

Mogelijkheden van benutting van hout voor energie*)

Use of wood for energy

A. M. Filius en J. A. H. Lonsain
Vakgroep Boshuishoudkunde Landbouwhogeschool, Wageningen

1 Inleiding

Als criteria voor een rationeel energiegebruik kunnen worden genoemd:

- milieueffecten;
- netto-energetisch rendement;
- diversificatie;
- kosten;
- opbrengsten.

In dit artikel staan de criteria kosten en opbrengsten van houtgebruik voor energie centraal. Eerst zullen kosten en opbrengsten van houtgebruik voor energie vanuit het gezichtspunt van de bosbouw worden besproken. Het aanbod van hout voor energie is mede afhankelijk van de verhouding tussen deze kosten en opbrengsten. Welke factoren bepalen deze kosten en opbrengsten? Daarna worden de kosten en opbrengsten behandeld vanuit het gezichtspunt van de (potentiële) gebruiker van hout voor energie. Kosten en opbrengsten voor deze gebruiker zijn mede bepalend voor de vraag naar brandhout. Getracht zal worden aan de hand van een onderzoek naar de rentabiliteit van houtgestookte ketels inzicht te krijgen in de factoren die bepalend zijn voor deze kosten en opbrengsten van het gebruik van hout voor energie.

Ook al is zowel voor de aanbieder als de vrager van brandhout de opbrengsten/kostenverhouding gunstig, dan wil dit nog niet zeggen dat een groot deel van de potentieel beschikbare hoeveelheid hout ook werkelijk aangewend zal worden voor energie. Factoren die deze aanwending belemmeren zullen worden opgespoord.

Tenslotte komt de vraag aan de orde welke plaats hout inneemt in het nationale energiebeleid en welke aspecten een beleidsprogramma voor hout voor energie kan omvatten.

De studie is grotendeels beperkt tot hout voorzover dit direct afkomstig is uit het bos. Mogelijkheden van gebruik van houtafval voor energie zijn elders reeds bestudeerd (Centrum voor Houtresearch, 1981; Van Dijk, 1981; Stichting voor Afvalverwijdering, 1979).

Summary

The attractiveness of using wood for fuel depends on the balance between costs and revenue. The following financial conditions, which determine the demand and supply of wood for energy purposes, are discussed:

- *The wood must be priced competitively vis-à-vis other fuels.*
- *The value of wood for other uses must be lower.*
- *The costs of harvesting the fuelwood (including transport costs) must be lower than the market value of the wood.*

Competition with other uses of wood can be limited if forest residues are available for energy production. Whether these residues are used depends on harvesting costs. On the basis of foreign literature, the harvesting of forest residues, for energy especially its organizational and economic aspects is discussed. The costs of chipping – a technique is harvesting forest residues for energy – seem to be many times lower than the oil replacement value of wood. It is difficult to compare the market value of these chips with the oil replacement value of wood, since no market for this wood has yet been developed in The Netherlands.

Data were obtained on the investment and installation costs of wood-fired central furnaces, their maintenance and operation costs, capacity, efficiency and lifetime. For furnaces within the capacity range 30-120 Mcal/h, the internal rate of return and net present value (at 10%) have been calculated, assuming the furnace is used in series with an oil-fired furnace and that the price of fuel oil and fuelwood increases by 3% annually. The furnaces of larger capacity were found to give a particularly high financial return.

Supply and demand and trade factors that hamper the development of the fuelwood market are traced.

Finally, a plea is made for a programme of using wood for energy that emphasises integrated, small-scale systems of using wood for energy and in which attention is paid to ecological aspects and aspects of supply and demand.

*) De auteurs danken ir. N. A. Leek en ir. C. T. J. M. Raaijmakers voor hun commentaar op een eerdere versie van dit artikel.

2 Opbrengsten en kosten voor de bosbouw

2.1 De markt van hout voor energie

Tillmann (1978) stelt dat het economisch verantwoord is hout voor energie te gebruiken als

- de marktwaarde van hout in een andere aanwending niet hoger is;
- hout in prijs kan concurreren met andere brandstoffen;

Daaraan dient te worden toegevoegd, dat de marktwaarde van het hout hoger moet zijn dan de kosten van het beschikbaar stellen.

De tweede voorwaarde genoemd door Tillmann houdt in dat de prijs van een eenheid energie verkregen uit hout lager moet zijn dan die van de brandstof die vervangen wordt. Figuur 1 geeft een aantal factoren aan die de waarde bepalen van hout bij gebruik voor energie. Deze waarde is niet alleen afhankelijk van de prijs en soort brandstof die vervangen wordt en het toegepaste verbrandingssysteem, maar ook van de houtsoort.

Loofhout heeft in het algemeen per m³ een hogere stookwaarde dan naaldhout. Ter oriëntering wordt vermeld dat voor kleinverbruikers de huidige prijs van huisbrandolie ca. f 0,75 per l bedraagt en die van aardgas ca. f 0,47 per m³ (excl. BTW). In figuur 1 is nog geen rekening gehouden met de overige kosten die verbanding met zich brengt. In het volgende hoofdstuk zal voor een bepaald systeem, de waarde van hout bij aanwending voor energie exacter worden berekend. De brandstofwaarde is in figuur 2 op ruim f 100,- per m³ gesteld.

Is deze waarde voldoende om te kunnen concurreren met aanwending van hout voor andere doeleinden? In figuur 2 is een indicatie van de prijs bij verschillende diameters en de bijbehorende sortimenten gegeven. De figuur geeft niet meer dan een indicatie. Ook andere kenmerken dan de diameter - bijvoorbeeld de houtsoort - bepalen mede de prijs en overleggingen van de verschillende sortimenten.

Gezien de geringe technische eisen die gesteld wor-

den aan hout bij gebruik voor energie is concurrentie uit technisch oogpunt met praktisch alle andere sortimenten mogelijk. De belangrijkste eis die aan brandhout wordt gesteld is dat het vochtpercentage niet te hoog is. Naast hogere transportkosten, een vermindering van de stookwaarde en een grotere milieuverontreiniging brengt een hoog vochtpercentage ook corrosie van en teerazetting in het verbrandingssysteem met zich. Bij een hoog vochtpercentage is verbranding niet mogelijk.

Concurrentie zal ontstaan met die sortimenten waarvan het verschil tussen de brandstofwaarde minus de oogst- en transportkosten voor energiedoeleinden en de prijs op stam het grootst is. Dit verschil, dat de hogere waarde bij aanwending voor energie aangeeft, is wellicht het grootst voor vezel- en papierhout.

