpelegeringer.

→Det er ønskelig å holde skrapstrømmene i systemet skilt med hensyn til legeringstype i en så stor grad som mulig.

3.1.2.3 Strategier for resirkulering

Aluminium brukes i få områder som direkte umuliggjør gjenvinning. Et av de få tilfellene er innen jern og stålindustrien hvor aluminium brukes som deoksidasjonsmiddel, men ellers er det meste aluminiumskrap potensielt resirkulerbart.

Man kan dele resirkuleringsstrategier av aluminium inn i resirkulering av *produkt* og resirkulering av *material* (Schemme).

- *Resirkulering av produkt:*
 - Ombruk, produktet benyttes til samme formål
 - Overføring til nytt bruksområde
- *Resirkulering av material:*
 - Omsmelting til samme kvalitet (smilegering til smilegering)
 - Omsmelting til annen kvalitet (smilegering til støpelegering)

Denne inndelingen gir fire mulige veier å gå for å lukke materialsyklusen (Figur 3.5).

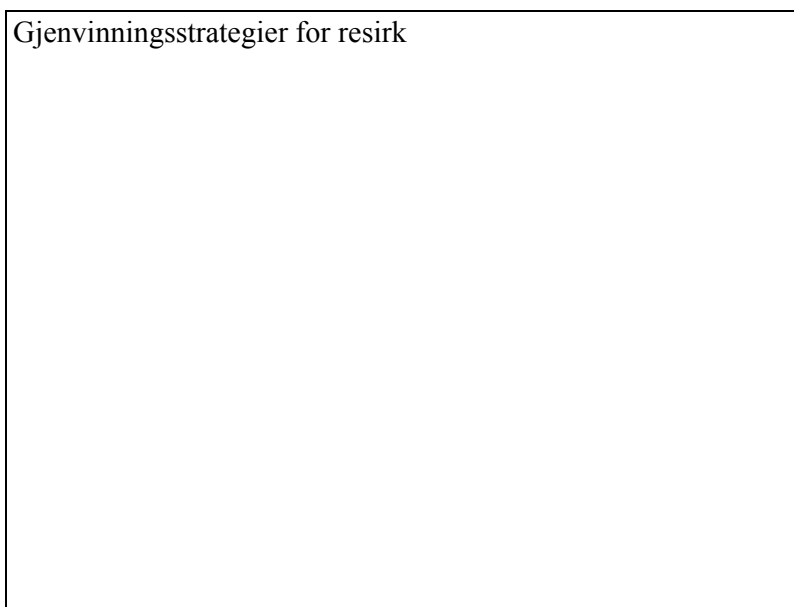


Fig. 3.5 Livsløp for aluminiumsprodukter og -material (Schemme)

Resirkulering av produkt

Gjenbruksstrategien

Direkte gjenbruk representerer den "korteste" veien for å lukke materialstrømmen. Generelt kan man si ved dette alternativet er det minimalt med prosessstrinn og dermed også minst potensial for miljøpåvirkninger. Metoden er derimot heftet med en del problemer - ombruk hindres for eksempel hvis deler er ødelagt. Etter frakopling, rensing, testing og eventuelt maskinering kan nye produkter settes sammen og begynne et nytt livsløp. Denne metoden er i praksis ikke særlig benyttet for aluminium, fordi metallet har en så høy *skrapverdi*. Ut fra økonomiske hensyn finner aktører på markedet det mer effektivt å smelte om aluminiumskrap til nye produkter med høy kvalitet.

Videre bruk

Å bruke et produkt om igjen i et nytt bruksområde har vært vanlig i lange tider. Et eksempel for denne strategien for eksempel være bruk av dekkrammer laget av stål som støtteplater for provisoriske trafikkskilt. Derimot gjør den høye skrapverdien for aluminium nok en gang strategien noe uaktuell.

Resirkulering av material

Omsmelting til sekundæraluminium krever som nevnt kun 5 prosent av den tilsvarende energien som kreves ved elektrolyse fra alumina - Et ikke ubetydelig økonomisk (og økologisk!) insentiv for gjenvinning.

Omsmelting til tilsvarende kvalitet

På grunn av metallstrukturen kan metallet smeltes om igjen gjentatte ganger uten degradering av kvalitet. Denne strategien regnes som det mest aktuelle og gunstige alternativet, også med tanke på økonomi. Man unngår degradering av kvalitet ved at gammelt og nytt skrap omsmeltes til produkter med samme legeringskvalitet. I praksis betyr dette separate sykluser for *støpe-* og *smilegeringer*.

Spesielt produksjonskrap fra primær- og halvfabrikataindustri smeltes om på denne måten i dag, men det vil være ønskelig å også trekke så store mengder brukt avfall som mulig inn i en slik strategi

Nedsmelting til annen kvalitet

Ved denne strategien ender nytt eller gamlt skrap opp i legeringer med annen kvalitet. Konsekvensen er som nevnt ofte "downcycling", eller *tap* av kvalitet for smilegeringer. Et eksempel på dette er bruk av skrap fra valselegeringer av høy kvalitet og pris til produksjon av støpelegeringer.

I praksis er det ofte blandet, brukt aluminiumskrap som går inn i under denne strategien, og ofte er det snakk om skrap med blandede metalliske og ikke-metalliske komponenter. I slike tilfeller blir det spesielt viktig å separere aluminiumsfraksjonen fra de andre på en tilfredstillende måte for å unngå nedsatte materialegenskaper. Forurensning av jern kan for eksempel føre til uønskede effekter i mikrostrukturen og nedsatt duktilitet.

3.2 Fremveksten av norsk aluminiumsindustri.

Før en noe detaljert beskrivelse av hva slags strategier og tilhørende materialstrømmer som eksisterer i Norge for aluminium systemet kan det være på sin plass å

Teknologiske begrensninger krevde tidligere at kraft måtte utnyttes geografisk nært energiressursene, og stor tilgang på vannkraft la grunnlaget for oppbygging av en omfattende energi-intensiv industri i Norge. Som del av denne næringen har aluminiumsindustrien lenge utgjort en viktig og stor del av den norske verdiskapningen. I dag er Norge en av verdens største produsenter av primæraluminium. Rundt 5% av verdens samlede produksjon av primæraluminium skjer i Norge.

Utenlandske investorer startet aluminiumsproduksjon her i landet bare tyve år etter at Hall og Heroult kom frem til metoden som gjorde det mulig å fremstille aluminium industrielt. Etter dette har industrien i perioder utviklet seg meget raskt. Det er naturlig å skille mellom det som skjedde før, under og etter krigen (Wulff 1992):

Perioden 1908-1939

I 1908 startet den første industrielle produksjonen av aluminium ved Stangfjorden og Vigeland. Frem til 1920 vokste antallet til fem verk langs kysten, og selv om produksjonen var begrenset utgjorde landets produksjon i 1926 så mye som 12,2% av verdensproduksjonen. Produksjonen økte frem mot den andre verdenskrig, men den veksten var relativt mindre enn ellers i verden. I 1939 var Norges produksjon 31000 tonn, og dette tilsvarte 4,4% av verdensproduksjonen. Av verkene fra denne tiden er det bare Høyanger som ikke er lagt ned.

Perioden 1940-1945

Under krigen hadde tyskerne planer om å øke produksjon av aluminium og alumina i Norge. De startet oppføring av nye verk blant annet på Sunndalsøra og Årdal, men rakk aldri å fullføre noen av disse prosjektene under krigsårene. I 1944 var den totale aluminiumsproduksjonen i Norge nede i 20.000 tonn.

Perioden 1946-1985

Etter krigen gikk aluminiumsindustrien inn i en kraftig vekstperiode. Frem til 1965 økte forbruket av primæraluminium i den vestlige verden med jevnt over 10-15% per år. Det skapte gode vekst- og avsetningsmuligheter for en sterkt eksportavhengig norsk aluminiumsindustri. Produksjonen økte fra ca. 30.000 tonn i 1948, til 670.000 tonn i 1980. (I dag ca. 860.000 tonn/år). Det skjedde en rekke nyetableringer: ÅSV ble etablert med Årdal Verk (1948) og Sunndal Verk (1954). Elkems aluminiumsproduksjon startet med Mosjøen (1958) og utvidet med Lista (1971). Norsk Hydros aluminiumaktivitet kom i gang på Karmøy (1965), og Sør-Norge Aluminium på Husnes (1965).

Videreforedling av aluminium startet allerede i 1917 med etableringen av Nordisk Aluminiumsindustri i Holmestrand (produksjon av husholdningsartikler). Etterhvert dukket andre aktører opp. *Raufoss A/S* begynte tidlig å interessere seg for bruk av

aluminium i sin produksjon av forsvarsmateriell og byggprodukter, og har utvidet produksjonen til å omfatte støtfangersystemer og andre produkter til bil. *Hydro* satte igang produksjon av halvfabrikata på Karmøy ikke lang tid etter etableringen av elektrolyseverket i 1965. Denne virksomheten omfattet både valseverk, pressverk, trådverk og bedriften Norcable i tillegg til metallproduksjonen.

Perioden 1986 - 1997

I begynnelsen av åttiårene ble det klart at norsk aluminiumsindustri måtte endre struktur for å møte konkurransen på det internasjonale markedet. Ønsket om a) å sikre markedet for produsert metall (spesielt i Europa), og b) sikre råstofftilgangen av alumina ved hjelp av eierengasjement, førte til at ÅSV og Hydros aluminiumdivisjon i 1986 ble slått sammen i en enhet - Hydro Aluminium.

Denne sammenslutningen har siden hatt en solid vekst, og har ført til en rekke nyetableringer ute i Europa og ellers i verden. Det internasjonale pressverksystemet under Hydro Aluminium har blitt utvidet til verdens største. Mens Elkem satset på å trygge sin posisjon som primærleverandør for ferdigvareprodusenter ute i Europa har Hydro Aluminium satset meget sterkt også på videreforedling, spesielt mot bygg- og bilmarkedet. For å være nær de store markedene har mye av denne ekspansjonen skjedd ute i Europa. I 1994 ble også Raufoss sin støtfangerproduksjon innlemmet i Hydro Aluminium, under navnet Hydro Aluminium Automotive.

Status i dag er at vi i dag har en omfattende og eksportorientert aluminiumsindustri, hvor 80-90% av primærproduksjonen eksporteres. Den bearbeidende industrien har vokst i størrelse de senere årene og utgjør en stor del av aluminiumvirksomheten i Norge, selv om den eksporterte tonnasje av råmetall dominerer.

Konsekvensen er store mengder aluminium i sirkulasjon i det norske samfunnet. I den følgende analysedelen skal jeg beskrive aluminiumssystemet nærmere ved også å inkludere forbruk i samfunnet og gjenvinningsaktører som spesialiserer seg på å omsette og gjenvinne skrapmengdene som oppstår i de forskjellige delene av materialsyklusen.

4. Kartlegging av aluminiumssystemet i Norge

4.1 Innledning

Jeg skal i denne delen forsøke å definere systemet ved hjelp av elementer fra systemanalysen slik det ble beskrevet i kapittel 2.5. Jeg skal følge denne fremgangsmåten i analysen:

1. Mål og fokus
2. Definisjon av hovedsystem og systemgrenser
3. Definisjon av aktører og interessenter. Videre avgrensning.
4. Definisjon av aktørenes behov og motivasjon
5. Sammenstilling og oversikt

Informasjonen som samles inn i denne fasen blir brukt som grunnlag for den videre beskrivelsen av elementer og materialflyt i de følgende kapitlene.

4.2 Kartlegging av systemet

4.2.1 Mål og fokus

Målsetningen er å følge og beskrive aluminiumflyten fra primærproduksjon, gjennom forbruk og til resirkulering eller eventuell avfallsgenerering. Ved å studere de enkelte subsystemene og elementene i aluminiumssystemet ønsker jeg å gi en vurdering av hvor effektivt metallet utnyttes i systemet.

Ytelseskriteriet velges å være *resirkuleringsgrad* (kap. 2.2.3.2). Så og si alt aluminium i systemet vil være potensielt resirkulerbart. Dessuten støtter de tilknyttede energi og miljøgevinstene ved gjenvinning også opp om et slikt mål.

4.2.2 Definisjon av hovedsystem og systemgrenser.

I denne oppgaven defineres systemet av den fysiske materialstrømmen av aluminium i Norge. Den overordnede systemgrensen settes som Norges grenser. Dette betyr at metallstrømmen som går ut av landet ikke vil bli fulgt videre. Det betyr også at aluminium som går inn i systemet via import vil omfattes av analysen.

Datainnsamlingen skal primært dekke på *materialstrømmen* aluminium. Jeg har ikke systematisk samlet inn tall for energibruk knyttet til forskjellige prosesser og forbruk, noe som ville vært nødvendig ved en totalvurdering av systemets *miljøeffektivitet*.

Strengt tatt kunne det vært ønskelig å følge strømmen av de forskjellige legeringene i systemet, men dette er vanskelig på grunn av den store variasjonen. Det er derfor i hovedsak aluminium som et generelt metall som følges.

4.2.3 Definisjon av aktører og interessenter. Videre avgrensning.

Definisjon av aktørene

En rekke aktører er knyttet til materialsyklusen på en eller annen måte. Med aktører menes for eksempel institusjoner, bedrifter eller personer som påvirker eller blir påvirket av systemet. De er interessenter som ofte er med på å bestemme hvordan den faktiske materialstrømmen ser ut, på en direkte eller indirekte måte.

Tabell 4.1. Aktører/ interessenter i det norske aluminiumssystemet, fordelt på tilhørende type "element" i systemet

Software-elementer (Programmer, regler og instruksjoner)

- ⇒ Konsern involvert i den norske aluminiumsindustrien - Hydro, Elkem og utenlandske interessenter. Aksjeeiere.
- ⇒ Myndighetene

Hardware-elementer: (Fysiske elementer)

- ⇒ De enkelte aluminiumsverkene, halvfabrikata- og ferdigvareprodusentene under produksjonsselskapene. Bedriftsnivå.
- ⇒ Ferdigvarebedrifter som bruker aluminium (metall) som innsatsfaktor.
- ⇒ Grossister, importører av aluminiumsprodukter
- ⇒ Forbrukere av ferdigvarer (produkter med aluminium) - husholdninger, næringsliv, industri
- ⇒ Gjenvinnere og skrapgrossister, innsamlere av aluminiumskrap
- ⇒ Sekundære smelteverk - omsmelting av aluminiumskrap
- ⇒ Den tredje part" - det fysiske, biologiske og sosiale miljø som påvirkes av systemet

Personell-elementer (Operatører i systemet)

- ⇒ Ansatte i aluminiumrelatert industri / Lokalsamfunn knyttet til aluminiumsproduksjonen.
- ⇒ Transportselskap knyttet til import/eksport av aluminium og råvarer
- ⇒ Kraftselskap som leverer kraft til elektrolyseverk

Avgrensning av systemet

Siden hovedmålet i denne analysen er å vurdere materialflyten i systemet velger jeg å legge vekt på de fysiske og organisatoriske elementene, og se bort fra personell-elementene. Men med en annen fokus på oppgaven kunne det vært aktuelt å inkludere også disse.

4.2.4 Aktørenes behov

Aktørene motiveres ut fra forskjellige behov, og stiller ulike krav til systemet. Tabell 4.2 gir en oversikt over en del av behovene/krav som stilles til systemet.

Tabell 4.2 Aktørenes behov

AKTØRER	BEHOV/ KRAV	MOTIVASJON
Selskapene	♦ Tilgang (billige) innsatsfaktorer	♦ Forbli i "business"

<i>(Primær, halvfabrikata, ferdigvare)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Kraft, råvarer, personell - Kompetanse ♦ Kostnad/ressurseffektivitet - Prosesser: svinn ↓, effektivitet ↑ - Gjenvinning av skrapmetall ♦ Avsetningsmuligheter - Åpen økonomi (import/eksport) - Innovasjon (utvidet bruk av al) - Aksept i markedet (kvalitet, miljøimage) 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Tilfredstille aksjonærer og eiere ♦ Kunne konkurrere på et overveiende internasjonalt marked
<i>Ferdigvare-bedrifter</i>	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Tilgang innsatsfaktorer - Halvfabrikata/støpelegeringer - Pris, kvalitet ♦ Avsetningsmuligheter - Markedets aksept for produktene ♦ System for mottak av skrap 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Forbli i "business" ♦ Tilfredstille aksjonærer og eiere
<i>Grossister</i>	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Åpen økonomi (import/eksport) ♦ Avsetningsmuligheter 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Forbli i "business" ♦ Tilfredstille aksjonærer og eiere
<i>Forbrukere</i>	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Produkter med tilfredsstillende kvalitet og pris ♦ Miljøkrav til produsenter ♦ System for mottak av skrap 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Dekke materielle behov ♦ Miljøbevissthet
<i>Gjenvinnere</i>	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Tilgang på skrapmetall ♦ Lønnsomhet - Kvalitet, gjenvinnbar metallfraksj. - Markedspris, behandlet skrap ♦ Avsetningsmuligheter 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Forbli i "business" ♦ Tilfredstille aksjonærer og eiere
<i>Omsmeltere</i>	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Tilgang på innsatsfaktorer -Skrapmetall, primærmetall ♦ Lønnsomhet (krav til skrapmetall) - Rent (u/fremmed metall, lakk,...) - Sortert (etter legeringer) ♦ Avsetningsmuligheter 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Forbli i "business" ♦ Tilfredstille aksjonærer og eiere
<i>Myndighetene</i>	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Forvaltning - Ressursfordeling (kraft) - Verne miljøet (utslippskrav) ♦ Redusere avfall til fyllingene ♦ Verdiskapning i samfunnet, sysselsetning ♦ Liv, helse, sikkerhet 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Generelt forvaltningsansvar ♦ Internasjonale avtaler ♦ Inntekter til staten
<i>Miljøet</i>	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Å være upåvirket av systemet -Unngå akkumulering av avfall -Opprettholde diversitet/ biologisk prod. -Effektiv ressursbruk 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Bærekraftighet

4.2.5 Oversikt

Figur 4.1 på neste side viser en oversikt av det totale systemet oppdelt i elementer og underelementer slik det fremstod etter kartleggingsfasen. Jeg har også forsøkt å beskrive hovedstrømmene som forbinder elementene med hverandre. I denne oversikten er det bare aluminiumstrømmene som er inkludert. Figur 4.2 viser en oversikt over hvor en del av hovedaktørene driver sin virksomhet i Norge.

Jeg skal i de følgende kapitlene forsøke å ta utgangspunkt i systemet beskrevet i figur 4.1, og beskrive materialstrømmene i den grad det har latt seg gjøre. Av forskjellige grunner har det ikke vært mulig å tallfeste alle understrømmer, men jeg har hatt som mål å få med meg de viktigste strømmene i systemet.

Det vil fremgå at jeg under innsamling av datamaterialet har funnet det naturlig med en noe annen inndeling av undergrupper i forbrukselementet. Her trekker jeg også inn beskrivelse av gjeldende gjenvinningspraksiser, slik at kapitlet om skraphandelsektoren får en mer generell vinkling.

Systemet beskrives i denne rekkefølgen

1. Primærproduksjon (#1)
2. Halvfabrikatproduksjon (#2)
3. Produksjon av ferdigvarer (#3)
4. Bruksfase (#4)
 - Transport
 - Emballasje
 - Elektro / elektronikk
 - Bygg
5. Skrapbransjen/ Innsamling og behandling (#5)
6. Produksjon av sekundæraluminium (#6)
7. Støperier (#3)
8. Slaggbehandling (#7)

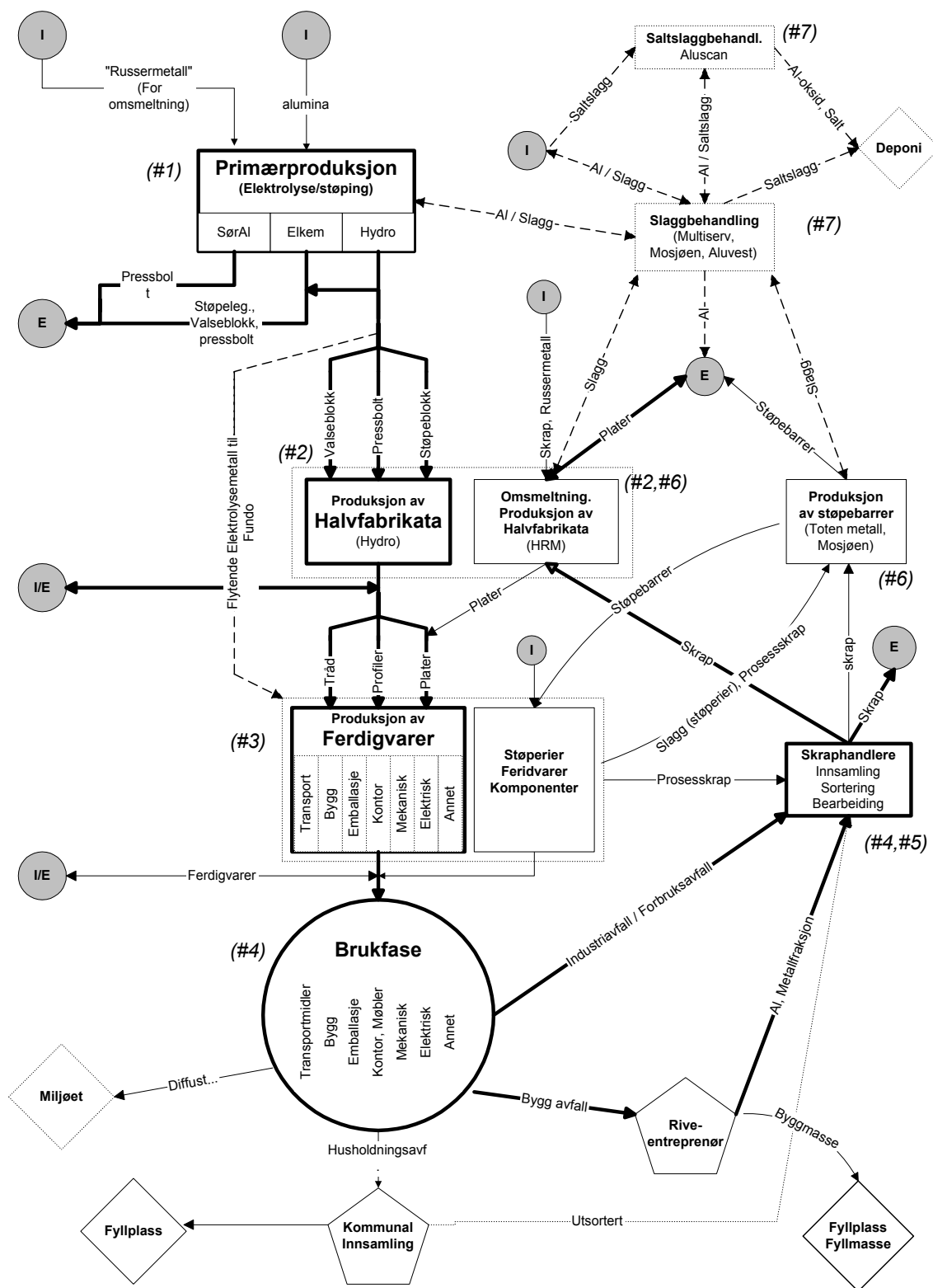


Fig. 4.1. Aluminiumsystemet i Norge. I = import, E = eksport

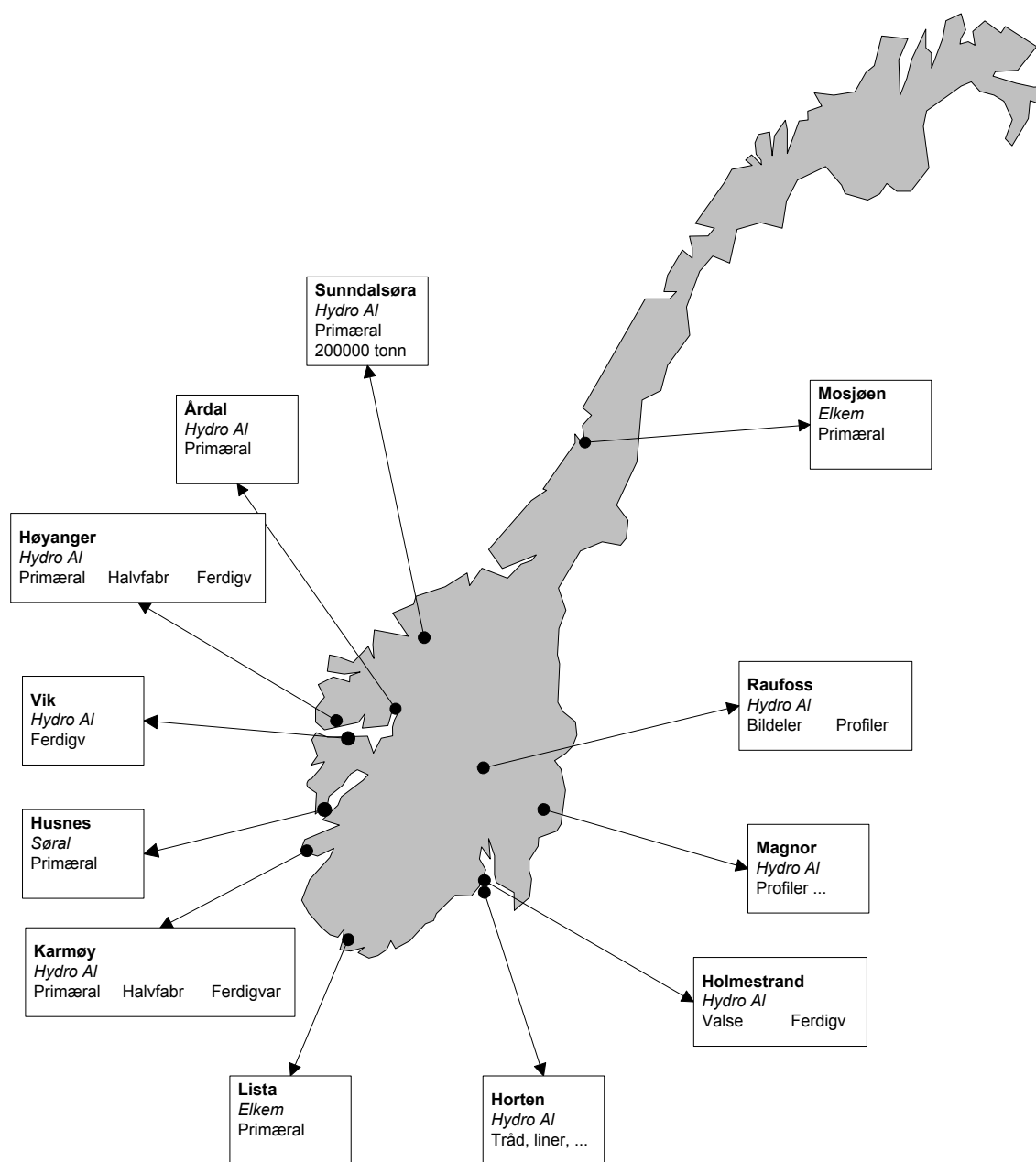


Fig. 4.2. Plassering av en del hovedaktører i systemet

5. Primærproduksjon

5.1 Generelt

Primærverkene i Norge ligger spredt langs kysten, i nærhet av vannkraftkildene og gode muligheter for inn- og utskipning av råstoffer og ferdig produsert metall (figur 4.2).

I dag er det syv verk i drift, fordelt på tre aktører: Hydro Aluminium, Elkem Aluminium og Sør-Norge Aluminium (49,9% eies av Hydro Aluminium).

Tabell 5.1 Primærverk i Norge

(Hydro Aluminium 1996), (Hydro Aluminium; Elkem ANS; Sør-Norge Aluminium AS (1994))

SELSKAP	ANLEGG	PRODUKT ¹	ELEKTROLYSE TEKNOLOGI ²	KAPASITET 1995 (TONN)
Hydro Aluminium A/S	Årdal	Va, Tr, St	Pr, Sø (27%)	192.000
	Sunndalsøra	Pr	Pr, Sø (46%)	144.000
	Høyanger	Va, Fl	Pr, Sø (29%)	71.000
	Karmøy	Va, Tr, Fl	Pr, Sø (50%?)	222.000
Elkem Aluminium ANS	Lista	Pr, (Fl)	Sø	80.000
	Mosjøen	Va, St	Pr, Sø (42%)	120.000
Sør-Norge Aluminium A/S	Husnes	Pr, Va	Pr	92.000
				921.000 (tot)

¹ Va = Valseblokk, St = Støpelegeringer, Pr = Pressbolt, Fl = Flytende metall, Tr = Tråd

² Sø = Søderberg, Pr = Prebake

Hydro Aluminium A/S

Hydro Aluminium produserer spesiallegeringer og standard primærmetall for egen videreforedling og salg på verdensmarkedet. Produksjonen omfatter pressbolt, tråd, støpelegeringer og valseblokk. Rundt verkene i Høyanger og Karmøy har Hydro knyttet til seg egne, lokale videreforedlingsbedrifter, og en del av disse mottar flytende metall direkte fra elektrolysen (Hydroslug, HA Fundo og Karmøy Rolling Mill).

Elkem Aluminium ANS

Elkem selger ikke det standardmetall som noteres på LME, men opplegerte produkter på bestilling fra kunder. Så og si all produksjon går til eksport. Elkem Lista produserer pressbolt, men skal etterhvert også levere flytende, ferdig legert aluminium til bildelprodusenten A-CMI Internationals nye fabrikk på Lista. Elkem Mosjøen produserer støpe- og valseemner for utenlandske støperier og valseverk.

Sør-Norge Aluminium A/S

Fra 1997 produserer Sør-Norge kun pressbolt, men tidligere har verket også produsert ingots og valseblokk. Så godt som all produksjon går til eksport.

Tabell 5.1 viste et samlet produksjonskapasitet av primærmetall i Norge på over 900.000 tonn per år. Den internasjonale aluminiumsindustrien er konjunkturfølsom, og dette betyr at det ikke alltid produseres med full kapasitet ved de norske verkene. Produksjonen reguleres i stor grad av prisene som oppnås på Londonmarkedets notering for basismetall (LME, London Metal Exchange). Den reelle produksjonen har de siste årene ligget et sted mellom 850-900.000 tonn, ca. 5% av verdens samlede produksjon (fig. 5.1).

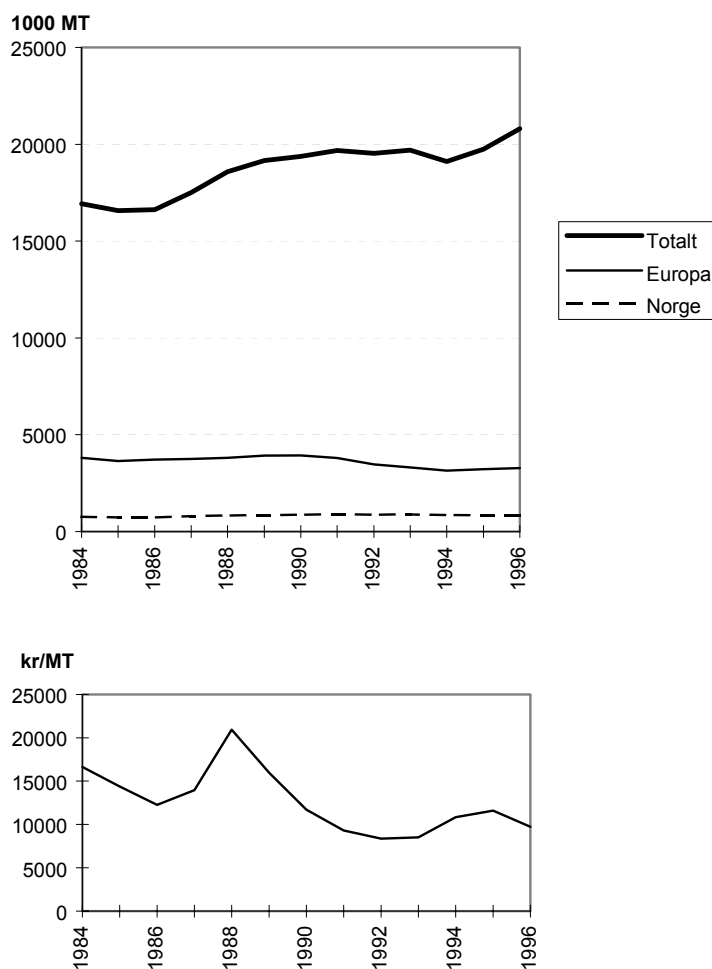


Fig 5.1 Norsk-, Europeisk- og total produksjon i verden. Prisutvikling på aluminium (omregnet til 1996 kroner), 1984-96. (LME-kurser, Metalgesellschaft)

5.2 Primærverket

Et metallverk består som oftest av et anodeproduksjonsanlegg, elektrolyseanlegg og støperi. Figur 5.2 viser prosesser og materialflyt.

