



populier en dus op ons bosbeheer? De sprekers zullen u een gevarieerd menu leveren. De heer Ceulemans heeft zeer fundamentele gegevens over de relatie tussen structuur en processen op de produktie. De heer Faber gaat direct in op invloed van plantafstand en dunningstijdstippen aan de hand van langjarige waarnemingen. De heer Jansen weet veel van laanbomen en wat daar met diameters gebeurt in relatie tot plantafstand. Het is te verwachten dat de structuur, met name de dichtheid, ook het microklimaat en de omstandigheden voor ziekten en plagen beïnvloedt. De heer De Kam zal daarover vertellen. De heer Heybroek zal laten zien dat verschillende populierenklonen, als alle levende wezens, ieder een eigen aard hebben in relatie tot het verdragen van dichte plantafstanden. De heer Van der Meiden, die we als onze dagvoorzitter mogen begroeten, zal ten slotte proberen de sprekers aan hun tijd en onderwerp te houden, alsook de zaal tijdens de discussie, wat mij de gelegenheid geeft me stiltes terug te trekken en te gaan luisteren. Ik wens u allen een vruchtbare dag.

**Dr. Reinhart Ceulemans**

Departement Biologie Universitaire Instelling Antwerpen

*Studiekring: de populier*

## **Populier als biomassa - produktie - systeem: structuur, functie en energieconversie**

**Vanuit het algemeen bewustzijn van de onoverzienbare gevolgen van de klimaatsveranderingen en vanuit de grote bezorgdheid voor het behoud en de veiligheid van het milieu, is er in verschillende delen van de wereld, en vooral in de Westerse geïndustrialiseerde landen, een opmerkelijke vernieuwde interesse ontstaan in hernieuwbare (bio)energie-technologieën, inclusief energie uit biomassa. Biomassa voor energie (en industrie) kan op dit ogenblik een significante bijdrage leveren tot het vinden van een oplossing voor de ingrijpende problemen waarmee we ongetwijfeld tegen het einde van deze eeuw zullen worden geconfronteerd.**

- Biomassa is één van de haalbare alternatieven als waarborg voor het behoud van het plattelandsmilieu en van het natuurlijk potentieel, in het kader van de diversificatie van de Europese landbouw.
- Recente stijgingen van de olieprijs hebben het belang van biomassa voor de bevoorrading van energie of van ruwe grondstof aan de industrie in de geïndustrialiseerde landen duidelijk geïllustreerd.
- Energie-besparingsmaatregelen en de produktie van hernieuwbare energie kunnen belangrijke bijdragen leveren tot een reductie van het serre-effect.
- Het concept van het geïntegreerd gebruik van biomassa maakt het geza-



■ *Figuur 1 Drie-jaar-oude aanplanting van hybride P. trichocarpa × P. deltoides kloon no. 47-160 onder intensieve cultuur in de staat Washington, USA. Plantafstand 1 × 1 m.*

menlijk gebruik van biomassa voor energie en voor de industrie (vooral papier en pulp) economisch interessant.

Teneinde van de biomassa-energie-produktie een valabele, en liefst ook economisch rendabele, alternatieve energiebron te maken, dient een maximale opbrengst (output) verkregen te worden voor een welbepaalde energie-input. In het concept van de biomassateelt (of intensieve houtteelt) worden dan ook principes en praktijken uit de intensieve landbouw toegepast om objectieven uit de bosbouw te bereiken (figuur 1). Het biomassateeltsysteem is dan ook vergelijkbaar met gemechaniseerde landbouw, en

wordt gekenmerkt door een hoge energie-input, intensieve cultuur, hoge biomassa-opbrengst en volledige mechanisatie.

Snelgroeiende en hoog-productieve bomen zijn bomen die een hoog energieconversie-rendement hebben, d.w.z. die op een zo optimaal mogelijke wijze de invallende stralingsenergie interceperen, synthetiseren in chemische energie en allokeren naar economisch interessante eindproducten, i.c. biomassa. Het energieconversie-rendement van een plantensysteem in de gematigde streken (incl. een snelgroeiend bosbestand) is slechts van de grootte-orde van 0,1% (Cannell, 1988). Een beter inzicht in de interceptie-, synthese- en allokatieprocessen is des te meer essentieel voor het verhogen van de biomassa-productie en de energieconversie, naarmate de omloopsnelheden korter worden en/of de teelt intensiever.

Om het energierendement van een plantenproductie-systeem te optimaliseren of m.a.w. de efficiëntie van de energie-omzetting zo maximaal mogelijk te maken, dienen dan ook verschillende plant-afhankelijke factoren in acht genomen te worden – zoals de fotosynthetische capaciteit, de kruinstructuur, de hoeveelheid bladoppervlakte – die elk in het verder verloop van dit betoog belicht en besproken zullen worden aan de hand van het voorbeeld populier (geslacht *Populus*, *P.*). Daarbij wordt uitgegaan van het fotosyntheseproces dat een sleutelrol speelt in de gehele energieconversie.