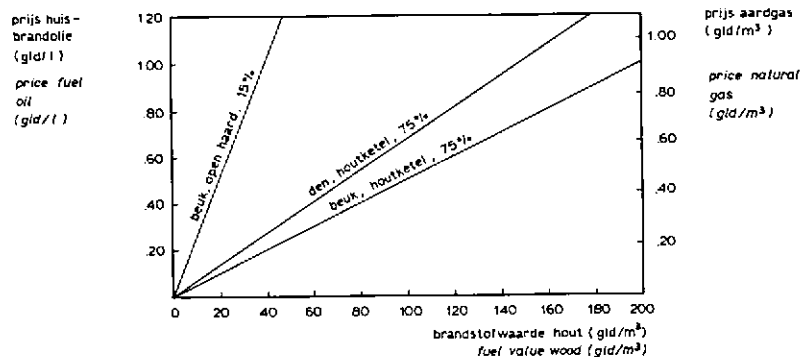
Thans is concurrentie nog beperkt. Volgens het "Yearbook of Forest Products" (FAO, 1979) bedroeg in 1979 de produktie van brandhout in Nederland 70.000 m³ (rondhout) en was er een exportsaldo van brandhout van 4.000 m³. Holterman (1981) raamt het verbruik van open haardhout in Nederland op 100.000 m³. De vraag naar brandhout richt zich thans voor een belangrijk deel (ca. 2/3) op loofhout. Naaldhout is minder gevraagd voor de open haard in verband met het harsgehalte. Voor moderne houtgestookte systemen is het harsgehalte echter geen bezwaar.

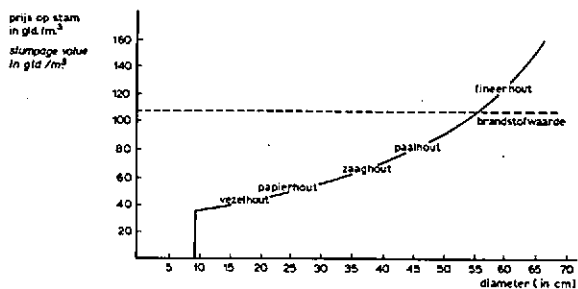
De vraag is nu wat het gevolg zal zijn voor de houtmarkt van een toename van de vraag naar hout voor energie. Bij het blijven toepassen van de traditionele oogsttechniek van brandhout zal deze vraag zich grotendeels richten op het vezel- en papierhout. Het beschikbaar stellen van het hout van voornamelijk geringe diameter dat thans in het bos achterblijft - zie eerste deel figuur 2 - is bij de traditionele oogsttechniek te duur. Het gevolg zal niet alleen zijn dat vezel- en papierhout in prijs stijgt, maar dat alle sortimenten een prijsstijging te zien zullen geven (Kluender, 1982). De vezel- en papierindustrie zal namelijk proberen de grondstof hout te onttrekken aan duurdere sortimenten.

De genoemde prijsstijging kan beperkt of achterwe-

Figuur 1 Prijs van huisbrandolie en aardgas en brandstofwaarde van verschillende houtsoorten gebruikt in systemen met verschillend rendement.

Figure 1 Price of fuel oil and natural gas and fuel value of different wood species burned in systems with different efficiency.





Figuur 2 Diameter en prijs van hout op stam.

Figure 2 Diameter and stumpage value of wood.

ge blijven, indien technieken ontwikkeld worden waarmee het resthout goedkoper beschikbaar kan komen. Onder resthout wordt verstaan, bomen en delen ervan die beschikbaar zijn voor conversie in marktbaar producten maar die nu niet gebruikt worden (Schweitzer, 1980). Boxsem en Leek (1981) schatten dat er in Nederland per jaar ca. 25 à 30.000 m³ hout in het bos achterblijft bij onrendabele dunningen en ca. 150 à 200.000 m³ bij dunningen en kaalkap. In het navolgende gaat het vooral om deze vormen van resthout. Daarnaast omvat het resthout stobben, dode bomen, hout van stamreiniging en houtafval in de houtverwerkende industrie enz. In de volgende paragraaf zal de vraag behandeld worden of de ontwikkeling van de techniek zodanig is dat verwacht mag worden dat de bouseigenaar het resthout met een positief financieel resultaat beschikbaar kan stellen als brandhout.

2.2. Oogst- en transportkosten van resthout

Het traditionele brandhoutsortiment bestaat uit hout dat gekort en veelal ook gekloofd wordt. Met name kloven met bijl, kloofhamer en wig kost veel tijd. Door de ontwikkeling van kloofmachines, soms gecombineerd met een installatie waarmee het hout eerst gekort wordt, is de benodigde arbeidstijd aanzienlijk verminderd. Denninger (1980) vermeldt een vermindering in arbeidstijd met 60-75%. Veel van deze kloofmachines werken op de aftakas of het hydraulisch systeem van een trekker. Mede door de betrekkelijk geringe investering zijn deze machines ook in gebruik bij bouseigenaren en boeren die een trekker ter beschikking hebben. Voor productie van brandhout op grotere schaal zijn installaties ontwikkeld met twee kloofinrichtingen (Monahan en Wartluft, 1980).

Een groot deel van het resthout is van een zodanige omvang dat kloven niet nodig is. Snoeien, korten en stapelen van dit hout vergt echter zeer veel tijd. Bij verspanning van dit hout vervallen deze werkzaamheden grotendeels. In vergelijking tot het traditionele brandhoutsortiment leent verspaand hout – houtchips – zich

ook beter voor automatische toevoer tot de verbrandingsruimte van een houtkachel. Verspanen is een techniek die in de vezelplaat- en papierindustrie aanvankelijk in de fabriek werd toegepast. Vooral sinds de pogingen om de gehele boom te benutten, is er een ontwikkeling om het chippen in of nabij het bos te doen plaatsvinden (FAO, 1976). Gebleken is echter dat aan het gebruik van het resthout in de vezelplaat- en papierindustrie en ook in de petrochemische industrie problemen zijn verbonden (Tillmann, 1978). Het onderzoek betreffende verspanning heeft een stimulans gekregen door de mogelijkheid het resthout voor energie-doelende te benutten. Dit onderzoek richt zich vooral op de organisatorische en economische problemen van verspanning. Het verspaningsproces bestaat uit de volgende activiteiten: voorconcentreren/uitslepen, verspanen en afvoer. De wijze waarop de ene activiteit wordt uitgevoerd, beïnvloedt vaak de wijze van uitvoering van een andere. Welk systeem men zal toepassen is afhankelijk van terreinkenmerken, grondsoort, weer en ecologische overwegingen, stamtaal, diameterverdeling, boomsoort, te produceren hoeveelheid chips en perceelsgrootte (Koch, 1980). Daarnaast is van belang de aard van het materiaal: hout uit dunningen of eindkap en gehele boom of alleen delen ervan. De verschillende systemen geven vaak verschillen in de verhouding arbeid en kapitaal te zien, hetgeen de hoogte van de kosten kan beïnvloeden.