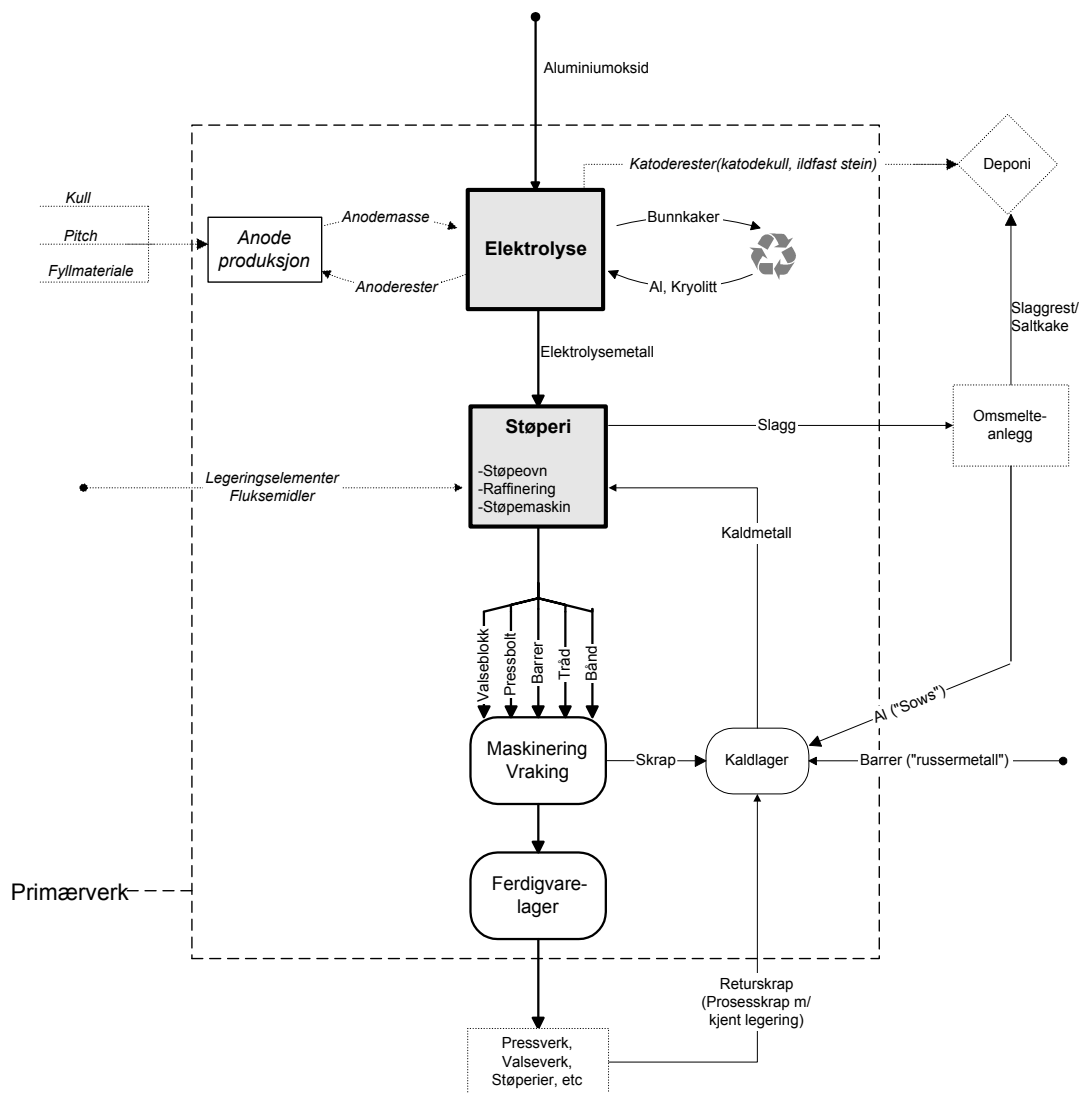


Fig. 5.2. Prosesser og materialflyt ved et primærverk

5.2.1 Prosesser

Elektrolysen

I elektrolysen reduseres aluminiumsoksidet til flytende metall i elektrolyseceller. Reaksjonen skjer ved forbruk av elektrisk kraft og anodekull i et elektrolysebad av hovedsakelig smeltet kryolitt. Kryolitt forbrukes også i prosessen.

Det finnes to former for elektrolyse, hvor hovedforskjellen ligger i utformingen av anodene:

- I Søderberg-prosessen består anoden av en stor blokk av anodemasse, som gradvis herdnes og forbrukes nedenfra i badet. Anoden senkes kontinuerlig for å holde konstant avstand til katoden.
- I prebake-prosessen gjøres anodene klar på forhånd ved å steke de i ovn. I stedet for en stor anode er det mange i hvert elektrolysebad, og de byttes ut ettersom de forbrukes.

I Norge er ca. 42% av elektrolysekapasiteten basert på Søderberg-teknologi og 58% på Prebake (tabell 5.1).

Søderberg-prosessen er den eldste anodeteknologien og den minst effektive med tanke på energibruk. I nye anlegg (prebake) kreves totalt ca. 13kWh i elektrisk energi pr. kilo aluminium, mens forbruket i eldre anlegg (Søderberg) kan komme opp i 16kWh. Kullforbruket innebærer et tillegg i energibruk på rundt 5 kWh. (Hydro Aluminium 1993)

Støperiet

I støperiet opplegges og raffineres metallsmelten før den støpes ut til ferdige produkter.

Opplegering

Råaluminium tappes fra elektrolysecellene, veies og transporteres i flytende form til støpeovnen i transportdigler. Her tilsettes legeringsmetaller for å gi metallet ønskede egenskaper (referer til alkapittel). Type og mengde legering som settes til avhenger av produktspesifikasjonen. Standardmetallet som omsettes på LME inneholder meget små mengder sporelementer (99.7% aluminium), mens støpebarrer kan inneholde opp mot 23% fremmede metaller. De vanligste legeringselementene er magnesium, kobber, silisium og mangan.

Omsmelting

Råaluminium produseres ved ca. 960-970 grader i elektrolyseovnene, mens temperaturen ved utstøpning må ligge rundt 680-70 grader (under smeltepunkt). Ved stabil drift kan denne varmedifferansen brukes til å smelte om kaldmetall. Dette omfatter eget produksjonsskrap og returskrap fra kunder med kjent sammensetning (fig 5.2). Det har også blitt vanlig å kjøpe inn barrer fra det internasjonale markedet for oppgradering i egne prosesser (raffinering og opplegering). Dette er som regel billig "russermetall", som begynte å strømme inn på det europeiske markedet i begynnelsen av 90-årene i kjølvannet av Sovjetunionens oppløsning.

På grunn av tilsatsen av innkjøpt kaldmetall (og legeringselementer), blir tonnasjen av ferdigmetall fra støperiet større enn metallutbyttet fra elektrolyseovnene. Metallflyten gjennom støpeovnene øker også ved at eget produksjonsskrap kontinuerlig omsettes på nytt. Dette gir et høyere metallsvinn på grunn av slagg-generering, men den overordnede materialbalansen påvirkes i liten grad.

Raffinering

Før metallsmelten går til utstøpning i støpemaskin, må den gjennom diverse

rensprosesser. Det stilles store krav til overflate og indre struktur i det ferdige produktet, og forurensninger i smelten kan føre til vraking i senere kvalitetskontroller. Blant de mest brukte raffineringemetodene er saltfluksing (fjerner oksider og inneslutninger), filtrering (større oksidpartikler og inneslutninger) og gassfluksing (Venås 1996)

Utstøping

Etter raffinering tilsettes kornforfinere (titan eller bor), og metallet støpes ut i sin ønskede form:

- Pessbolter (Billets)
- Valseblokker (Sheet ingots)
- Trådbarrer (Wirebars)
- Tråd (Rod)
- Bånd (Strip)
- Barrer / støpelegeringer (Ingot)

5.2.2 Skrap og reststoffer

Tabell 5.2 viser forskjellige typer reststoffer og skrap fra produksjonen ved verkene.

Tabell 5.2 . Skrap og reststoffer ved primærproduksjon

Prosess	Type	Behandlingsform
<i>Elektrolyse</i>	Bunnkaker fra ovnene Anoderester Katodeavfall	Gjenvinning / Deponi Gjenvinning Deponi
<i>Støperi</i>	Slagg (avrak/skimmings)	Gjenvinning
<i>Bearbeiding</i>	Avkapp Spon	Omsmelt Omsmelt / salg
<i>Kvalitetskontroll</i>	Vrak	Omsmelt
<i>Avgassrensing</i>	Støv, fluorider	Deponi

Alt aluminiumskrap blir tatt hånd om og resirkulert hvis det er mulig ved alle de norske verkene. Hydro Aluminium har adoptert industriell økologi konseptet i sin aluminiumsvirksomhet. Over de siste årene har det vært jobbet mot å la skrap gå i lukkede og så korte materialsøyfer som mulig innenfor konsernet. Det er opparbeidet rutiner for bearbeiding og gjenvinning av de aller fleste avfallstrømmene. Primærindustrien snakker om en generell resirkuleringsgrad på nær 100 % for aluminiumskrap. Det regnes vanligvis med et totalt metallsvinn på 1 % (går ut med slagg og ovnsrester til deponi).

Behandling av aluminiumskrap ved primærverkene:

- ⇒ *Avkapp, vrak og spon* går direkte til kaldlager og omsmelting. Spon briketteres (presses) før omsmelting for å unngå unødig smeltetap på grunn av det store overflate/vekt-forholdet.
- ⇒ *Slagg* oppstår i støpeovnene som et resultat av rensing (gasspyling) og oksidering av fra støpeovnene fraktes i containere til omsmelteverk for gjenvinning. Hydro Aluminium, Elkem Lista og Søral sender slagget til Multiserv på. HA Sunndal sender slagget til Aluvest og Elkem Mosjøen bruker Mosjøen metall som leiesmelter. Primærverkene får tilbake omtrent 50-60% av tonnasjen som metall ("sows" eller sugger) som går inn i produksjonen igjen (fig. 5.2).
- ⇒ Bunnkaker fra elektrolyseovnene oppstår hver gang en ovn skal rives (levetid 3-5 år). En kake veier 500 kg og består av 50% aluminium og 50% kryolitt. Disse går til gjenvinning ved verkene (smeltes direkte i de nye elektrolyseovnene)
- ⇒ Ved riving oppstår også katodeavfall i form av katodekull og ildfast materiale fra katodekasser. Disse massene går til egne deponier ved verkene.

Det største metallsvinnet er knyttet til slagget, og dette er også eneste skrapfraksjonen av aluminium som går til ekstern behandling.

5.3 Norsk produksjon av primærmetall

Figur 5.3 viser total elektrolyseproduksjon ved de norske primærverkene. Figuren viser hvordan produksjonen har økt over tid som et resultat av utvidelser og forbedringer ved verkene. Nedgangen etter 1994 skyldtes et selvpålagt produksjonskutt hos produsentene som et markedstilpasningstiltak. På grunn av liten etterspørsel og store lagre hos produsentene rundt om i verden produserte man mindre for å presse opp prisene.

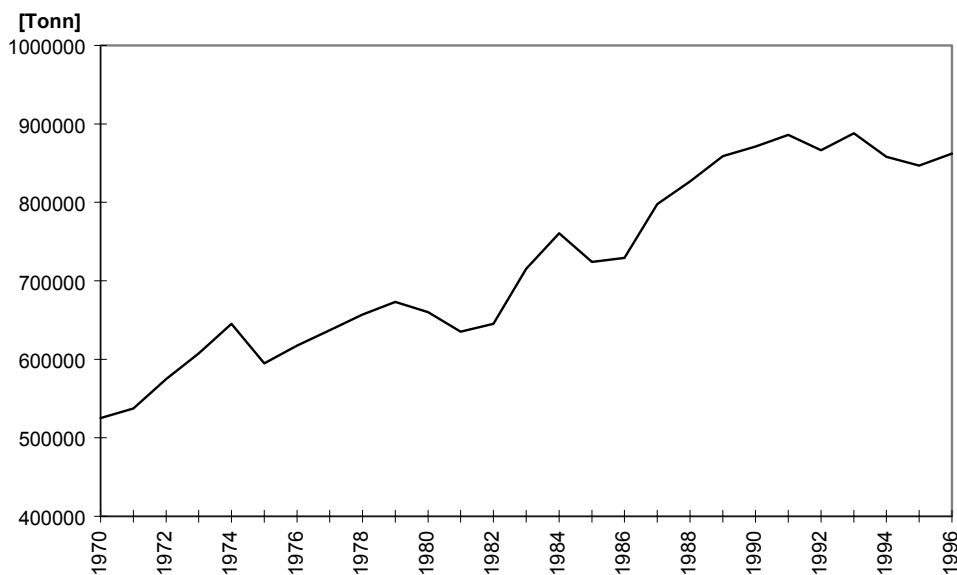


Fig. 5.3 Totalproduksjon av primæraluminium (legert tonnasje) i Norge, 1970-1996
/OEA-statistikk, Skanaluminium, Metalgesellschaft

5.4 Norsk forbruk av Primærmetall

Mengden primærmetall som går til videreforedling i Norge hvert år kan finnes fra følgende formel:

$$\text{Norsk forbruk} = \text{Primærproduksjon} + \text{Import} - \text{Eksport} \pm \text{Lagervariasjon} \quad (1)$$

Import- og eksportdata for Norge finnes blant annet i SSB's utenrikshandelstatistikk og i Metallgesellschaft (1994) (vedlegg 3).

Figur 5.4 viser forholdet mellom primærproduksjon (ulegert råmetall fra elektrolysehallene) og innførsel / utførsel av primæraluminium (barrer, bolter, ofte opplegert). Det går tydelig frem av figuren hvordan eksportandelen dominerer, og i store trekk følger produksjonen.

Figur 5.4 viser også hvordan import av primæraluminium har hatt en relativ økning siden midten av åttitallet. Dette dreier seg om primærmetall til bruk i halvfabrikatproduksjon (HA Automotive på Raufoss) eller "russermetall" som kjøpes inn for oppgradering ved primærverkene (kapittel 5.2.1) eller til bruk som innsatsfaktor ved sekundærverk (Holmestrand Rolling Mill (HRM)). Mindre mengder primæraluminium importeres også til Hydro Aluminiums pressverk som normalt bruker eget primærmetall i produksjonen. Dette er et resultat av Hydros spesielle forretningsidé: Det eksisterer en viss konkurranse mellom de forskjellige divisjonene innenfor konsernet, og det er noe frihet til å kjøpe inn metall utenfra. Det er derimot vanskelig å si noe om hvor store mengder importmetall som går til forskjellige bruksområder.

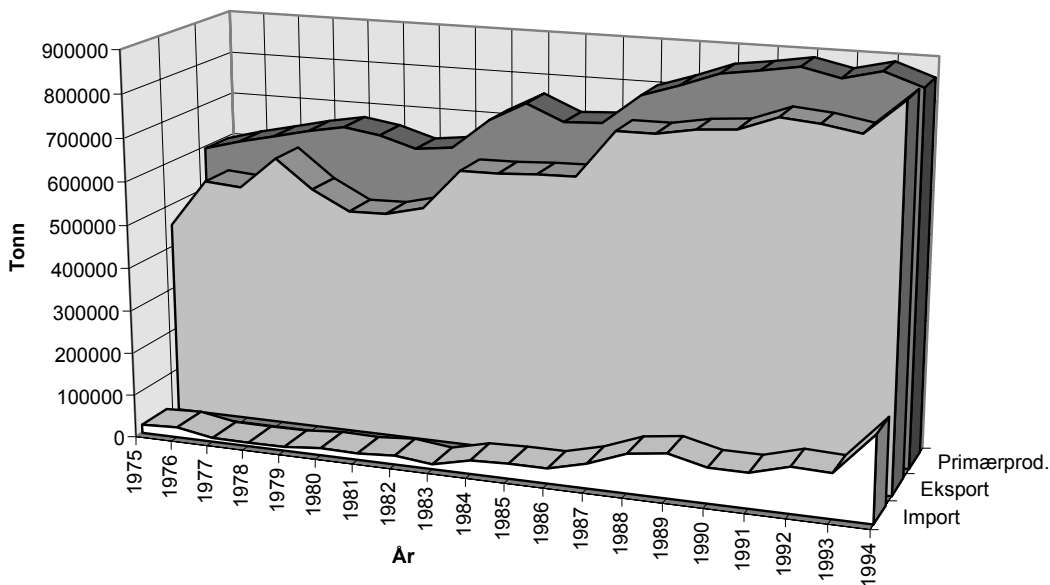


Fig. 5.4 Produksjon, eksport og import av primærmess i Norge, 1975-1994



Fig. 5.5 Forbruk av primæraluminium i Norge, 1975-1994 (SSB, Metalstatistik)

Figur 5.5 viser beregnet forbruk av primæraluminium etter likning (1), med og uten justering for lagervariasjon. Tallmaterialet er gjengitt i vedlegg 3. Det har vært en jevn

økning i forbruket av primæraluminium de senere årene pga. økt produksjonskapasitet og etterspørsel etter halvfabrikata.

Det er heftet noe usikkerhet til produksjonstallene i figur 5.4. De oppgitte verdiene er primærproduksjonen fra elektrolysen, men leveringene av ferdig metall fra støperiet avviker litt fra denne på grunn av tilsats av legeringer og innkjøpt kaldmetall for omsmelting (se kapittel 5.2.1).

5.5 Sammendrag (1994)

Tabell 5.3 viser hovedtall knyttet til produksjon og forbruk av primæraluminium i Norge, 1994.

Tab. 5.3 Primæraluminium, 1994

	<u>Tonn</u>
Produksjon	858.000
Import	198.700
Eksport	866.700
Lagerendring	-37.000
Forbruk	227.000

Jeg har ikke fått samlet samlende tall mengdene slagg som oppstår i Norge. EAA (1996) har gjennomført en større kartlegging av avfallsmengder og ressursforbruk i europeisk aluminiumsindustri., og jeg har benyttet meg av tall fra denne undersøkelsen for å grovberegne mengdene som oppstår og hvor mye av dette som sendes tilbake i prosessene igjen (50%). Resultatene er vist i tabell 5.4.

Tabell 5.4. Slaggmengder og resirkuleringsgrad ved elektrolyseproduksjon

	Kg pr. tonn produsert råmetall (EAA 1996)	Totalt i Norge, 1994 (tonn)
Slagg til behandling	12	10.296
Resirkulert Al fra slagg	6	5.148

Slaggmengdene vil være større på grunn av gjennomgangen av omsmeltemetall i støperiene (beregnes i kapittel 6.6.)

Den ubenyttede resten av aluminium etter slaggbehandlingen, oksydert metall og små mengder aluminiumgranulat (totalt ca.1%), går stort sett til deponi i dag. Men det er muligheter for å utnytte dette *biproduktet* ytterligere. Dette kommer jeg tilbake til i kapittel 15.

6. Halvfabrikata

Før primæraluminium kan benyttes til sine endelige formål, må den bearbeides til halvfabrikata, komponenter og ferdigvarer. Halvfabrikata defineres her som valsede produkter, ekstruderte profiler, støpte komponenter og trukket tråd som *benyttes videre* som *innsatsfaktorer* i forskjellige typer industri. Ferdigvarer av aluminium er produkter som går direkte til konsument, uten videre bearbeiding.

6.1 Generelt

Rundt 25 % av den norske primærproduksjonen bearbeides videre til halvfabrikata ved norske halvfabrikataverk. Tabell 6.1 gir en oversikt over aktiviteten.

Tabell 6.1. Aluminium halvfabrikataproduksjon i Norge

	ANLEGG	PRODUKT	PRODUKSJON [tonn] (1995)
<i>Valseverk</i>	HA Karmøy Rolling Mill HA Holmestrand Rolling Mill Hydroslug (Høyanger)	Plater, kveil, bånd Plater, kveil, bånd Slugs, pannebunner	44.500 60.000 ¹⁾ 11.500
<i>Pressverk</i>	HA Profiler, Karmøy HA Profiler, Magnor HA Profiler, Raufoss HA Automotive	Profiler Profiler Profiler Profiler til støtfangerprod	30.800 Ca. 10.000
<i>Trådprod.</i>	HA Karmøy metallverk HA Årdal metallverk HA Conductors	Ulegert tråd Ulegert tråd Legert tråd	60.000 ²⁾ 2.100 ²⁾
<i>Totalt</i>			218.900

¹⁾ Sekundæraluminium og importert ingot

²⁾ Estimert

Kilder: Hydro Aluminium og Raufoss

Mange av Hydros halvfabrikataverk er plassert i nærheten av andre typer produksjonsenheter:

- I Karmøy er produksjonen av plater, tråd og profiler basert på metall fra primærverket på samme sted.
- HRM leverer plater og coil til Hydro Alucoat for lakking.
- Hydroslug sin produksjon er basert på flytende elektrolysemetall fra primærverket i Høyanger.

Dette muliggjør korte materialstrømmer og spart energi i en del prosesser.

Jeg skal i det følgende gi en beskrivelse av prosessene og materialstrømmene gjennom de forskjellige typene halvfabrikataverk.

6.2 **Valsede halvfabrikata**

Ved de to valseverkene i Norge lages plater og bånd i forskjellige lengder, bredder og tykkelser. Selv om de lager tilsvarende produkter er produksjonen meget forskjellig ved de to verkene. *Karmøy Rolling Mill* baserer seg på primærmetall og omsmeltet produksjonskrap, mens *Holmestrand Rolling Mill* fra ca. 1988 gradvis endret driften å bli basert på sekunderaluminium (nytt og brukt skrap). I dag er produksjonen nesten i sin helhet basert på sekundærmetall, og verket er den desidert største avtakeren av aluminium skrap i Norge¹.

Hydroslug er ikke et valseverk, men tas med her fordi bedriften bruker valseprosesser for å produsere slugs. En slug er en rund plate (ca 6 cm) som er utgangsemnet for produksjon av tuber, aerosolbokser, og pannebunner av aluminium. Bedriften leverer blant annet slugs til stanseprosessene ved Norges eneste produsent av tuber, Nordiska Tub.

6.2.1 **Prosesser og skrapgenerering**

Valsing av aluminium halvfabrikata består i å redusere metallens tykkelse, og dette foregår i to prinsipielt forskjellige trinn.

1. Produksjon av råkveiler med 3-6mm tykkelse, enten ved hjelp av a) *varmvalsing* eller b) *kontinuerlig båndstøping*.
2. Videre bearbeiding av råveil ved hjelp av *kaldvalsing*.

Råveilproduksjon

→*Varmvalsing - Holmestrand Rolling Mill*

Utgangspunktet er støpte valseblokker fra støperiet med tykkelse på mellom 300 og 500 mm. HRM har egne smelte- og støpeovner, hvor valseemnene produseres fra sekundær aluminium og importerte barrer. Før blokkene går til valsing slipes overflaten ned. Dette er nødvendig fordi det øverste sjiktet ofte har for stor porøsitet og uønskede forurensninger. Deretter varmes blokkene opp til rundt 530 grader, og vales ned til råveil gjennom flere valsetrinn (typisk 20 omganger).

→*Kontinuerlig Båndstøping - Karmøy Rolling Mill*

Alternativt kan råveil produseres ved å sende flytende metall gjennom et munnstykke som har den ønskede båndbredden. Like etter at metallet passerer munnstykket blir det valset mellom vannavkjølte stålvalser og kveilet opp, klar for videre kaldvalsing. Denne prosessen er energibesparende i forhold til varmvalsing, fordi man unngår oppvarming og flere valsetrinn. I tillegg unngås skrapmengdene fra den nødvendige forbehandlingen av valseblokkene.

Videre reduksjon av tykkelse**→Kaldvalsing**

Her vales råkveilen ned til ønsket tykkelse ved hjelp av valseinnretninger som plasseres i serie etter hverandre. Verkene i Norge leverer bånd med tykkelse ned til 0.20 mm ved hjelp av denne prosessen. Deformasjonsprosessen gir også økt det valsede materialet økt hardhet.

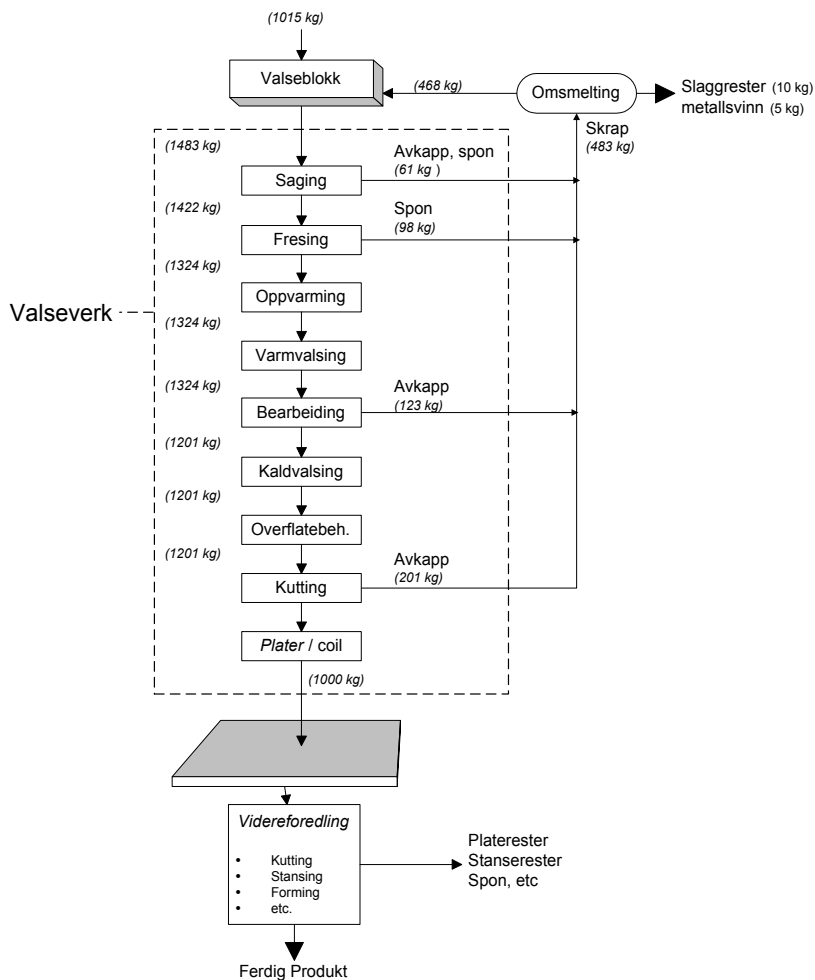


Fig. 6.1 Materialflyt og prosesser i et varmvalseverk. (EAA, 1996; Rink 1994)

Figur 6.1 viser materialflyten gjennom et valseverk basert på *varmvalse*teknologi. KRM sin produksjon er stort sett den samme fra og med kaldvalseleddet. Figuren viser også typiske mengder skrap som oppstår i produksjonen⁷ Skrapet hos KRM går tilbake til omsmelting ved elektrolyseverket, mens HRM smelter om avkapp og spon i egen

¹ Gjenvinningsaspektet ved produksjonen beskrives mer utførlig i kapittel 13.2

⁷ Tall fra prod. av et tonn aluminiumsplater som typisk brukes i bilindustrien i Europa (EAA 199X).

smelteovn. Skrapmengdene etter kaldvalsingen vil derimot variere etter tykkelsen på det ferdige produktet.

En fjerdedel av de ferdige valsede båndene blir lakkert i båndlakeringsanlegg (Hydro Aluminium 1993).

6.2.2 Norsk produksjon og forbruk av valsede halvfabrikata

Et mål på forbruket av valsede halvfabrikata i Norge kan finnes ved å trekke eksport fra import og den samlede produksjonen, men for å finne det reelle forbruket må man også ta hensyn til lagervariasjoner hos produsentene.

Valsing av aluminium er stort sett basert på ordreproduksjon, men det er et forholdsvis stort innslag av standardiserte løsninger. Disse kan regnes som internasjonale handelsvarer med konjunkturavhengige priser, og en viss mengde vil til enhver tid ligge på lager. Denne type statistikk er det derimot meget vanskelig å få tilgang til på grunn av konkurransen på markedet. For å danne seg et bilde av forbruket er det en mulighet å se på utviklingen over tid. Figur 6.2 viser en sammenstilling av produksjon, import, eksport og beregnet forbruk⁸.

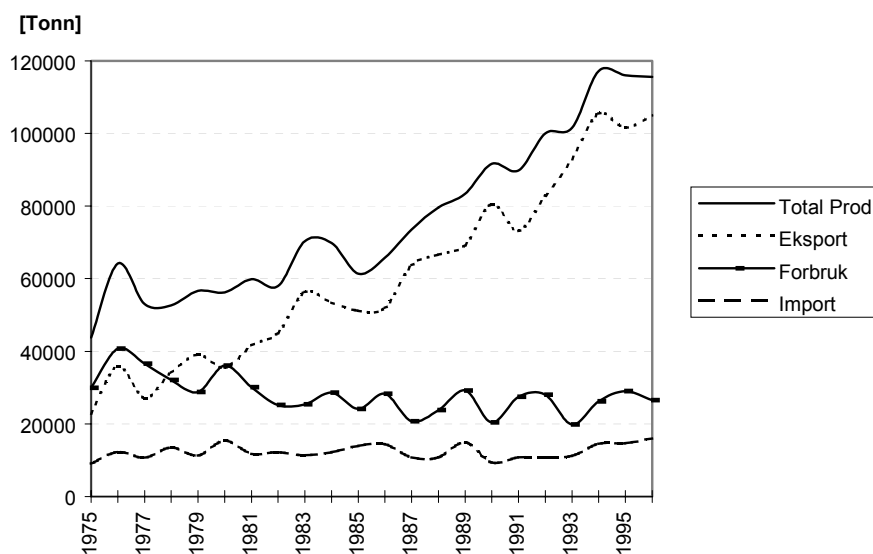


Fig. 6.2 Norsk produksjon, import, eksport og forbruk av plater, 1975-1996 (Skandaluminium, bedriftopplysninger, SSB)

Det går frem av figuren at det har vært en jevn produksjonsøkning over tid. Valseverkene i Norge er meget små i europeisk målestokk, men hoveddelen av produksjonen er rettet mot det internasjonale markedet. Omtrent 90 % eksporteres. Resten går til norsk ferdigvareindustri, hvor hovedmarkedene for valset aluminium halvfabrikata er bygg, transport og emballasje.

⁸ Tallmaterialet er gjengitt i vedlegg X, med utfyllende kommentarer til kildematerialet.

Forbruket i Norge ligger på rundt 25000 tonn pr. år, og virker å ha ligget på et noenlunde jevnt nivå selv om produksjonen har økt. Svingningene i kurven skyldes sannsynligvis at variasjon i lagerbeholdning ikke er tatt med.

Det går også frem fra figuren at en god del av etterspørselen dekkes av grossister eller gjennom direkte import. Dette gjelder spesielt markedet for tykkere plater, siden HRM og KRM ikke produserer vals over 4 millimeters tykkelse. Dette fører for eksempel til at skipsindustrien ofte må basere seg på leveranser fra utlandet. Valseproduksjonen hos Hydro Aluminium dekker ca. 45% av det totale norske markedet. Resten dekkes av grossister som Astrøp og Sønn, Norsk Stål og CCBstål. .

6.3 **Ekstrudert halvfabrikata**

Pressverkene kjøper pressbolt fra primærverkene, og presser til ekstruderte halvfabrikata (profiler og rør) i varierende form og størrelse. Pressbolten er legert opp med ulike legeringselementer, avhengig av hvilket bruksområde produktet skal.

Pressverkene under *Hydro Aluminium Profiler* produserer profiler hovedsakelig for bil- og byggningsindustrien. En stor del av produksjonen går til videre bearbeiding på det norske markedet. Hovedmengdene går til produksjon av vinduskarmer og fasader, men mye går også til produksjon av komponenter i busser og lastebiler, møbler og strukturløsninger i offshoreindustrien - bare for å nevne noen områder. Det aller meste av produksjonen er basert på pressbolt fra Hydro Aluminiums egne primærverk.

Hydro Raufoss Automotives produksjon går i sin helhet til Europeisk bilindustri. Bedriften produserer støtfangersystemer med ekstruderte aluminiumskinner, samt karosserirammer ("space frames") og seteskiner i aluminium. Produksjonen er basert på sinklegerte pressbolt (7000-legeringer) som importeres.