### Fotosynthese op blad- en plantniveau

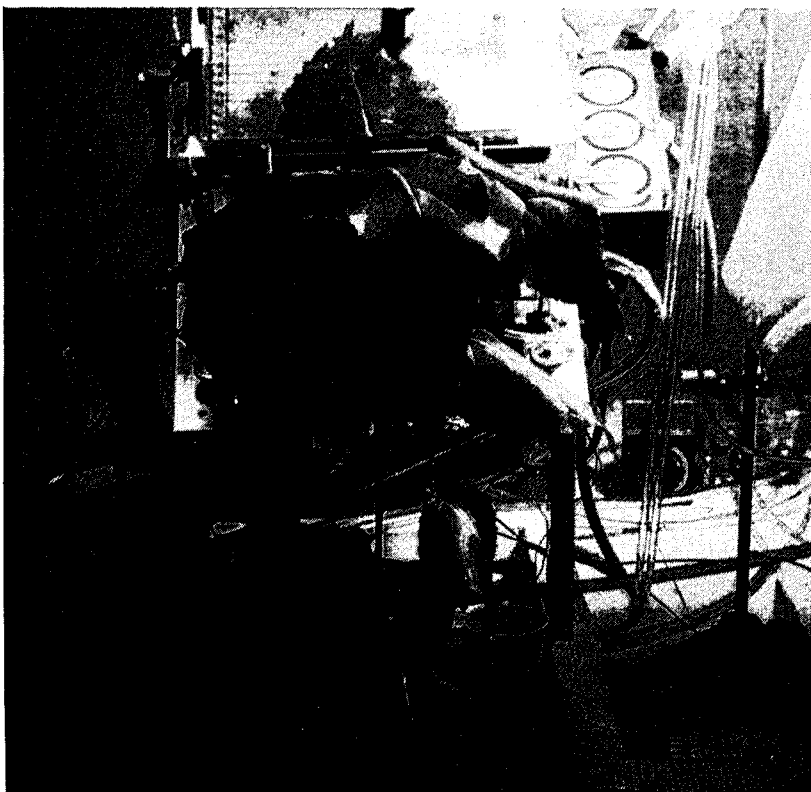
Het fotosyntheseproces is in essentie een energie-omzetting (stralingsenergie omgezet in chemisch gefixeerde energie) én een omzetting van CO<sub>2</sub> en waterdamp in meer complexe moleculen. De fotosynthese van C<sub>3</sub> planten (waartoe bijna alle boomsoorten behoren) gebeurt eigenlijk in twee afzonderlijke stappen. In het eerste proces wordt het licht opgevangen door het chlorofyl en vervolgens gebruikt om chemisch reducerend vermogen (nl. NADPH<sub>2</sub>) en chemische energie (nl. ATP) te produceren of te genereren. In

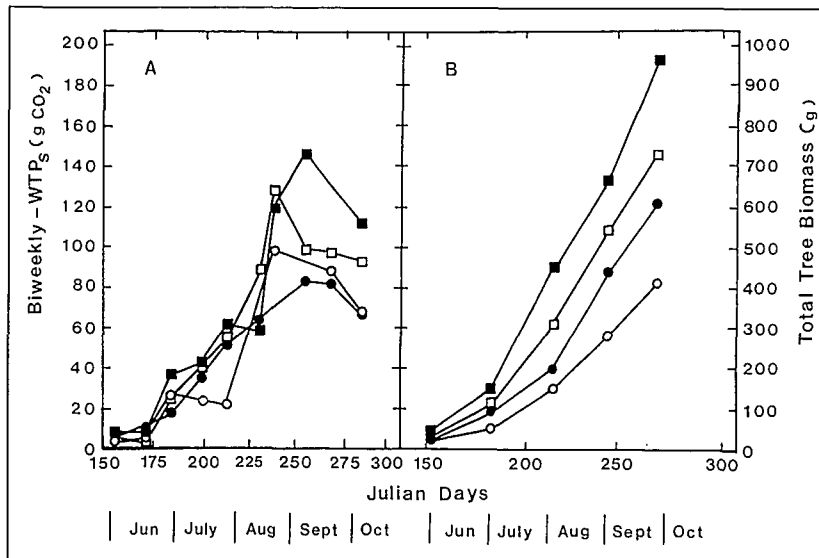
het tweede proces wordt CO<sub>2</sub> gefixeerd om koolhydraten te vormen in de Calvin-Benson cyclus, die aangedreven wordt door ATP en NADPH<sub>2</sub>. Meer dan vijftig jaar geleden besloten Jarvis & Jarvis (1964) hun vergelijkend overzichtartikel betreffende de fotosynthese van diverse plantensoorten met de bewering dat "de netto fotosynthesesnelheid van houtachtige planten en bomen over het algemeen genomen lager zou zijn dan deze van kruidachtige planten" (figuur 2). Ze veronderstelden dus impliciet dat lage fotosynthesesnelhe-

■ *Figuur 2 De gasuitwisseling (fotosynthese, transpiratie, respiratie) van afzonderlijke bladeren en planten kan op niet-destructieve wijze en onder gecontroleerde condities gemeten worden met behulp van een gasuitwisselingsinstallatie, zowel in het laboratorium (zoals hier getoond) als in het vrije veld. Hier werd een blad van een Intra-amerikaanse populierhybride ingesloten in een gasuitwisselingscuvette van het Departement Biologie van de U.I.A., Antwerpen.*

den op één of andere manier intrinsiek gepaard gingen met de houtachtige habitus van bepaalde plantensoorten. Deze opvatting werd later nog in enkele andere overzichtsartikelen overgenomen, en wordt heden ten dage nog door bepaalde onderzoekers verdedigd.