Een van de organisatorisch-economische problemen is het tijdstip waarop het resthout verspaand wordt: direct na het vellen of enige tijd daarna. Volgens Kluender (1982) zullen de kosten boven de brandstofwaarde stijgen indien na de oogst van de conventionele sortimenten het resthout afzonderlijk geoogst wordt. Stuart et al. (1981) concluderen uit een simulatie-onderzoek naar verschillende oogstsystemen, dat de kosten toe te rekenen aan de productie van chips aanzienlijk lager zijn bij het gelijktijdig oogsten van de conventionele sortimenten en chips dan bij gescheiden oogst. Denninger (1981), Grammel (1981), Patzak (1981) en Wippermann et al. (1981) wijzen op de voordelen die ontstaan bij gescheiden oogst. Door het resthout enige maanden in het bos te laten liggen neemt het vochtgehalte af. De stookwaarde neemt daardoor op goedkope wijze toe en het gewicht neemt af. Omdat chips slecht drogen bestaat de kans dat bij langere opslag schimmel ontstaat. Bovendien blijven bij opslag gedurende enige tijd in het bos het blad of de naalden in het bos achter. Uiteraard dient men bij opslag in het bos aspecten van bosbescherming niet uit het oog te verliezen. Bij het beantwoorden van de vraag of de verspanning gelijktijdig met de oogst van de conventionele sortimenten voorkeur verdient, dienen derhalve niet alleen aspecten van de oogst maar ook van het gebruik betrokken te worden.

Bij de keuze uit verschillende systemen van verspanning kan men van de volgende indeling uitgaan, welke is gebaseerd op de plaats van verspaning:

- verspaning in de opstand (dunningspad of kapvlak- te): mobiele verspaner;
- verspaning op de hoofdexploitatieweg: mobiele of semi-mobiele verspaner;
- verspaning buiten het bos: stationaire verspaner.

Vooral bij een mobiele verspaner met geringe capaciteit is de invoer van het hout in de verspaner soms een probleem. Zowel Patzak (1981) als Wiperman et al. (1981) vermelden dat de invoer van resthout van de eindkap problemen geeft. Met name bij loofhout met grote kronen doet zich dit probleem voor. Invoer met een kraan verhoogt de produktiviteit niet altijd.

Een organisatorisch-economisch probleem bij het gebruik van een mobiele of semi-mobiele verspaner vormt het aantal voertuigen voor de afvoer van de chips. Een optimale combinatie - welke onder meer varieert met de transportafstand - kan het stilstaan van de verspaner beperken en de kosten verlagen (Massey et al., 1981). Bij een mobiele verspaner met opgebouwde container van beperkte inhoud zijn de kosten van het uitslepen beperkt, maar veel tijd is dan gemoeid met het heen en weer rijden naar de hoofdexploitatieweg voor het lossen van de container. Het vervangen van de container door een zak die tijdelijk in het bos neergezet wordt, vermijdt het heen en weer rijden en maakt de afvoer onafhankelijker van het verspanen. Volgens Larsson (1981) is verspaning in een vroeg stadium van het verspaningsproces erg gevoelig voor vertragingen en stilstand en is daardoor waarschijnlijk duurder.

Vooral in West-Duitsland zijn gegevens voorhanden over kosten van gebruik van mobiele verspaners die qua capaciteit passen bij Nederlandse omstandigheden. Uit waarnemingen van Wipermann et al. (1981) volgen kosten van DM 24-51 per m³ chips*). De kosten per m³ van chips uit dunningen zijn lager dan van die uit eindkap. Het onderzoek van het CMA (1981) vermeldt kosten die liggen tussen DM 13 en DM 30 met een extreem van DM 51. Het betreft onderzoek naar verspanen van resthout uit dunningen met kleine, middelgrote en grote verspaners. De middelgrote vertoont de nadelen van zowel de kleine als van de grote en wordt daarom niet aanbevolen. De kosten van verspaning van resthout uit dunningen en eindkap in het onderzoek van Patzak (1981) liggen tussen DM 30 en DM 47. De kosten zijn steeds inclusief transport naar de plaats van verbruik.

De laatste twee onderzoeken omvatten ook de kosten van het vellen. Als men er van uitgaat dat ook zonder verspanen geveld zou moeten worden dan is

het niet nodig deze kosten ten laste van het energiehout te brengen.

Uit het onderzoek van Patzak (1981) blijkt dat in het gehele proces van verspaning, de verspaning zelf de grootste kostenpost vormt. Hij merkt dan ook op dat men vooral bij deze kostenpost aangrijpingspunten voor rationalisering moet zoeken. Uit zijn begrotingen volgen voor mobiele en semi-mobiele verspaners lagere kosten per m³ chips dan voor stationaire verspaners. Onduidelijk is echter zijn uitgangspunt ten aanzien van de hoeveelheid te verspanen materiaal. De opmerking van Larsson wijst op een andere conclusie. Onderzocht dient te worden onder welke omstandigheden verspaning met een stationaire verspaner tot een vermindering van kosten leidt. Gedacht wordt daarbij aan gebruik door:

- grootverbruikers;
- samenwerking van kleinverbruikers.

Voor de kleinverbruikers kan een kostenbesparing bereikt worden door de omslag van de kosten van de verspaner over een groter aantal m³ en de mogelijkheid - bij een verspaner met grotere capaciteit - de invoer in de verspaner te verbeteren. Wel zijn er in vele gevallen voor de kleinverbruiker hogere transportkosten. Voor de grootverbruiker is een besparing op transportkosten mogelijk. Dient namelijk bij mobiele of semi-mobiele verspaning transport van chips plaats te vinden, bij stationaire verspaning - op de plaats van verbruik - is transport van het onverspande hout nodig. Chips nemen per gewichtseenheid aanzienlijk meer ruimte in dan verspande hout heeft.

Ook het onverspande hout heeft een relatief geringe dichtheid. Larsson (1981) stelt dan ook dat de "low bulk density" het grootste probleem vormt bij het vervoer van hout voor energiedoeleinden. Vooral indien transport over langere afstand nodig is kan een aanzienlijke besparing op transportkosten optreden door samenpersing van het resthout, hetzij door speciale voorzieningen daarvoor op het vervoermiddel hetzij door het maken van "balen" (Larsson, 1981; Walbridge et al., 1981). De besparing neemt toe met de afstand tussen bos en plaats van verbruik. Uit het bovenstaande volgt dat de transportkosten medebepalend zijn voor de vraag of het resthout aangewend zal worden voor energie, maar ook dat deze van invloed kunnen zijn op de keus van de plaats van verspaning.