6.3.1 **Prosesser og skrapgenerering**

Ekstrudering er en varmbearbeidingsmetode. Under høyt trykk presses en oppvarmet aluminiumsbolt mot en matrise. Matrisen har en geometrisk åpning som tilsvarer det tverrsnittet som ønskes på det ferdige produktet, slik at når trykket blir tilstrekkelig høyt, vil metallet "flyte" ut av verktøyåpningen som et profil (Venås 1996). Variasjonsmulighetene er mange - i reklamemateriell opplyser enkelte verk at de har fremstilt over 30.000 forskjellige profiler til sine kunder.

Ferdig ekstrudert blir profilene bearbeidet gjennom kapping, sliping, boring, fresing, stansing og overflatebehandling, alt etter kundenes behov og spesifikasjoner. Normalt leveres profilene med standard lengder (6m?)

Figur 6.3 viser den typiske prosessgangen i ett pressverk. Figuren viser også typiske genererte skrapmengder ved produksjon av 1000 kg ferdig profil (EAA). En del av pressbolten sitter igjen som presserest og går som skrap, men de største skrapmengdene oppstår i etterkant av ekstruderingen, når profilene kappes og tilpasses transport og levering (spon og avkapp).

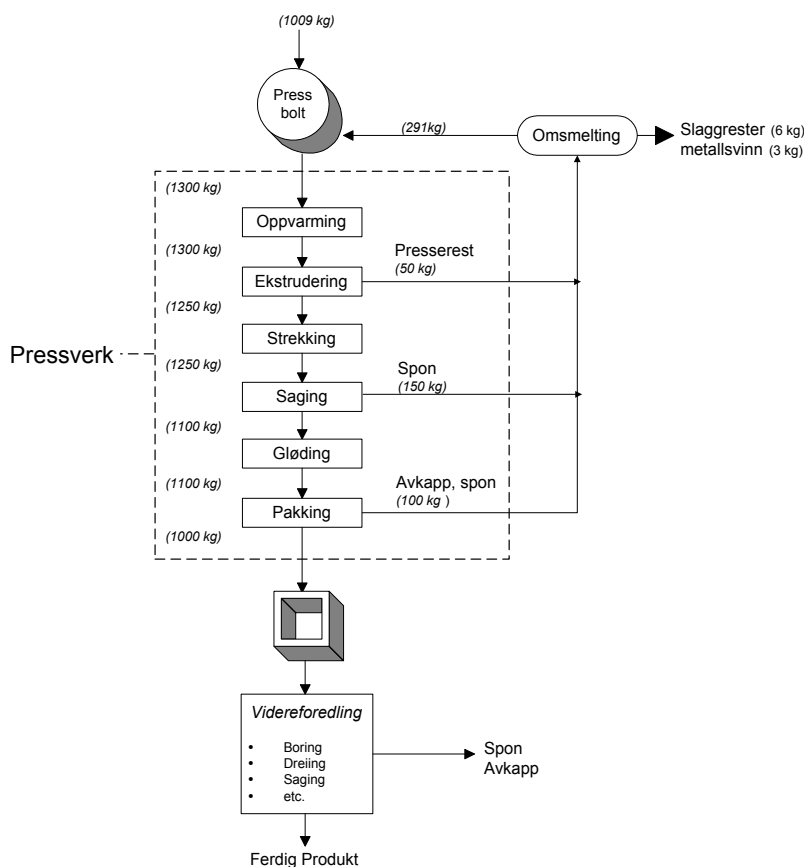


Fig. 6.3 Materialflyt og prosesser i et pressverk. EAA (1996), Rink (1994).

Pressverkene under Hydro Aluminium Profiler sender produksjonskraket i retur til primærverkene for omsmelting til ny pressbolt.

Hydro Raufoss Automotive smelter om produksjonskraket i en egen støpeovn, men oljetilgriset spon leiesmeltes eksternt (Toten Metallgjenvinning). Produksjonen er basert på sinkbaserte legeringer, som har stor styrke *men begrenset bruksområde*. Sinklegert skrap bør ikke gå inn i støpeproduksjon (aluminiumskrap smeltes ofte om til støpeprodukter), fordi sink er ren "gift" for støpets egenskaper. Det er derfor nødvendig å holde produksjonskraket i en lukket sløyfe.

6.3.2 Norsk produksjon og forbruk av ekstrudert halvfabrikata

Figur 6.4 viser utviklingstrekk for ekstrudert halvfabrikata i Norge over tid. Produksjonstall er gitt fra Skanaluminium. Import- og eksportdata er hentet fra Utenrikshandelstatistikken. Se vedlegg 3 for tallmateriale og nærmere beskrivelse av kildematerialet.

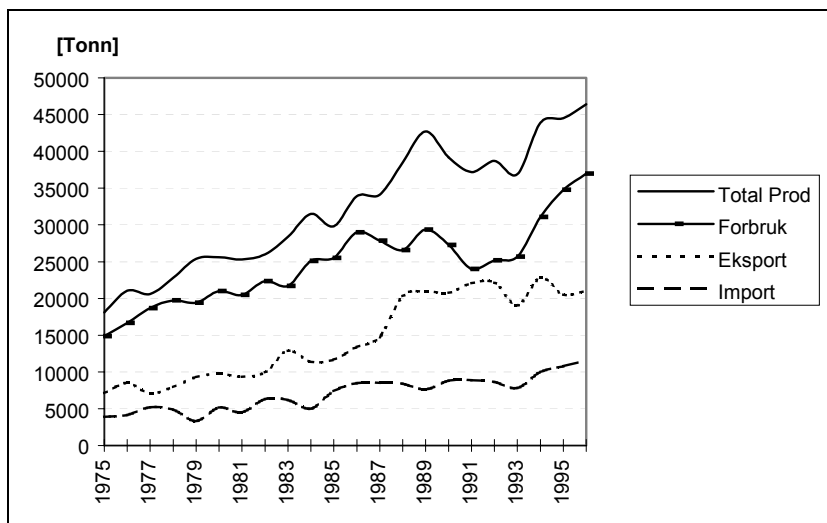


Fig. 6.4 Norsk produksjon, import, eksport og forbruk av profiler, 1975-1996

Som for plateproduksjonen mangler jeg her tall for lagervariasjoner hos produsentene. Men pressverkene må i større grad operere i samarbeid med kundene, slik at ekstrudering for det meste dreier seg om ordreproduksjon. Lagerbeholdning skulle derfor ha mindre innvirkning her enn for valsede produkter.

Det går frem at også her har produksjonen økt over tid. I motsetning til plater har forbruket av ekstruderte halvfabrikata blant norske videreforedlingsbedrifter fulgt denne trenden. Dette har sammenheng med at produksjonen i større grad er myntet på det norske markedet og at det har vært en generell økt bruk av aluminium spesielt i byggsektoren, som er hovedmarkedet for ekstruderte halvfabrikata i Norge (ca. 55%).

Forbruket av aluminium i byggsektoren følger de økonomiske konjunktorene. I økonomiske nedgangstider er det lite nybygging og tilsvarende lite behov for innsatsfaktorer. Nedgangen i produksjon og forbruket av ekstruderte halvfabrikata etter 1990 har antakelig sammenheng med den økonomiske lavkonjunkturen som startet omtrent på denne tiden.

6.4 Tråd halvfabrikata

Valsetråd, eller grovtråd, av aluminium produseres ved 3 anlegg i Norge, alle innenfor Hydro-systemet. Valsetråd selges hovedsakelig som råstoff til kabelindustrien, som trekker den ned til mindre dimensjoner og bearbeider den videre til kabel og line.

Hydro Aluminiums verk i Årdal og på Karmøy produserer ulegert tråd, som for det meste går til kabelindustrien. Mindre mengder brukes også som tilsetningsstoff i stålindustrien.

HA Conductors i Horten produserer leget tråd, som også går til kabelindustrien for produksjon av line. De bruker en herdbar legering som har høyere styrke enn vanlig ulegert valsetråd. Dette gjør det mulig å produsere liner uten stålkjerne. Spesielle legeringer går også til annen type produksjon, som forskjellige typer nagler, klips, gjerdenetting etc.

6.4.1 Prosesser og skrapgenerering, valset tråd

Ved primærverkene på Karmøy og i Årdal støpes flytende metall til et grovt trådemne. Prosessene er vist i figur 6.5. Metallet kommer fra støpeovnen til et vannkjølt støpehjul, som er utformet slik at metallet støpes ut til et trådemne med et tverrsnitt på f.eks. 5*5 cm². Mens det enda er varmt føres emnet videre inn i et valseverk med valser som trinnvis valser det ned til 9.5mm tråd som kveiles opp.

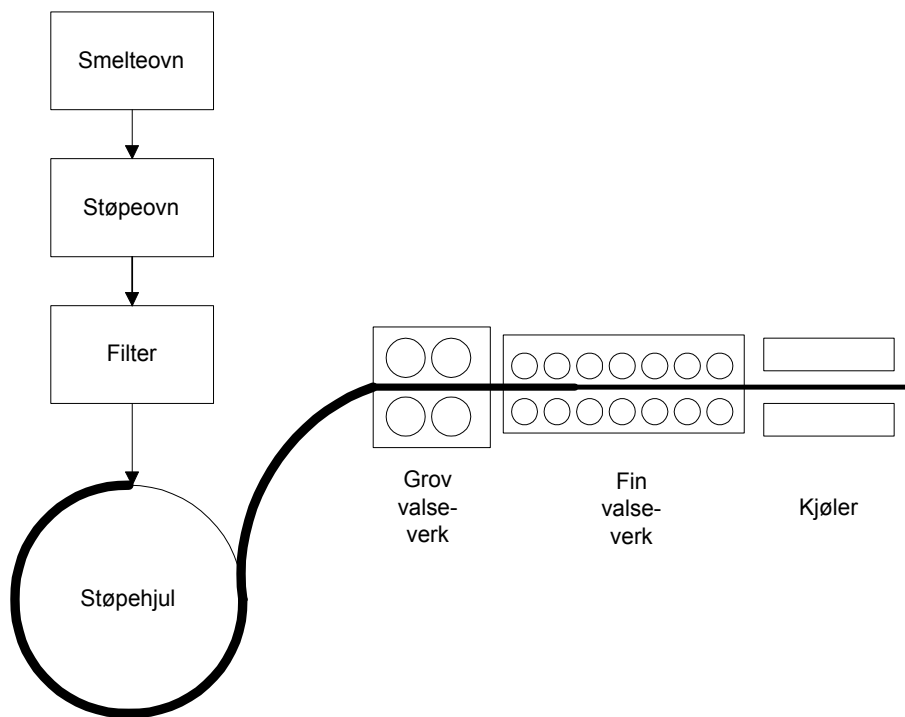


Fig.6.5 Fremstilling av valsetråd

Tråden produseres i en meget ren aluminiumkvalitet, med mellom 99.7 til 99.8% Al. Skrap som oppstår (7.5%) kan smeltes om direkte i støpeovnen.

HA Conductors i Horten mottar 100 kilos ferdig legerte valseblokker fra primærverket (155mm diameter og 2 meters lengde). Emnene varmes opp før de vales ned til tråd i en tilsvarende valseprosess. Prosessskrap sendes tilbake til støperiet for omsmelting.

6.4.2 Norsk produksjon og forbruk av valset tråd

Figur 6.6 viser utviklingstrekk for halvfabrikata av tråd over tid i Norge. Tallene omfatter både legert og ulegert tråd. Se vedlegg 3 for nærmere informasjon om kilder og tallmateriale.

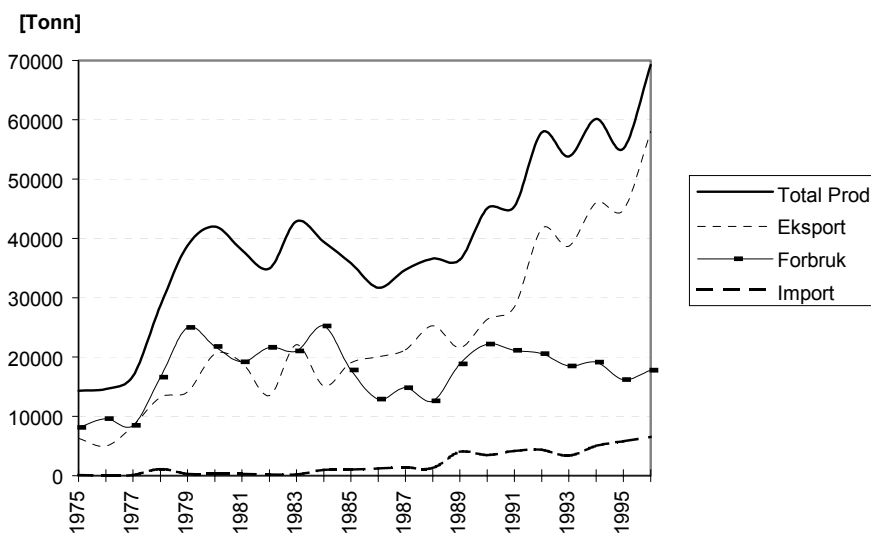


Fig.6.6. Norsk produksjon, import, eksport og forbruk av valsetråd, 1975-1996

Produksjon

Produksjonen av ulegert valsetråd har økt de siste årene, og den ventes å stige. I 1997 var produksjonen ca. 77.000 tonn ved Karmøy og Årdal, mens det forventes 85.000 tonn i 1998.

Forbruk

De siste årene har i underkant av 20.000 tonn valset aluminiumtråd gått til videre bearbeiding her i landet. Det er tre bedrifter i Norge som trekker aluminium ned til mindre dimensjoner:

- *Norcable* eies av Hydro Aluminium og Alcatel (50%). Innsatsfaktoren er valsetråd fra HA Karmøy, som trekkes ned til forskjellige diametere (minste mål er 2mm). Produktet er liner og ledere uten isolasjon. Produksjonen ligger på rundt 10500 tonn i året, og av dette går omtrent 60% til Alcatels kabelproduksjon. Resten går til eksport.

- *HA-Conductors* hovedprodukt er kraftledere (liner), men de produserer også kabledere. På det norske markedet produserer de både til ABB og Alcatel, men de største mengdene går til eksport. Produksjonen ligger på 8-10000 tonn i året.
- *Norsk Kabel* (Mangler informasjon)

6.5 Total produksjon og forbruk av halvfabrikata i Norge.

Figur 6.7 viser en sammenstilling av forskjellig halvfabrikataproduksjon over tid. Tallene omfatter profiler og rør, plater og slugs og valsetråd.

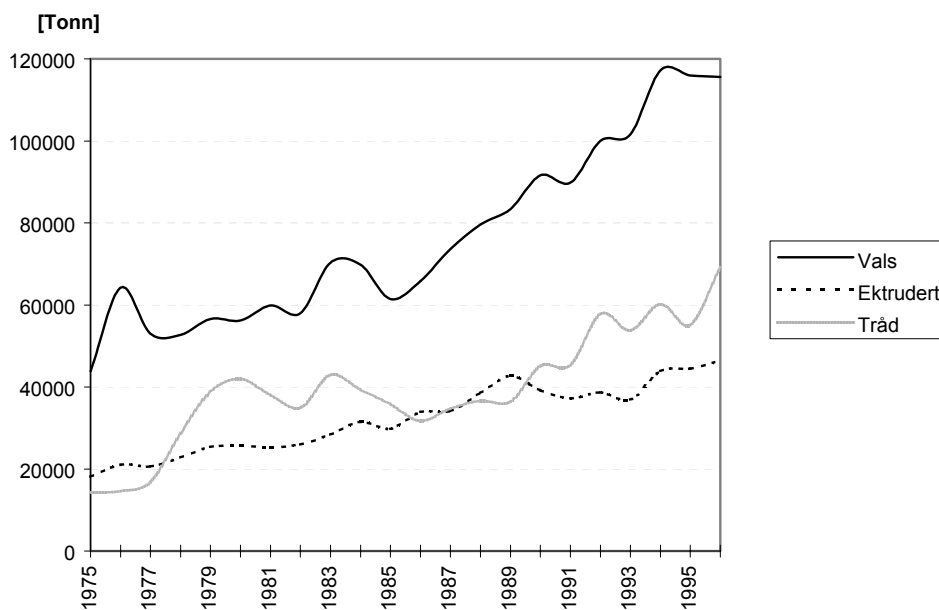


Fig. 6.7 Total produksjon av tråd og flatvalsede- og ekstruderte halvfabrikata. 1975-1996

Det estimerte norske forbruket av halvfabrikata er vist i figur 6.8. I et forsøk på å eliminere effekten av lagervariasjoner er det blitt beregnet en trendlinje for det totale forbruket. Trendlinjen er estimert ved hjelp av et løpende gjennomsnitt for de siste fem foregående årene. Det går frem av figuren at det totale forbruket av halvfabrikata i norsk ferdigvareindustri har fluktuert rundt 70.000 tonn, men det har vært en økende tendens i forbruket de siste årene.

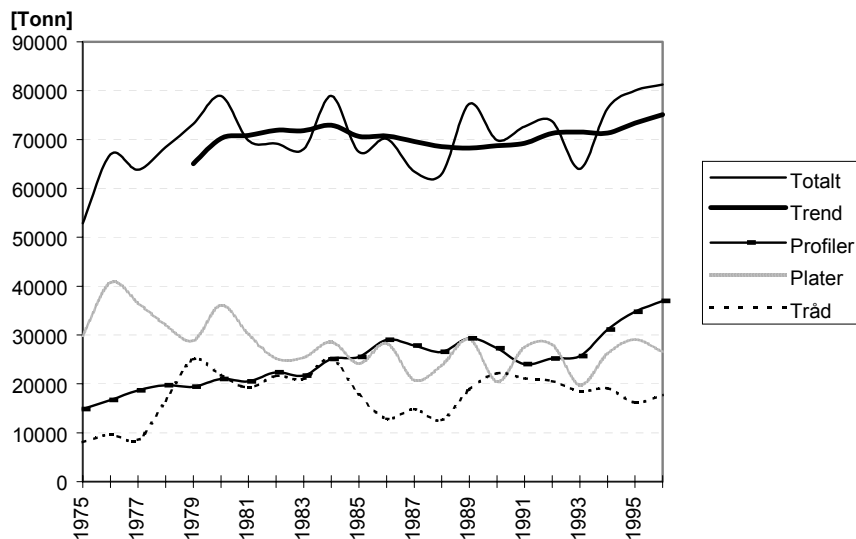


Fig. 6.8 Norsk forbruk av aluminium halvfabrikata, 1975-1996

6.6 Sammendrag 1994

6.6.1 Produksjon og forbruk av halvfabrikata

Tabell 6.2 viser en sammenfatning av de estimerte tallene halvfabrikata for Norge i 1994. Ca. 76.000 tonn halvfabrikata gikk til forbruk i norsk ferdigvareindustri.

Forbruket fordelte seg på de forskjellige halvfabrikata som vist i figur 6.9 på neste side.

Tabell 6.2 Produksjon og forbruk av aluminium halvfabrikata (tonn), 1994

	Plater	Profiler	Tråd	Totalt
Total Prod	117202	43900	60168	221270
Import	14503	9979	5002	29484
Eksport	105499	22793	46046	174338
Forbruk	26206	31086	19124	76416

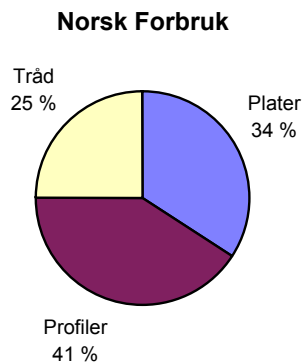


Fig.6.9 Fordeling av totalhalvfabrikata til norsk forbruk

6.6.2 Skrap fra halvfabrikatproduksjon

Materialeffektiviteten i halvfabrikatproduksjonen i Norge er meget høy. Alt skrap fra halvfabrikatavirksomheten går i lukkede sløyfer mellom halvfabrikatavverk og primærverk. Unntaket er mindre mengder oljetilgriset spon som i noen tilfeller sendes til leiesmelting hos eksterne smeltere.

Men det er vanskelig å si noe sikkert om mengdene som går i sirkulasjon i dette systemet. Tonnasjen vil variere med produktspesifikasjonen. I tabell 6.3 har jeg basert meg på gjennomsnittstall utarbeidet av European Aluminium Association (plater og profiler) og Hydro Aluminium (tråd) for å beregne mengdene som går til omsmelting og det tilknyttede svinnet til slagging. For plater har jeg differensiert mellom Holmestrand Rolling Mill (varm og kaldvalsing) og KRM og Hydroslug (kaldvalsing).

Tabell 6.3 Estimerte metall til omsmelting og svinn knyttet til halvfabrikatproduksjon i Norge. (1994)

		Produksjon	Til omsm.	Til omsm.	Metallsvinn
		(tonn)	kg/tonn	Totalt	(1%) (tonn)
Plater	KRM,Hydroslug	57.200	324	18.533	185
	Holmestrand	60.000	483	28.980	290
Profiler		43.900	300	3.293	33
Tråd		60.168	7,50 %	50.805	508
Totalt				101.611	1.016

6.7.1 Kontroll

På dette punktet kunne det vært interessant med en kryssjekking av total halvfabrikatproduksjon med mengden primærmetall som ble beregnet til norsk forbruk (kap. 5.4).

- Primærmetall til norsk forbruk, 1994: 227000 tonn
- Produksjon av halvfabrikata, 1994: 221000 tonn

Det manglende samsvaret ved direkte en sammenlikning skyldes blant annet disse faktorene:

- Eksporttallene for ubearbeidet aluminium har også med omsmeltet valseblokk av skrap fra halvfabrikatproduksjon, og støperilegeringer fra sekundærverk. Denne mengden har jeg ingen oversikt over.
- Materialstrømmen ut av støperiene samsvarer ikke med elektrolyseproduksjonen på grunn av varierende tilsats av legeringselementer.
- Holmestrand produserer valsede halvfabrikata av sekundærmetall og importert primærmetall. Andelen primærmetall som inngår i produksjonen hemmeligholdes.
- En del primærmetall går ikke til halvfabrikatproduksjon:
 - Stykkstøping hos Fundo (se vedlegg 2): 5000 tonn
 - Metallsvinn
 - Støping av primærmetall: $227000 * 0,01 = 2270$ tonn
 - Omsmelting av skrap fra HF-produksjon 1016 tonn
- En del bedrifter bruker importert støpelegering i støpeproduksjon (kommer inn under ubearbeidet aluminium i utenrikshandelstatistikken og registreres som primærmetall).

På grunn av usikkerheter og et for usikkert datagrunnlag har jeg ikke grunnlag for å gjennomføre en korrekt kryssjekking, og må basere meg på at oppgitte produksjonstall er korrekte.

7 Produksjon av ferdigvarer

7.1 Generelt

Ferdigvareindustrien benytter seg av halvfabrikata og støpte komponenter til produksjon av ferdigvarer, dvs produkter som i sin endelige form er klare for forbruk. En analyse av aluminiumstrømmen vil bli komplisert, fordi metallet inngår i et meget vidt spekter av produkter og vil dele seg i mange delstrømmer. Aluminium brukes i alt fra store konstruksjoner til elektriske ledere. Som regel inngår metallet i produkter sammensatt av flere materialer, og ofte kan det dreie seg om bare en liten del av en bedrifts råvarestrom.

I Norge er det et stort og ukjent antall bedrifter som bruker aluminium som innsatsfaktor i produksjonen. I dette kapitlet skal jeg kun ta for meg produksjon fra halvfabrikata. Produksjon av støpte komponenter blir beskrevet nærmere i kapittel 14. Materialflyten ved ferdigvareproduksjon fra halvfabrikata er grovt skissert i figur 7.1.

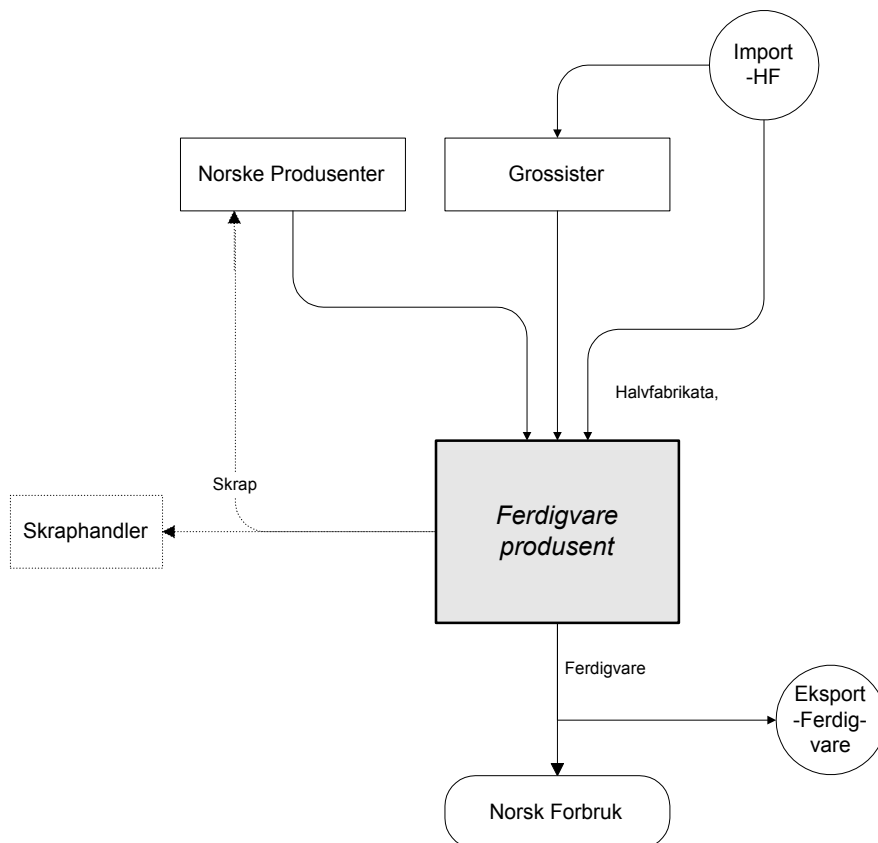


Fig. 7.1. Materialflyt for aluminium i ferdigvareproduksjon fra halvfabrikata

7.2 Datagrunnlag

Den totale mengden halvfabrikata som går til forbruk i norsk ferdigvareproduksjon er allerede beregnet i kapittel 6. Jeg har vurdert følgende kilder/metoder for å få oversikt over hvordan forbruket fordeler seg på forskjellige sektorer og de videre materialstrømmene:

- SSB Utenrikshandel- og Industristatistikk
- Intervju med aktørene
- Metalgesellschaft (1994) - Årlig «End-use»-statistikk for halvfabrikata i Norge
- Skanaluminium - «End-Use» statistikk for profiler og plater i Norden.

Som det fremgår av den følgende diskusjonen har jeg derimot hatt problemer med å bruke mange av disse kildene:

SSB Utenrikshandelstatistikk - Eksport av ferdigvare

Rene aluminiumvarer registreres i et eget varenummer (7600-serien), men dette vil bare dekke en liten del av materialstrømmen når det gjelder ferdigvarer. Som oftest inngår aluminium som del av et produkt som ikke registreres som aluminiumvare ved eksport. Varegruppene er for generelle til å kunne si noe om mengder aluminium som føres inn eller ut.

SSB Industristatistikk - Fordeling av forbruk på sektorer

Produksjonsstatistikken oppgir blant annet tall for forskjellige innsatsfaktorer i industrien.

- Den årlige produksjonsstatistikken er mangelfull og samler alle metaller i én kategori, slik at tallene vanskelig kan brukes til å estimere aluminiumforbruk.
- Med en del års mellomrom foretas et materialregnskap blant større norske bedrifter. Fra denne statistikken er det mulig å vurdere forbruket av produkter (registrert på varenummer) i forskjellige næringsgrupper. Problemet med en slik statistikk er at kun bedrifter med over 20 sysselsatte tas med, samt at det er fare for en viss dobbelttelling av produkter. Tall fra den siste undersøkelsen (1993) ble bestilt for varenumrene som omhandler aluminium (7600-serien), men på grunn av sykefravær ved SSB fikk jeg ikke tilsendt resultatene før like oppunder innlevering av oppgaven. Jeg rakk derfor ikke å vurdere tallene, men har lagt ved de ubehandlede resultatene i vedlegg 3 (1988/93).

Intervju med aktørene - Produksjon og markedsforhold

Det ble gjort forsøk på å kontakte de største produsentene for å samle informasjon om markedsforhold, men dette viste seg også å være vanskelig. På grunn av mange produkter og fragmenterte markeder er det få som har oversikt. Flere personer innen aluminiumsindustrien frarådet dessuten en slik metodikk - En kartlegging ville ta mer tid og ressurser enn det som er innenfor denne oppgavens ramme..

7.3 **Metode**

På bakgrunn av det manglende datagrunnlaget har jeg valgt å se på denne delen av aluminiumsyklusen i Norge som en «black box». Siden den inngående materialstrømmen er kjent er det likevel mulig å *anslå mengden av produksjonsskrap* som vil gå inn i det norske avfallssystemet (Logisk nok er disse mengdene uavhengig av om de ferdige produktene eksporteres eller ikke). Materialstrømmen av ferdigprodukter til norsk forbruk og har jeg ikke funnet grunnlag for å estimere⁹.

7.4 **Beskrivelse av markedet**

Det er vanlig å dele inn i følgende forbrukssektorer av halvfabrikata:

1. Transport
2. Bygg
3. Emballasje
4. Kontor
5. Mekanisk
6. Elektro
7. Annet

I tabell 7.1 på neste side har jeg satt sammen en oversikt over hovedprodukter og en del av hovedaktørene i Norge¹⁰. I vedlegg 2 har jeg beskrevet enkelte av disse bedriftene nærmere.

De største sektorene er bygg, emballasje, transport og elektro. Spesielt *transport-* og *byggsektoren* er uoversiktlige med mange små og mellomstore aktører. *Elektrosektoren* har også et stort antall aktører, men forbruket domineres av produksjonen av liner og kabler hos de store kabelprodusentene (ABB, HA-Conductors (vedlegg 2) og Alcatel). Hva som inngår av bedrifter i *emballasjesektoren* avhenger litt av definisjon. Hvis man bare regner med produksjon av vanlig forbruksemballasje finnes det bare to produsenter i Norge (Nordiska Tub og Skanem - se vedlegg 2). I statistikker inkluderes ofte produksjon av forskjellige typer spann og kar i denne sektoren.

⁹ I senere kapitler må jeg derfor bruke andre kilder for å anslå forbruk og genererte mengder avfall fra brukte ferdigvarer i Norge

¹⁰ Basert på intervjuer med bedrifter og leverandører av halvfabrikata

Tabell 7.1 Hovedgrupper og ferdigvareprodusenter

Forbrukssektor	Produktgruppe	Produkter	Aktører
Transport	Bildeler i aluminium	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Støtfangersystem ◊ Hjuloppheng, styrekoner ◊ Dørk/lemmer (Trailere) ◊ Felger (Støpes) 	<ul style="list-style-type: none"> ◊ HA Automotives ◊ Raufoss AS ◊ Hydrotrans ◊ HA- Fundo
	Transportmidler	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Karosserier (busser, tankbiler, utrykningskjøretøy) ◊ Skrog til hurtigbåter ◊ Innredning i togsett ◊ Produksjon av tog ◊ Skip 	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Vest Karosseri A/S, MoPro A.S ◊ Kværner Fjellstrand ◊ Vestfold Karosseri ◊ Kværner Moelven ◊ Kværner Mellem Karlsen Båtservice
Bygg	Byggevarer	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Vinduer ◊ Fasadeplater ◊ Takrenner 	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Rasmussen, Moi H-Vinduet Sørby, Stavanger ◊ HA Vik Verk ◊ Grøvik verk
	<i>Offshore:</i>	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Boligkvarterer ◊ Helikopterdekk ◊ Gangbroer ◊ Ventilasjonssystem 	<ul style="list-style-type: none"> ◊ HA Structures ◊ Maritime Aluminium ◊ Leirvik Sveis ◊ Flexit
Emballasje		<ul style="list-style-type: none"> ◊ Hermetikkbokser ◊ Tuber 	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Scanem ◊ Nordiska Tub
Kontor	Møbler	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Kontorstoler 	<ul style="list-style-type: none"> ◊ HÅG
Mekanisk		<ul style="list-style-type: none"> ◊ Rammeverk for elektronikk ◊ Kontrolltavler o.l. 	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Mange småfirmaer ◊ Eks: Johansen & Co Stansfabrikk
Elektrisk	Belysning:	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Lysarmaturer ◊ Skilt for belysning ◊ 	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Glamox ◊ Elektrovakuum i Halden
	Elektro	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Liner og kabler ◊ Transformatorer ◊ Kapslinger 	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Alcatel, ABB HA Conductor ◊ ABB Kraft AS ◊ Hydro Aluminium Hydal a.s
	Annet	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Parabolere 	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Norsat Røros ◊ Fibo
Annet		<ul style="list-style-type: none"> ◊ Gryter ◊ Bilskilt ◊ Veiskilt ◊ etc. 	<ul style="list-style-type: none"> ◊ Hackman ◊ Åstvedt industrier ◊ Norskilt, Forus Euroskilt, Vingrom

7.5 Forbruk av halvfabrikata

I kapittel 6 kom det frem at rundt 76500 tonn halvfabrikata gikk til forbruk i norske ferdigvarebedrifter. I det følgende skal jeg forsøke å vurdere hvordan forbruket av halvfabrikata fordeler seg på forskjellige forbrukssektorer..