Uit meer recent onderzoek op genetisch veredeld populiere- en wilgemateriaal is het echter duidelijk geworden dat de maximale netto fotosynthesesnelheden van bepaalde loofbomen duidelijk in dezelfde grootte-orde liggen als deze van kruidachtige planten en landbouwgewassen (o.a. Ceulemans, 1989). Er zijn in de wetenschappelijke vakliteratuur nu dan ook tal van rapporten en artikelen te vinden op een grote verscheidenheid van houtachtige planten die maximale fotosynthesesnelheden vermelden die evenwaardig zijn aan deze van de meeste kruidachtige planten en landbouwgewassen. In de laatste decades zijn er zonder twijfel meer fotosynthetische studies op populier (geslacht *Populus*, *P.*) gebeurd, dan





■ **Figuur 3** Klonale verschillen in fotosynthese, geïntegreerd over volledige populierebomen, en biomassa productie onder veldcondities. (A) Twee-wekelijkse fotosynthesesnelheid per volledige boom (WTP<sub>s</sub>) en (B) biomassa van volledige bomen voor vier verschillende éénjarige populiereklonen in een experimentele proefaanplanting onder intensieve cultuur in de staat Washington, USA. De totale biomassa per boom behelst zowel bovengrondse als ondergrondse componenten. ○: *P. deltoides* kloon uit Illinois, USA; ●: *P. trichocarpa* kloon uit Chilliwack, Brits Columbia; □: Intra-amerikaanse hybride 44-136; ■: Intra-amerikaanse hybride 11-11 (naar Isebrands et al., 1988).

op eender welk ander (boom)geslacht, met appelaar (geslacht *Malus*) als enige mogelijke uitzondering (figuur 2).

Wanneer kleine verschillen in netto fotosynthese (uitgedrukt per eenheid bladoppervlakte) tussen diverse populiereklonen geïntegreerd worden over een volledig blad (of zelfs een volledige boom), dan krijgen deze veel meer betekenis als indicatoren van de volledige fotosynthetische performantie van een blad of boom (figuur 3). De schattingen van de fotosynthese van éénjarige populierebomen (WTP<sub>s</sub>) in figuur 3 werden bekomen door de fotosynthese van afzonderlijke bladeren op de stam te integreren, en dit in de loop van het gehele groeiseizoen (Ise-

brands et al., 1988). In deze WTP<sub>s</sub> werd echter geen rekening gehouden met de bladeren op sylleptische of adventief twijgen, hetgeen zeker in het geval van *P. trichocarpa* kloon 1-12 en de hybride Intra-amerikaanse kloon 11-11 tot een onderschatting van WTP<sub>s</sub> leidt.

Over het algemeen combineren de snelgroeiende en hoog-produktieve Intra-amerikaanse hybriden tussen *Populus trichocarpa* en *P. deltoides* een hoge fotosynthesesnelheid (per bladoppervlakte-eenheid) met grote bladdimensies (Ceulemans, 1989). Alhoewel er tot nog toe weinig voorbeelden zijn van correlaties tussen bepaalde fotosynthesekarakteristieken en groei of opbrengst, bestaan er toch een reeks interessante voorbeelden bij populier (Fasehun, 1978; Ceulemans et al., 1985), in het bijzonder wanneer de fotosynthese geïntegreerd werd over de hele boom en/of het groeiseizoen (Isebrands et al., 1988). Terwijl ogenblikkelijke fotosynthesemetingen (figuur 2) vaak misleidend kunnen zijn, blijken groei en opbrengst nauw gecorreleerd met de netto fotosynthese van de gehele plant of boom, gesommeerd over het volledige groeiseizoen (figuur 3). Deze en gelijkaardige voorbeelden suggereren dat er, gebruik makend van specifieke fotosynthesekarakteristieken, perspectieven zijn voor de genetische

veredeling van populiereklonen met verhoogde biomassa productie. Klonale selectie naar fotosynthesekarakteristieken in populier en andere boomgewassen kan inderdaad meer mogelijkheden hebben voor opbrengstvermeerdering dan in sommige landbouwgewassen, omdat de opbrengst vegetatieve plantendelen omvat in plaats van reproductieve.

De netto fotosynthese van een geheel bestand hangt echter niet alleen af van de maximale blad-fotosynthesesnelheid onder lichtverzadiging, maar ook van de mate waarin de bladeren in het bestand aangepast zijn aan de vrij lage stralingsintensiteit in het bestand en van de structurele eigenschappen van het bestand. Een sleutelrol daarbij wordt gespeeld door de totale bladoppervlakte, en de wijze waarop deze in de ruimte geordend is. Daarop zal in hetgeen volgt iets dieper worden ingegaan.