Als de orde van grootte van de kosten van verspaning in Nederland gelijk is aan die in West-Duitsland dan kan afgeleid worden - gezien de hoogte van de brandstofwaarde - dat het ontstaan van een markt voor het resthout de boseigenaar een additioneel inkomen kan verschaffen, mede ook omdat benutting van het kapafval van de eindkap betekent dat geen kosten van takopruiming gemaakt hoeven te worden. Rekent men met kosten van takopruiming van f 600,- per ha

*) 1 m³ rondhout geeft ca. 2.5 m³ gestorte houtchips.

eindkap en 20 m³ kapafval per ha eindkap dan betekent dit een kostenverlaging van f 30,- per m³ kapafval. Daarnaast neemt men aan dat de kans op bosbrand vermindert. Voorts dient men te bedenken dat de huidige oogst- en transporttechnologie in wezen voor bestaande produkten is ontwikkeld en niet voor hout voor energie. Voor oogst en transport van resthout zullen mogelijk nieuwe technologieën worden ontwikkeld. De kosten die in het voorgaande zijn vermeld dienen dan ook als conservatief te worden aangemerkt (OTA, 1980b).

De ontwikkeling van de markt van hout voor energie kan een stimulans zijn voor de bosbouw om op verschillende wijzen tot een verhoging van de houtproductie te komen (Krapfenbauer, 1982). Zo kan een beter onderhoud van het bos het gevolg zijn van het ontstaan van een markt voor resthout: dunningen vergen minder grote investeringen en worden daardoor mogelijk tijdiger uitgevoerd.

Voor de korte termijn dient men evenwel geen overdeven voorstelling te maken van de invloed op het inkomen van de boseigenaar. Zoals berekend kan worden gaat het thans gemiddeld om een potentieel hogere opbrengst van minder dan één m³ per ha per jaar. Ecologische bezwaren zullen medebepalend zijn voor de vraag of deze hoeveelheid ook werkelijk voor energiedoelinden gebruikt wordt.

3 Kosten en opbrengsten voor de gebruiker van hout voor energie

3.1 Mogelijkheden van aanwending van hout voor energie

Door Stassen is in dit themanummer al uiteengezet op welke wijze men hout kan aanwenden voor energiedoelinden. Sommige toepassingsmogelijkheden verkeren nog in het stadium van technische ontwikkeling, voor andere is er duidelijk nog geen economische basis, nog andere eisen om rendabel te kunnen werken produktie op grote schaal. Men kan zich afvragen of er in Nederland, met een grote vraag naar grond voor verschillende doeleinden en (mede daardoor) een beperkt aanbod van hout, een basis is voor deze laatste toepassing.

Relatief vergevorderd is de techniek van directe verbranding voor de verwarming van ruimtes. Daarbij wordt vaak water verwarmd dat vervolgens in het centrale verwarmingssysteem wordt gebracht. Deze wijze van benutting van hout is op uiteenlopende schaal mogelijk.

In de dichter beboste gebieden van Scandinavië, Midden-Europa en Noord-Amerika treffen we deze methode van verwarming op het platteland relatief veel aan, met name bij degenen die gemakkelijk over hout

kunnen beschikken bijvoorbeeld bij boseigenaren/boeren en bij degenen die niet zijn aangesloten op een gasdistributienet. Ook zijn daar reeds in grotere gebouwen als scholen, ziekenhuizen, gemeentehuizen, bejaardenhuizen dergelijke ketels geïnstalleerd. Het gebruik daarvan wordt thans nog vaak begeleid door onderzoek (Bossel, 1980; Flury, 1981; Link, 1981; Lin et al., 1979).

Deze verwarmingsketels zijn in het algemeen geschikt voor vaste brandstoffen. Hout kan men er in verschillende vormen in gebruiken, bijvoorbeeld in de vorm van blokken, chips, briketten en pellets. Briketten en pellets zijn gedroogde en samengeperste houtdeeltjes (Krennwallner, 1981). Vooral chips en pellets lenen zich goed voor automatische toevoer tot de verbrandingsruimte. Briketten en pellets zijn als regel droger dan chips en veroorzaken daardoor minder milieuvervuiling. Door het geringere vochtgehalte en de grotere dichtheid is transport en opslag van briketten en pellets aanzienlijk goedkoper dan van chips. Prijzen van briketten en pellets in Nederland zijn niet voorhanden. De kosten van pellets zijn bij vergelijkbare stookwaarden in de V.S. 50-80 procent hoger dan van chips (Lin et al., 1979; OTA, 1980a).

In het vervolg van dit hoofdstuk wordt onderzocht of het financieel aantrekkelijk is tot installatie van een houtgestookte verwarmingsketel over te gaan. Eerst worden de uitgangspunten bij dit onderzoek vermeld.

3.2 Uitgangspunten bij het berekenen van de rentabiliteit van houtgestookte verwarmingsketels

Via een enquête – in maart 1982 – onder vijf importeurs zijn gegevens over onder meer prijzen, installatiekosten, capaciteit, houtverbruik, onderhoudskosten en levensduur van houtgestookte ketels verkregen. Alle ketels waarvan gegevens zijn verkregen zijn voorzien van een automatische regeling van de watertemperatuur in de ketel. Zij kunnen in serie geplaatst worden met een (mogelijk reeds aanwezige) olie- of gasgestookte ketel en kunnen aangesloten worden op een bestaand centraal verwarmingssysteem. Bij combinatie schakelt de olie- of gasgestookte ketel zichzelf in bij

- piekbelasting;
- onderhoud of storings van de houtgestookte ketel;
- het niet bijvullen – bijvoorbeeld door afwezigheid – van de houtgestookte ketel.

Om verschillende redenen zijn slechts ketels met beperkte capaciteit – van 30-120 Mcal/uur – bij het onderzoek betrokken. In de eerste plaats omdat – zoals reeds vermeld – voorshands vooral degenen die op korte afstand over voldoende hout kunnen beschikken zoals boseigenaren/boeren aanschaf van een installatie overwegen. De benodigde capaciteit voor de ver-

warming van woonhuis en andere ruimten is beperkt. In de tweede plaats zijn voor een ketel met grote capaciteit vaak voorzieningen betreffende de plaatsingsruimte nodig. De kosten daarvan kunnen van geval tot geval sterk variëren. Ketels van beperkte capaciteit zijn vaak in te passen in bestaande ruimten.

Een uitgebreid verslag van het onderzoek naar de rentabiliteit van houtgestookte ketels bij verschillende uitgangspunten komt te zijner tijd beschikbaar. Belangrijke uitgangspunten in dit artikel zijn de volgende:

– Hout vervangt (huisbrand)olie als brandstof. Aangezien olie per eenheid energie duurder is dan aardgas zullen degenen die niet op het aardgasnet aangesloten zijn eerder de installatie van een houtgestookte ketel overwegen.

– De houtgestookte ketel wordt in serie geplaatst met een oliegestookte ketel. Dit houdt in dat voor het berekenen van de rentabiliteit van de houtgestookte ketel relevant zijn de aanschafkosten inclusief installatiekosten, de overige extra kosten en de besparing op brandstoffen. Gaat men er vanuit dat alleen een houtgestookte ketel nodig is, dan is alleen het verschil in aanschafkosten (inclusief installatiekosten) tussen de hout- en oliegestookte ketel relevant alsmede de overige extra kosten en de besparing op brandstofkosten. De rentabiliteit zal bij dit laatste uitgangspunt uiteraard hoger zijn.

