

Bodemverdichting door gemechaniseerde houtoogst: gevolgen voor het boscosysteem

Tijdens de laatste decennia zijn manuele vellingen en uitsleepmethoden met dieren of kleine tractoren op de achtergrond geraakt. Ze maken steeds vaker plaats voor gemechaniseerde houtoogsten, gekenmerkt door het gebruik van zware tractoren of gespecialiseerde bosbouw machines (skidder, harvester, forwarder). Behalve de hogere productiviteit en veiligheid en een afname van de fysieke arbeid voor de bosarbeider, brengen de toenemende gewichten van deze machines ook negatieve gevolgen met zich mee.

De hoge druk op de bodem resulteert vaak in bodemverdichting, in meer of mindere mate gepaard gaand met spoorvorming (Fig. 1). Bodemverdichting is het proces waarbij de poriën in de bodem worden samengedrukt of vernield en de continuïteit van deze poriën wordt aangetast. Deze wijzigingen van de bodemstructuur hebben gevolgen voor belangrijke bodemkarakteristieken en -processen, zoals de ruimte voor en de weerstand tegen wortelgroei, de geleidbaarheid van water en lucht en dus ook de bodemgassamenstelling, en verschillende chemische reacties. Ongunstige bodemcondities kunnen op lange termijn leiden tot een verlies van biodiversiteit, bodemvruchtbaarheid en productiviteit van de standplaats.

Bodemverdichting treedt niet altijd in dezelfde mate op. Verschillende factoren, eigen aan standplaats, bestand en gebruikte machines zorgen voor grote variatie in de verdichtingsgraden die optreden na berijding. Bovendien is weinig geweten over de impact van bodemverdichting op biotische processen, zoals groei en vitaliteit van bodemfauna, kruidlaag en bomen. Snel herstel is uiteraard gewenst om de impact op het boscosysteem te beperken maar de afhankelijkheid van allerhande factoren en processen resulteert ook hier in sterk variërende onderzoeksresultaten. Om deze redenen werd in het kader van een doctoraat (Ampoorter, 2011) uitgebreid onderzoek gevoerd naar verschillende abiotische en biotische effecten van bodemverdichting en naar herstelmogelijkheden

EVY AMPOORTER, Universiteit Gent



Figuur 1: Bodemverdichting en spoorvorming na berijding met zware bosbouw machines. © links: Evy Ampoorter, Kapellen, 2007; rechts: Lotte Van Nevel, Zoniënwoud, 2007

van verdichte bodems. De voornaamste resultaten worden in wat volgt beknopt voorgesteld.

Abiotische effecten van bodemverdichting en beïnvloedende factoren

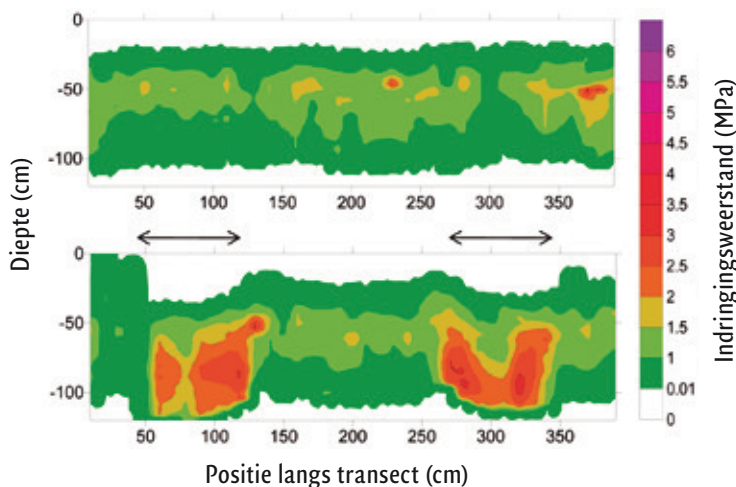
Een eerste veldexperiment vond plaats in acht Vlaamse bosbestanden, verspreid over de bodemtexturen zand (twee gemengde bestanden), klei (twee loofhoutbestanden) en zandleem- tot leembodems (twee naalddhout- en twee loofhoutbestanden). Een zware skidder (14,3 ton) en een lichte tractor (1,88 ton) reden in elk van de bestanden 1 of 5 keer heen en terug op speciaal aangeduide pistes (Ampoorter et al., 2010). Algemeen wordt aangenomen dat fijne en intermediaire bodemtexturen zoals klei en leem veel gevoeliger zijn voor bodemverdichting dan grove texturen zoals zand (Fisher & Binkley, 2000). De invloed van het berijden op de dichtheid en de indringingsweerstand (weerstand tegen het indringen van een bepaald object, zoals een wortel) van de onderzochte bodems was echter op alle bodemtypes relatief beperkt tot verwaarloosbaar. Er konden dus geen textuurgerelateerde verschillen worden vastgesteld. De kleiige bodems bevatten tijdens het experiment een grote hoeveelheid water dat weinig