### Stralingsinterceptie en bladoppervlakte

De proportie van invallend licht die geïnterceptieerd wordt door een bestand hangt niet alleen af van de bladoppervlakte-index (LAI), maar ook van de stralings-extinctiecoëfficiënt, die een maat is voor de efficiëntie waarmee de bladoppervlakte het invallend licht intercepteert. De extinctiecoëfficiënt neemt af naarmate de bladinclinatie meer verticaal is (figuur 4), of naarmate de bladeren min of meer in groepjes staan. De invloed van de bladoppervlakte-index en de extinctiecoëfficiënt op de stralingsinterceptie kan kwantitatief uitgedrukt worden door de volgende vergelijking, die gebaseerd is op de wet van Beer, en die geldt voor een toevallig verdeeld gebladerte:

$$I = I_0 \cdot \exp(-k \cdot LAI),$$

waarbij  $I_0$  en  $I$  de stralingsintensiteit boven respectievelijk onder de kroon zijn,  $k$  de extinctiecoëfficiënt en LAI de bladoppervlakte-index.

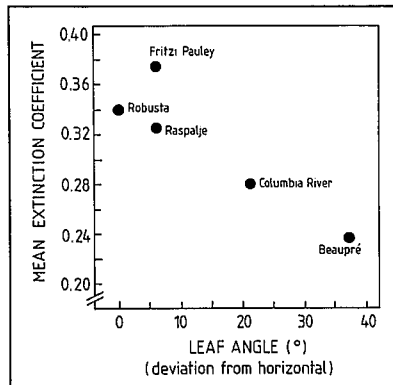
Alhoewel er in bepaalde gevallen afwijkingen van deze eenvoudige en eenduidige relatie bestaan, voldoet zij voor de meeste landbouwgewassen

en loofboombestanden. Het effect van de LAI en de extinctiecoëfficiënt op de stralingsinterceptie is voor enkele populiereklonen gedurende het eerste groeiseizoen weergegeven in figuur 5. In deze figuur werd de logaritme van de stralingspenetratie (linker ordinaat) en het percentage gepeneetrede straling (rechter ordinaat) uitgezet tegenover de bladoppervlakte-index bij een drietal verschillende extinctiecoëfficiënten.

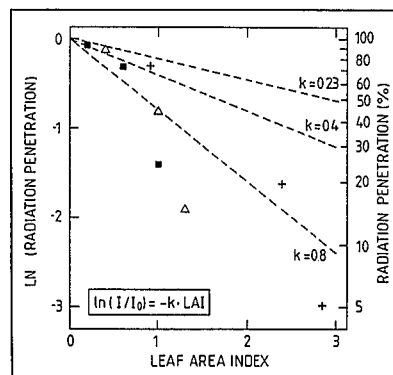
Aan de hand van de wet van Beer (vergelijking zie hierboven) kan eenvoudig aangetoond worden dat een bestand ongeveer 95% van de invallende straling zal interceperen, wanneer het produkt van  $k \cdot LAI$  gelijk is aan 3. Voor  $k$ -waarden voor loof- en naaldbomen tussen 0.5 en 0.7 zal dit zijn bij LAI's tussen 4 en 6. In studies aan de universiteiten van Antwerpen en Washington werden voor populier echter reeds  $k$ -waarden tot 0.25 genoteerd, hetgeen de hoge LAI's van 11 en meer verklaart (figuur 6).

In een experimentele biomassa-aanplanting van verschillende *P. trichocarpa*, *P. deltoides* en Intra-amerikaanse genotypen in Western Washington, USA werden significant hogere LAI-waarden genoteerd bij de snelgroeende Intra-amerikaanse hybriden. Bij deze *super-populieren* werden gedurende het eerste groeiseizoen LAI-waarden genoteerd van 2.9, die stegen tot 8 en meer dan 11 in het tweede en derde jaar (figuur 6). Vanaf het vierde groeiseizoen was een lichte afname van de LAI merkbaar bij de hybriden, terwijl de LAI van beide oudersoorten *P. trichocarpa* en *P. deltoides* stagneerde rond ca. 6.2. Deze bladoppervlakte-index-waarden zijn hoog vergeleken met andere loofbomen en vergeleken met populiereaanplantingen in klassieke, wijde plantverbanden. De waarden zijn echter vergelijkbaar met deze van naaldhoutsoorten die LAI's tot 15 en meer kunnen vertonen (Gholz, 1982).

Het is dus duidelijk dat een aantal vertegenwoordigers van het geslacht populier, en met name vooral de snelgroeende Intra-amerikaanse selecties, naast de hoge fotosynthetische gasuitwisselingscapaciteiten ook de



■ **Figuur 4** De bladclinatoriehoek (gemeten als de afwijking van een horizontale stand) uitgezet tegenover de stralingsextinctie-coëfficiënt voor vijf populiereklonen in een experimentele proefaanplanting onder intensieve cultuur nabij Gent, België.