– De ketels zijn niet voorzien van een automatische toevoer voor hout. Met name bij de ketels met een grote capaciteit is automatische toevoer van chips of pellets – hetgeen een extra investering vergt – steeds mogelijk. Dit uitgangspunt betekent dat de ketel als regel twee à drie maal daags bijgevuld dient te worden. De kosten hiervan zijn afhankelijk van de benodigde hoeveelheid arbeid en van de waardering van deze arbeid. De hoeveelheid arbeid is onder meer afhankelijk van de verbruikte hoeveelheid hout en van de afstand van de houtvoorraad tot de ketel. Voor met chips gestookte installaties vermelden Furuseth en Gislerund (1981) vullijden – vulling met de hand – van 6-14 minuten per dag en gemiddeld 30 uur per stookseizoen. De waardering van de arbeid zal grote verschillen te zien geven. De arbeidskosten zijn thans niet in de berekeningen opgenomen.

3.3 Rentabiliteit van houtgestookte verwarmingsketels

Factoren die de rentabiliteit bepalen van een investering in een houtgestookte ketel zijn:

- hoogte van de investering;
- besparing op brandstofkosten;
- verandering in de overige kosten;
- subsidies, belastingen en wijze van financiering;
- ontwikkeling van prijzen.

In Appendix 1 is de formule gegeven – ontwikkeld door Lin et al. (1979) – waarmee de netto-contante waarde van een investering in een houtgestookte ketel is berekend en op basis waarvan de interne rentevoet is bepaald. In deze formule zijn bovengenoemde factoren terug te vinden. In het volgende zal aan elk van de factoren aandacht worden besteed.

Op basis van de gegevens uit de enquête is het volgende verband tussen het initiële investeringsbedrag en de capaciteit van de ketels afgeleid:

$$I = 3,85 + 0,0989 CP \quad (1)$$
$$n = 24, r^2 = 0,72$$

waarin: I = investering (in f 1.000,-, excl. BTW)
 CP = maximum capaciteit (in Mcal/uur)
 n = aantal waarnemingen
 r = correlatiecoëfficiënt.

De investeringen omvatten de kosten van aanschaf, installatiekosten en kosten van speciale voorzieningen. De beide laatste kunnen een aanzienlijk deel van het totale investeringsbedrag uitmaken. Bij de speciale voorzieningen behoren onder andere die voor een goede afvoer van de rookgassen. Voor de ketels is een levensduur van 15 jaar aangehouden. Voor de berekening van de brandstofbesparing is uitgegaan van gemengd naald/loofhout met 20% vocht (op natte basis) en een stookwaarde van 7300 kcal/kg (onderwaarde). Het rendement van de houtgestookte ketel mag volgens de enquête worden gesteld op 75%, voor de oliegestookte ketel is 80% rendement aangenomen.

Verondersteld is dat de reële prijsstijging van zowel hout als olie 3% per jaar bedraagt. Deze prijsstijging is gelijk aan die welke voor zware stookolie wordt verwacht in de periode 1981-1990 (Valens, 1981). Voor olie is een prijs van f 0,75/l (excl. BTW) aangehouden. Hoewel verondersteld is dat de houtgestookte ketel in serie geschakeld is met een oliegestookte ketel, is er thans van uitgegaan dat deze laatste geen dienst behoeft te doen.

Tot de overige extra kosten behoren de kosten van elektriciteit van de waterpomp, onderhoud en reparatie. Met name deze laatste twee kostenposten zijn moeilijk te bepalen zo bleek uit de enquête. De overige extra kosten zijn bepaald op f 200,- in het eerste jaar terwijl een stijging met 3% per jaar is verondersteld.

Op grond van de WIR (Wet Investerings Rekening) komen bedrijven in aanmerking voor een premie van 12% van het geïnvesteerde bedrag bij aanschaf van een houtgestookte ketel. Daarnaast kunnen bedrijven een energietoeslag van 20% van het geïnvesteerde bedrag krijgen. Na 1 juli 1982 wordt deze toeslag slechts gegeven indien hout wordt gebruikt dat in het eigen bedrijf vrijkomt en verder niet gebruikt wordt. Nog onzeker is of na 1 juli 1982 de energietoeslag

wordt gegeven bij gebruik van resthout uit het bosbedrijf (Mededeling Ministerie van Economische Zaken). Met voor- en nadelen die via inkomsten- of vennootschapsbelasting voortvloeien uit de aanschaf van een houtgestookte ketel is bij de berekening van de rentabiliteit rekening gehouden. Een marginaal belastingtarief van 50% is aangehouden.

Indien de rente betaald over vreemd vermogen dat aangetrokken is voor de investering van de houtgestookte ketel lager is dan de rentabiliteit over het totaal van het in de ketel geïnvesteerde vermogen, kan dit de rentabiliteit van het eigen vermogen verhogen. Sommige berekeningen zijn uitgevoerd onder de veronderstelling van financiering met 40% vreemd vermogen tegen 10% per jaar.

Gezien de grote verschillen in relevantie van een en ander voor de verschillende categorieën gebruikers van een houtgestookte ketel is de rentabiliteit berekend voor de situatie zonder WIR-premie, zonder fiscale voor- en nadelen (inclusief de mogelijkheid van teruggave van BTW) en zonder financiering met geleend geld en voor de situatie waar dit wel het geval is. In figuur 3 is de eerste situatie aangeduid met "particulieren" en de tweede situatie met "bedrijven". Deze aanduiding is niet geheel correct. Ook particulieren kunnen met geleend geld financieren en de betaalde rente in mindering brengen op het fiscale inkomen. Inkomen uit bosbedrijven is daarentegen fiscaal veelal onbelast en deze bedrijven ontvangen vaak betaalde BTW niet terug.

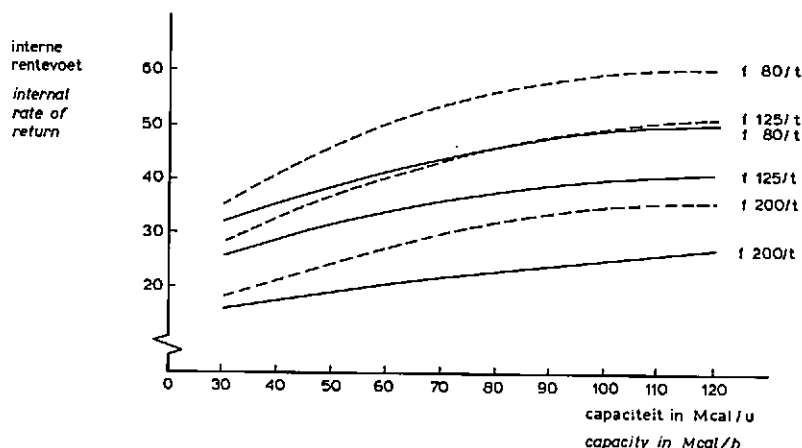
De prijs van brandhout of de kosten waartegen dit ter beschikking kan worden verkregen, verschilt van bedrijf tot bedrijf en van plaats tot plaats. Daarom is de interne rentevoet van de investering in een houtgestookte ketel berekend bij verschillende prijzen van brandhout (figuur 3). Voor particulieren is verondersteld dat het hout rechtstreeks van de boseigenaar wordt betrokken en dat deze geen BTW afdraagt.