Figur 7.2 viser forbruksfordelingen av profiler og plater i *Norden* (Skandaluminium). Det er vanskelig å overføre disse tallene direkte til norske forhold på grunn av markedsforskjellene i de nordiske landene. Spesielt for Norge er for eksempel en stor offshore- og båtindustri.

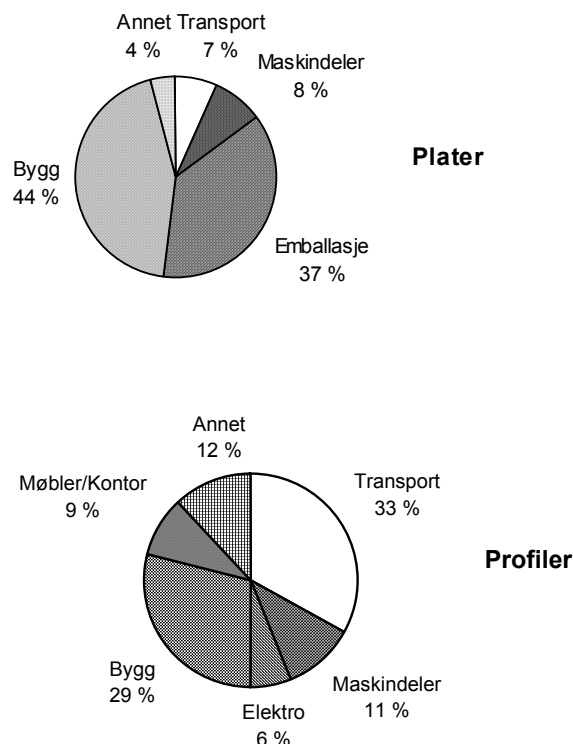


Fig.7.2. Sluttforbruk av profiler og plater i Norden, 1995 (Skandaluminium)

Hydro Aluminium dekker 60% av profilmarkedet i Norge, og oppgir at de største mengdene *profiler* i Norge går til byggsektoren (50-55%) og transport (25-30%). Platemarkedet dekkes i større grad av grossister og er mer uoversiktlig.

Basert på innsamlede opplysninger fra aluminiumprodusentene har Metalgesellschaft i Tyskland årlig gitt ut såkalte «End-use statistics» eller «sluttbruksstatistikker» for halvfabrikata produsert i forskjellige land (Metalgesellschaft 1994). Disse statistikkene viser forbruksfordelingen for *innenlandsprodusert* halvfabrikata, importert halvfabrikata tas med andre ord ikke med. Statistikken for Norge er vist i figur 7.3 (Tallmateriale i vedlegg 3).

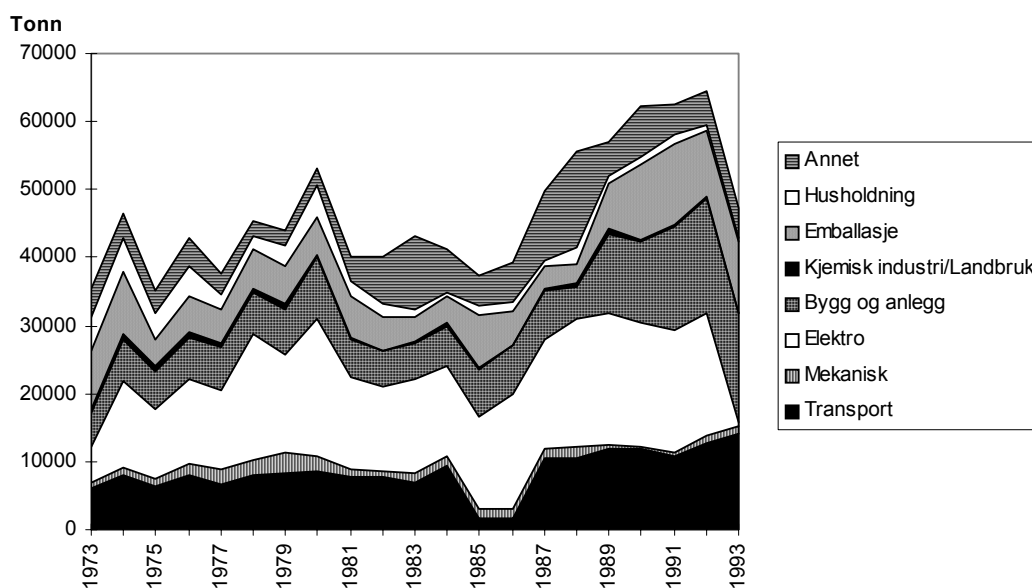


Fig. 7.3. Sluttforbruk, norskprodusert halvfabrikata

Den plutselige nedgangen i forbruk i elektrosektoren i 1993 er urealistisk. Forbruket i denne sektoren består hovedsakelig av aluminium tråd til videreføring av liner og kabler, og her har nivået ligget jevnt mellom 18-20000 tonn de siste årene (kapittel 6.4.2).

For kontroll har jeg summert tallene og sammenliknet (med og uten tillegg av eksporttall) med de samlede produksjons- og forbrukstallene som ble beregnet for Norge i kapittel 6. Figur 7.4 viser resultatene.

- Figuren viser bra samsvar mellom den totale norske produksjonen og oppgitt sluttbruk + eksport, med unntak av de siste par årene. Her antyder Metalgesellschaft betydelig større samlede produksjonstall.
- Differansen mellom det totale norske forbruket av halvfabrikata og sluttbrukstatistikken for norsk produksjon skal ideelt sett tilsvare det som dekkes av import fra utlandet. For 1992 indikerer dette at 9000 tonn halvfabrikata ble importert for å dekke det norske forbruket. Kontroll med importstatistikken viser at den reelle importen av halvfabrikata i 1992 var på 23000 tonn, med andre ord et betydelig avvik. Figur 7.5 viser eksporttallene fra det tyske datamaterialet og den norske utenrikshandelstatistikken. Det fremgår at disse viser avvik over tid - en indikasjon på usikkerhet i det tyske tallmaterialet (hvis man regner SSB sine statistikker som sikre).

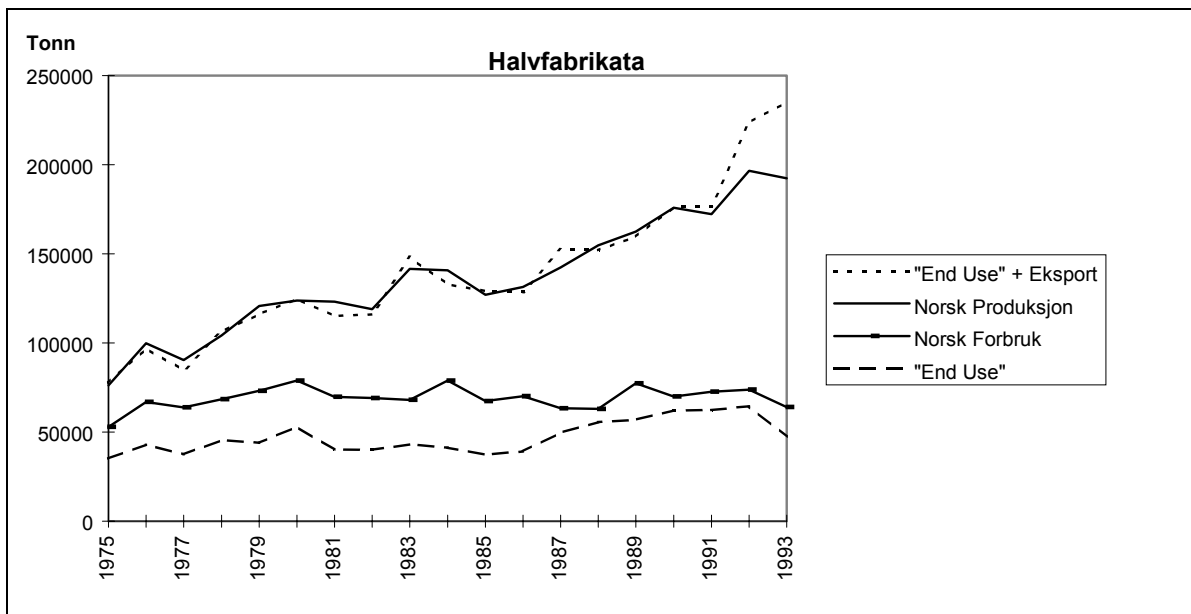


Fig. 7.4 Norsk produksjon/forbruk (Skandaluminium, SSB). Og "End Use" av norskprodusert halvfabrikata (Metalgesellschaft 1994)



Fig.7.5. SSB(Eksport av halvfabrikata) og Metalgesellschaft (norsk produksjon til eksport).

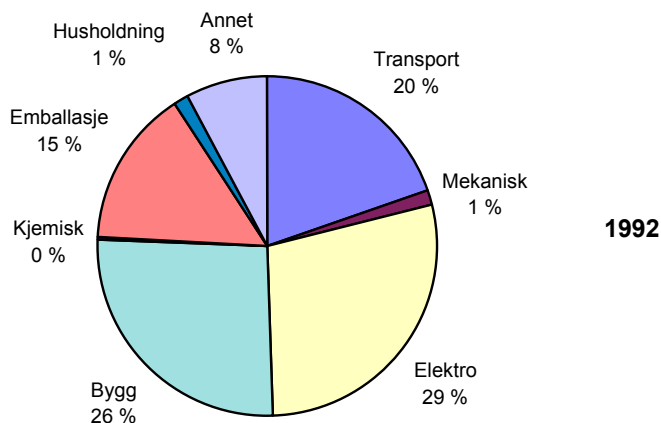


Fig. 7.6 Forbruksfordeling av norskprodusert halvfabrikata i sektorer, 1992 (Metalgesellschaft 1994).

Figur 7.6 viser sluttforbruk av det som oppgis som totalt 64.600 tonn norskprodusert halvfabrikata til norsk forbruk i 1992. Import vil sannsynligvis gjøre at transport og bygg beslaglegger mer av totalforbruket. Det produseres for eksempel ikke plater med tykkelse over 4 mm i Norge, slik at det må importeres plater som spesielt går til skips- og offshoreprodusenter.

7.6 Produksjonskrapp

7.6.1 Generelt om håndtering og materialstrømmer

Ved produksjonen av ferdigvarer vil det falle en del skrap. Bearbeiding og tilpassing av halvfabrikata genererer kapp og spon med kjent legeringssammensetning. Som regel er det snakk om rene og homogene skrapmengder, men av og til er metallet oljetilgriset eller har lakkerte overflate, slik at det kreves spesielt utstyrte ovner ved omsmelting (forsvarlig behandling av røykgassene).

Produksjonskrapp av aluminium blir normalt alltid tatt hånd om på grunn av den høye verdien på skrapmarkedet. Vanligvis samles metallet i egne containere, som samles inn av skraphandlere. Skrap med blandede aluminiumlegeringer gir lavere pris enn homogent skrap, slik at bedrifter med et høyt forbruk av aluminium vanligvis sorterer metallet etter legering. Blant bedrifter med mindre produksjon er det derimot vanlig praksis å la alt aluminiumskrap gå i en felles fraksjon.

Hvis det er snakk om store kvanta med god kvalitet tar Hydro produksjonskrapp i retur fra kundene. Siden kvaliteten er kjent, kan slikt skrap gå direkte til omsmelting ved støperiene. I følge Hydro er det derimot snakk om små mengder som går i en slik lukket sløyfe, og det er heller ikke selvsagt at ferdigvarebedrifter innen konsernet fører sitt skrap tilbake til intern resirkulering. Som regel forholder man seg til hvilke priser som

eksisterer på markedet. I alle fall finnes det intet slikt retursystem for bedrifter som benytter seg av importert halvfabrikata. Det meste aluminiumskrap går derfor til behandling via skraphandlere.

7.6.2 Estimerte mengder produksjonskrap fra videreføring av halvfabrikata

Beregningsgrunnlag

Skrapmengdene vil variere med type produksjon og halvfabrikat. Rink (1994) gir følgende *gjennomsnittstall* for ferdigvareproduksjon fra halvfabrikata:

- Produksjon fra valsede produkter: 27-30%
- Produksjon fra pressede produkter: 7-10%

Det vil være stor variasjon rundt disse tallene, spesielt for produksjon fra valsede produkter.

Valsede produkter

Tallene for valsede produkter kan være for høye for norske forhold. Folieproduksjon (over 50% skrap) er her tatt med i beregningen, og denne type produksjon har vi ikke i Norge. Dessuten har jeg fått oppgitt lavere tall i intervjuer med bedrifter. Men jeg har ikke nok empiri til å gi et noenlunde dekkende estimat (mange bruksområder og aktører). I mine beregninger regner jeg med en gjennomsnittlig skrapavgang på 27%.

Pressede produkter

Skrapprosenten som oppgis for pressede produkter samsvarer godt med tall jeg har fått oppgitt i intervjuer. Jeg benytter meg av en skrapavgang på 10%. Byggsektoren har 55% av profilmarkedet i Norge, og ved intervjuer med aktører i denne bransjen har jeg fått bekreftet at dette er et godt estimat.

Tråd

Skrapprosenten vil her være lavere (produksjon av liner og kabler). Det vil oppstå en del avkapp i produksjonen, i størrelsesorden 3-5%. Jeg benytter meg av 4% for beregning.

Beregning

Tabell 7.2 viser beregnede mengder produksjonskrap av forskjellige typer halvfabrikata. Med antakelsene som ble gjort har jeg kommet frem til at ca. 11.000 tonn nytt avfall faller i ferdigvareproduksjon i Norge årlig. Det meste av dette vil omsettes videre via skraphandlere, men noe vil behandles i Hydro Aluminiums interne skrapsystem.

Tabell 7.2. Estimerte mengder produksjonskrap i Norge

	Forbruk (tonn)	Skrapavgang	Produksjonskrap (tonn)
Plater	26206	27%	7075
Profiler	31086	10%	3108
Tråd	19124	4%	764
Totalt			10949

Innledende kommentar til analysen av bruksfasen

Som det gikk frem av diskusjonen om tallmaterial har det her ikke vært mulig å følge materialstrømmen videre fra ferdigvareproduksjon til norsk forbruk. Med god informasjon på dette punktet ville det vært mulig å si noe om mengdene brukt aluminium, både i dag og årene fremover, ved å relatere til gjennomsnittlige *levetider* for produkter i forskjellige produktkategorier.

I stedet har det vært nødvendig å søke etter alternative datakilder for å estimere forbruk og avfallsmengder. Jeg skal i det følgende ta for meg elementer i de største forbruksgruppene av aluminium:

- Transport (Kap. 8)
- Emballasje (Kap. 9)
- Elektro og Elektronikk (Kap. 10)
- Bygg (Kap 11)

Enkelte deler av materialstrømmen vil ikke bli dekket ved denne inndelingen (f.eks. kasserte møbler), og jeg kommer heller ikke til å dekke alle elementene i de forskjellige sektorene. Jeg har lagt vekt på å beskrive produktene med størst innhold av aluminium og gjennomstrømningshastighet gjennom systemet (jfr. Ayres argumenter om at et av hovedproblemene ved det industrielle systemet er knyttet til den store gjennomstrømningshastigheten av materialer sammenliknet med de naturlige systemene (kapittel 2.2.3))

8. Bruksfasen: Transportsektoren

8.1 Generelt

Transportsektoren er i dag den sektoren som forbruker mest aluminium på verdensbasis. I Europa står den for 29% av det samlede aluminiumforbruket (Hydro Aluminium 1993). Den drivende faktoren for bruk av aluminium i denne sektoren er lav vekt og høy styrke i forhold til vekten.

Det er spesielt bilindustrien som i dag forbruker store mengder aluminium. Metallet har dessuten alltid vært det dominerende konstruksjonsmaterialet i fly, og i de senere årene har det også blitt utstrakt brukt f.eks. i båter og tog. Tabell 8.1 viser eksempler på dagens bruk av aluminium innen transportsektoren.

Tabell 8.1 Eksempler på bruk av aluminium i transportsektoren

<i>Fly</i>	Bærende konstruksjoner, ytre kledning, kabler og elektronikk
<i>Tog</i>	Karosseri, setekonstruksjoner, interiør
<i>Biler</i>	Bærende konstruksjoner, motorblokker, stempler, støtfangere, etc.
<i>Busser og lastebiler</i>	Overbygg, lasteplan, drivstofftanker
<i>Båter</i>	Overbygg, skrog (hurtigbåter)

Fly og skip går generelt ikke til gjenvinning i Norge, og jeg skal derfor ikke gå nærmere inn på disse områdene. Mindre båter, som f.eks. fiskeskøyter, går ved endt livsløp til en av to bedriftene som hugger båter i Norge i dag (Brødrene Anda i Stavanger er beskrevet i vedlegg 2). Mengden aluminium i denne materialstrømmen oppgis derimot som meget liten.

Hovedforbruket av aluminium innenfor transportsektoren skjer i bilindustrien, og det er også her de største skrapmengdene vil oppstå. Jeg skal i det følgende gå nærmere inn på mengdene aluminium som føres inn og ender som brukt skrap som følge av bilbruk i Norge.

8.2 Datagrunnlag

Opplysningsrådet for veitrafikken samler data fra SSB og veidirektoratet og oppgir data av forskjellig art for registrerte kjøretøyer, import og eksport etc.

8.3 Aluminium i Biler

Bruk av aluminium

Oljekrisen i 70-årene ble startskuddet for en utstrakt bruk av lette metaller i biler. Hensikten var å forbedre bilenes drivstoffsøkonomi ved å redusere kjøretøyenes vekt. Med introduksjonen av skjerpede miljøkrav noen år etter ble denne trenden forsterket.

Nå ønskes lettere biler også for å redusere utslippene av gassene CO₂, NO_x, og SO_x fra bilparken.

Aluminium har som regel blitt innført i kjøretøyer på en "del for del"-basis, med varierende hell. Aluminium *kan* i dag konkurrere med stål for bruk i de fleste mekaniske og strukturelle komponenter, men krav til kostnadseffektivitet har vært en begrensende faktor. Substitusjonen har vært mest effektiv i de anvendelsene hvor aluminiumets spesielle egenskaper gjør det mer attraktivt i bruk enn stål. Varmeledningsevne, vekt/styrke-forhold og formbarhet har utvidet bruken av aluminium fra motor, drivverk og airconditionanlegg til komponenter i hjuloppheng, styring, bremses og karosseri (Sellesbakk 1993). Dette har ført til en generell økning av aluminiumsinnholdet i biler over tid, som vist i figur 8.1.



Fig. 8.1 Utvikling av aluminiuminnhold i biler (Rink 1994)

Dagens personbil består av 60-70 kg aluminium, omtrent 6% av bilens totale vekt. Denne mengden fordeler seg omtrent som vist i tabell 8.1.

Tabell 8.1. Fordeling av aluminium i en moderne bil (Alker 1992).

Bildel	Fordeling av Al (%)	Støpelegeringer (%)	Smilegeringer (%)
Understell, hjuloppheng etc.	30	90	10
Motor, drivverk	50	90	10
Karosseri	15	20	80
Annet	5	40	60
Totalt	100	85	15

Over 85 % av aluminium brukt i dagens biler består av støpelegeringer, oftest basert på sekunderaluminium. Det er nettopp bilindustrien som er den største avtakeren av sekundære støpelegeringer i Europa. Gjenvunnet aluminium fra bilvrak går som regel tilbake til gjenvinning og nye bilkomponenter.

Det brukes mer aluminium i tyngre kjøretøy, bl.a. på grunn av ønsket om høyere lovlig lasteevne. I lastebiler, trailere og busser finner man ofte aluminiumsdeler f.eks. i karosseri og drivstofftanker. Men mengdene varierer meget fra produsent til produsent og det er vanskelig å si noe generelt om mengdene.

8.4 Innsamling og gjenvinning

Før 1978 fantes det ingen organisert innsamling og gjenvinning av bilvrak, og forholdsvis få bilvrak ble samlet inn. Returprosenten lå et sted mellom 25 og 50%. Myndighetene innførte vrakpant for å fjerne bilvrakene fra veiene, og det ble oppnådd en gjennomsnittlig returandel i perioden 1978-1991 på 83 %. I dag leveres praktisk talt alle vrak inn, men ikke alle går til materialgjenvinning. Gjenvinningsandelen ligger på rundt 75% i følge SFT.

Innsamlingssystemet består av et nettverk på ca.130 oppsamlingsplasser og 3 fragmenteringsanlegg på landsbasis (fig. 8.2). Prosessene knyttet til denne materialstrømmen er nærmere beskrevet i vedlegg 4.

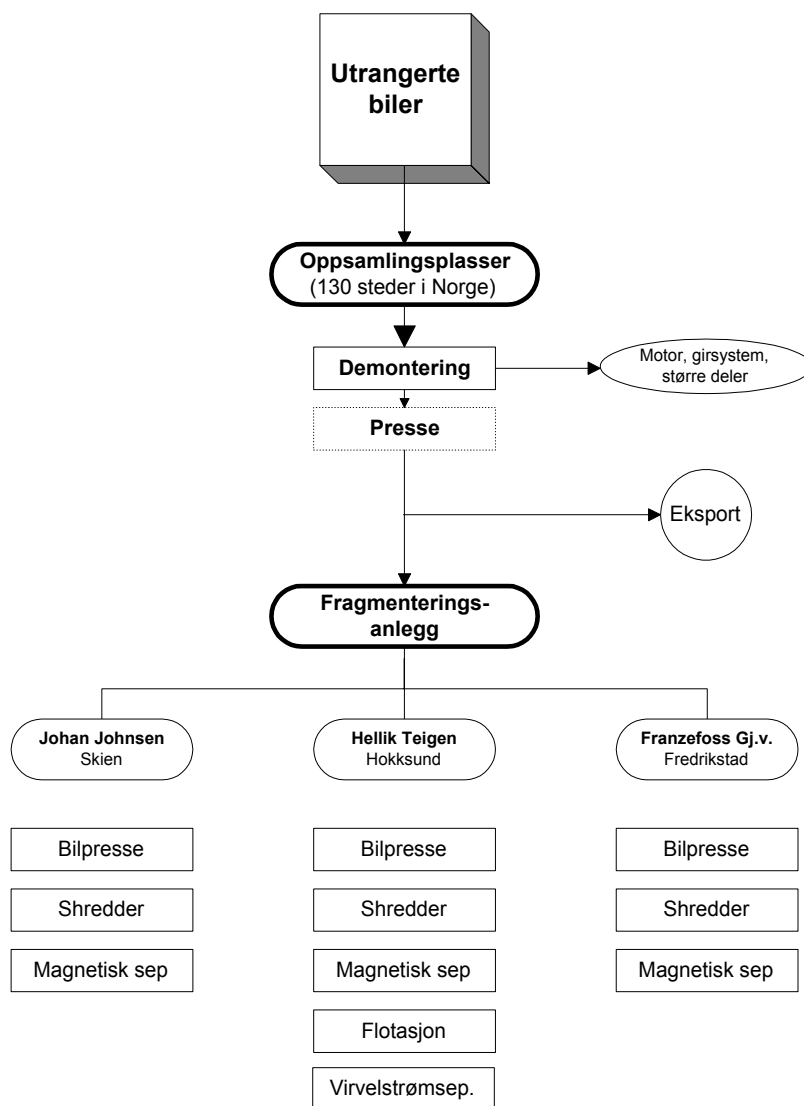


Fig.8.2 Innsamlingsystemet for bilvrak i Norge.

Oppsamlingsplasser

Ved demonteringen på oppsamlingsplassene tas ca. 30% av aluminiumsinnholdet ut sammen med bestandeler som motor og radiatorer (se vedlegg). Komponentene som tas ut her brukes enten om igjen eller shreds separat. Vrakresten fraktes videre til fragmenteringsanlegg enten i Norge eller i utlandet. I dag eksporteres bilvrakene fra store deler av landet (fra Nord Norge-Telemark) etter at myndighetene åpnet for eksport i 1994 for å unngå monopolsituasjoner. I 1996 ble bilvrakene fordelt omtrent slik for videre behandling:

- Hellikk Teigen: 45%
- Franzefoss Gjenvinning: 5%
- Eksport: 50%

Fragmenteringsanleggene

Ved fragmenteringsanleggene knuses bilvrakene til mindre skrapbiter, eller fragmenter, i såkalte "shreddere". På denne måten oppnås en friknusing av verdifulle bestanddeler, slik at de kan separeres ut i etterkant ved hjelp av forskjellige prosessstrinn (vedlegg 2).

Materialflyten gjennom fragmenteringsanleggene er illustrert i figur 8.3.

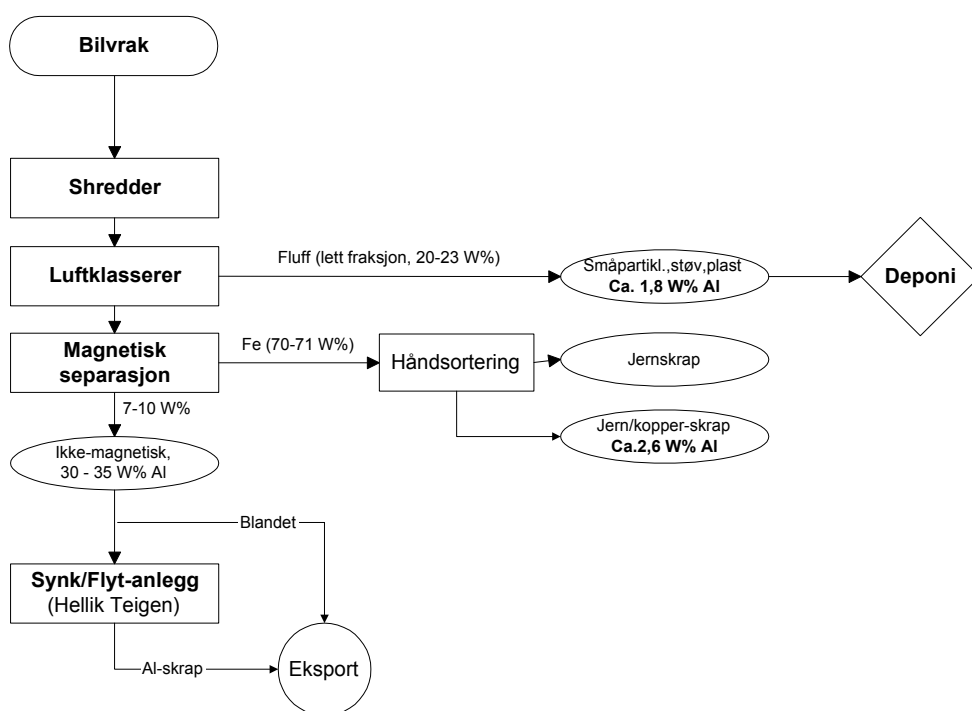


Fig.8.3 Prosessgang og materialflyt (Al) ved fragmenteringsanleggene.

Massen i et demontert bilvrak (ca. 721 kg) fordeler seg på tre fraksjoner etter shreddeprosessen:

- *“Fluff” (20-21%):* Lette bestanddeler som støv, plast o.l. Denne fraksjonen går til deponi i Norge.
- *Magnetisk fraksjon (70%):* Hovedsakelig jern. Går til omsmelting ved smelteverket i Mo i Rana
- *Umagnetisk fraksjon (9-10%):* ikke-metallisk skrap og umagnetiske metaller.

Rundt 82 % av aluminiumet går ut i den umagnetiske resten (NFM - Non Ferrous Metals). Avhengig av de opprinnelige mengdene i bilvraket fordeler aluminium seg på de forskjellige fraksjonene som vist i tabell 8.2.

Tabell 8.2. *Fordeling av aluminium i fraksjonene etter shredding av en demontert gjennomsnittsbil bil produsert i perioden 1970-75 og perioden 1975-80. (Umwelt und Energie Consult 1990)*

	Produksjon 1970-75		Produksjon 1975-80	
	Al (kg)	% av tot. Al	Al (kg)	% av tot. Al
<i>Magnetisk fraksjon</i>	0,1	0,9	0,1	0,5
<i>Fluff</i>	3,0	17,5	3,0	16,4
<i>NFM</i>	13,8	81,6	15,2	83,1
<i>Demontert Bilvrak</i>	16,9	100,0	18,3	100,0

En del småpartikler av aluminium går ut med fluff-fraksjonen (16-17%), mens jernfraksjonen tar med seg mindre mengder. Dette er direkte svinn i prosessene.

NFM må foredles videre ved hjelp av spesielle separasjonsprosesser, men som det går frem av figur 8.2 er det bare Hellik Teigen av aktørene i Norge som har denne type utstyr. Franzefoss eksporterer disse mengdene i ubehandlet form til markedene i Europa.

Hellik Teigen separerer metallfraksjonene i NFM-fraksjonen blant annet ved hjelp av synk-flyt anlegg (separasjon basert på forskjell i densitet) og virvelstrømsseparasjon (basert på forskjeller i konduktivitet). Metallet eksporteres etter sortering. Prisen som oppnås for skrapet på markedet øker betraktelig som et resultat av denne forbehandlingen. Det kan være snakk om betydelige verdier: Salget av utsortert aluminium dekker alene ca. 25% av utgiftene forbundet med fragmenteringsprosessen (Thomas og Wirtz 1994)

Ved smelteverk i utlandet smeltes metallet om og går som regel tilbake i støpeprodukter i bilindustrien.

8.4.1 Beregninger

Tabell 8.3 oppsummerer tallene så langt. Jeg har antatt at alle biler demonteres, selv om de ikke sendes til fragmentering (25%). Beregningene viser at rundt 73% av aluminium i bilvrak resirkuleres gjennom dagens innsamlingsystem i Norge.

Tabell 8.3. Gjenvinning og tap av aluminium i innsamlingsystemet for bilvrak i Norge.

Enhet	Aktivitet	Effektivitet (%)	Gjenvunnet Al (%)	Tap Al (%)
Oppsamling	Innsamling (vrak)	100		
	Demontering (Al)	30	30,0	
	Materialgjenvinning (vrak)	75		17,5
Shredder	Shredding (Al)	82	43,1	9,4
Totalt:			73,1	26,9

Figur 8.4 viser antall bilvrak som har blitt levert mot pant fra ordningen startet i 1978.

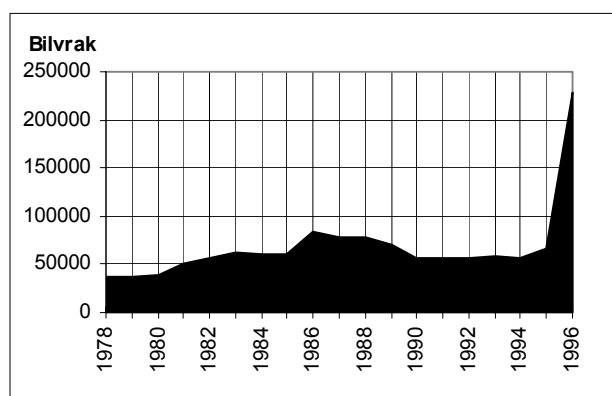


Fig.8.4 Bilvrak levert mot pant, 1978-1996 (SFT)

Snittverdien for innleverte bilvrak i perioden 1993-95 var ca. 61.000, mens tallet i 1996 skjøt opp til 229.000. Den høye verdien skyldtes en midlertidig kampanje med høy pant på eldre bilvrak for å få dem ut av systemet. Denne situasjonen var spesiell og det utbetales nå vanlig vrakpant igjen. Det er sannsynlig at antall vrak vil gå ned de nærmeste årene i forhold til årene før 1996, som et resultat av kampanjen. Men her benytter jeg meg av 1995 som normalår da det i skrivende stund ikke finnes tall for 1997 og vrakingen vil ta seg opp igjen etterhvert som flere biler når vrakalder.

Den gjennomsnittlige alderen ved vraking har ligget på 17,4 de fire siste årene (OFV 1997). Rundt 1978-1980 var det gjennomsnittlige aluminiuminnholdet i personbiler 29,8 kg (Umwelt- und energie-consult).