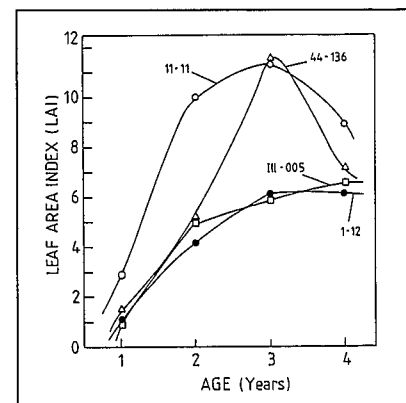
■ **Figuur 5** Effect van bladoppervlakte-index en stralingsextinctiecoëfficiënt ( $k$ ) op de hoeveelheid stralingspenetratie (=  $1 -$  hoeveelheid geïntercepteerde straling) in een vrij homogeen populierebestand. Gegevens voor een *P. deltoides* kloon (■) uit Illinois, USA, een *P. trichocarpa* kloon (Δ) uit Chilliwack, Brits Columbia en een Intra-amerikaanse hybride (+) gedurende het eerste groeiseizoen in een experimentele, intensieve cultuur-aanplanting in de staat Washington, USA. De stippellijnen werden niet door de experimentele punten berekend, maar illustreren verschillende extinctiecoëfficiënten gebruik makend van de wet van Beer voor stralingsinterceptie door een homogene, toevallig verdeelde kruinstructuur.

mogelijkheid bezit om vrij snel zeer grote hoeveelheden bladmateriaal te produceren. Deze specifiek gunstige groei- en productie-karakteristieken komen vooral tot uiting wanneer de

populieren geteeld worden onder intensieve cultuursystemen met dichte plantafstanden. De hoeveelheid en de ruimtelijke organisatie van de bladoppervlakte (zie verder) zijn waarschijnlijk de meest belangrijke, variabele determinanten van de produktiviteit.

### Kroonstructuur en -architectuur

Onder kroonarchitectuur wordt in de context van dit betoog verstaan: de combinatie van duur en demografie van de bladoppervlakte in de kruin, de blad- en takmorfologie en oriëntatie. Niet alleen de bladoppervlakte-index en -duur is immers van belang, maar ook de wijze waarop deze bladoppervlakte in de ruimte geordend en ge-



■ **Figuur 6** Bladoppervlakte-index (LAI) in functie van de plantouderdom voor populiereklonen III-005 (□), *P. deltoides* uit Illinois, 1-12 (●), *P. trichocarpa* uit Brits Columbia, 11-11 (○) en 44-136 (Δ), beide Intra-amerikaanse hybriden) onder een intensief cultuursysteem en bij plantafstanden van 1 m in de staat Washington, USA.

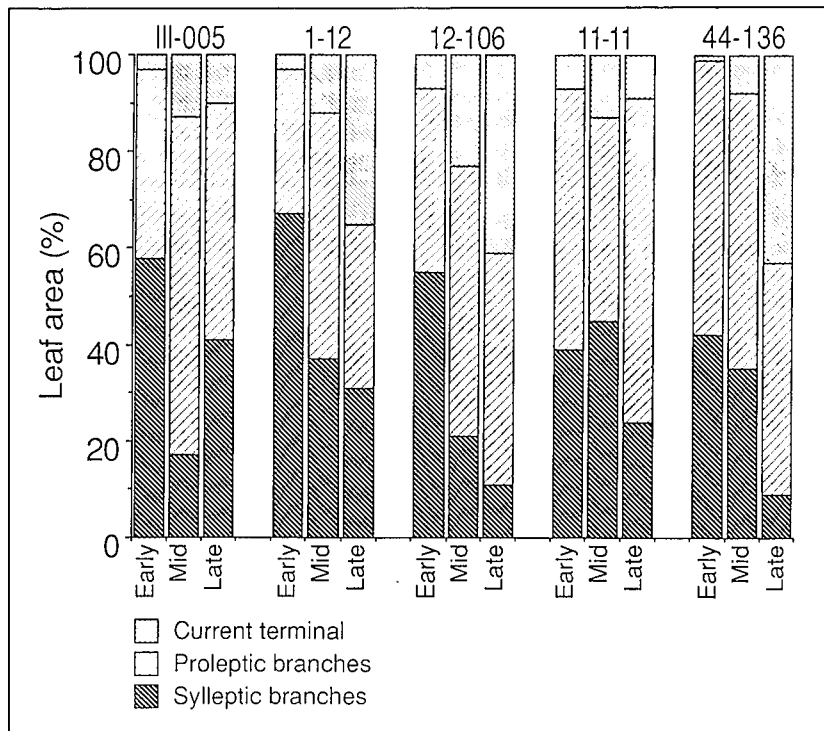
etaleerd wordt. Zo zijn bladeren steeds vastgehecht aan kleinere twijgen en grotere takken, die op hun beurt aan de stam vastzitten. Verschillen in de dimensie en vorm van de bladeren, hun schikking en ordening op de takken en twijgen, het vertakingspatroon en de structuur van de kruin, beïnvloeden de wijze waarop de straling verdeeld wordt over het gebladerte in de kroon.

Indien de straling in de kroon van een boom op zulke wijze was verdeeld dat alle bladeren blootgesteld waren aan

een intermediaire, niet-verzadigde lichtintensiteit - zodat de fotosynthese per eenheid geïntercepteerd licht maximaal was voor ieder blad - dan zou de invallende en geïntercepteerde straling optimaal benut worden. Jarvis & Leverenz (1983) suggereerden dat deze ideale configuratie best benaderd zou worden wanneer het bladerdek zodanig geordend is dat alle beschaduwde bladeren optimaal aangepast zijn aan lage stralingsflux-densiteiten, min of meer zoals in vele naaldboombestanden. Boomsoorten of genotypes die speciaal geselecteerd zijn voor biomassa-teelt vertonen dan ook een aangepaste kruinarchitectuur en een zekere mate van georganiseerde schaduwadaptatie.