De interne rentevoet is berekend bij de in tabel 1 vermelde capaciteiten. De curven in figuur 3 zijn tot stand gekomen door inter- en extrapolatie. Vooral bij ketels met grotere capaciteit is de interne rentevoet hoog. Dit is toe te schrijven aan de geringere investering per eenheid capaciteit bij een grotere capaciteit.

Bedacht dient te worden dat de arbeidskosten voor bediening van de ketel niet zijn opgenomen. Indien men met een rentevoet van 10 procent rekt kan men aan de hand van tabel 1 bepalen of de contante waarde voldoende is om deze arbeidskosten te dekken. De brandstofwaarde in deze tabel geeft het bedrag aan dat beschikbaar is voor vergoeding van het hout en de arbeidskosten van bediening. Uit tabel 1 volgt dat indien men voor het hout een relatief hoge prijs zou moeten betalen, het weinig aantrekkelijk is een houtgestookte ketel te installeren. Indien het brandhout goedkoop ter beschikking kan worden verkregen en een grotere capaciteit vereist is, dan is de contante waarde voldoende voor een redelijke beloning van arbeid en is de installatie van een houtgestookte ketel aantrekkelijk.

In verband met de transportkosten zal hout in het algemeen dicht bij het bos tegen de laagste prijs ter beschikking komen. Dit is in de regel op het platteland het geval. Gebruik op het platteland heeft tevens het voordeel dat de overlast door luchtverontreiniging beperkt kan blijven. Volgens Smith (1981) mag in verband met luchtverontreiniging in nieuwe huizen in Vail (Colorado, V.S.) slechts één houtkachel per huishouding geïnstalleerd worden, en worden in Londen en Zuidkoreaanse steden houtkachels geweerd.

Naast luchtverontreiniging vormen volgens Herrmann (1981) slechte verbranding en een niet-optimale benutting van de warmte nog problemen bij houtgestookte ketels. Slechte verbranding verhoogt het brandgevaar door teerafzetting in de schoorsteen. In



Figuur 3 Interne rentevoet van houtgestookte ketels bij verschillende capaciteiten en houtprijzen voor bedrijven (—) en particulieren (---).

Figure 3 Internal rate of return of wood burned central furnaces with different capacities and fuel wood prices for firms (—) and private (---).

Zwitserland zijn daarom voorschriften voor het gebruik van houtgestookte ketels opgesteld onder andere voor het vegen van de schoorsteen. Nieuwe methoden van gebruik van hout in verwarmingsketels, zoals die gebaseerd op het verbrandingskop- of vergassingsprincipe, geven wellicht minder luchtverontreiniging. Bij deze methoden is men echter gebonden aan het gebruik van houtsnippers.

Ook bij de vraag of het vanuit nationaal-economisch gezichtspunt wenselijk is hout voor energie te benutten, zullen financiële aspecten in beschouwing worden genomen naast de andere in de inleiding genoemde criteria. Omdat de prijzen van energiedragers vaak in belangrijke mate door overheidsbeleid zijn bepaald, zullen in een nationaal-economische beoordeling mogelijk andere prijzen gehanteerd worden dan in bovenstaande analyse vanuit particulier of bedrijfseconomisch standpunt.

4 Factoren die vraag en aanbod van hout voor energie beperken

Uit het voorgaande volgt dat er mogelijkheden zijn voor ontwikkeling van een markt voor hout voor energie. Thans is er nog slechts een markt voor het traditionele brandhoutsortiment. Chips worden nog nauwelijks voor energiedoeleinden gebruikt zoals vermeld. Een deel van het hout voor energie zal de boseigenaar zelf gebruiken of direct aan de verbruiker leveren, een ander deel zal via de brandhouhandel worden afgezet. Uit een onderzoek van Morrow (1981) in Georgia (V.S.) komt naar voren dat het in de brandhouhandel veelal gaat om detailhandelaren die part-time in de brandhouhandel werken, op de lokale markt kleine

hoeveelheden per klant verkopen en een geringe omzet hebben die grotendeels tussen oktober en februari gerealiseerd wordt. Deze kenmerken gelden wellicht ook voor het merendeel van de Nederlandse brandhouhandelaren. Deze kenmerken vormen geen gunstige basis voor de verdere ontwikkeling van de markt voor hout voor energie. In deze, in verband met de hoge transportkosten, regionale markt zullen houtsnippers een groter aandeel krijgen.

Zowel aan de vraag- als de aanbodzijde belemmeren een aantal factoren het gebruik respectievelijk het beschikbaar stellen van hout voor energie. Door industriële bedrijven en instituten (als ziekenhuizen, scholen) in St. Lawrence County (V.S.) worden volgens een onderzoek van Lin et al. (1979) de volgende redenen genoemd om nog af te zien van het gebruik van hout voor proceswarmte of verwarming: geen of beperkte plaats voor opslag van hout en plaatsing van een installatie, noodzaak om additionele mankracht aan te trekken, onzekerheid betreffende aanbod van hout, hoge investeringen, gebrek aan informatie en deskundigheid en te gering energieverbruik om overgang op hout te rechtvaardigen. In een onderzoek van Brabänder (1981) onder kleine boseigenaren in Niedersachsen (West-Duitsland) gaf 32-34 procent te kennen geen of gering gebruik van hout te maken voor energie omdat dit te omslachtig is, bij 16-25 procent ontbreken gezinsarbeidskrachten om het hout op te werken of vindt men vreemde arbeidskrachten te duur.