Det er nå mulig å anslå hvor store mengder aluminium som går gjennom innsamlingsystemet i Norge (1995)

- Total mengde aluminium: $61.000 \text{ (enheter)} * 29.8 \text{ (kg Al)} \Rightarrow 1818 \text{ tonn}$
- Gjenvunnet mengde (73%): $\Rightarrow 1329 \text{ tonn}$

8.4.2 Videre utvikling

Figurene 8.5 og 8.6 viser utviklingen av bilbestanden for forskjellige typer kjøretøy (merk skalaforskjell).

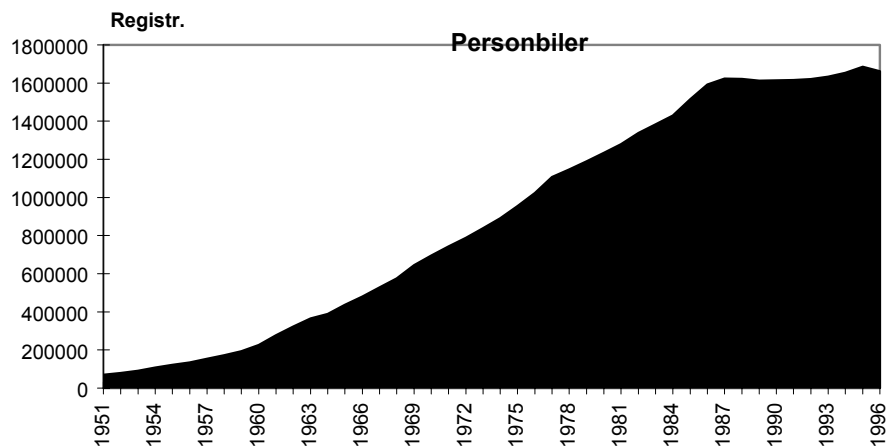


Fig. 8.5. Bestand av personbiler, 1961-1996

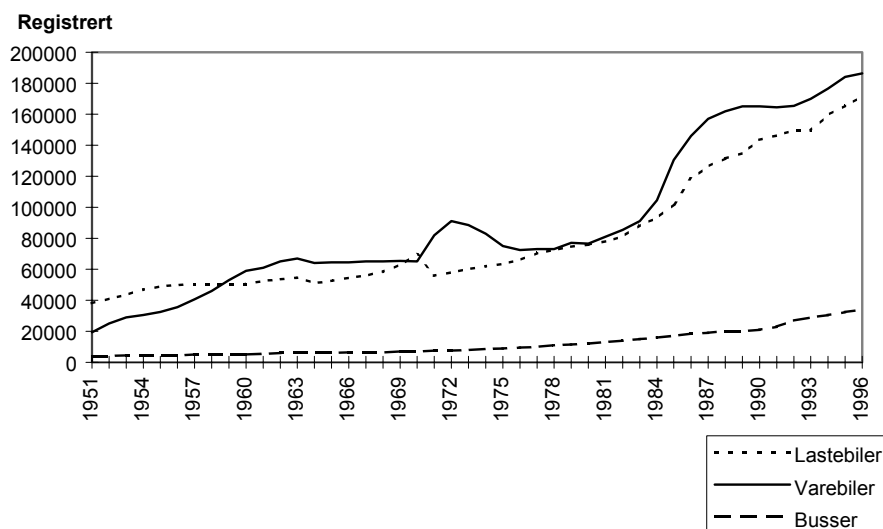


Fig. 8.6. Bestand av lastebiler, varebiler og busser, 1961-1996

Figur 8.5 viser at vekstmarkedet for personbiler har vært "mettet" en stund. Siden 1988 har det vært avregistrert omtrent like mange biler som det registreres. Dette fremgår også av figur 8.7, på neste side, hvor biler til skrapbehandling er sammenstilt med nyregistrerte biler

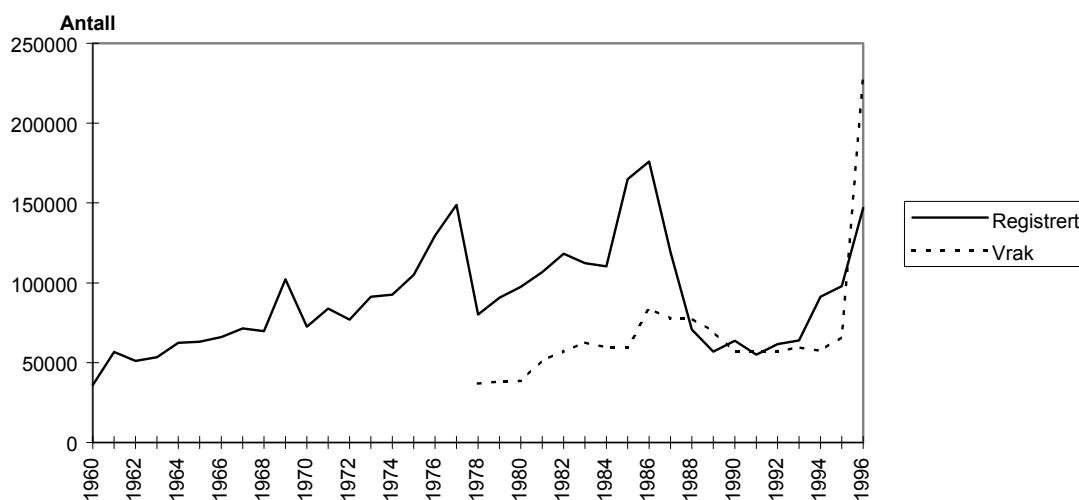


Fig. 8.7. Førstegangsregistrerte personbiler (nye og bruktimporterte) og bilvrak¹

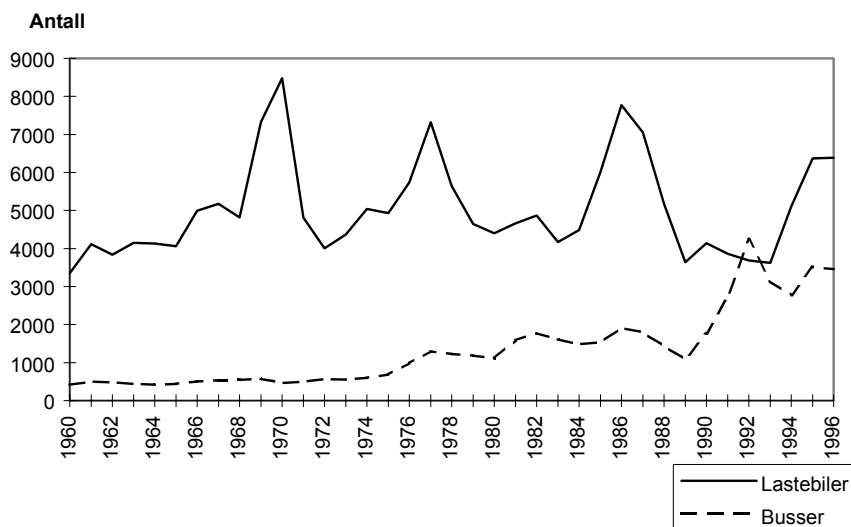


Fig. 8.8. Førstegangsregistrerte nye og bruktimporterte busser og lastebiler.

I figur 8.7 kommer det tydelig hvordan den økonomiske lavkonjunkturen på begynnelsen av 90-årene førte til betydelig nedgang i nyregistreringer. Rundt 1977 var det en topp i nyregistrerte biler, som i stor grad var i omløp utover 90-tallet på grunn av det lave nybilsalget. Gjennomsnittsalderen for de store mengdene bilvrak som ble skrapet i 1996 var 17.4 år, med andre ord var det store deler av "toppen" rundt 1977 som ble samlet inn. Frem til 1988 var det en tilsvarende økning i nybilsalget, og i

¹ Inkluderer også varebiler

kombinasjon med ny oppgang de siste årene vil dette føre til at mengdene bilvrak vil øke i årene fremover.

Etter 1980 økte også mengdene aluminium i biler betraktelig. Fra et gjennomsnittlig aluminiumsinnhold på 29.8% i perioden 1975-80 var det tilsvarende tallet 45.3 for biler produsert i perioden 1980-90 (*Umwelt und Energie Consult 1990*).

Mengdene aluminium til gjenvinning vil derfor øke etterhvert som disse bilene går ut av bruk.

Usikkerhet: Busser og Lastebiler

Busser og lastebiler kommer utenom vrakpantordningen, og det er usikkert hvor stor del av disse som kasseres og resirkuleres.

Som oftest er det snakk om små gjenvinningsbedrifter som hugger opp og selger verdifulle metallfraksjoner til de store skrapgrossistene. Problemet ved gjenvinning er at det oppstår store mengder skrot som må gå på deponi, og høye deponeringsavgiftene bidrar til at det i liten grad lønner seg å gjenvinne disse kjøretøyene. Det er ikke umulig at det forekommer en del "svart" hugging, og avfall på avveie. Aktører jeg har vært i kontakt med etterlyser en vrakpantordning også for denne kategorien for finansiering av en forsvarlig sluttbehandling.

De fleste eldre bussene i systemet har stort sett karosseri av stål, og antakelig er de totale mengdene aluminium i denne gruppen små i forhold til det som finnes i person- og varebiler. I nyere busser er det større mengder aluminium, og disse mengdene vil sannsynligvis fanges opp i resirkuleringssystemet etterhvert som kjøretøyene skrapes på grunn av den tilsvarende økte skrapverdien aluminiumet representerer.

9. Bruksfasen: Emballasje

9.1 *Generelt*

Aluminiumets egenskaper gjør at det egner seg godt som emballasjematerial. Fremfor alt er det metallens barriere-egenskaper som kommer til nytte: Aluminium har en god evne til å forhindre lys, fuktighet, lukter og aroma i å trenge igjennom (Thundal 1991). Aluminiumsemballasje er dessuten lett, tar liten plass, lett og forme og er uknuselig. Disse faktorene har gjort at emballasjesektoren blant de aluminiumforbrukssektorene med sterkest vekst i Europa, selv om aluminium møter konkurranse fra andre materialer som for eksempel glass og plast.

Også til emballasjeformål kan muligens bruk av aluminium forsvares fra et energisynspunkt, tross den høye energiintensiteten. Lav transportvekt gir lavere energiforbruk ved distribusjon og eventuell innsamling av avfall. En vurdering av miljøeffektivitet kan bare vurderes ut fra en LCA-analyse.

Eksempler på emballasjetyper hvor det er vanlig å bruke aluminium:

- Drikkevarebokser
- Tuber
- Hermetikkbokser
- Former og beger
- Folie (som ren aluminium og som aluminium/plast-laminater)
- Flaskekapsler
- Aerosolbokser

9.2 *Datagrunnlag*

Man har hatt liten kunnskap om hvor mye emballasje som faktisk er i sirkulasjon. Bildet blir komplisert fordi store mengder emballasje importeres og eksporteres sammen med emballerte produkter (transportemballasje) uten å bli registrert. Det har vært gjennomført to undersøkelser de siste årene hvor man forsøker å estimere det reelle forbruket av emballasje i Norge.

- I 1994 utførte Matforsk (1994) en undersøkelse av forskjellige typer emballasjemengder (1991) på oppdrag fra Nordisk Ministerråd og Rendan AS (Danish Resource Management Centre). Undersøkelsen var basert på produksjon-, import- og eksportstatistikker fra SSB, samt i mindre grad innhentede opplysninger fra produsenter og aktører i materialkjeden.
- På samme tid opprettet miljøverndepartementet en prosjektgruppe for kartlegging av material- og avfallstrømmene knyttet til emballasjesektoren (Miljøverndepartementet 1995). Prosjektgruppen bestod av representanter fra handel, emballasjebrukere, råvareleverandører, emballasjeprodusenter og

gjenvinningsindustri, og resultatene ble brukt som grunnlag for forhandlingene rundt det nye materialselskapet. Undersøkelsen var basert på import- og eksportstatistikker og industriens egne erfaringer.

Matforsk sin undersøkelse omfattet alle typer aluminiumsemballasje, inklusive tanker, kar og gassbeholdere av aluminium. Men jeg har funnet det vanskelig å bruke mange av resultatene. Bakgrunns materialet blir ikke oppgitt slik at det er vanskelig å kontrollere data og dele inn i forskjellige emballasjetyper, og tallene er dessuten heftet med usikkerhet på grunn av mangelfulle produksjonsstatistikker fra SSB.

Miljøverndepartementets prosjektgruppe behandlet kun forbruksemballasje som tuber, hermetikk og aerosolbokser. Resultatene avviker noe fra *Matforsk*-undersøkelsen, og jeg velger å bruke prosjektgruppens tall der dette er mulig fordi disse virker pålitelige.

9.3 **Norsk forbruk**

9.3.1 **Drikkebokser**

Det aller største enkeltproduktet i internasjonal sammenheng er aluminiumboksen, som i mange land nesten fullstendig har substituert blikk og tinn i øl- og mineralvannbokser. I USA ble det i 1988 anslått at UBC (Used Beverage Cans) utgjorde hele 60% av de samlede mengdene brukt aluminiumskrap som oppstod hvert år. Her tillater innsamlingssystemer metallet i boksene å gå i en tilnærmet lukket krets - det materialgjenvinnes kontinuerlig til nye bokser. I 1988 var resirkuleringsgraden for aluminiumsbokser rundt 60% i USA (Ytterås 1996).

Her hjemme har ikke bruken av aluminiumsbokser slått igjennom på samme måte som i de fleste andre land. Mens Sverige omsatte 835 millioner aluminiumsbokser i 1996, var det samlede forbruket i Island og Norge ca. 40 millioner enheter, i følge en undersøkelse av EAA (1997). Resirkuleringsgraden oppgis i denne undersøkelsen som rundt 80%, et tall som høyst sannsynlig er for stort hvis man ser på Norge isolert. Det har ikke eksistert offentlige innsamlingssystemer for drikkebokser her i landet, men det er under planlegging (se under). En viss andel blir allerede resirkulert fordi noe av omsetningen skjer innenfor systemer med rutiner for innsamling: Flyselskapene som opererer i Norge selger for eksempel brukte aluminiumsbokser til skrapgrossister.

All boks som forbrukes blir importert. Det produseres ikke drikkebokser i Norge. Derfor er det mulig å få et reelt overslag over forbruket fra Statistisk Sentralbyrås importstatistikker. I 1994 ble totalt 14.673.000 bokser med øl og forskjellige typer mineralvann ført inn i landet (Miljøverndepartementet 1995). Med en aluminiumsvekt på rundt 17 gram pr. boks utgjør dette et forbruk på 249,4 tonn.

9.2.2 Annen forbruksemballasje

Det er knyttet et større forbruk til andre typer aluminiumsemballasje i Norge. Dette dreier seg for det meste om vanlige forbruksvarer i husholdningene som aluminiumsfolie, hermetikkbokser og tuber - såkalt *forbruksemballasje*.

Hermetikkbokser, tuber, former og aerosolbokser

Prosjektgruppens hovedtall for forbruksemballasje av aluminium i er gjengitt i figur 9.1. Tallene for eksport og salg av produksjonsskrap er basert på intervjuer med de aktuelle bedriftene (vedlegg 2).

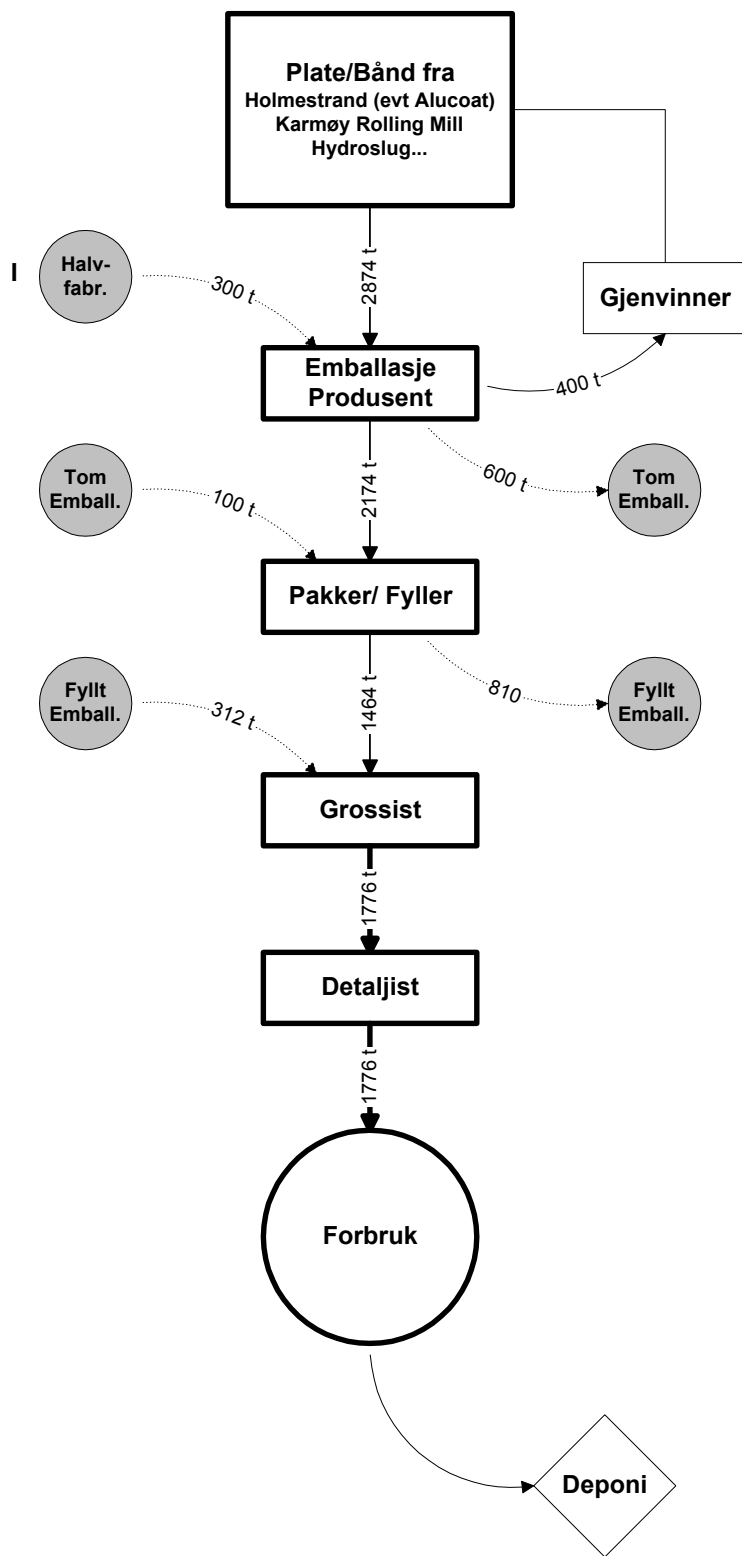


Fig.9.1 Materialflyten av aluminium forbruksemballasje i Norge, 1994. Hermetikkbokser, former, aerosolbokser og tuber (Miljøverndepartementet 1995, Bedriftsopplysninger. Tallmateriale i vedlegg 3).

Figuren viser at ca. 1776 tonn aluminium går til forbruk hvert år. I mangel av innsamlingssystemer har disse mengdene frem til i dag gått til fyllplasser eller til forsøpling i miljøet.

Aluminiumsfolie

Aluminiumsfolie ble ikke tatt med i prosjektgruppens undersøkelse, fordi mye av denne typen emballasje ble regnet som uaktuelt å resirkulere. På grunn av den store overflaten pr vektenhet gir folie høyt smeltetap i konvensjonelle smelteovner. I tillegg kombineres aluminium ofte med andre typer materialer i laminatfolier, noe som gjør gjenvinning enda vanskeligere. Aluminium har en brennverdi som kan sammenliknes med kull, og det regnes som mer samfunnsnyttig å la det meste av aluminiumsfolien gå til forbrenningsanleggene med annet husholdningsavfall og utnytte den potensielle energien.

I likhet med aluminiumsbokser produseres heller ikke aluminiumsfolie i Norge, slik at forbruket *kan* estimeres ut fra import- og eksportstatistikk. Men det er vanskelig å forholde seg til tallene. Aluminium importeres som ren aluminiumsfolie og i laminatprodukter hvor folien brukes i kombinasjon med plast eller papir. For laminatprodukter vil aluminiumsinnholdet variere mellom 6-75% (Syversen 1984). Det som importeres av aluminiumlaminater vil inngå i produksjon av næringsmidelemballasje (juicekartonger, iskrememballasje, o.l.), og mye eksporteres igjen som ferdigvarer. Jeg har ikke gått nærmere inn på dette markedet i Norge. Matforsk kom frem til følgende forbrukstall for Norge (vedlegg 3):

- Aluminiumsfolier: 988 tonn/år
- Aluminiumsfolier med underlag: 1640 tonn/år

Hvis man regner med et aluminiuminnhold på rundt 50% for laminatene og en kort gjennomløpningstid i forbrukssystemet, gir beregning en total generert skrapmengde på rundt 1800 tonn ren aluminium tonn årlig. Dette er tonnasje som til nå har gått til fyllingene.

9.2.3 Spann , esker tanker og liknende beholdere

Ofte defineres tanker, spann og liknende av metall som emballasje i statistisk materiale. SSB utenrikshandelstatistikk opererer med denne kategorien: "Tanker, kar, tromler, spann, bokser" (under og over 300 liter). Kategorien spenner bredt, og her har jeg ikke rukket å gjøre noen nærmere undersøkelser av mengder og aktører. Det er sannsynlig at store deler av denne materialflyten bestå av større enheter med et forholdsvis stort aluminiuminnhold, og at de derfor vil samles opp i gjenvinningssystemet pga. den høye verdien.

Matforsk har i sin undersøkelse for 1991 kommet frem til et norsk forbruk på 9577 tonn aluminium av denne typen emballasje, og dette virker (urimelig) høyt. SSB

utenrikshandelsstatistikk for dette året viser følgende tall for denne varegruppen (vedlegg 3):

Import:	664 tonn
Eksport:	8087 tonn

Jeg har ikke grunnlag for å kommentere disse tallene nærmere.

9.4 Gjenvinning, innsamlingsystemer

Det har frem til i dag ikke eksistert innsamlingsystemer for aluminiumsemballasje i Norge. Emballsjeandelen i husholdningsavfallet (glass, metall, papir) utgjør så mye som 30-50% (Matforsk 1994), med andre ord er det ganske store mengder forskjellig emballasje som blir avfall hvert år. Dette er et av de få områdene hvor det ikke har eksistert noe system for å føre aluminium tilbake i materialsyklusen.

Planlagte materialselskaper for emballasje

Myndighetene har lenge hatt som mål å redusere avfallsmengdene som går til fyllingene, og har som et resultat av dette initiert forskjellige materialselskaper som skal organisere innsamling og resirkulering av en del utvalgte materialtyper. Materialselskapene er basert på avtaler mellom myndigheter og næringsliv, og meningen er at næringslivet selv skal stå for driften og arbeide mot etablerte mål.

Materialselskapet for Metallemballasje AS

Fra januar 1998 skal materialselskapet for metallemballasje komme i drift, og målsetningen er å samle inn og materialgjenvinne 60-80 % av alt emballasjeavfall innen utgangen av 1999 (vanlig aluminiumsfolie faller utenom av grunner beskrevet tidligere).

Det skal opprettes en oppsamlingsentral som samordnes med det allerede godt utbygde innsamlingsystemet som eksisterer for glass i Norge (bringesystem med glassigloer). Ved sentralen skal jern og aluminium separeres ut, bearbeides og sendes til smelteverk for resirkulering og ny omsetning.

Finansieringen vil bli sikret av næringslivet selv gjennom å sette frivillige gjenvinningsgebyr på emballasjen. Selv om systemet er basert på frivillighet har oppslutningen vist seg å være meget stor fra aktørene i bransjen¹¹.

Ut over å finansiere innsamling og bearbeiding vil gebyrsystemet også føre til en bedre kontroll og oversikt over de totale mengdene som går til fyllingene.

Innsamlet metall skal fraktes til Holmestrand Rolling Mill for *omsmelting*.

Norsk Resirk AS

Drikkeboksene skal samles inn i et separat system. Norsk Resirk har fått i oppdrag å etablere et pantesystem på lik linje med det som eksisterer for glass- og plastflasker, slik

¹¹Skaug, Materialselskapet for glass og metall

at man kan regne med en høy gjenvinningsgrad i fremtiden. Målet er å materialgjenvinne 90% av boksene som går til forbruk. Ved innføring (januar 1998) vil dagens avgifter på drikkebokser av aluminium fra 3,19 kr til 0,32 kr pr. boks. Dette vil sannsynligvis føre til en høy forbruksvekst av denne typen emballasje i Norge.

Kartonggjenvinning AS

Kartonggjenvinning er allerede i drift, og kommer til å ta inn mye av laminatene som bl.a. går til drikkekartonger (juice). Jeg har ikke rukket å kontakte dette selskapet, og mangler oversikt over hvordan aluminiumfraksjonen blir tatt vare på i systemet. Materialselskapets målsetning var 60% gjenvinning omsatte drikkekartonger innen 1997.

10. Bruksfasen: Elektroniske og elektriske produkter

I dette kapitlet har jeg valgt å gå litt utenfor den vanlige sektorinndelingen som brukes i de fleste metallstatistikkene. Elektroniske og elektriske produkter favner nødvendigvis meget vidt - Man snakker om alle typer produkter som fungerer ved tilførsel av elektrisk strøm. Det betyr at denne *forbrukskategorien* omfatter så forskjellige produkter som kaffetraktere, lysarmatur og kabler til e-verkene.

10.1 Generelt

Aluminium har forskjellig bruksprofil for produktene innenfor denne kategorien. I ledere benyttes aluminium på grunn av ledningsevnen. I datamaskiner og fjernsynsapparater brukes plater av aluminium som *ramme* for elektronikken. I kjøleskap og ventilasjonsapparat benyttes metallet på grunn av varmekapasiteten m.m.

Som for emballasje har det ikke eksistert innsamlingssystemer for EE-avfall, men et et integrert innsamlingssystem er under oppbygging også her. I denne produktgruppen inngår aluminium ofte som komponent i produkter som ender som kompleksavfall på fyllingene. Men hvor store mengder er det snakk om?

10.2 Datagrunnlag

I 1995-96 ble det gjennomført en undersøkelse i Norge over forbruk og avfallsmengder fra produkter nettopp innenfor denne kategorien (Miljøverndepartementet 1996, underlagsrapport). Analysen ble utført i regi av Hjellnes COWI AS på oppdrag av Miljøverndepartementet, som en del av myndighetenes forberedelser for å opprette systemer for innsamling og gjenvinning av EE-avfall. Det er den mest omfattende undersøkelsen av sitt slag i Norge.

Metode

Undersøkelsen baserte seg hovedsakelig på SSB-statistikk for import, eksport og produksjon av varegrupper som var aktuelle som EE-grupper. På denne måten ble netto tilgang av forskjellige produkter til det norske markedet beregnet over tid. Ved å anta realistiske levetider og koble disse opp mot tidligere omsetningstall, kunne man anslå avfallsmengdene som oppstår i dag og i årene fremover. Som en forenkling ble det antatt dersom for eksempel levetiden var 10 år, ville alle produkter som ble omsatt for 10 år siden bli avfall i år. De estimerte levetidene ble diskutert og korrigert av en arbeidsgruppe fra industrien og regnes som pålitelige.

Man beregnet videre nyttestoffer (deriblant aluminium) og miljøfarlige stoffer i avfallsmengdene, blant annet ved bruk av litteratur og egne beregninger.

Usikkerheter

På grunn av den ofte mangelfulle norske produksjonsstatistikken ble en del tall estimert, og her ligger det noe usikkerhet.

Det måtte gjøres en del generaliseringer for sammensetningen av produktene i mange av hovedgruppene. I mange tilfeller ble sammensetningen i én kjent undergruppe overført til de andre hvis man manglet datagrunnlag. Denne metoden vil gi gode estimater så lenge gruppene er homogene, mens usikkerheten vil øke i grupper med differensierte produkter.

Resultatene i undersøkelsen ble vurdert og diskutert av representanter fra de forskjellige bransjene. De regnes som de beste anslagene som finnes for denne type avfall i Norge i dag.

10.3 Aluminium i EE-avfall

Resultater fra Hjellnes COWI's undersøkelse

Analysen tok for seg 18 hovedgrupper som totalt dekket over 200 undergrupper eller produkttyper (etter aktuelle varegrupper i SSB's utenrikshandelstatistikk). Tabell 10.1 viser de estimerte mengder aluminium som ender i EE-avfall hvert år fra de forskjellige hovedgruppene.

Tabell 10.1 Hovedtall for årlig brukt aluminiumavfall fra EE-produkter, (Miljøverndepartementet 1996, underlagsrapport).

Hovedgrupper	Eksempler på produkttyper	Al-avfall, kg	%
Automater	Salgsautomater, Autom. for mat/drikke	20 072	0,31
Hvitevarer	Kjøleskap, fryserer, komfyrer, etc.	1 068 537	16,70
Brunevarer	Lyd/bildebehandling (TV, CD-spillere)	465 019	7,25
Kabler og ledninger	Kabler og ledn. for e-verk og televerk	637 845	9,95
Datautstyr	PC'er, scannere, etc.	436 448	6,81
EE leker	Videospill, keyboards, etc.	73 211	1,14
Oppvarming, aircondition mm	Varmeovner, luftkondisjoneringsapp.	46 902	0,73
Belysningsutstyr	Armaturer, lysstoffrør, etc.	659 394	10,30
Medisinsk utstyr	Røntgenapp. og oscilloscoper	192 369	3,00
Instr. For måling og kontroll	Høy og lavspennings utstyr, kontrolltav.	797 288	12,40
Kontormaskiner	Kopimaskiner, skrivemaskiner, etc.	208 694	3,26
Elektrisk / elektronisk verktøy	Industrielt prod.utstyr, håndverktøy	857 160	13,40
Telekommunikasjonsutstyr	Sendere, radarer, etc.	71 929	1,12
Komponenter ¹	Byggeelementer til elektronikk	1 042	0,02
Ur, klokker		16 935	0,26
Batterier	galvaniske elementer og batterier	187 479	2,92
Alarmanlegg, røykvarslere		8 119	0,13
Elektronisk utstyr	Transformatorer, etc.	661 601	10,13
Totalt		6 410 044	100,00

¹Utelates i sammendraget fordi komponenter brukes i innenlands produksjon i andre EE-produkter.

Det konkluderes med at rundt 6400 tonn aluminium ender i brukt EE-avfall hvert år. De største mengdene finnes i *hvitevarer* (16% av aluminium i EE-avfall) og *elektrisk og elektronisk utstyr* (13-14%), i følge undersøkelsen.

Til tallene er det heftet en del usikkerhet, som beskrevet i forrige avsnitt. Jeg har ikke forutsetninger for å kommentere tallene i noen særlig grad, men i hovedgruppen "kabler og ledninger" har av en eller annen grunn uisolerte liner ikke blitt inkludert¹². Dette er et av hovedbruksområdene for aluminium i elektrosektoren, og må tas med i en analyse. Jeg skal derfor i det følgende gi en generell beskrivelsen av trender og bruk av aluminiumsledere i liner basert på informasjon fra litteraturen og samtaler med aktører i bransjen.

Aluminium i høyspentledninger (bedriftsopplysninger)

Liner er hengende elektriske ledere som hovedsakelig brukes til å distribuere strøm fra e-verkene rundt om i landet.

Aluminium har ca. 61% av ledningsevnen til kopper, som har vært det tradisjonelle materialet i elektriske ledere. Men hvis det tas hensyn til *vekt* har aluminium en bedre ledningsevne per vektenhet (Benum 1995). Aluminium har dessuten et bedre styrke/vekt-forhold, er billigere og mer korrosjonsbestandig.

Dette har gjort at aluminium har substituert kopper fullt i høyspentledninger hvor vektbesparelser ønskes på grunn av store dimensjoner (Svendsen 1989). Slike ledninger er uisolerte (uten plastdekke), og kan være laget i ren aluminium (legert) eller med stålkjerne (ulegert). I Norge brukes det nesten utelukkende liner med stålkjerne, med en aluminiumsandel på ca. 73% (beregnet fra opplysninger i HA Conductors produktkatalog).

Norsk forbruk

I Norge ble aluminium tatt i bruk i luftledninger for ca. 60 år siden, og substituerte raskt kopper som hadde vært i bruk til da. Etter krigen var forbruket spesielt høyt på grunn av de store utbyggelsene i kraftsektoren. I 50 og 60-årene ble det forbrukt mellom 6000-8000 tonn aluminium hvert år til høyspente ledere i Norge¹³. Etter dette gikk forbruket ned i takt med nedfasingen av utbyggingsaktiviteten. I dag ligger forbruket rundt 1200 tonn *aluminium* årlig¹⁴.