Dat de demografie en de verdeling van de bladoppervlakte niet alleen sterke genotypische verschillen vertoont, maar ook in de loop van het groeiseizoen sterk kan variëren, wordt getoond in figuur 7. Het grootste deel van de bladoppervlakte wordt in de meeste klonen ongetwijfeld op de takken (proleptische, en sylleptische of adventief twijgen) gedragen. Naar het einde van het seizoen echter, verliezen eerst de takken hun bladeren en rest het grootste deel van de bladoppervlakte op de hoofdscheut. Dit is vooral overduidelijk bij de *P. trichocarpa* klonen uit Oregon, USA (12-106) en uit Chilliwack, Brits Columbia (1-12), die 35 tot 41% van hun totale bladoppervlakte op de hoofdscheut houden (figuur 7). Aan het einde van het seizoen leveren de bladeren op de hoofdscheut nog een zeer significante hoeveelheid fotosynthaten aan de boom. Deze zijn vooral belangrijk voor de groei en opslag van reserves in de stam en de wortels (Nelson, et al., 1982).

Significante klonale verschillen in takkarakteristieken, als takaanant, takhoek en takverdeling, resulteren in opmerkelijke verschillen in takpatronen en vorm van de kruin (figuur 8). Deze klonale verschillen komen duidelijk tot uiting in de klonale fenogrammen (figuur 9). Deze fenogrammen werden gereconstrueerd op basis van verschillende gemeten takkarakteristie-

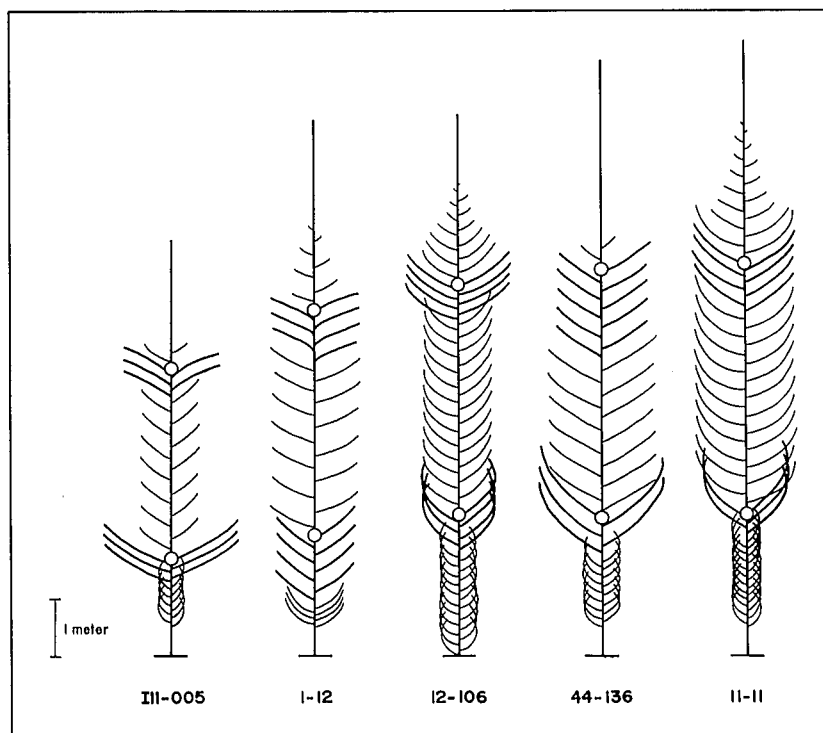


■ **Figuur 8** Tak-karakteristieken als takdimensie, aantal, oriëntatie, morfologie en patroon spelen een belangrijke rol in de opbouw van de kroon van populieren en andere boomsoorten. Driejarige Intra-amerikaanse hybride (kloon nr. 55-258) in een intensief biomassa-teelt-systeem met 1 m plantafstanden in Western Washington, USA.

■ **Figuur 7** Bladoppervlakte-verdeling op verschillende tijdstippen van het (derde) groeiseizoen van vijf verschillende populiereklonen, nl. *P. deltoides* (kloon III-005), *P. trichocarpa* (klonen 1-12 en 12-106) en hybriden tussen beide soorten (klonen 11-11 en 44-136). Alle bladoppervlaktes zijn uitgedrukt in procenten van de totale bladoppervlakte van een volledige boom. Early = mei-juni, Mid = juli-augustus, Late = september-oktober.

ken (als takaanant, takhoek, takverdeling, takhoekverdeling) en stellen drie jaar oude bomen voor in het midden van het groeiseizoen. Bepaalde klonen dragen weinig maar zware takken (bv. *P. deltoides* kloon III-005), andere vertonen een zeer grote hoeveelheid, kleinere twijgen. De vorm van de kruin en de vertakkingshoek geven ook een vrij nauwkeurige indicatie over de mate waarin een bepaald genotype zich aan een wijde of dichte plantafstand (1 m in het geval van figuur 9) kan aanpassen.