Ook al zou de vraag aanzienlijk toenemen, dan nog is het niet zeker dat de potentieel beschikbare hoeveelheid hout voor energie ook werkelijk aangeboden wordt. In een enquête van Lin et al. (1979) onder boseigenaren in St. Lawrence County (V.S.) bleek 75 pro-

Tabel 1 Netto-contante waarde en brandstofwaarde van hout bij verschillende capaciteiten van houtgestookte verwarmingsketels

Table 1 Net-present value and fuel value of firewood at different capacities of wood-fired central furnaces

capaciteit in Mcal/uur	netto-contante waarde ¹⁾ in f 100 bij een houtprijs per ton van f			brandstofwaarde in gld. per ton ²⁾	
	80	125	200	bedrijven	particulieren
30	72	52	16	225	247
50	135	100	41	284	275
70	197	149	66	288	287
90	260	196	91	290	294
110	322	240	117	291	299
capacity in Mcal/h	net-present value ¹⁾ in Dfl 100 and a firewood price per tonne of Dfl			fuel value in Dfl per tonne ²⁾	
	80	125	200	firms	private persons

1) voor bedrijven/for firms

2) rentevoet 10%/interest rate 10%
geen arbeidskosten gerekend/no charge for labour costs

3) in het eerste jaar/in the first year

cent van de bouseigenaren bereid hout beschikbaar te willen stellen voor energie. Adams (1976) noemt als factoren die het aanbod van resthout in de weg staan onder meer: gering volume per ha en verspreiding ligging, moeilijkheden bij het bepalen van de oogstkosten van het resthout, het ontbreken van geschikte machines bij de bouseigenaar of loonwerker, ontbreken van bepalingen over het resthout in het contract tussen bouseigenaar en handelaar/loonwerker, en een psychologische voorkeur voor het werken met gezond materiaal in plaats van met resthout. Andere argumenten kunnen zijn ecologische problemen die men verwacht door het wegnemen van het resthout en een te geringe financiële marge. Voorzover wenselijk en mogelijk zal een energiebeleid voor hout de genoemde belemmeringen wegnemen.

5 Een energiebeleid voor hout

Een van de hoofdlijnen van energiebeleid in de Nota Energiebeleid (Minister van Economische Zaken, 1979) is diversificatie. Energie uit onuitputbare bronnen wordt in deze nota als één van de mogelijkheden van diversificatie genoemd. Hout mag weliswaar niet zonder meer als onuitputbare bron aangemerkt worden, maar wel als een vernieuwbare bron. Wellicht mede door het geringe aandeel dat hout in de dekking van de Nederlandse energiebehoefte heeft – ook in de toekomst – krijgt hout nauwelijks aandacht in de Nota Energiebeleid. Een onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma voor hout wordt daarin niet gepresenteerd. Een andere reden van deze geringe aandacht kan zijn dat meerdere ministeries hiervoor verantwoordelijk zijn. Ook participeert Nederland niet in het "International Energy Agency's Forestry Energy Programme" (Nilsson, 1981).

Ook al is de bijdrage van hout in de energievoorziening gering, toch is er sprake van een niet optimale allocatie als verantwoorde mogelijkheden onbenut blijven en ongewenste ontwikkelingen niet vermeden worden. Een overheidsbeleid is nodig om de mogelijkheden te bestuderen en de sociaal-economische en milieu-effecten aan te geven en voorzover wenselijk benutting te stimuleren of af te remmen. Een dergelijk beleid heeft betrekking op onder meer de volgende aspecten:

Milieu-effecten:

- ecologische repercussies van gebruik van hout, waaronder invloed op bodemvruchtbaarheid;
- emissiestandaards voor verschillende verbrandingsinstallaties.

Aanbod:

- inventarisatie van aanwezige hoeveelheden hout voor energie en schatting van de hoeveelheid die per regio beschikbaar komt;

- selectie van bomen voor energie;
- repercussies op en invloed van bosinrichting;
- invloed op landschap;
- ontwikkeling van oogst- en transporttechnieken;
- ontwikkeling van een markt voor hout voor energie;
- repercussies op aanbod van andere sortimenten.

Vraag:

- ontwikkeling van installaties voor benutting en van methoden van opslag van hout voor energie;
- criteria voor de selectie van de optimale installatie voor een concrete situatie.

Verspreiding van kennis over deze aspecten is een essentieel onderdeel van een energiebeleid voor hout. In principe dienen de ecologische repercussies onderzocht te zijn, vóór het gebruik van hout voor energie gepropageerd wordt. Deze repercussies kunnen immers irreversibel zijn of een zeer lange tijd van herstel vragen.

Door de OTA (1980a) is aanbevolen minder nadruk te leggen op grote schaal en geïsoleerde systemen, en meer nadruk op kleine schaal en geïntegreerde systemen. Een geïntegreerd systeem is bijvoorbeeld het gebruik van het afvalhout voor energie in een houtverwerkende industrie, het gebruik van hout uit houtwallen voor energie op een landbouwbedrijf en het gebruik van het resthout op een bosbedrijf.

Gezien de betrekkelijk geringe hoeveelheid hout die voor energie beschikbaar is, zullen ook in Nederland kleine schaal systemen veelal te prefereren zijn.

Literatuur

- Adams, Th. C. 1976. Economic availability of logging residues in the Douglas-fir region. USDA Forest Service Resource Bulletin PNW-64. Pac. Northwest Forest and Range Exp. Stat., Portland.
- Bossel, U. 1980. Erfahrungen mit zwei holzbefeuerten Zentralheizungsanlagen. In: U. Bossel (red.). Heizen mit Holz. 2. verbesserte Auflage. Solentec, Adelebsen.
- Boxsem, W. en N. A. Leek. 1981. Bosbouw en energieproducten. Nederlands Bosbouw tijdschrift 53 (9): 293-302.
- Brabänder, H. D. 1981. Brennholzverbrauch und Brennholzaufkommen im Kleinprivatwald Niedersachsens. In: Hüttermann, A. (red.). Der Wald als Rohstoffquelle. Schriften aus der Forstl. Fak. der Univ. Göttingen und der Nieders. Forstl. Versuchsanstalt. Band 66. Sauerlander, Frankfurt am Main.
- CMA (Centrale Marketinggesellschaft der deutschen Agrarwirtschaft), 1981. Bereitstellung von Rohholzhackschnitzeln durch die Forstwirtschaft zur Energiegewinnung. Bonn.
- Centrum voor Houtresearch, 1981. Industrieel afvalhout als energiebron. Amsterdam.
- Denniger, W., 1981. Rationelle Brennholzaufarbeitung im Bauernwald: Spalten, Hacken, Heizen. In: Bossel, U. (red.). Heizen mit Holz. 2. Hackschnitzel und Meterscheite. Solentec, Adelebsen.
- Dijk, H. van, 1981. Hout ten behoeve van de energievoorzie-