Det er planlagt en stor oppgradering av nettet i Norge i perioden 1998-2002. Man ønsker å forsterke nettet for å kunne samkjøre og fordele overskuddet av energiproduksjonen. Dette gjøres i forbindelse med planene om å legge tre store overføringskabler for

¹² Olav Topp, TBL-Elektro

¹³ Kilde: HA-Conductors

¹⁴ Kilde: HA-Conductors, Alcatel

elektrisitet fra Norge til Tyskland og Nederland (2stk.)¹⁵. Til oppgraderingen av det interne nettet forventes et forbruk av aluminium på hele 7-8000 tonn pr år ¹⁶.

Levetid

Aluminium i høyspente ledninger har lang levetid. Man under spesielle forhold, for eksempel i omgivelser med høye eller lave pH-verdier, vil aluminium korrodere fort. I innlandet kan levetiden ligge på rundt 40-50 år, mens i kyststrøk med mye vind og saltholdig luft kan den være så lav som 6-7 år på grunn av korrosjon.

Avfallsmengder

Det er vanskelig å anslå hvor store mengder som går ut som brukt skrap. Det er foreløpig snakk om små mengder, fordi det har vært lite forbedringer på nettet de siste årene. Dette har sin grunn blant annet i pålagte krav til e-verkene fra NVE om kostnadseffektivitet, slik at utskiftninger utsettes i det lengste for å spare penger. Dessuten råder en viss usikkerhet ved e-verkene om hvordan de skal forholde seg til den nye energiloven. Utskiftninger må komme etterhvert, spesielt fordi oppheng og master er i ferd med å bli foreldet. Dette betyr at store mengder eldre aluminiumsledninger om ikke lenge vil være potensielt avfall som vil gå inn i avfallssystemene. Hvis man kobler det årlige aluminiumforbruket på 6000-8000 tonn i 50-årene med en beregnet levetid på 40-50 år, får man en ide om hvilke mengder det er snakk om.

Den planlagte oppgraderingen av nettet består av legging av nye traseer, og ikke utskiftninger av gamle ledninger.

Av dagens forbruk på 1200 tonn aluminium til liner i Norge er det bare mindre mengder som erstatter brukte ledere. Noe skiftes ut på Vestlandet på grunn av korrosjonsskader, og ellers i landet det er snakk enkeltprosjekter. Alt vil samles inn og selges gjennom skraphandlersystemet (høy verdi), men på grunn av liten informasjonsflyt i denne sektoren er det vanskelig å si noe om mengdene.

Totale mengder

Med justering for aluminiumsavfall fra høyspentledninger blir den samlede mengden brukt aluminiumskrap fra EE-sektoren et sted mellom 6400-6700 tonn årlig.

Mengdene kan derimot ventes å øke betraktelig med tid, ettersom utskifting av utrangerte høyspentledninger blir mer og mer aktuelt.

10.4 Innsamling og gjenvinning

De totale mengdene EE-avfall i Norge regnes å være 144.000 tonn årlig. Av dette gjenvinnes ca. 26% (1995-1996). Dette dreier seg om EE-avfall fra 4 ulike kategorier:

- Hvitevarer

¹⁵ Bare i disse er det snakk om store tonnasje aluminium. En kabel som allerede er lagt fra Kristiansand til Danmark inneholder ca. 3600 tonn aluminium. En kabel til Tyskland anslås å ha tre ganger større lengde.

¹⁶ Kilde: HA Conductors

- Kabler
- Elektriske motorer og generatorer
- Elektroavfall

10.4.1 Hvitevarer

Gjenvinning av hvitevarer skjer ved et av fire fragmenteringsanlegg i Norge og ved Stena Miljø sitt anlegg for mottak av kuldemøbler på Klemetsrud.

Stena Miljø startet sin drift juni 1997, og har kapasitet til å ta imot 150.000 kuldemøbler i året, like mange som det skiftes ut i hele landet. I løpet av det første året regner bedriften å gjenvinne 60.000 enheter (Kretsløpet 1997). Samtidig har det kommet nye pålegg fra miljøverndepartementet om at samtlige kommuner må ha mottak for KFK-holdige kjøleskap og frysere. De totale mengdene gjenvunnet hvitevare og behandlingsandelen i Norge vil derfor stige fra i år.

Gjenvunnet aluminium fra denne kategorien eksporteres for omsmelting, enten som ren aluminium (blandede legeringer) eller som del av et blandet, umagnetisk metallfraksjon.

10.4.2 Kabler og liner

Her må det skilles mellom aluminiumliner med og uten plastisolasjon.

Liner uten plastisolasjon

Aluminiumsledere fra høyspentnettet tas i mot av de fleste større skraphandlere. Her skilles aluminium og jern ved hjelp av kutting og magnetseparasjon. Produktet er "aluminiumsticks" (trådbiter på ca. 5-6 cm) av meget ren kvalitet, som kan selges til omsmelteverk i Norge eller i utlandet. Både HRM og Toten metallgjenvinning tar imot metall av denne typen. På grunn av den rene kvaliteten kan det substituere primærmetall i prosessene.

Kabler med plastisolasjon¹⁷

Kabelgranulering i Skien og Franzefoss i Drammen er de eneste bedriftene som granulerer kabel i Norge i dag. De tar imot gammel eller ny kabel fra skraphandlere eller direkte fra produsentene.

Brukt kabel leveres hovedsakelig fra e-verk og offshore. I offshore brukes mest kopperledere, men aluminiumandelen er økende.

Avhengig av type kabel og prisene på det internasjonale markedet produseres det to typer granulat:

- Ren aluminium
- Aluminium med 10 -15% kopper innhold (AlCu).

Granulatet går til eksport, enten direkte eller gjennom skrapgrossister.

¹⁷ Samtale med Roger Åshol, Kabelgranulering AS

10.4.3 Elektriske motorer og generatorer; Elektroavfall

Metallene i elektriske motorer og generatorer blir også i stor grad gjenvunnet. De mindre enhetene går inn i bilvraksystemet sammen med hvitevarer. Går og jernfraksjonen går til gjenvinning i Mo i Rana mens aluminium eksporteres for gjenvinning i utlandet. De større enhetene eksporteres for demontering.

10.4.4 Estimerte mengder

Tabell 10.2 viser hvilke mengder som samles inn og behandles i Norge årlig basert på undersøkelser hos gjennvinnere (Miljøverndepartementet 1996). Aluminiummengdene har jeg regnet ut ved hjelp av prosentandeler som virker aktuelle for gruppeinndelingene, og må kun regnes som grove estimat. Spesielt tallene for kabler er usikre.

Tabell 10.2 Innsamling og behandling av EE-avfall i Norge¹⁾, tonn/år (1996)
(Miljøverndepartementet 1996).

	H-varer		Kabler ¹⁾		Motorer		E-avfall		Sum	
	Totalt	Al (3%)	Totalt	Al(2,5%)	Totalt	Al(7,1%)	Totalt	Al(7,1%)	Totalt	Al
<i>Innsamlede mengder:</i>										
Nord-Norge	3044	91	1100	28	444	32	179	13	4767	163
Midt-Norge	4035	121	1459	36	589	42	237	17	6320	216
Vest-Norge	6296	189	2276	57	918	65	370	26	9860	337
Sør-Norge	1536	46	555	14	224	16	90	6	2405	82
Østlandet	15324	460	5540	139	2235	159	900	64	23999	821
Totalt	30235	907	10930	273	4410	313	1776	126	47351	1620
<i>Behandling i utlandet</i>	5005	150	790	20	2785	198	1175	83	9755	451
<i>Behandling i Norge</i>	25230	757	10140	254	1625	115	601	43	37596	1168

¹⁾ Mengdene og aluminiumandelen gjelder for ledere med plastisolasjon, dvs kabler som gjenvinnes ved granulering. Aluminium inngår som regel i liner med større diametere, som også vil utgjøre de største mengdene til granulering. Her har jeg brukt den generelle aluminiumsprosent for kabler, som sannsynligvis vil være for liten.

Resirkuleringsgrad for aluminium i EE-avfall

Hvis man ser bort fra avfallet fra brukte høyspentledninger (vil gå inn i skraphandlersystemet) har man da omtrent denne situasjonen :

-Generert brukt avfall: 6410 tonn
-Gjenvinnes: 1619 tonn

Resirkuleringsgraden blir på rundt 25%. Men andre ord er det betydelige mengder (ca 4800 tonn) aluminium som vil gå til deponi eller forbrenning fra denne sektoren årlig.

10.4.5 Innsamlingsystem under planlegging

Myndigheten har satt som mål å samle inn "nær 100" prosent av spesialavfallet, og 80 prosent av det øvrige EE-avfallet innen år 2000 (Kretsløpet 1997). Det legges opp til et bransjeansvar å samle inn og behandle/gjenvinne elektronisk avfall.

- *Bransjen*, dvs. produsenter og importører, skal opprette og være ansvarlig for returselskap. Disse skal finansiere innsamling og gjenvinning av EE-avfall gjennom produktgebyrer.
- *Forhandlere* skal være forpliktet til å ta imot brukt EE-avfall og sende dette til kommunalt mottak, oppsamlingsplass eller godkjent behandlingsanlegg.
- *Kommunene* skal ha et tilbud for mottak av EE-avfall som forbruksavfall (vederlagsfritt) og produksjonsavfall (mot vederlag), og videre transport til oppsamlingsplass eller godkjent behandlingsanlegg.

11. Bruksfasen: Byggsektoren

11.1 *Generelt*

I Europa totalt går omtrent 21 % av aluminiumforbruket til byggsektoren. I Norden gikk 29% av det samlede profilforbruket og hele 44% av plateforbruket til bygg og konstruksjonsformål i 1995 (Skanaluminium).

Sektoren er en uensartet forbruksgruppe, med et stort marked og mange produkter. Produktene har ofte forskjellige bruksområder og brukstid, men er karakterisert med at de ofte er «rene» konstruksjoner. Sektoren omfatter bygningsindustrien, men også oppføring av større konstruksjoner som broer og komponenter i offshoreindustrien.

Jeg skal her ikke gå inn på aluminium i større konstruksjoner, da det ikke vil oppstå brukte skrapmengder i vanlig forstand fra denne gruppen. Jeg har forsøkt å finne informasjon om bygningsavfall i Norge, men det vist seg at det finnes veldig lite empiri. I denne sektoren må jeg basere meg på grove estimat.

11.2 *Aluminium i Bygg*

Aluminium ble lite brukt som bygningsmaterial før siste verdenskrig, kun som enkle profiler i vindus- og dørkonstruksjoner. Men etterhvert som bearbeidingsteknikkene utviklet seg tok metallet over for stål og tre i en del bruksområder, for det meste der disse materialene viste seg å ikke fungere uten store vedlikeholdskostnader. Dette var hovedsakelig i deler av bygget som var eksponert for *uteklima*, det vil si ytterveggskonstruksjoner som vinduer, dører og fasader. (Dreier 1995).

Metallet har funnet en nisje i byggmarkedet innen handel og kontorbygg, industribygg og innen offentlig bebyggelse, hovedsakelig på grunn av de lave vedlikeholdskostnadene. Metallet brukes sjelden i bolighus på grunn av den høye prisen i forhold til konkurrerende materialer som PVC og plastbelagt stål.

På grunn av en generell lang levetid for materialer i bygninger (35-40år), er det foreløpig forholdsvis små mengder aluminium i bygningsavfall.

11.3 *Datagrunnlag*

Jeg har ikke funnet norske tall for aluminium i bygningsavfall. For *Sverige* har det derimot vært gjennomført en *beregning* av sammensetning og mengder (Naturvårdsverket 1996. Rapport 4659). Av mangel på andre kilder har basert meg på disse resultatene. Det oppgis kun *totale mengder* for Sverige. Tallene ble estimert ved å undersøke forskjellige kategorier bygg fra forskjellige tidsperioder, og gjøre overslag ved hjelp av boligstatistikker.

11.4 *Estimering av forbruk og skrapmengder (Bygninger)*

Datagrunnlaget som oppgis i rapporten er ikke detaljert nok til å kunne relatere resultatene til norske bygningsstatistikker. Byggeskikker i Norge og Sverige er derimot

ganske like med hensyn til materialbruk og type hus (men det vil f.eks være en større andel boligblokker i Sverige). Tabell 11.1 viser mengder for Norge hvis man benytter seg av en grov forenkling og justerer for folketall. Tallene i den Svenske undersøkelsen er i seg selv heftet med usikkerhet, slik at det det her ikke dreier seg om annet enn grovt veiledende tall.

Tabell 11.1. *Forskjellige estimat for aluminium i bygg (1996)*

	Sverige (tonn)	Norge (tonn)
Totalt innebygd i hus	628000	314000
Mengder til ombygg./renov. (pr. år)	7000	3500
Mengder til nyproduksjon (pr. år)	3000	1500
Riving/ Renovering (pr. år)	900	450
<i>Deponi, metaller</i>	<i>20-50%</i>	
<i>Materialgjenvinning, metaller</i>	<i>50-80%</i>	

Verdt å legge merke til er den store totale mengden *innebygd* aluminium i hus sammenliknet med den relativt lille tonnasje som går ut som skrap hvert år. Dette har sammenheng med det som kom frem i beskrivelsen av byggmarkedet: Lang levetid kombinert med at metallet først kom i utstrakt bruk etter 2. Verdenskrig (hovedsakelig kontorbygg) gjør at det man kan kalle første generasjon aluminiumsprodukter i byggsektoren enda ikke har kommet på brukmarkedet. *Det kan derfor forventes en sterk økning i tid av denne typen brukt aluminiumskrap.*

11.5 Gjenvinning

I Europeisk sammenheng regnes det med en resirkuleringsgrad på ca. 80%. Det er vanskelig å si noe om resirkuleringsgrad i Norge, men det har kommet frem at det eksisterer forskjellig praksis for gjenvinning ved riveprosjekter og restaurering av bygg.

Ofte er det tidspress ved riveprosjekter, slik at kun aluminium i større, lett tilgjengelige mengder tas ut av riveentreprenørene. Dette dreier seg om himlinger, takplater og lysarmaturer. Lister og rammer i vinduer og dører går ofte til fylling med knusemassene. Utseparert metall selges til skraphandlere.

I vedlegg 2 har jeg lagt ved en beskrivelse av hvordan en av de største entreprenørene i Norge utnytter aluminiumet i byggavfall.

11.5.1 Kildesortering

Det har blitt mer og mer vanlig at avfall blir kildesortert på byggeplassen ved byggaktivitet (oppføring, restaurering og riving). I etterkant vil kildesortering gi gevinst fordi man får rene fraksjoner som er lett å behandle. Men det kildesorteres relativt små mengder i Norge sammenliknet med andre land. Dette har sammenheng med at vi til nå ikke har hatt de samme problemene med plassmangel på fyllplasser. Dessuten eksisterer

en viss skepsis i bransjen: Kildesortering krever mer plass og flere containere, og i tillegg peker man på at arbeidet blir vanskeligere og mer tidkrevende, slik at det følger med flere arbeidstimer og dårligere økonomi.

Teknologisk institutt (1994) har gjennomført et pilotprosjekt som konkluderer med at kildesortering tvert i mot kan føre til økonomisk gevinst. Rene fraksjoner gir høyere pris på avfallet (eventuelt lavere kostnad ved avskaffelse). De peker også på et forhold som lett blir oversett: Kildesortering fører til mer orden på arbeidsplassen. Dette gir en mer effektiv fremdrift og en tilsvarende økonomisk gevinst.

11.5.2 Sammensetning og gjenvinningsalternativer

Figur 11.1 viser mengdefordeling og behandlingsalternativ for forskjellige typer aluminiumskrap fra bygninger (nederlandske tall). Det fremgår at de største mengdene vil være rent profil- eller plateskrap som kan smeltes om direkte hos omsmeltere.

<i>Aluminiums-kategori</i>	1) Blank eller anodisert	2) Lakkert	3a) Blandet med andre material -Lett å skille	3b) Blandet med andre material -Vanskelig å skille
<i>Kilde</i>	Profil, fasade- og takplater	Profil, fasade- og takplater	Vindusprofil (isolert)	Plater (isolert)
<i>Legering</i>	Smi	Smi	Støp, Smi	Støp, Smi
Total andel	ca. 65%	ca. 20%	ca. 10%	ca. 5%
<i>Forbehandling</i>	Ingen	Ingen	Demontering eller shredding	Demontering eller shredding
<i>Omsmelting</i>	Direkte	Direkte (med røkgassrensing)	Direkte (med røkgassrensing)	I åpen ovn eller under saltlag
<i>Videre bruk</i>	Smi-/Støpelegeringer	Smi-/Støpelegeringer	Smi/støpelegeringer	Støpelegeringer

Fig. 11.1. Skrap typer og behandling av byggavfall av aluminium. ("Aluminium" 1994)

I Norge vil det på grunn av klimaet sannsynligvis være en større andel aluminiumsprofiler med kuldebrytere (isolasjon). Materialene er vanskelig å separere. Vanlig praksis ved gjenvinning er å smelte om profilene direkte med røkgassrensing (Toten Metallgjenvinning). Isolasjonsmaterialet (plast) brennes av i et forkammer i ovnen.

11.5.3 Lover, forskrifter og avtaler for gjenvinning

Det har ikke eksistert lover eller forskrifter som direkte har regulert håndtering av bygg- og anleggsavfall. Men miljøverndepartementet har delegert myndighet til enkelte kommuner å utarbeide egne forskrifter for kommunal styring av produksjonsavfall, og dette omfatter også avfall som oppstår ved byggprosjekt. Oslo kommune har som første kommune i landet vedtatt en forskrift som regulerer behandlingen: Gjenvinning og gjenbruk skal ut fra en samfunnsøkonomisk vurdering prioriteres foran forbrenning og deponi. Sortering skal pålegges, og entreprenørene skal kunne fremvise detaljerte avfallsplaner ved bygg- og riveprosjekt.

De nye byggeforskriftene ble innført i Oslo juli 1997. Mengdene avfall som har gått til deponi skal ha blitt meget redusert.

Som antydnet i tabell 11.1 er mengdene aluminium som blir avfall foreløpig små, men det vil skje en økning i årene fremover. Det er ventet at forskriftene som er innført i Oslo skal innføres også i resten av landet, Dette er viktig for å sikre en forsvarlig og høy gjenvinningsgrad av aluminium i denne sektoren.

12. Skrapbehandling/ innsamling

12.1 Skraphandlere / Gjenvinnere

I Norge er det registrert 75 anlegg hvor metall mottas og bearbeides i varierende grad (Norsas 1995). Det finnes derimot ingen samlet oversikt over bransjen. Skrapssystemet består av flere småbedrifter som samler inn og selger bearbeidet skrap til større "skrapgrossister". Disse bedriftene omsetter og bearbeider større volum og leverer til industrien. På denne måten går de Norge går største aluminiumstrømmene gjennom et mindre antall større aktører. Disse er:

- Rolf Bakke A/S
- Franzefoss Gjenvinning
- Norsk Metallretur A/S
 - Johan Johnsen A/S,
 - Bjarne Johansen Gjenvinning A/S
 - Brødrene Anda A/S
- Hellig Teigen A/S
- Kabelgranulering A/S
- Oppland Metall A/S

I utgangspunktet skulle det være mulig å få en godt bilde av mengdene aluminium som samles inn og behandles i Norge ved å få oversikt over materialflyten gjennom disse bedriftene. Det har vist seg å ikke være lett:

- Aluminiumskrap er verdifullt, og det er en utpreget konkurransesituasjon på markedet. Mange av de store aktørene vil ikke oppgi opplysninger om mengder og prosesser.
- Hvis det oppgis tonnasje er det ikke skilt mellom gammelt og brukt skrap.
- Det foregår stor handel anleggene i mellom av aluminiumskrap. Det er fare for å dobbelttelle tonnasje (hvis man hadde tall og gå ut i fra)

På grunn av disse faktorene har det ikke vært mulig for meg å lage noen oversikt over dette delsystemet.

Prosesser

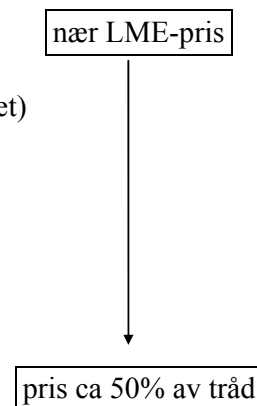
I vedlegg 2 har jeg beskrevet en del av aktørene og prosessene nærmere. (Se også kapittelet om forbruk av aluminium i samfunnet.) Bearbeidingsgrad og -type varierer mellom anleggene, men hovedvirksomheten er sortering/separering, kapping/fragmentering, og komprimering for transport og gjenvinning av metall ved sekundære smelteverk.

Alle aktørene som omsetter blandet skrap, sorterer dette i den grad det gir økonomisk avkastning (manuelt). Incentivet er den høyere prisen som oppnås for rene

aluminiumfraksjoner. Tabell 12.1 viser den vanlige inndelingen av skrapgrupper av aluminium.

Tabell 12.1. Kategorier og relativ pris av aluminiumskrap

- Ulegert tråd ⇒
- Sticks (litt mer oksidert enn tråd)
- Offsetplater fra trykkeriene (Meget ren og spesiell kvalitet)
- Rene, *blanke* profiler (vindusprofiler, 6063-serien)
- Sjøvannsbestandige profiler (6082- serien)
- Al-Zn legeringer (Støtfangere, 7000-serien)
- Plateskrot (Ren Al, Al-Mg og Al-Mn legeringer)
- Gammel vals, "old rolled" (Profilskrot og plateskrot)
- Gammelt støpt
- Spon ⇒



Når det gjelder spon avhenger prisen av opprinnelsen. Hvis kommer fra primærproduksjon og er rent vil det gi en betydelig høyere pris.

Videre materialstrøm

Det meste av det rene plateskrapet, og en del profilskrap, går til omsmelting ved Holmestrand Rolling Mill (ca. 7000 tonn årlig). Noe aluminium skrap går også til Toten Metallgjenvinning for støping av støpebarrer (produksjon 2700 tonn i 1994, 4000 i år). Resten går til eksport, hovedsakelig til det Europeiske markedet.

12.2 Innsamling av skrap

En god del næringsavfall samles inn av skraphandlerne selv. Men en del skrap via går andre veier, eller faller utenom.

12.2.1 Næringsavfall - Private renovasjonsfirmaer

Mye avfall fra industri og byggvirksomhet blir samlet inn av private renovasjonsfirmaer. Den største aktøren i Norge er Norsk Gjenvinning AS. De selger en tjeneste overfor kundene ved å ta imot og transportere avfallet som genereres, og selger det videre til skraphandlere eller smelteanlegg som et produkt etter en grov bearbeiding ved egne sorteringsanlegg. Bearbeidingsgraden varierer. Hos Norsk Gjenvinning fraksjoneres og komprimeres metallskrappet, men aluminium skilles sjelden ut som egen fraksjon.

12.2.2 Kommunalt avfall

Husholdningsavfallet i Norge samles inn av kommunene, og blir behandlet etter de kommunale avfallsplanene. Av dette går 21% til forbrenning, og resten til deponi. Som

det gikk frem i kapittel 9, er det mye aluminiumsemballasje som går med i disse mengdene.

Metallslagget som oppstår ved forbrenningsanleggene går generelt til deponi, men i de to anleggene i Oslo sorteres jernfraksjonen i slagget ut ved magnetseparasjon og gjenvinnes hos Fransefoss i Fredrikstad. Her har det blitt gjort en undersøkelse på mulighetene for gjenvinning av metall fra den ikke-magnetiske metallfraksjonen. Det ble i den omgang vurdert som uøkonomisk og planene har ikke blitt realisert. Her er det kanskje likevel muligheter for en videre utnyttelse av avfallsresten. Denne fraksjonen anslås å være 3-5% av den inngående avfallsmengden til forbrenning, men det er uvisst hvor mye av dette som er aluminium.

13. Produksjon av sekundæraluminium

13.1 Produksjon av støpebarrer

Produksjon av støpebarrer fra sekundæraluminium foregår ved to bedrifter i Norge:

- Toten Metallgjenvinning (Norsk skrap)
- Mosjøen metall (Importert skrap)

Bare Toten Metallgjenvinning smelter ned skrap fra det norske markedet. Dette leveres fra skraphandlere eller direkte fra bedrifter. Omtrent halvparten av produksjonen er basert på brukt skrap (veiskilt, fasadeskrap, etc). De produserte støpebarrene går til norske og utenlandske støperier.

I vedlegg 2 er produksjonen ved Toten Metallgjenvinning beskrevet nærmere.

Denne materialstrømmen faller under resirkuleringstrategien om å gjenvinne material med en tilhørende nedgang i (eksergi) kvalitet, fordi en god del smilegeringer går med i fremstilling av støpelegeringene¹⁸.

13.2 Omsmelting til halvfabrikata (HRM)

Holmestrand Rolling Mill ble omtalt under kapittelet om halvfabrikataproduksjon. Det at bedriften også omtales her, under sekundærproduksjon, sier det meste om at dette er en høyverdig gjenvinningsprosess. Produksjonen går inn under resirkuleringsstrategien om å opprettholde *kvalitet* ved omsmelting.

HRM smelter om nytt og brukt skrap¹⁹ til valselegeringer som kan konkurrere med tilsvarende produksjon av vals i primærindustrien. Dette kan man kalle en *kunnskapsbasert* produksjon. Det kreves høy kompetanse og kunnskap om metallurgiske prosesser for kunne å utnytte skrapet på en økonomisk og konkurransedyktig måte. Her er HRM ledende på sitt felt i Europa.

Materialflyten gjennom verket

Årskapasiteten ligger på ca. på 70,000 tonn og i produksjonen inngår:

- prosessskrap med kjent sammensetning (internt skrap),
- brukt skrap (eksternt),
- importert primærmetall ("russermetall") for justering av kvaliteten.

Målsetningen er at primærandelen skal være så lav som mulig, og her ligger også den store utfordringen i produksjonen.

¹⁸ Men her er kvalitet egentlig et definisjonsspørsmål. Støpeprodukter inngår i mange viktige og avanserte komponenter, f.eks. i bilindustrien.

¹⁹ Hovedsakelig valselegeringer

Store mengder skrap må importeres årlig for å kunne dekke behovet for råvarer. 7000 tonn (10%) kommer fra Norge. Dette utgjør en *betydelig* andel av skrapmengdene i Norge

Den største avsetningen går til Hydros egen produksjon av lakkerte produkter ved Hydro Alucoat. Det aller meste av produksjonen går til eksport, ca. 3000 tonn går tilbake til forbruk på det norske markedet.

14. Støperier

Støperiene fremstiller og bearbeider støpte metallkomponenter som sluttprodukter eller deler til mekanisk industri.

Blant produktene kan nevnes bildeler, deler til maskiner og industrielt produksjonsutstyr, produkter til elektronisk industri, komponenter til skipsutstyr og offshoreinstallasjoner. Tabell 14.1 viser en oversikt over støperiene i Norge som støper produkter i aluminium.

Tabell 14.1 *Produksjon av støpte produkter av aluminium i Norge*

<u>Støperi</u>	<u>Produkt</u>
Hydro Fundo	Bilfelger (NB: Fra primærm metall)
A/S Elart	
FIBO A/S	Bildelproduksjon, Satelittantenner
A/S Grorud Jernvarefabrikk	
Johnsson Metall AS	
Kristiania Kunst og Metalstøberi	Kunstgjenstander
Kværner Eureka a.s.	Komponenter til pumper
Oshaug Metall	Propellblader
Jotun Cathodic protection	Anoder
Scanmag a.s.	
Tangen metallstøperi	
Trondheim Metallstøperi	Forskjellig, spesiallegeringer

Hydro Fundos produksjon av bilfelger (beskrevet i vedlegg 2) fra primærm metall står for ca. halvparten av den samlede støpeproduksjonen i Norge.

Annen støpeproduksjon er basert på støpebarrer med en stor andel av sekundærm metall. Figur 14.1 viser utvikling og forbruk over tid av støpte produkter i Norge (Fundos produksjon er ikke tatt med - all produksjon går til eksport)

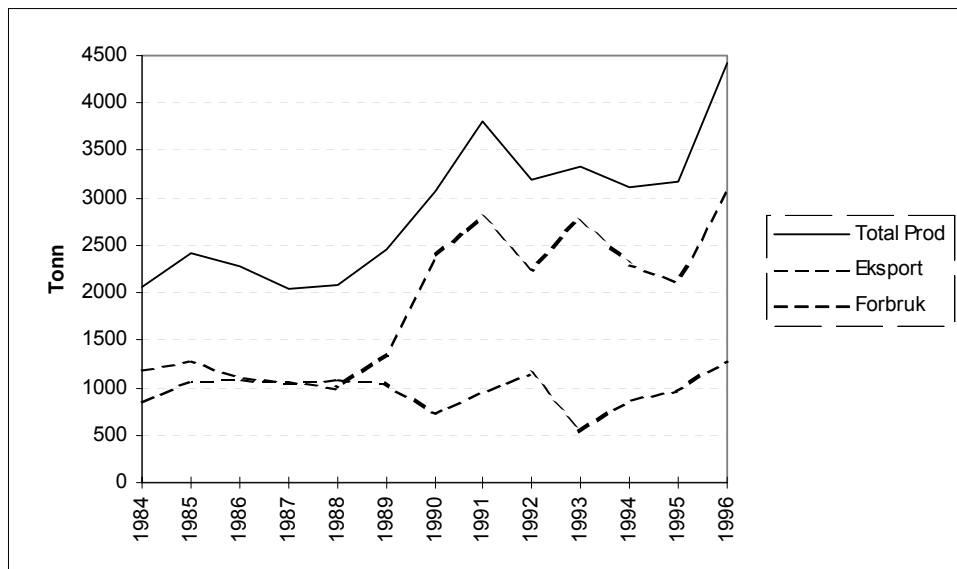


Fig.14.1 Produksjon og forbruk av aluminium støpeprodukter i Norge (Teknologibedriftenes Landsforening 1995)

Produksjon av støpte aluminiumsprodukter var på totalt 11.800 tonn i 1996 (Skandaluminiumstatistikk). Av dette gikk litt over 3.000 tonn til norsk forbruk.

Skrapmengder

Det oppstår forholdsvis mye slagg i produksjonen fra sekundærmetall. I intervjuer har jeg fått oppgitt ca. 7%. Slagget går antakelig til behandling hos slaggsmltere i Norge, men her har jeg ikke oversikt. Foringsrester fra ombygde ovner går til deponi.

15. Slaggbehandling

15.1 Generelt

I forbindelse med primærproduksjon og omsmelting av aluminium tapes det metall til slagg, eller dross. Slagg består av metall, oksider og gass, og flyter som et lag på toppen av smelten i støperiet. Ved enhver spylegassbehandling (rensing av smelten) dannes det slikt slagg, også ved primærproduksjon. Slagget sendes til behandling hos slaggsmeltere.

15.2 Aktører og prosesser

Selv om slaggdannelsen er liten ved primærproduksjon (1%) blir det betydelige mengder som må gå til behandling hvert år fra norske primærverk.

15.2.1 Behandling av slagg - "sekundærvirksomhet"

I Norge er det tre bedrifter som behandler slagg:

- Multiserv (mottar fra 5 primærverk i Norge)
- Aluserv (Hydro Sunndalsøra - 2500 tonn)
- Mosjøen metall (Elkem Mosjøen)

Det er normalt snakk om "leiesmelting" for støperiene. Dette betyr at gjenvunnet metall sendes tilbake til kunden slik at det kan gå tilbake i de opprinnelige prosessene. Slagget smeltes i saltbad, hvor ren metallfraksjon synker ned, tappes og kan støpes ut i blokker. "Urenheter" forblir i saltet. Omtrent halvparten av metallet gjenvinnes på denne måten. Resten blir med i saltkaken som går ut som rest.

1000 tonn slagg + 500 tonn salt → 500 tonn metall + 1000 tonn saltkake
--

15.2.2 Behandling av saltslagg - "tertiærvirksomhet"

Aluscan

Aluscan er en av få aktører i Europa som har spesialisert seg på å utnytte også de siste aluminiumrestene i saltslagget. Bedriften representerer et ledd som opererer *etter* sekundærleddet (tertiærledd), og kan sies å utnytte "næringsstoffene" helt nederst i det industrielle økologiske systemet. Her har man et godt eksempel på en aktør som har funnet seg en "nisje" i markedet og benytter seg av et stoff som ellers ville gått tapt på deponi.

På grunn av det lave aluminiumsinnholdet må verket ta betalt for at driften skal lønne seg. Aluscan har siden starten i 1990 behandlet ca 70000 tonn saltslagg per år, men dette er mengder som i all hovedsak er skipet inn fra utlandet. Av sekundærverkene i Norge sender Mosjøen metall og Aluvest saltslagg til Aluscan. Multiserv, den største slaggsmelteren, sender denne fraksjonen på deponi.