Kroonarchitectuur speelt een belangrijke rol in het bepalen van de plantproductiviteit omdat zij niet alleen de stralings-interceptie beïnvloedt, maar



■ *Figuur 9 Schematische voorstelling van klonale fenogrammen van een vijftal populiereklonen. Deze klonale fenogrammen werden gereconstrueerd op basis van gemeten hoogte, hoogtegroeï, gemiddeld aantal twijgen, gemiddelde takhoeken, en zijn een reële voorstelling op schaal van drie jaar oude bomen in het midden van het groeiseizoen. De open cirkels stellen de jaargroeïringen voor. Om redenen van duidelijkheid is het aantal voorgestelde twijgen de helft van het reële aantal.*

ook de conversie van de geïntercepteerde straling in biomassa.

### Ideotype-karakteristieken

De analyse van de determinanten van groei en produktie, zoals o.a. de hierboven aangehaalde en besproken proces- en structuurcomponenten, geeft ons niet alleen een beter inzicht in het plantengroei en -productiefenomeen, maar biedt ook interessante perspectieven voor verdere selectie en veredeling naar verhoogde opbrengst en rendement. Produktie en opbrengst zijn immers erg complexe fenomenen, en kunnen in selectie- en veredelingsprogramma's zowel op directe wijze als via de individuele componenten benaderd worden. In deze laatstgenoemde benaderingswijze worden hypothetische, "ideale" plantmodellen of *ideotypes* gebruikt als eindobjectieven van selectie- en veredelingsprogramma's. Voor een specifieke combinatie van cultuur- en omgevingscondities worden deze ideotypes dan opgebouwd aan de hand van de individuele functionele en structurele produktiecomponenten. Ideotypes van snelgroeïende boom-

soorten voor biomassa-produktie dienen dus bij voorkeur een aantal fysiologische karakteristieken te incorporeren, zoals bv.:

- een hoge CO<sub>2</sub> opnamesnelheid, gecombineerd met een hoog fotosynthetisch rendement,
- een zo groot mogelijk bladoppervlak (veel bladeren en/of grote bladeren), gecombineerd met:
- een gebalanceerde, efficiënte kruinstructuur en vertakkingspatroon,
- een vegetatie- of bestandsstructuur die een maximale stralingsinterceptie mogelijk maakt,
- een lange bladoppervlakte-duur, teneinde zo optimaal mogelijk de vol-

ledige lengte van het groeiseizoen te benutten,

- een gunstige allokatie naar economisch interessante (eind)produkten, i.c. hout en bovengronds houtachtig materiaal.

Vooraf met betrekking tot het optimaal benutten van de totale lengte van het groeiseizoen zijn er waarschijnlijk nog heel wat mogelijkheden, omdat de fenologie van verschillende, geselecteerde, snelgroeïende genotypes nog een zekere defasering ten opzichte van de lokale klimatologische omstandigheden vertoont. In het grootste deel van Noord-Europa bv. kan nog grote terreinwinst geboekt worden in termen van verhoogde droge stofproduktie door selectie naar genotypes met een vroege bladontluiking (of m.a.w. vroeg breken van de knoppen), en door het stimuleren van een snelle uitgroei van het takhout in de lente. Een vervroegde bladontluiking zal echter gepaard dienen te gaan met een kortere koude-vereisende periode in de winter en/of een vluggere reactie op stijgende temperaturen in de lente. Beide aspecten vertonen een aanzienlijke genetische variatie bij diverse boomsoorten en zijn mogelijkwijze geassocieerd met bepaalde enzymatische eigenschappen die reeds in zaailingen opgespoord kunnen worden. Nochtans gaat een vervroegde bladontluiking gepaard met een verhoogd risico van vorstschade en voor elke specifieke regio dient dan ook een optimale bladontluikingsdatum bepaald te worden.

Een latere bebladering in de herfst - die vooral geopteerd wordt door enkele onderzoeksgroepen in de USA, die populier onder intensieve cultuursystemen bestuderen - is enkel belangrijk (1) op meer zuidelijke breedtegraden in Europa waar er nog een voldoende hoge stralingsintensiteit verkregen wordt in de herfst, en (2) tijdens het herfstseizoen dat het kappen als hakhout voorafgaat, omdat het dan belangrijk is een voldoende grote koolhydraatreserve in de wortels op te slaan.