- ning in Nederland. Scriptie Vakgroep Boshuishoudkunde, Landbouwhogeschool Wageningen.
- FAO (Food and Agricultural Organisation), 1976. Wood chips. Production, handling, transport. 2e (updated) edition. Rome.
- FAO (Food and Agricultural Organisation), 1979. Yearbook of Forest Products, Rome.
- Flury, O., 1981. Erfahrungen mit wirtschaftlich arbeitenden Hackschnitzel-Feuerungsanlagen in der Schweiz. In: U. Bossel (red.). Heizen mit Holz. 2. Hackschnitzel und Meterscheite. Solentec, Adelebsen.
- Furuseth, K. O. en O. Gislerud. 1981. Small-scale chipheating – Preliminary experiences. In: Mattson, J. E. and P. O. Nilsson (red.). Proc. Joint IEA/IUFRO Forestry Energy Workshop, No. 20. Swed. Univ. of Agric. Sc., Dept. of Oper. Efficiency, Garpenberg.
- Grammel, R., 1981. Verbreitung der Rohstoffbasis Wald durch Aufarbeitung bisher wenig genutzte Biomasse-anteile. In: Bossel, U. (red.). Heizen mit Holz. 2. Hackschnitzel und Meterscheite. Solentec, Adelebsen.
- Herrmann, A. 1981. Optimierung von Stückholzfeuerungen. In: Bossel, U. (red.). Heizen mit Holz. 2. Hackschnitzel und Meterscheite. Solentec, Adelebsen.
- Holterman, H. J. W. 1981. De handel in hier te lande gekocht niet-tropisch rondhout (1977). Nederlands Bosbouw Tijdschrift 53 (4/5): 134-138.
- Kluender, R. A. 1972. Energy wood and competition for pulpwood. Pulp & Paper Canada 83 (1): 45-48.
- Koch, P. 1980. Harvesting energy chips from forest residues – Some concepts for the Southern Pine Region. USDA Forest Service General Technical Report SO-33. Southern Forest Experimental Station, New Orleans.
- Krapfenbauer, A. 1982. Wald, eine realistische Basis für alternative Energieforschung. Allgemeine Forstzeitung 93 (3): 60-64.
- Krennwallner, E., 1981. Holzbrikettierung – eine wirtschaftliche Form der Umwandlung von Restholz, Rinde und Biomasse zu hochwertigem Brennstoff. Internationaler Holzmarkt 72 (25/26): 21-23.
- Larsson, M. 1981. Development of transportation systems for logging residues, stumps and trees in Sweden. In: Mattson, J. E. and P. O. Nilsson (red.). Proc. Intern. Conf. Harvesting and Utilization of Wood for Energy Purposes. No. 19. Swed. Univ. of Agr. Sc., Dept. of Operational Efficiency, Garpenberg.
- Lin, F. B., N. L. Ackermann and E. B. Kear Jr. 1979. Potential of industrial scale wood combustion in St. Lawrence County. Report 79-4. New York State Energy Research and Development Authority, New York.
- Link, W., 1981. Projekt Emmelshausen: Beheizung kommunale Gebäude mit Hackschnitzel. In: Bossel, U. (red.). Heizen mit Holz. 2. Hackschnitzel und Meterscheite. Solentec, Adelebsen.
- Massay, J. G., M. P. McCollum and W. C. Anderson, 1981. Cost of whole-free chips for energy – Louisiana case study. Forest Products Journal 31 (2): 34-38.
- Minister van Economische Zaken, 1979. Nota Energiebeleid. Deel 1/Algemeen. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Mohanani, R. T. and J. L. Wartluft, 1980. Prospectus: Firewood manufacturing and marketing. USDA Forest Service NA-FR-17.
- Morrow, J. E. 1981. The firewood industry in Georgia. A study of its characteristics and needs. Georgia Forest Research Paper 16. Georgia Forestry Commission.
- Nilsson, O. 1981. Welcome and Opening. In: Mattson, J. E. and P. O. Nilsson (red.). Proc. Joint IEA/IUFRO Forestry Energy Workshop No. 20. Swed. Univ. of Agr. Sc., Dept. of Oper. Efficiency, Garpenberg.
- OTA (Office of Technology Assessment), 1980a. Energy from Biological Processes. US Department of Commerce, National Technical Information Service, Washington.
- OTA (Office of Technology Assessment), 1980b. Energy from Biological Processes. Volume III. Appendixes. Part A: Energy from Wood. US Department of Commerce, National Technical Information Service, Washington.
- Patzak, W. 1981. Erfahrungen mit mobilen Hackern. In: Bossel, U. (red.). Heizen mit Holz. 2. Hackschnitzel und Meterscheite. Solentec, Adelebsen.
- Schweitzer, D. E. 1981. An economist's perspective of residues. In: Symp. Proc. Harvesting and utilization opportunities for forest residues in the northern Rocky Mountains. USDA Forest Service General Technical Report INT-110. Intermountain Forest and Range Exp. Stat., Ogden.
- Smith, N. 1981. An ancient fuel with a new future. World Watch Paper 42. Worldwatch Intitute, Washington.
- Stichting voor Afvalverwijdering, 1979. Afvalhout als energiedrager. Amersfoort.
- Stuart, W. B., C. D. Porter, Th. A. Walbridge et al., 1981. Economics of modifying harvesting systems to recover energy wood. Forest Products Journal 31 (8): 37-42.
- Tillman, D. A., 1978. Wood as an energy resource. Academic Press, New York.
- Valens, M. H. M., 1981. Een prijsscenario voor olie, gas, kernenergie en kolen. Economisch-Statistische Berichten (3334): 1212-1216.
- Walbridge, T. A. and W. B. Stuart, 1981. An alternative to whole tree chipping for the recovery of logging residues. In: Mattson, J. E. and P. O. Nilsson (red.). Proc. Intern. Conf. Harvesting and Utilization of Wood for Energy Purposes. No. 19. Swed. Univ. of Agr. Sc., Dept. of Operational Efficiency, Garpenberg.
- Wipperman, H. J. and B. Russell, 1981. Aufarbeitung von Hackschnitzeln aus Waldrestholz – bei Schirmschlag und Durchforstungen im Bauernwald. Forstarchiv 52 (6): 235-238.

Appendix 1: zie p. 196

Formule voor de berekening van de netto-contante waarde van investering in een houtgestookte verwarmingsketel:

$$\begin{aligned}
 \text{NCW} = (1 - t) & \left[S \frac{(1+i)^n - (1+r)^n}{(i-r)(1+i)^n} - M \frac{(1+i)^n - (1+m)^n}{(i-m)(1+i)^n} \right] \\
 & + t \left[\frac{1-T}{n} + gl \left\{ \frac{a}{1 - 1/(1+a)^n} - \frac{l}{n} \right\} \right] \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} - (1-f) l
 \end{aligned}$$

waarin NCW = netto-contante waarde (gld.)

S = brandstofbesparing in het eerste jaar (gld.)

M = overige kosten in het eerste jaar (gld.)

l = totaal bedrag van investering (gld.)

T = restwaarde van de installatie na n jaar (gld.)

t = marginaal belastingtarief (in procenten/100)

i = rentevoet (in procenten/100)

r = jaarlijkse stijging brandstofbesparing (in procenten/100)

m = jaarlijkse stijging overige kosten (in procenten/100)

a = rente te betalen op vreemd vermogen (in procenten/100)

f = investeringspremie (in procenten/100)

g = vreemd vermogen (in procenten/100)

n = levensduur (jaren)

S, M, l en T kunnen in- of exclusief BTW zijn.