Saltslaggets sammensetning

Saltslaget som kommer inn til Aluscan har omtrent følgende sammensetning (tall i vektprosent):

Salt (K, Na)	65-70%
Al-oxid	20-25%
Al-granulat	5-10%

Behandling av granulatfraksjonen

Frem til i dag er det kun aluminiumsgranulatet²⁰ som har blitt gjenvunnet. Granulatet skilles ut gjennom en serie prosesser som blant annet innbefatter knusing og separasjon ved hjelp av virvelstrømsteknikk (eddy-current). Granulatet ble de første årene i sin helhet sendt ubehandlet til eksport, men fra 1994 gikk det først til omsmelting i to egne, faste ovner (I 1996 gikk smeltdriften ut som egen virksomhet: Aluvest.)

Behandling av salt og al-oxid - mot en total utnyttelsesgrad

Salt og al-oxid har frem til i dag gått til deponi, men fra og med neste år skal også oksidet skilles ut ved hjelp av en vaskeprosess. For denne fraksjonen finnes allerede et stort marked i Europas stålindustri, hvor det brukes som slaggdanner i smelteovnene. Saltet skal vaskes ut med ferskvann, og denne fraksjonen skal gå i sjøen i etterkant av prosessene. Saltkonsentrasjonene skal ligge rundt det naturlige saltnivået i sjøvannet.

²⁰ Små "kuler" av aluminium som går med i slaggesten ved omsmelteverket

16. Diskusjon

I denne delen skal jeg først ta for meg datakvalitet og problemene jeg har møtt med å få samlet nok informasjon om systemet. Deretter skal jeg forsøke å gi sammenstilling av systemet, og knytte opp til den valgte *miljøytelsen*, som er gjenvinningsgrad. Deretter skal jeg forsøke å vurdere eventuelle tiltak for effektivisering ved å trekke inn elementer fra industriell økologi-konseptet.

16.1 Datakvalitet

Det viste seg ikke å være mulig å lage en dekkende sammenstilling av størrelsen på de forskjellige materialstrømmene i systemet. Dette har forskjellige årsaker:

Mangelfulle/ usikre statistikker

SSBs industristatistikk samler kun tall for felleskategorien "metaller". Dessuten gjelder regler om at det ikke offentliggjøres tall for bedrifter med mindre enn 10 ansatte eller hvis det er et marked med tre eller færre produsenter. Dette vil omfatte mange produsenter og forbrukere av aluminium i Norge. Det kan også forekomme at innrapporteringen fra bedriftene er manglende eller ufullstendig.

Et annet problem med industristatistikken i denne sammenhengen kan være *dobbelttelling*. Hvis en bedrift produserer komponenter (f.eks. fra halvfabrikata) som igjen inngår som innsatsfaktor i en annen type bedrift, vil det i statistikkene registreres produksjon av to aluminiumsprodukter. Metallet i seg selv (tonnasje) har derimot blitt telt opp to ganger i systemet.

SSB Utenrikshandelsstatistikk har også vist seg vanskelig å bruke. På grunn av aluminiumets utstrakte bruk i forskjellige ferdigvarer, er det et omfattende og meget vanskelig arbeide å dekke aluminiumstrømmen over landegrensene. Når det gjelder innførsel/utførsel av rene aluminiumsprodukter finnes det dekkende statistikker, men også disse kan være for generelle: Skanaluminium opplyser at skrapstatistikkene er for usikre til å kunne brukes.

Skanaluminium, aluminiumindustriens bransjeforening i Norge, samler inn tall for sluttforbruk av halvfabrikata, men oppgir kun samlede tall for de Nordiske landene.

Komplisert materialstrøm og mange aktører

Det finnes et stort antall produkter og aktører. Markedet forsynes dessuten av flere større og mindre grossister og importører, slik at det er vanskelig å få oversikt over sluttforbruk.

Konkurransforhold

Ofte har det vært umulig å samle data fordi aktørene velger å holde kortene tett til brystet på grunn av et konkurranseutsatt marked. Dette viste seg spesielt å gjelde grossister og større skraphandlere. I skrapsektoren var det generelt de største aktørene som viste tilbakeholdenhet for å gi informasjon om mengdene de omsatte, og ofte gjaldt dette også informasjon om prosesser. Dette har sammenheng med aluminiumets høye verdi på markedet og konkurransen for å inngå kontrakter med de beste "skrapkildene". Denne hemmeligholdelsen kompliserte arbeidet med analysen i høy grad.

Mangelfull registrering

I de tilfellene det var mulig å få informasjon fra gjenvinnere, var det ofte vanskelig å relatere disse til *opprikkelse*. I en vurdering av resirkuleringsgrad i aluminiumssystemet er det viktig å differensiere mellom *brukt* og *nytt* skrap. Som regel er det brukt skrap det er interessant å få vite noe mer om, siden nytt skrap (produksjonsskrap) i stor grad blir tatt hånd om på grunn av kvaliteten. Gjenvinnere som jeg var i kontakt med kunne i noen tilfeller oppgi tall for samlet tonnasje aluminium, men ikke hvor stor andel av dette som gikk inn under kategorien brukt avfall.

16.2 Sammenfatning. Vurdering av systemet.

Gjenvinningsgrad

Det har vist seg vanskelig å beregne en *total* resirkuleringsgrad for systemet. Dette har to hovedårsaker:

1. Levetiden for metallet varierer med forskjellige bruksområder. Mens aluminium i emballasje har en levetid på rundt ett år, har aluminium i bygninger kanskje vært i bruk i over 50 år før de når skrapsystemet. Dette betyr at en reell resirkuleringsgrad for aluminium i en forbrukssektor *må vurderes i forhold til markedsforholdene da metallet gikk i produksjon*. I dag oppstår det for eksempel betydelig mindre brukt aluminiumavfall enn sektorens "forbruksandel" skulle tilsi.
2. For ta hensyn til forholdene under punkt 1, er det nødvendig å kjenne til hvor mye aluminium som gikk til forbruk i forskjellige sektorer tilbake i tid. Som det kom frem under diskusjonen om datakvalitet har det ikke vært mulig å sammenfatte et slikt datagrunnlag.

Jeg vil derfor ikke vil begi meg ut på å estimere noen samlet gjenvinningsgrad for aluminium i Norge. Men enkelte delsystemer har blitt analysert, og jeg skal i det følgende forsøke å gi en oppsummering og vurdering av resultatene.

Primærindustrien

Primæraktørene opererer på et hardt konkurranseutstatt internasjonalt marked, og som det kom frem i behovsanalysen betyr dette bl.a. at man søker energieffektivitet og optimale materialstrømmer i produksjonen. Hydro Aluminium har satset spesielt på industriell økologi konseptet i sin produksjon av primæraluminium og halvfabrikata, og dette har ført til at alle aktører innenfor denne delen av aluminiumssystemet i Norge har et effektivt avfallssystem basert på så korte materialsøyfer som mulig.

Skrap

Skrap fra halvfabrikataproduksjon går i lukkede sløyfer til omsmelting ved primærstøperiene, og her kan man snakke om nær 100% utnyttelse av skrapet. Dette gjelder både gjenvinningsgrad og *kvalitet*, ved at metallet generelt smeltes om til samme legeringsspesifikasjon og bruksområde (slik at man unngår nedgang i eksergiinnhold)

I 1994 ble det produsert ca. 222.000 tonn halvfabrikata i Norge, og tilknyttet dette gikk ca. 101.000 tonn aluminium til intern omsmelting i systemet.

Slagg

Det største metallsvinnet er knyttet til slagging i støperiene (omtrent 1%). Slagget går til behandling eksternt hos slaggsmeltere, som gjenvinner omtrent halvparten av slaggtonnasjen til rent metall. Metallkvaliteter (legeringer) holdes separert ved denne behandlingen, slik at gjenvunnet aluminium kan gå tilbake til de opprinnelige prosessene ved primærverkene. *Resten* fra slaggbehandling (salt, aluminiumoksid og mindre mengder metallisk aluminium) går til kontrollerte deponi.

Dette biproduktet kan benyttes videre. Aluscan har spesialisert seg på å utnytte de siste restene av aluminium i sekundært saltslagg. Etterhvert skal også aluminiumoksidet i slaggresten nyttiggjøres: Det eksisterer et marked for dette biproduktet som deoksidant i jernindustrien. Her nærmer man seg en nær 100% materialutnyttelse av skrapet, ved at det finnes et nisjemarked for avfallsstoffene. Dette betyr at det er potensial for å effektivisere skrapbehandlingen fra primærindustrien ytterligere i årene som kommer.

Ferdigvareproduksjon

Omtrent 76.500 tonn halvfabrikata ble forbrukt ved norske ferdigvarebedrifter i 1994. Avfallsmengdene har vist seg å bli godt utnyttet også i ved ferdigvareproduksjon. Ca. 10-11.000 tonn produksjonskrap genereres hvert år. Disse mengdene blir godt tatt vare på ettersom denne type skrap er ettertraktet på skrapmarkedet. Noe av dette resirkuleres internt i Hydrosystemet, men de aller største mengdene går gjennom skraphandlere. Smilelegeringer og støpelegeringer holdes godt separert i systemet. Men smilelegeringer (plate og profilskrapp) blir vanligvis ikke sortert etter legering med mindre bedriften er en større forbruker av metallet. Forskjellige plate- og profillegeringer går som regel samlet i container til skraphandlere som sorterer skrapet manuelt etter hovedtype.

Det kan synes som det er en viss mangel på informasjonsflyt. Noen ferdigvarebedrifter jeg var i kontakt med hadde ikke kjennskap til at det var en gevinst knyttet til det å holde legeringer separert (som regel småforbrukere av aluminium).

Forbruksfasen

"Flaskehalsen" i systemet er ikke uventet i forbruksfasen, hvor ferdigvarene ender opp som brukt avfall etter endt levetid. Gjenvinningsgraden avhenger av hvilken form metallet opptrer i. Produkter hvor aluminium inngår i enkle, homogene komponenter eller konstruksjoner har en generelt høy resirkuleringsgrad (transport og bygg, høyspentledninger), mens aluminium i komplekskrapp (EE-avfall) og i emballasje gjenvinnes i liten grad.

Transport

I denne sektoren har jeg kun vurdert biler, hvor de største mengdene aluminium vil gå i sirkulasjon. SFT regner med en *innsamlingsgrad* av personbiler og varebiler på nær 100% som et resultat av det eksisterende pantestystemet, men kun 75% av disse går til *materialgjenvinning* ved fragmenteringsanlegg. Dette fører til en beregnet

resirkuleringsgrad for aluminiuminnholdet på 73%. Av 1800 tonn aluminium i innsamlede bilvrak (1995) ble ca.1300 tonn gjenvunnet og sendt til eksport.

→Det vil være ønskelig å øke antall vrak til materialgjenvinning. Dette blir aktualisert ved at aluminiumandelen i bilvrakene vil øke i årene fremover.

Emballasje

Tabell 16.1 viser beregnede mengder brukt aluminiumskrap som resultat av emballasjeforbruk i Norge.

Tabell 16.1 Brukt aluminiumskrap fra emballasjesektoren

	Tonn Al./år
<i>Drikkebokser</i>	250
<i>Skrukork (øl)</i>	115
<i>Forbruksemballasje</i>	1776
<i>Folie</i>	988
<i>Laminater</i>	1640

Liten andel av drikkeboksene resirkuleres fordi de inngår i systemer med innsamlingsrutiner (Flyselskap o.l.). Forbruksemballasje og folier har til nå stort sett i sin helhet gått til deponi eller forbrenningsanlegg, mens en del av laminatskrapet vil gå inn i resirkuleringssystemet som er opprettet for drikkekartong (fra 1994).

Det skal opprettes/har blitt opprettet materialselskap som skal ha ansvar for innsamling og behandling av store deler av emballasjeskrapet:

- *Drikkebokser:* Norsk Resirk (Målsetning 90% materialgjenvinning)
- *Forbruksemballasje:* Materialselskapet for metallemballasje (Målsetning 60% materialgjenvinning innen 1999)
- *Drikkekartong:* Norsk Returkartong (Målsetning 60% gjenvinning innen 1997)

Ren aluminiumsfolie kommer ikke til å komme inn under noen av de planlagte innsamlingssystemene. Det blir regnet som mer samfunnsøkonomisk å energigjenvinne denne fraksjonen i forbrenningsanlegg.

Elektrisk og elektronisk avfall

Det oppstår minst 6 410 tonn brukt aluminiumskrap i denne sektoren hvert år. 25% av dette materialgjenvinnes. Dette dreier seg om produkter innen følgende kategorier:

- Hvitevarer (Ca. 85 % (av totalt Al-innhold) shreds og eksporteres)
- Isolerte kabler (Ca. 43 % gjenvinnes ved kabelgranulering)
- Uisolerte høyspentliner av aluminium (Nær 100% materialgjenvinnes)
- Elektriske motorer og generatorer
- Elektroavfall

Det er estimert at hele 4800 tonn aluminiumavfall går til norske fyllinger og forbrenningsanlegg hvert år fra denne sektoren, som regel som del av kompleksskrap. Det er store mengder problemavfall i denne kategorien, og myndighetene planlegger et materialselskap som skal ha som hovedmål å samlet gjenvinne mellom 80-100%. En forsvarlig gjenvinning kommer derfor til å være sikret.

Det kan ventes en *stor økning* av brukt aluminiumskrap fra *høyspentledning* over tid. Store deler av nettet i Norge består av aluminiumliner som er i ferd med å nå endt levetid.

Bygninger

Små mengder brukt aluminiumskrap kommer på markedet fra byggsektoren i dag, men mengdene vil øke betraktelig i løpet av noen få år. Ca. 450 tonn aluminium går ut som skrap fra renovasjon og riving av bygninger, mens den totale *innebygde* aluminiumtonnasjen ligger rundt 310 000 tonn (usikre tall). Dette betyr at det foreligger store potensielle skrapmengder etterhvert som første generasjons aluminiumsprodukter i bygg når enden av livsløpet.

Skrapbehandling

Skraphandlere behandler og sorterer skrap avhengig av hva slags type det er snakk om. Hvis det er snakk om partier med store kvanta av like legeringer sorteres skrapet og går til omsmelting (til samme kvalitet).

Skrapmengdene som fanges opp i skrapssystemet (nytt og brukt skrap) følger i dag tre hovedstrømmer i Norge. Grad av behandling (sortering) og hvor skrapet ender opp avhenger noe av markedsprisene.

1. *Omsmelting til samme kvalitet - produksjon av valsede halvfabrikata ved Holmestrand Rolling Mill (ca. 7000 tonn plater og profilskrapp fra det norske markedet)*
2. *Omsmelting til støpelegeringer - produksjon av støpebarrer ved Toten metallgjenvinning (produksjon ca 1600 tonn i 1994; 2900 tonn i 1996²¹)*
3. *Eksport til gjenvinning ved utenlandske sekundærverk - Blandet skrap i av små partier Alt shreddet skrap eksporteres.*

²¹ Noe primæraluminium inngår i denne tonnasjen.

Den beste resirkuleringsstrategien vil være omsmelting til samme kvalitet ved HRM. Hvis man tar i betraktning at så mye som 95% av sekundær aluminium i Europa brukes til støpelegeringer (EAA), er det grunn for å si at materialeffektiviteten for denne delen av materialstrømmen i Norge er meget høy. I underkant av 50% av skrapmengdene i Norge smeltes om ved Holmestrand Rolling Mill. En viss andel av dette vil være *liografplater* som har en høy gjennomstrømningshastighet i systemet. Innsamlet emballasjeskrap (valselegeringer) vil i fremtiden inngå i produksjonen ved dette verket.

16.2 **Potensial for økt effektivisering av materialsystemet**

Jeg skal i det følgende ta utgangspunkt i en del hovedelementer innen industriell økologi for å vurdere mulige tiltak for effektivisering av systemet.

16.2.1 **Prosesser**

Energibruk i elektrolysen

På grunn av energiforbruket er elektrolysen den mest belastende prosessen i systemet. I Norge benyttes *vannkraft* i fremstillingen og produksjonen kan derfor i seg selv kalles miljøvennlig. Norskprodusert aluminium basert på vannkraft kan erstatte aluminium basert på kullenergi i utlandet. Men uansett er det ønskelig å forbruke minst mulig energi i prosessene. En måte å vurdere forbedringspotensiale er å sammenlikne energiforbruket med en teoretisk minste mengde energi som må til for bryte bindingene i aluminiumsoksidet. Figur 16.1 viser at det har vært en jevn effektivisering over tid, og at man er i ferd med å nærme seg et minimum. Det er følgelig et lite forbedringspotensial med tanke på energibruk.

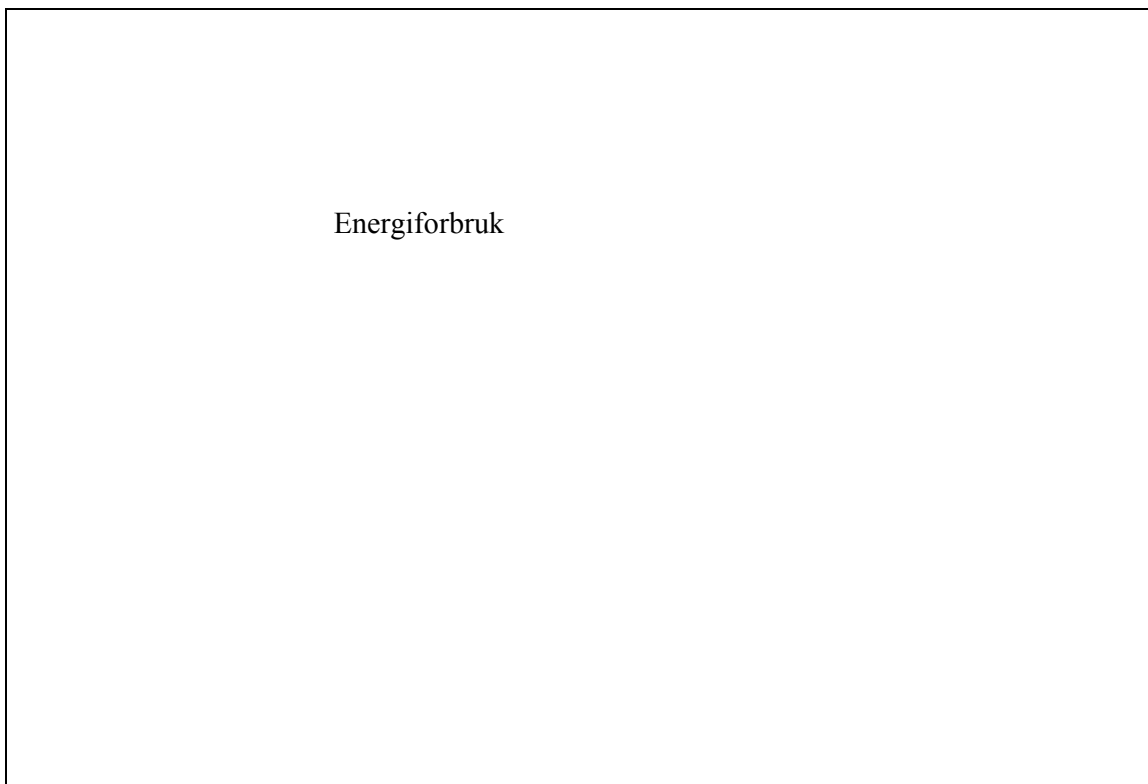


Fig.16.1 *Energiforbruk ved elektrolysefremstilling over tid.*(Naturvårdsverket 1994)

Redusere utslipp fra elektrolysen

Et annet aspekt ved elektrolyseprosessen er forbruket av kull til anoder. På grunn av dette forbruket står norsk aluminiumindustri for hele fire prosent av Norges CO₂-utslipp. Det ville være en enorm fordel om den konsumerbare anoden kunne skiftes ut med en såkalt inert elektrode, som ikke forbrukes og heller ikke avgir uheldige gasser. I dag forskes det i flere fagmiljøer for å utvikle en slik inert anode.

16.2.2 Resirkulering

Kortere / mer effektive materialsløyfer

Skrap fra ferdigvareproduksjonen blir allerede tatt vare på og gjenvunnet ved hjelp av innsamlingssystemet. Det er derimot mulig å gjøre materialsløyfen kortere hvis produsentene av halvfabrikata leverer tilpassede dimensjoner til ferdigvareproduksjon. Som regel leveres for eksempel profiler i standard lengder på 6 meter. Ved å levere i ønskede dimensjoner kan kapp gå i de integrerte skrapstrømmene tilbake til primærverkene i stedet for å ende på skrapmarkedet og muligens utsettes for nedgradering ved blanding med annet skrap.

Resirkuleringsvennlig design

Design av lett demonterbare produkter. Spesielt vil dette kunne være viktig for produkter hvor det inngår forskjellige typer material, for eksempel for bildeler eller EE-produkter. På denne måten kan man stimulere til bruk av den mest miljøvennlige gjenvinningsstrategien, nemlig ombruk av produkter eller komponenter i stedet for omsmelting.

Et annet moment er at det finnes et utall legeringer til forskjellige bruksområder. Færre legeringstyper (og metaller) i produkter vil gjøre resirkulering mindre komplisert.

Biprodukter

Det finnes et marked for aluminiumoksid i slaggesten som i dag hovedsakelig går til deponi. Aluminiumsoksid kan brukes som deoksidasjonsmiddel i jernindustrien. (Aluminiumsoksid er også selve råstoffet ved elektrolyseprosessen)

Prosesser

Blandet aluminiumskrap f eks. fra shredding går i dag hovedsakelig til eksport og gjenvinning ved sekundærverk som produserer støpelegeringer. Manuel separasjon av slikt skrap er ueffektivt og lite aktuelt. Metallgesellschaft AG har utviklet en automatisk sorteringsteknikk som analyserer atomspektre ved å la en laserpuls evaporere deler av overflaten på skrapfragmentene (Schemme). På denne måten er det mulig å differensiere mellom fire smilegeringer og fire støpelegeringer, og tillater en *omsmelting* også for denne typen skrap.

16.2.3 Organisatoriske elementer

Produsentansvar

Produsentansvar er allerede i ferd med å innføres gjennom de planlagte materialselskapene for metallemballasje og EE-avfall. Produsenter og importører får ansvaret for en forsvarlig sluttbehandling etter forbruk av produktene de fører. Ved at driften skal finansieres ved hjelp av vederlag (belastes konsument) blir det også snakk om en riktigere prising av produktene. Miljøkostnaden inkluderes.

Lovgivning

Sauar (1997) beskriver en type skattelegning på energibruken i industrien som skaper incentiver for å effektivisere prosessene. Systemet baserer seg på beregning av hvor mye energi som er *nødvendig* i produksjonen, og en skattelegging av unødvendig energibruk over dette nivået. Dette vil motivere til forbedringer og effektivisering i produksjon, *samtidig* som konkurransevnen ikke svekkes for bedriftene på et internasjonalt marked. Overfor primærprodusenter av aluminium vil for eksempel figur 16.1 gi en indikasjon på hva som kan regnes som realistisk å skattelegge.

Informasjonsflyt

Systemet er komplekst, og det er meget liten kunnskap om enkelte av elementene, spesielt eksport av aluminium i ferdigvarer og skraphandlervirksomhet. Hvis systemanalyse skal brukes effektivt for å effektivisere systemet, bør det være mer *åpenhet* og registrering knyttet til de forskjellige strømmene.

Substitusjon

Hvis man ser de forskjellige *materialsistem* i samfunnet under ett, vil man også kunne vurdere selve bruksfasen med hensyn til bærekraftighet.

Aluminium kan for eksempel substituere kopper i de fleste elektriske ledere. Tabell 16.2 viser forskjellige mål (indekser) på bærekraftighet ved bruk av en del metaller i teknosfæren.

Tabell 16.2 *Antropogene lagre og materialflyt av metaller*



Indeksene er beregnet ut fra materialmengdene som finnes i naturen og de totale mengdene som er trukket ut og sirkulerer i samfunnet (her inkluderes med andre ord ikke energiaspektet). Det kommer frem at aluminium og magnesium generelt kommer best ut på grunn av de store forekomstene i naturen, mens kopper befinner seg helt i den andre enden av skalaen. Med andre ord vil det være ønskelig å substituere kopper med aluminium i en så høy grad som mulig for å gi en høy bærekraftighet i det *totale* systemet.

Et annet aktuelt aspekt knyttet til aluminium og substitusjon er energibesparelser. Substitusjon for stål i biler eller emballasje fører vektbesparelser og redusert energibehov ved transport. Effekter av en slik substitusjon må vurderes ut fra livløpsanalyser (LCA).

Energibetraktning for personbiler (Hydro Aluminium 1993)

Bruken av 100 kilo aluminium vil normalt kunne erstatte 200 kilo stål. Vektreduksjonen på 100 kg vil redusere bilens bensinforbruk med ca. 0,05 liter pr. mil, eller rundt 5 liter bensin for hver 1000 kilometer bilen kjører. Hvis man regner med at bilen kjører 15.000 km i 10 år, vil bensinforbruket reduseres med ca. 750 liter - som tilsvarer en energimengde på ca. 7.500 kWh. Men hvis man antar at ståldelene erstattes av 100 kg primæraluminium, må man trekke 2.000

kWh fra denne energibesparelsen (tilsvarer ekstra produksjonsenergi i forhold til stål). Nettogevinsten blir da 5.500 kWh. Nå resirkuleres derimot rundt 85% av aluminiuminnholdet i biler, slik at den reelle energigevinsten vil være høyere.

17. Konklusjon

Oppgavens hovedformål har vært å kartlegge materialflyten av aluminium i Norge. Hensikten med en slik kartlegging var å drøfte dagens og fremtidens resirkuleringsgrad i relasjon til teknologisk løsning og økologisk effektivitet i systemet samlet sett.

I kartleggingsfasen er det samlet inn data for produksjon, import, eksport og bruk i forskjellige deler av materialsyklusen. Dette omfatter primæraluminium, halvfabrikata og ferdigvarer i viktige produktgrupper. Det er også innhentet informasjon om disponering og resirkulering av kassert materiale i form av avfall og biprodukter.

Det viste seg at enkelte viktige materialstrømmer var vanskelige å kartlegge. Dette gjaldt spesielt aluminium til eksport i ferdigvarer, og mengdene skrap som faktisk samles inn og bearbeides av skraphandlere/gjennvinnere. Det var derfor ikke praktisk mulig innenfor rammene av denne oppgaven å gi en fullstendig oversikt over materialstrømmene i materialsystemet, med den tilhørende analysen av total resirkuleringsgrad. For å vurdere forbruk og mengder brukt avfall som oppstår i forskjellige forbrukssektorer i samfunnet, har jeg benyttet meg av eksisterende statistikker for norske eller nordiske forhold. I oppgaven er det fokusert på de fire viktigste forbrukssektorene av aluminium: Bygg, Transport, Emballasje og Elektro

Hovedkonklusjonen er at store deler av aluminiumssystemet i Norge viser høy økologisk effektivitet etter prinsipper innen industriell økologi og industriell metabolisme. Det finnes systemer som samler inn og behandler aluminiumskrap på en tilfredsstillende måte for elementer i materialsyklusen fra primærproduksjon til og med ferdigvareproduksjon. "Flaskehalsen" i systemet er forbruksfasen, hvor det i dag er knyttet en meget lav resirkuleringsgrad til to av de undersøkte forbrukssektorene. Med etablering av materialselskap og de kravene som knytter seg til dette, forventes resirkuleringsgraden i disse delsystemene å øke kraftig. Tabellen under viser estimerte mengder brukt avfall av aluminium og antatt resirkuleringsgrad for de viktigste forbrukselementer i de forskjellige sektorene i dag. Tallene må vurderes kun som grove estimat på grunn av varierende kvalitet på datamaterialet.

	Vurdert produktgruppe	Brukt avfall (tonn/år)	Resirkuleringsgrad Al (%)
<i>Transport</i>	Person- og varebiler	1818	73
<i>Emballasje</i>	Forbruksemballasje	2141 ¹	≈0
<i>Elektro</i>	EE-avfall	6410 ²	25
<i>Bygg</i>	Bygninger	450	(80)

¹Folie og laminater ikke med i mengdetall

²Høyspentledninger av aluminium er ikke tatt med

Det kan ventes markert økte skrapmengder av aluminium fra bygg, elektro og transportsektoren i årene fremover.

Under arbeidet har det kommet frem at de største hindringene mot effektivisering og innføring av tiltak med et systemperspektiv er manglende informasjonsflyt og registrering i systemet

Trondheim 15.01.98

Jan Ari Christensen

Referanseliste

Alker K. (1992): *Aluminium Recycling: Analysengerechte aufbereitung von Shredder-Shrott*, Erzmetall 45 (2)

"Aluminium" (1994): *Aluminium bouwmaterialen na gebruik*, Nederlandsk tidsskrift (9)

Ayres, R. (1997) : *Industrial Metabolism: Work in progress*, INSEAD

Ayres, R. U. & L. W. and Martinàs, K (1997): *Eco-thermodynamics: Exergy and life cycle analysis*, CMER, INSEAD

Asbjørnsen, O.A (1992): *Systems engineering principles and practices*, Arnold Maryland, USA: Skarpoedd.

Bauman, T. et.al: *Ökoinventare für Energiesysteme*. Del av et sveitsisk prosjekt: "Umwaltbelastung der End- und Nutzenergiebereitstellung".

Benum, S. (1995): *Aluminium i elektriske ledere, prosess, legeringsvalg og egenskaper*, Rapport nr. SFT24 A95601, SINTEF, Trondheim.

Brattebø, H. (1995): *Industrial Production and Sustainability, A conceptual framework for making environmental improvements in industry*, Rapport nr. 4/95. Senter for Miljø og Utvikling.NTNU, Trondheim

Brattebø, H. (1996): Lysark fra forelesninger i kurset "Industriell Økologi" ved NTNU, Trondheim. Finnes på internettadresse:
http://129.241.70.100/PROG/STIE/LectureSlides/ET_CP_IE/

Brattebø, H (1997): Lysark. Internett: <http://129.241.70.100/Prog/STIE/XX>

Connelly, L. and Koshland, C. P. (1997): *Two aspects of consumption: using an exergy-based measure of degradation to advance the theory and implementation of industrial ecology*, Resources, Conservation, and Recycling (nr 19)

Dreier, C.(1995), *Aluminium i Norge - Praktisk anvendelse i bygg*, Byggforsk, Oslo.

Ehrenfeld, J. R. (1994): *Industrial Ecology: A strategic framework for product policy and other sustainable practices*, The second conference and workshop on Product oriented Policy, Stockholm.

Erkman, S. (1997): *Industrial Ecology: A historical view*. Journal of cleaner production. (5)

EAA - European Aluminium Association (1996): *Ecological Profile Report for the Aluminium Industry*. Sammendrag av LCA-prosjekt, Brussel

EAA - European Aluminium Association (1997): *Environmental Issues in the Aluminium industry*. Diskusjon rundt resultatene i EAA (1996), Brussel

EAA - European Aluminium Association (1997): *European aluminium can recycling increased*, Presseskriver.Brussel

Holmberg, J. (1995): *Socio-Ecolocial principles and indicators for sustainability* Institute of physical Resource Theory, Gøteborg

Hydro Aluminium (1996): *Hydros aluminiumvirksomhet i Norge*, Informasjonsbrosjyre

Hydro Aluminium (1993): *Aluminium og økologi* . Informasjonshefte.

Hydro Aluminium; Elkem ANS; Sør-Norge Aluminium AS (1994): *Norsk aluminiumsindustri og miljø - Prosjekt for effektstudier av industriutslipp fra primæraluminiumverk i Norge* .Sammendragsrapport fra større studie.

Kretsløpet (1997): *"Vil ha alle landets kjøleskap"*, (4, side 7); Artikkel.

Kretsløpet (1997): *"EE-avfallsforskrift ute på høring"*, (4, side6); Artikkel

Matforsk (1994): *Kartlegging av emballasjeforbruket i Norge i 1991*.Norsk Institutt for Næringsmiddelforskning, Ås.

Metalgesellschaft AG (1994): *Metalstatistiek*. Frankfurt am Main. Tyskland

Miljøministeriet i Danmark (1993): *Paradigma for massestrømsanalyser*, Arbejdsrapport 57

Miljøverndepartementet, (1995): *Innsamling og gjenvinning av emballasje av aluminium og stål*, Rapport fra prosjektgruppe.

Miljøverndepartementet (1996): *Innsamling og behandling av avfall fra elektriske og elektroniske produkter*, Rapport.T-1135

Miljøverndepartementet (1996): *Elektrisk og elektronisk avfall. Omsetningstall, avfallsmengder og håndtering*. Underlagsrapport utarbeidet av Hjellnes COWI, Oslo.