### Besluit

Gezien de toenemende wereld-energiebehoefte en de daarmee gepaard

gaande intensieve belasting voor het milieu, is de productie van biomassa als energiebron een valabel alternatief in vergelijking met andere energiebronnen. Daar er in de Europese Gemeenschap alleen ongeveer 15 miljoen ha landbouwgrond in de nabije toekomst zullen vrijkomen, door de zogeheten "set aside policy" van de Europese landbouwministers, biedt biomassa-productie een ideaal alternatief en rendabel gebruik voor deze arealen. Met betrekking tot het milieu heeft biomassa als energiebron zeker haar positieve effecten op de globale CO<sub>2</sub> balans, en daarmee samenhangende gunstige weerslag op het probleem van het serre-effect, voor op andere energiebronnen. Daarenboven kunnen biomassateelt en intensieve bosbouw in vergelijking met klassieke intensieve landbouw als "ecologische zuivere systemen" bestempeld worden, gezien (1) hun geringere behoefte aan intensieve voeding en bemesting, (2) hun geringer eroderend effect op de bodem, en (3) de veel kleinere noodzaak aan het gebruik van pesticiden en insecticiden. Teneinde de produktiviteit van bio-

massateelt-systemen, die in essentie eigenlijk fyto-energieconversie-systemen zijn, te verhogen, dient hun rendement zo optimaal mogelijk te zijn. Hiertoe is een duidelijk inzicht in de fundamentele, functionele en structurele determinanten van groei en productie essentieel. De proces- en structuurcomponenten die in dit artikel aan bod kwamen, zijn slechts enkele van de vele, maar tonen aan dat er voldoende ruimte is voor veredeling en selectie van genotypen met een verhoogd energieconversie-rendement op basis van specifieke individuele produktiedeterminanten.

### Literatuur

Cannell, M. G. R. 1988. Chapter 2: The scientific background. In: *Biomass Forestry in Europe: A Strategy for the Future*. F. C. Hummel et al. (eds.), pp. 83-140, Elsevier Applied Science, London & New York.

Ceulemans, R. 1989. Genetic variation in functional and structural productivity components in *Populus*. In: *Causes and Consequences of Variation in Growth Rate and Productivity of Higher Plants*. H. Lambers et al. (eds.), pp. 69-85, SPB Academic Publishing b.v., Den Haag, Nederland.

Ceulemans, R., I. Impens & V. Steenackers. 1985. Populier: een ecofysiologisch onderzoek. Nederlands Bosbouw tijdschrift 57: 48-59.

Fasehun, F. E. 1978. Effect of irradiance on growth and photosynthesis of *Populus X euramericana* clones. *Canad. Journ. Forest Res.* 8: 94-99.

Gholz, H. L. 1982. Environmental limits on aboveground net primary production, leaf area, and biomass in vegetation zones of the Pacific Northwest. *Ecology* 63: 469-481.

Isebrands, J. G., R. Ceulemans & B. Wiard. 1988. Genetic variation in photosynthetic traits among *Populus* clones in relation to yield. *Plant. Physiol. Biochem.* 26: 427-437.

Jarvis, P. G. & M. S. Jarvis. 1964. Growth rates of woody plants. *Physiol. Plant.* 17: 654-666.

Jarvis, P. G. & J. W. Leverenz. 1983. Productivity of deciduous and evergreen forests. In: *Encyclopedia of Plant Physiology. New Series*. Vol. 12D. IV. O. L. Lange, P. S. Nobel, C. B. Osmond & H. Ziegler (eds.), pp. 233-280, Springer-Verlag, Berlin, Duitsland.

Nelson, N. D., D. I. Dickmann & K. W. Gottschalk. 1982. Autumnal photosynthesis in short-rotation intensively cultured *Populus* clones. *Photosynthetica* 18: 600-605.

## BOEKBESPREKING

### "Genetic variation in functional and structural productivity determinants in poplar"

Paperback / 100 pagina's / Formaat 16,5 x 24 cm / taal: Engels. ISBN 90-5170-044-X / NUGI 824. Thesis Publishers, Bickersgracht 60, 1013 LG Amsterdam, tel. 020-255429). Dr. R. Ceulemans, Universiteit van Antwerpen, België.

De belangrijkste doelstelling van dit boek is het verwerven van een beter inzicht in een aantal essentiële determinanten van de produktiviteit van populieren (geslacht *Populus*) vanuit een genetisch en fysiologisch perspectief. De context die daarvoor werd gekozen, is deze van de korte omloop biomassa-teeltsystemen, een wijd verspreide vorm van populicultuur voor de productie van energie en vezels. Zowel structurele als functionele componenten van groei en productie komen aan bod, en dit op drie organisatorische niveaus, nl. het individuele blad, de takken, en de gehele plant of boom.

Een gunstige combinatie van verschillende bladfysiologische (als bladgroei en -ontwikkeling, fotosynthese, stomataal gedrag) en kruinstructurele karakteristieken (als bladoppervlakte-index en -duur, tak- en bladoriëntatie) kan de superieure groei en produktiviteit van geselecteerde en veredelde hybride populiereklonen verklaren.

Op basis van een verbeterde kennis van de ecofysiologie en de productie-determinanten van diverse *Populus* genotypes wordt in het boek een set van ideotype karakteristieken voor de biomassateelt voorgesteld. Naarmate ons inzicht in de groei en ontwikkeling, in de ideotype karakteristieken en in variatie in elk van deze kenmerken toeneemt, zullen ook de mogelijkheden toenemen voor de succesvolle identificatie van vroegtijdige selectiecriteria en voor het verhogen van de biomassa-opbrengst en het energetisch rendement van populier.

Dit boek *Genetic Variation in Functional and Structural Productivity Determinants in Poplar* (auteur R. Ceulemans) verschijnt bij de uitgeverij Thesis Publishers, Amsterdam en kost f 29,50 (+ f 5,50 port- en verzendkosten).

R. Ceulemans