Naturvårdsverket (1996): *Materialfløden i samhället - Metaller. Redovisning til regeringen del 2, Rapport 4506*.

Naturvårdsverket (1994): *Viktiga materialflöden. Förutsättningar för aktionsplaner*. . Rapport 4384

Naturvårdsverket: (1996): *Kartlegning av materialflöden - inom bygg- och anleggningssektorn*, Rapport 4659

NORSAS (1995): *Sortert avfall - marked og aktører*, Rapport

OFV - Opplysningsrådet for Veitrafikken AS (1997): *Bil- og veistatistikk 1997*

O'Rourke, Connely, Koshland (1997): *Industrial Ecology: A critical review*

Rink, C. (1994): *Aluminium, Automobil und recycling*, Bericht nr:515, Aluminium-Verlag

Sagar A. D. og Frosch, R. A. (1997): *A perspective on industrial ecology and its applications to a metals-industry ecosystem*, Journal of cleaner production, nr. 5

Sauar, E. (1997): *Taxing energy losses in industry*, Dept. of Physical Chemistry, NTNU, Trondheim

Schemme, K.: *Recycling of Aluminium - General aspects*, The 4th International conference on Aluminum alloys

Sellesbakk, R. H. (1993): *Konstruksjon av lette mekanismer*, Hovedoppgave, Inst. for maskinkonstruksjon og materialteknikk, NTH

Skandaluminium (diverse årstall): *Aluminiumsindustri i Norden, Produksjon og forbruk* Statistikker.

Støperienes Bransjeforening (1995): *Norsk Støperiindustri*. Informasjonsbrosjyre

Støperienes Bransjeforening (div. år): *Støperistatistikk*. Statistikk for medlemmene i TBL-støperi

Svendsen, B., Rikter Svendsen, K. (1992): *Et konkurransedyktig Norge: Aluminiumsindustrien*, Rapport 60/92, Stiftelsen for samfunn og næringslivsforskning, Bergen.

Svendsen, B. (1989): *Norsk aluminiumsindustri. Situasjoner og utsikter* Rapport 108, Næringsøkonomisk Institutt

Syversen, F. (1984): *En materialstrømsanalyse for aluminium*, Hovedoppgave, Inst. for Vassbygging, NTH

Teknologisk institutt (1994): *Avfallsreduksjon og kildesortering i byggebransjen*. Rapport 94:11, SFT.

Thomas M.P, Wirtz A. (1994): *The ecological demand and practice for recycling of aluminium*, Resources, Conservation and Recycling, (10)

Thonvald, O.T. (1994): *Avfallsreduksjon og kildesortering i byggebransjen*, SFT-rapport 94:11

Thundal, B. (1991): *Aluminium*, Almquist & Wiksell

Umwelt- und energie-consult (1990): *Recycling of Non-Ferrous-Metals from wrecked Cars*, Rapport til SFT

Venås, K. (1996): *Fremstilling av aluminium, Støpeteknikk*, PIL-skolen og Institutt for Kjemi, og Høgskolen i Sør-Trøndelag,

Vorst, R. van der (1997), *The development of a terminology for an environmental protection*, Foredrag ved The Fourth European Roundtable of Cleaner Production (ERCP), Oslo 1997.

Wulff, E. (1992): *Aluminiummiljøet i Norge idag*, SINTEF, Rapportnr. STF05 A92010,

Ytterås, E. (1996): *Resirkulering av aluminium*, Prosjektoppgave, Fakultet for geofag og petroleumsteknologi, NTNU

Vedlegg I Definisjon av termodynamiske begreper

- *Energi* er et mål på bevegelse (kinetisk energi) eller mulighet for bevegelse (potensiell energi)
- *Antall frihetsgrader* er denne bevegelsens antall mulige dimensjoner. For partikler som beveger seg fritt er antall frihetsgrader lik tre: De har tre dimensjoner å bevege seg i. For partikler som er fast bundet til hverandre eller tvunget til å bevege seg i en dimensjon (for eksempel elektroner i en ledning) blir frihetsgradene redusert. Partiklenes energi blir på samme tid fordelt over færre dimensjoner og derfor mer konsentrert og brukbar.
- *Temperaturen* i et system er et mål på energi per grad av frihet. Jo høyere temperatur jo større blir derfor bevegelsen av varme.
- *Entropi* er et mål på hvor koordinerte, eller snarere ukoordinerte, partiklenes bevegelse er. Dette er nært knyttet opp til hvor mange dimensjoner partiklene kan bevege seg i: Entropi er et mål på hvor mange frihetsgrader energien er fordelt over (enheden er Joule / Kelvin). Jo flere frihetsgrader, jo vanskeligere blir det å dra nytte av energien. Eksergi blir derfor et mål på utgjengeligheten av energi i systemet.
- *Eksergi* har samme enhet som entropi og beskriver hvor mye arbeid som kan trekkes ut av et system som går tilbake til likevekt med sine omgivelser. En gitt mengde energi er mer verdifull jo mer koordinert partikkelbevegelsen er, eller jo høyere eksergien er (eller jo lavere entropien er). Eksergien beskriver slik den "nyttige" delen av energien. Den relateres ofte til en gitt likevektstilstand, for eksempel omgivelsene eller en kjemisk likevekt. Eksergi uttrykker derfor et avvik fra termodynamisk likevekt, en kontrast.

Vedlegg II - Bedriftseksempler og prosesser

Ferdigvarer

Elektro

Hydro conductor- Hovedprodukt liner

Emballasje

Skaniem

Nordiska Tub

Transport

Vestfold Karosseri - produksjon av togsett

Varer for skip og offshore

Marine Aluminium

Bygg

Vindusproduksjon - markedsforhold

Gjenvinnere

Aluminium fra Bygg

Grave-service, Skien

Hvitevarer og elektronikk

Stena Miljø (i drift fra 1997)

Bilvrak

Oppsamlingsplasser

Shredding (Hellik Teigen, Franzefoss Fredrikstad, Johan Johnsen)

Kabelgranulering

Kabelgranulering AS, Skien

Private renvatører

Norsk Gjenvinning AS - Innsamling og grov bearbeiding

Ragn Sells

Skraphandlere/Gjenvinnere

Rolf Bakke AS

Franzefoss Gjenvinning, Drammen (Tidligere Bergerud Gjenvinning)

AS Oppland Metall

Anda Brødrene A/S

Støperier

HA Fundo

Sekundærproduksjon

Omsmelting

Holmestrand Rolling Mill

Produksjon av støpebarrer

Toten metallgjenvinning

Slaggbehandling

Sekundært

Multiserv i Karmøy

Aluvest

Ferdigvarer

Elektro

Hydro conductor- Hovedprodukt liner

(Samtale med Gunnar Andersen)

HA-Conductors hovedprodukt er kraftledere (liner), men bedriften produserer også kabledere. På det norske markedet produserer de både til ABB og Alcatel.

Produksjonen ligger på 8-10000 tonn i året, men i det siste har det vært små mengder som har gått til norsk forbruk. Andersen estimerer 600-700 tonn de siste par årene.

Conductor mottar ferdig legerte 100 kilos bolt fra smelteverket (155mm i diameter og 2 meters lengde), som vales ned til tråd (oppvarmet). Deretter trekkes tråden til de ønskede dimensjonene. Conductor har spesialisert seg på liner med legert aluminium. De bruker en herdbar legering med høyere styrke, men nesten samme ledningsevne som ren aluminium. Dette gjør det mulig å produsere liner uten stålkjerne. I Sverige er 95% av ledningsnettet basert på slike legerte aluminiumsliner, men i Norge har ikke dette slått igjennom. Oslo Energi og Hafslund i Fredrikstad er blant de få som har gått over til denne typen ledere. Fordelen med rene aluminiumsliner er både mindre masse (jernkjernen utgår) og enklere gjenvinningsprosesser.

Emballasje

Skaniem (Stavanger)

Skaniem produserer hermetikkbokser og lokk ved hjelp av stanseprosesser. Produksjonen er basert på coil og plater fra Holmestrand og import (mindre mengder), og ligger på rundt 2400 tonn pr. år.

De genererte skrapmengdene ligger et sted mellom 350 og 500 tonn, og sendes til et gjenvinningsfirma (Anda Brødrene) som komprimerer og transporterer skrapet videre til Holmestrand Rolling Mill for omsmelting.

Nordiska Tub

Bedriften produserer aluminiumstuber fra rondeller (leveres fra Hydoslug i Høyanger) og er eneste produsent i Norge av denne typen emballasje. Typiske produkter er tuber for kaviar (rene aluminiumstuber) og tannpastatuber (plast/aluminiumsløsninger).

Aluminiumsforbruket ligger på ca. 750 tonn aluminium årlig, med en skrapprosent på rundt 8%.

Rondellene (små dimensjonerte plater) presses ut i en kaldflyt prosess (kaldtrykk pressing). De ferdige tubene produseres i en integrert prosesskjede hvor blant annet flatene lakkres og plast kapsler settes på. Den høye skrapprosenten skyldes hyppige omstillinger til forskjellige typer tuber og trykk, hvor det oppstår en del vrak i overgangene til effektiv drift.

Det oppstår både lakkert og ulakkert skrap. Begge fraksjoner går i en samlekcontainer og selges til skraphandler, hvor skrapet blir presset og går til eksport. HRM kunne vært en mulig avtaker av skrapet, men så lenge lakkert og ulakkert ikke separeres er de ikke interessert.

Transport

Vestfold Karosseri - produksjon av togsett

(Samtale med Bjørn Sætern)

I nye tog brukes aluminium i stor grad i interiør og etterhvert også som chassis. For det engelske markedet produserer Vestfold Karosseri togsett hvor strukturdelen består av aluminium. Togsettene til Gardermobanen inneholder mye aluminiumsprofiler i interiøret: 24 langsgående profiler brukes innvendig i togsettene. Produksjonen er prosjektbasert, - forbruk og mengdene aluminiumskrap vil variere. (I år ca 3 tonn aluminiumsskrap (ga 20000 kroner i kaffekassa))

Marine Aluminium - varer for skip og offshore

Bedriften produserer varer for skips og offshore. Helikopterdekk, broer, overbygg til skip, skrogseksjoner av aluminiumsprofiler (leverer skrogseksjonene videre bl.a. til Kværner Fjellstrand). Profilene importeres fra Sverige (SAPA).

Det oppstår en del skrap i produksjonen - årlig leveres ca 50 tonn aluminiumkapp og spon til skraphandler i Oslo. Aluminiumforbruket oppgis å være ca 500 tonn hvert år.

Bygg

Vinduer av aluminium

Det finnes mange produsenter av aluminiumssystem i vinduer og dører i Norge. I produksjonen brukes profiler til rene aluminiumsløsninger (går mest til forretningsbygg og det offentlige- krever minimalt med vedlikehold) og aluminium kombinert med tre (boligbygg for det meste). Profilene kommer fra norske produsenter (HA-profiler, Raufoss) eller kjøpes via grossister som importerer fra utlandet. H-vinduet er en av de største produsentene av vindussystemer i Norge.

Systemleverandører

Det meste av materialflyten for aluminium går her gjennom større systemleverandører, og av disse er det bare noen få store i Norge. Disse er:

Schuko,
Huuch,
SAPA,
Nord Norsk Al
Wicona (Del av Norsk Hydro)

For å få et overblikk over markedet er det naturlig å gå gjennom disse.

De siste tre fire årene har gått 1,3 til 1,5 millioner vindusenheter til forbruk på det norske markedet. Av disse inneholder ca 10% aluminiumsprofiler, enten som rene

aluminiumsvinduer, eller i kombinasjon med tre. (Per Ivar Lian, markedsansvarlig ved Multiprofiler (Salsbruket))

Gjenvinnere

Aluminium fra Bygg

Grave-service, Skien (Arnfinn Hansen)

Grave-Service er en av Norges største riveentreprenører, og har utviklet et system for effektiv resirkulering av byggeavfallet. De disponerer 20 større rive- og knusemaskiner som kan behandle byggeavfallet på stedet. Maskinene skiller jernfraksjonen ut med magneter, og aluminiumsfraksjonen inngår i egen container for umagnetisk metall.

Før riving fjernes gjenstander som kan demonteres - som for eksempel himlinger, tak- og veggplater og lysarmaturer i aluminium. Aluminiumslistor, vindusrammer o.l. separeres ut med klyper etter riving og knusing.

Lysarmaturer og andre aluminiumsdeler av spesiell høy kvalitet selges for gjenbruk. Det aller meste går derimot i den umagnetiske metallfraksjonen. Aluminium sorteres ut og klippes opp til håndterlig størrelse for videre transport og senere omsmelting.

Aluminiumslegeringer separeres ikke fra hverandre med mindre det er snakk om spesielt store kvanta, for eksempel ved større bygg med aluminiumskledning e.l. Vanligvis er det små mengder aluminium fra et riveprosjekt. Det opplyses at det er meget vanskelig å si noe generelt om hvor store mengder aluminium som finnes i hus.

Hvitevarer og elektronikk

Stena Miljø (i drift fra 1997)

Hos Stena Miljø går hvitevarer til oppmaling i en tretrinns kvern etter at olje, KFK og kvikksølv er fjernet. Lett fraksjon fjernes ved hjelp av en vindsikt før de øvrige materialene som jern, aluminium, glass og plast separeres ved hjelp av en roterende magnet og en virvelstrømseparator. Stena Miljø har kapasitet til å ta imot alle kasserte hvitevarer i Norge. Bedriften skal også behandle elektronisk avfall.

Bilvrak*Oppsamlingsplasser (130 i Norge)*

Her blir samles bilvrakene inn og klargjøres for videre behandling:

- Demontering av gjenstander som egner seg til gjenbruk
-motor, batteri, hjulkapsler, radiator, etc.
- Drenering av olje og andre miljøskadelige stoffer.
- Pressing

Ved fullstendig demontering og drenering reduseres bilens vekt fra en gjennomsnittlig vekt på 1000 kg til 720 kg. Avhengig av hvilke deler som tas ut vil aluminiuminnholdet i vraket bli mindre - Spesielt radiatorer og motorer er komponenter som inneholder mye aluminium. Men graden av demontering vil variere. SFT regner med en gjennomsnittlig vrakvekt etter demontering på 721 kg, og dette synes å være noe lavt. I en tysk undersøkelse ble det registrert følgende gjennomsnittlige mengder aluminium i biler, før og etter demontering ved oppsamlingsplass (Gjennomsnittsvekten for bilvrak etter demontering var i denne undersøkelsen 807 kg):

	Produksjonsår 1970-75		Produksjonsår 1975-80	
	kg/vrak	% av totalvekt	kg/vrak	% av totalvekt
<i>Før demontering</i>	26.5	2.70	29.8	2.90
<i>Etter demontering</i>	18.9	2.34	20.5	2.54

Dette betyr at i overkant av 30% av aluminiumsmengdene ble tatt ut for ombruk og gjenvinning før fragmentering. I Norge regnes mengdene etter demontering som noe mindre på grunn høyere demonteringsgrad ved norske oppsamlingsplasser.

Shredding (Hellik Teigen, Franzefoss Fredrikstad, Johan Johnsen)

I shredderen kutter eller slår hurtig roterende hammere gjenstander ned til fragmenter. Figuren under viser en prinsippskisse av en shredder. Etter nedknusing transporteres skrapbitene på transportbelte til en luftklasserer, hvor partikler som støv og plast skilles ut i en lett fraksjon, eller fluff (20-21%). Den tunge fraksjonen går videre til behandling i en magnetseparator. Her skilles jernfragmentene ut (70-71%), og etterlater ikke-metallisk skrap og umagnetiske metaller som en rest (8-10%) (NFM - Non Ferrous Metals).

Kabelgranulering

Kabelgranulering AS, Skien

Prosesser:

Kablene grovhogges først ned til stykkstørrelser rundt (5-30cm) i en kvern . Deretter "raspes" stykkene ned til mindre størrelser før de går inn i en granulator. Her kvernes massene slik at plast og metall skiller lag. Plasten separeres ut på et ristebord med underluft.

Hvis det ønskes rene metallfraksjoner må aluminium og kopper separeres i en kabelskreller i forkant av granulering. I denne prosessen skrelles platen og kopperlaget av aluminiumtrådene. Dette gjelder spesielt gamle kabler, som ofte er aluminiumsledere med koppersjerm. Det betyr ekstraavgifter å fjerne kopperet fra aluminiumkablene (krever 2-3 mann for å drive prosessen), og gjøres derfor kun hvis prisforskjellen mellom rent og blandet granulat er stor nok (avhenger av prisen for sekundærmetall på LME). Nye kabler består vanligvis av fire aluminiumsledere, og dermed unngås dette problemet.

Private renavtører

Norsk Gjenvinning AS - Innsamling og grov bearbeiding

Norsk Gjenvinning sirkulerer etterhvert ganske store mengder metallskrap i Norge. De selger en tjeneste overfor kundene ved å ta imot og transportere avfallet som genereres. Skrapet samles inn i containere og fraktes til et eget anlegg for bearbeiding i Oslo. Her skilles metallet ut i en grov- og finsorteringsprosess, fraksjoneres og komprimeres før det selges til gjennvinnere. Normalt er dette blandet metall, "sams". Det er sjelden at aluminium sorteres ut som en egen fraksjon. Norsk Gjenvinning har også levert rene aluminiumfraksjoner direkte til omsmelting hos Toten Metallgjenvinning.

Ragn Sells

Driver ren innsamling og bearbeider avfallet i mindre grad. Metallfraksjonen går til skraphandlere.

Skraphandlere

Rolf Bakke AS

(v/Svein Fredrikstad)

Rolf Bakke er den største av skrapgrossistene. Bedriften tar imot store mengder brukt og nytt aluminiumskrap, og omsetter etter eget utsagn ca 60% aluminiumskrapet på markedet i Norge. Bedriften er engasjert i flere andre gjenvinningsbedrifter, bl.a. eier de 50% i Kabelgrannulering AS i Skien og 44% i Oppland Metall på Gjøvik.

Bedriften disponerer kraner, sakser, analyseutstyr, elektriske vekter, oljeavskillere, presser og kabelskreller, og er i stand til å bearbeide og sortere aluminium i gode kvaliteter. Rolf Bakke AS er en av hovedleverandørene til produksjonen ved Holmestrand Rolling Mill i Norge.

Franzefoss Gjenvinning, Drammen (Tidligere Bergerud Gjenvinning)

v/Karl Dahl

Bedriften samler inn aluminium og videresender for det meste til utlandet. Flere typer legeringer og former for aluminium samles inn. Hovedaktiviteten er *kabelgranulering*. Franzefoss er den største av de to kabelgranulererne i Norge (Kabelgranulering i Skien er beskrevet tidligere). Bedriften vil ikke oppgi data for produksjon og omsatte mengder.

AS Oppland Metall

(v/Odd Linnerud)

Tar imot aluminiumsskrap fra hele GLP-regionen i containere fra forskjellige bedrifter. En stor leverandør er Raufoss ASA som leverer spon og kapp med kjent sammensetning (sink legeringer fra bildelsindustrien). Hos Oppland bearbeides skrapet i mindre grad før mesteparten eksporteres for videreforedling i Tyskland. Sponet briketteres i pressmaskiner for å fjerne mest mulig fuktighet og gi høyere tetthet (lettere å smelte om). Oppland kjøper også inn aluminiumskabler (høyspentledninger) med jernkjerne, som kappes opp og sorteres i en Al og Fe fraksjon (magnetisk separering). (produksjon av aluminiumsticks). Ellers tar de inn forskjellige typer brukt skrap. Det foreligger ingen bokføringsrutiner som gjør det mulig å kategorisere de forskjellige skraptypene som går gjennom bedriften. Toten metall eies 50% av Rolf Bakke i Oslo, og en del av skrapet som samles inn her sendes dit.

500 tonn aluminiumskrap går til HRM og Toten metallgjenvinning (50%).

Salgstall de to siste år:

1996: 2 350 tonn Al

1995: 2 700 tonn Al

Anda Brødrene A/S

(v/Kjetil Himle)

Bedriften tar imot hovedmengdene av skrapet som oppstår i Stavangerområdet. Metallet kommer fra alt fra privatpersoner til større bedrifter. Brødrene Anda driver i tillegg opphugging av skip, og er den største av de to skipsopphuggerne i Norge. En del aluminium skiller ut fra denne virksomheten, men mengdene er i følge Himle relativt små. Større skip sendes til utlandet for opphugging (India).

Prosessene

Aluminiumsskrapet demonteres, klippes og sorteres i hovedfraksjoner før det sendes til forskjellige kilder i Norge og utlandet. På oppdrag fra Hydro drives en slags "leievirksomhet", hvor prosesskrap fra hermetikkbedriften Skanem presses før det sendes tilbake til omsmelting ved HRM (ca 550 tonn pr år). Fraksjonen gammel vals,

som er en samlebetegnelse på plater og andre større brukte enheter, sendes til fraksjonering hos Johan Johnsen i Skien ("søsterbedrift").

Ca. 50% av aluminiumet (det mest høyverdige skrapet og fraksjoneringsdelen fra Johan Johnsen i sin helhet) går til omsmelting hos Holmestrand Rolling Mill, mens resten eksporteres til forskjellige land (Danmark, Finland, en del gammel vals til Luxemburg).

Støperier

HA Fundo

(Samtale med Asbjørn Prestmo, HA-Fundo)

Hydro Aluminium Fundo har ca 50% av støpemarkedet for aluminium i Norge, og produserer felger i aluminium for bilprodusenter i utlandet (i dag: Audi, Opel og NedCar). All produksjon går med andre ord til eksport.

Bedriften er lokalisert i Høyanger og benytter flytende elektrolysemetall fra Høyanger verk som basis for produksjonen. En liten del baseres også på kaldmetall (ingots) fordi det hender at verket ikke kan levere store nok kvanta. Dette metallet kjøpes inn fra forskjellige kilder (Kanada, Årdal verk), og det anslås at det dreier seg om ca. 50 tonn på årsbasis. Det benyttes ikke sekunderaluminium i prosessene fordi kravet til kvalitet og renhet er meget stort fra kundenes side. Det regnes derimot som interessant å trekke denne typen metall inn i produksjonen hvis det er mulig å få gode nok garantier på kvalitet, men dette blir vurdert som vanskelig i dag.

Prosessene

På veien fra elektrolysen til mikseovnen går metallet gjennom en renseprosess. Urenhetene absorberes i en saltfluks (Al-fluorid) og går ut med saltet som slagg. I mikseovnen blir legeringselementene tilsatt i ønskede mengder (Silisium, Titan), før metallet via holdeovner går videre til støperiet. Her støpes bilfelgene ut i mindre støpemaskiner ved hjelp av lavtrykk støpeprosesser med kokiller.

Produksjon (*)

År	1984	1990	1996
Antall produserte hjul	250 000	500 000	750 000
Vekt [tonn]	1900	3900	6000
Ren aluminium [tonn]	1700	3500	5400

(*) Tallene i tabellen er omtrentlige og indikerer bare mengdene som går ut fra verket.

Årlige skrapmengder (1996 - 1997)

Slagg	Innløpstapper og grovspon	Dreie- og borespon	Ulakkert vrakfelg	Lakkert vrakfelg
1000 tonn	60 tonn	2000 tonn	12% av netto solgt	3% av netto solgt

Kommentarer til skrapmengdene:*Slagg:*

I dag oppstår det ca. 1000 tonn slagg per år fra smelte og støpeovnene, og dette selges til Multiserv. Gjenvunnet metall sendes ikke tilbake til Fundo, men inngår i produksjonen ved andre smelteverk innenfor Hydro-konsernet (brukes til oppjustering av silisiuminnhold i primærverk). Slaggmengdene har økt de senere årene på grunn av bedre slagging og renhold i ovnene.

Innløpstapper og grovspon:

Disse vrakmengdene oppstår ved rensing av innløpstappene, og blir solgt til gjenvinnere (Toten).

Dreiespon

Dreie og borespon oppstår ved maskinering og bearbeiding til ferdig produkt. Mengdene har økt kraftig de siste åtte årene (fra 500 til 2000 tonn) fordi bedriften i økende grad har gått over til herdede (varmebehandlede) hjul i produksjonen, og dette gir økt maskineringsmonn. Dreiesponet har blitt solgt som briketter, men fra 1994 til 1996 ble brikettene i sin helhet resirkulert i smelteriet. Denne praksisen ble derimot stoppet av SFT på grunn av periodiske røykutslipp som kunne oppstå på grunn av oljeinnhold i sponet. Sponet blir fra i år i sin helhet solgt til Toten Metallgjenvinning for omsmelting, og det gjenvunnede metallet blir i likhet med metallet fra slagget solgt videre til produksjon i andre Hydro-verk. Tidligere gikk det meste av sponet til eksport.

Vrakfelg:

All vrakfelg ble resirkulert internt frem til slutten av 1996, da SFT gikk inn og stoppet omsmeltingen av lakkvrak. De lakkerte vrakfelgene blir fra i år solgt til Toten Metallgjenvinning (tidligere eksport).

Sekundærproduksjon**Omsmelting***Holmestrand Rolling Mill*

Eksternt skrap kjøpes sortert fra skraphandler, og ønskes så rent som mulig for å minimere bruken av primærmetall og legeringselementer i produksjonen. En del av skrapet forbehandles også internt. En del av skrapet leieshreddes hos Franzefoss gjenvinning i Fredrikstad.

Eksternt skrap og spon ('vanskelig' skrap) blandes med internt skrap som har kjent sammensetning (avkapp, etc) for å lage de ønskede legeringstypene. Det er to ovner i bruk: En satsovn og en semikontinuerlig ovn med to kammer. I den semikontinuerlige ovnen forvarmes skrapet før det settes til et bad av allerede smeltet metall. På denne måten blir nedsmeltningen effektiv og det genereres mindre mengder slag.

Metallsmelten fra de to ovnene overføres via renner til holdeovner, hvor analyser og justeringer foretas. På den videre veien til støpebordet utsettes smelten for gasspyling (argon) for å fjerne forurensninger (hydrogen, natrium og kalsium-inneslutninger). Deretter støpes det ut valseblokker som vales ned ved hjelp av varm- og kaldvalseprosesser.

Produksjon av støpebarrer

Toten metallgjenvinning

Toten metallgjenvinning tar i mot skrap og smelter om til støperbarrer i forskjellige kvaliteter. Skrapet kommer fra det norske markedet, og barrene som produseres går hovedsakelig til støperier i Norge. Det har vært eksportert bl.a. til Sverige, men dette skal nå fases ned.

Skrapet leveres hovedsakelig fra skraphandlere, men bedriften tar også imot prosessskrap direkte fra bedrifter. Det differensieres ikke mellom gammelt og nytt skrap, men det anslås at ca. 50% av det som smeltes om er brukt (veiskilt, fasadeskrap,...). Denne andelen har vokst de senere årene etter at verket fikk installert ovn som gjorde det mulig også å ta inn lakkert skrap til omsmelting.

Toten tar imot slag fra støperier, men har ikke utstyr til å behandle dette selv. Slagget blir sendt til Aluvest for behandling og Toten får gjenvunnet fraksjon tilbake.

Det brukes primærmessing for oppgradering av legeringene, oppkjøpt fra HA (men det dreier seg om kanadisk produsert metall). Etterhvert har vrakgods fra Fundo (høy kvalitet) tatt over mye av denne funksjonen.

Største kunder er Elart, Fibo (størst), Noral, Fundo, Rolvsøy).

Produksjonsoversikt:

<i>År</i>	<i>Produksjon</i>	<i>Eksportandel</i>
1989	200 (tonn)	50%
1990	500	50%
1991	700	50%
1992	900	95%
1993	900	95%
1994	1600	95%
1995	1700	60%
1996:	2900	60%
1997:	4000	50% (til Sverige)

Det forbrukes mye silisium metall (legeringsselement) i produksjonen: ca 3-4 tonn i året

Bedriften har to ovner: En 750kw induksjonsovn med kapasitet 1 tonn / time (kan smelte spon) og en stasjonær trekammers oljefyrt ovn som går på diesel, denne har 6 tonns holdekammer og avgassbrenner, slik at vanskelig avfall (lakkert, oljetilgriset, isolerte profiler) kan behandles.

Slaggbehandling

Multiserv i Karmøy

Bedriften startet opp i 1990 og driver "leiesmelting" for støperier

Det mottas slagg av forskjellige legeringer og kvaliteter (metallinnhold). Disse blandes ikke i prosessene, men holdes adskilt i separate binger for at kunden skal kunne få metall tilbake i en kvalitet som kan gå tilbake i de opprinnelige prosessene. Slagget smeltes i saltbad. Ren metallfraksjon synker ned, tappes og støpes ut i blokker på ca 600 kg. "Urenheter" forblir i saltet.

En roterende saltbadovn med propanfyring har vært i drift siden oppstarten i 1990. Behandlede slaggmengder har ligget på mellom 20000 til 30000 tonn pr. år. I fjor ble saltbadovn nummer to kjøpt inn (drives på naturgass), og omsetningen økte til 40000 tonn.

Norsk Hydro sender store deler av slagget hit for behandling, og er også den største kunden (over 50% av gjennomgangen). Ellers behandles slagg fra en del mindre støperier, også fra utlandet (mindre mengder fra Sverige og Island).

Aluvest

Aluvest ble etablert i 1996. Bedriften har et meget nært samarbeide med Aluscan

Aluvest har utvidet smeltekapasiteten med to roterende ovner, og tar nå også imot slagg fra primærverk for omsmelting. Dette er for det meste basert på tollingvirksomhet (leiesmelting), men det kjøpes også slagg inn fra det internasjonale spotmarkedet. I Norge behandles ca 2500 tonn

Granulatfraksjonen fra Aluscan smeltes om til 500 kilos slugs, som i all hovedsak eksporteres til smelteverk i Østen. Granulatet stammer fra saltslag fra forskjellige omsmelteverk i Europa og varierer i kvalitet. Slagg årlig fra Sunndal verk (distanse: 45 km). Aluvest smelter disse direkte uten å legere. Omsmelting gir derfor et "blandingsprodukt". Dette selges til sekundærverk i utlandet hvor det brukes som tilsatsfaktor i forskjellige støpeprosesser.

Aluvest sender ca. 12000 tonn saltslagg fra egen produksjon til Aluscan, og får granulatfraksjonen tilbake igjen. Når Aluscan får i gang resirkulering også av aluminiumoksidet i saltslagget kan man snakke om nær 100% utnyttelse av aluminiuminnholdet.

Vedlegg III Datagrunnlag

- Primærproduksjon
- Halvfabrikata (Tråd, profiler, plater)
- Halvfabrikata (Tråd)
- Sluttforbruk av halvfabrikata i Norge (Metalgesellschaft)
- Støpegods
- SSB Industristatistikk (Næringsgruppe mot varenummer 7600-7616 (Aluminiumsvarer))
- Generelle aluminiumsdata, Norge (Metalgesellschaft)
- SSB Utenrikshandel: Emballasje
- Miljøverndepartementets prosjektgruppe: Forbruk av aluminium emballasje i Norge (1994)
- Matforsk: Forbruk av aluminium emballasje i Norge (1991)

Vedlegg IV Kontaktpersoner

(Dette er en oversikt over noen av personene jeg har vært i kontakt med under arbeidet)

GJENVINNING og AVFALL:

Kjell Skaug, Materialselskapet for glass og metall
Willem Rosenlund, Norsk Gjenvinning
Jan Nikkerud, Hellig Teigen
Karl Dahl, Franzefoss Drammen
Odd Linnerud, Oppland Metall
Jack Grimsrud, Norsas
Barbro Sørbro Eng, Norsas
Bjørn Granerud, SFT, Bilvrak
Brita Dagestad SFT, Avfallssorteringprosjekt
Arnfinn Hansen, Grave-service, Skien
Sørum & Søn, Minnesund (hugger busser)
Lasse Jacobsen, Containerservice
Tore Metli Hagen, Oslo Renholdsverk

STØPERI:

Asbjørn Prestmo, Fundo

EE_AVFALL:

Tor kristian Svendsen, Stena Miljø
Eirik Wærner, Hjeltnes COWI

BYGG:

Per Ivar Lian, Multiprofiler
Arne Granlund, Wicon

OMSMELTNING, GJENVINNING:

Terje Lofthus, Toten metallgjenvinning
Tore Hybertsen, Holmestrand
Sjøli, Aluscan
Sæbø, Aluvest

EMBALLASJE

Nordiska Tub
Petter Herø, Hydro Aluminium
Tore Johan Sjursen, Norsk Blikkvalseverk

TRÅD, KABEL

Gunnar Andersen, HA Conductor