samendrukbaar is en dat heeft wellicht een sterke verdichting verhinderd. In deze situatie worden machinekrachten eerder omgezet in plastische vervorming, wat zich uit onder de vorm van duidelijke sporen (Fig. 2). Deze spoorvorming heeft ook een belangrijke impact op het bodemleven via beschadiging van wortels, wijziging van het microklimaat, blootleggen van diepere bodemlagen, etc. Op een bodem met intermediaire tot fijne textuur is verdichting meest intens bij intermediaire vochtgehaltes terwijl een droge bodem de laagste gevoeligheid vertoont voor zowel verdichting als spoorvorming (Hillel, 1998). De verwaarloosbare verdichting op de zandleem- tot leembodems was eerder te wijten aan een hoge initiële bodemdichtheid, als gevolg van vb. zwaar machineverkeer in het verleden. Hoe hoger de dichtheid van de bodem, hoe smaller bodemporiën worden, en hoe meer weerstand ze uitoefenen tegen een verdere afname van hun diameter. Dit induceert een hogere bodemsterkte waardoor de bodem gedeeltelijk beschermd is tegen nieuwe verdichting. Zoals verwacht bleven de verdichtingsgraden eveneens beperkt op de zandige bodems. Een tweede veldexperiment uitgevoerd in 2 naaldhoutbestanden op zandige bodems (Ampoorter et al., 2007) wees echter uit dat ook deze textuur kwetsbaar kan zijn voor verdichting. De vermeende gevoeligheid van verschillende bodemtexturen voor bodemverdichting (en inherente spoorvorming) mag dus zeker niet veralgemeend worden. Hierbij moet steeds rekening gehouden worden met de initiële bodemdichtheid en het bodemvochtgehalte.

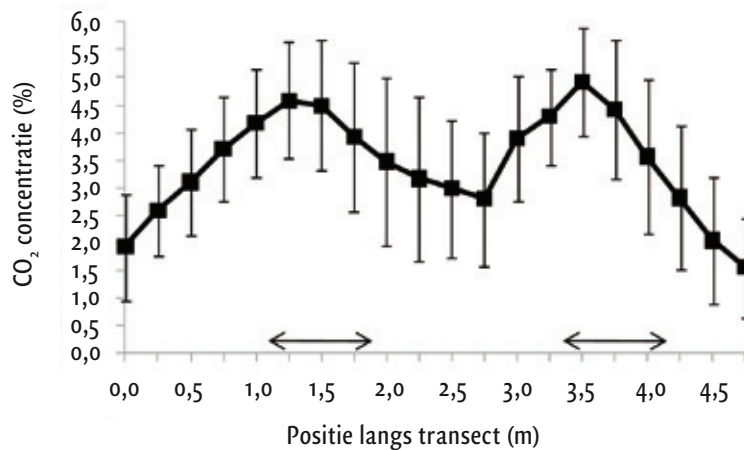
Bovendien vertoonde de concentratie aan koolstofdioxide (CO_2) wel een duidelijke verandering als gevolg van het machineverkeer in tegenstelling tot de verwaarloosbare invloed op de dichtheid en de indringingsweerstand (Fig. 3). Onafhankelijk van de verdichtingsgraad zorgt de bewe-

ging van de machinebanden voor een afname van de poriëncontinuïteit. Hierdoor verloopt de uitwisseling van lucht naar en vanuit de bodem veel moeizamer zodat gasen zoals CO_2 zich opstapelen en te weinig zuurstof in de bodem terecht komt. Dit kan belangrijke gevolgen hebben voor het bodemleven omdat een goede bodemluchtsamenstelling noodzakelijk is voor optimale groei. Dat deze concentratie wel nog een duidelijke invloed ondervindt van het machineverkeer terwijl de impact op de dichtheid en de indringingsweerstand beperkt blijft, betekent bovendien dat dit een veel gevoeliger en dus meer betrouwbare indicator is voor de ecologische impact van zwaar machineverkeer op de bosbodem. Jammergenoeg vergt het meten van deze bodemvariable zeer dure en gespecialiseerde apparatuur waarop wij slechts voor dit deelonderzoek beroep konden doen. Het meten van de CO_2 -concentratie als indicator voor bodemschade is dus niet zomaar algemeen toepasbaar.

Uit de resultaten van deze twee veldexperimenten, alsook van een eerste meta-analyse (i.e. analyse gebaseerd op resultaten van verschillende internationale onderzoeken) (Ampoorter et al., 2011c) konden ook algemene conclusies getrokken worden over de invloed van het machinegewicht en de berijdingsintensiteit. Een hoger machinegewicht leidde tot een toename van de verdichtingsgraad. Dit heeft te maken met de bodemcontactdruk van de machine, dat wil zeggen de druk (of het gewicht) per eenheid contactoppervlak tussen bodem en machine. Neemt het gewicht veel sterker toe dan het contactoppervlak, dan stijgt de bodemcontactdruk en bijgevolg ook de impact op de bodem. Om de bodemverdichtingsgraad te reduceren moet dus gestreefd worden naar een lager gewicht (vb. lager machinegewicht, kleinere lading) of een toename van het contactoppervlak (vb. meer banden, bredere banden, lagere bandendruk). Uit het onderzoek op zandige bodems van Ampoorter et al. (2007) bleek bovendien de gunstige invloed van een takkenmat op het reduceren van de verdichtingsgraad. Deze takkenmat wordt opgebouwd door exploitatieresten (takken, kronen, stamstukken) te verspreiden over de ruimingspiste vooraleer de machine erover rijdt en is gemakkelijk toepasbaar bij exploitaties met een harvester in naaldhoutbestanden. Zo worden de machinekrachten verdeeld over een groter oppervlak. De verdichtingsgraad nam eveneens toe naarmate het aantal berijdingen verhoogde. Namelijk, zolang de krachten uitgeoefend door de machine groter zijn dan de bodemsterkte, heeft elke machineberijding een invloed op de bodem. Brais & Camiré (1998) duiden bovendien op een logaritmisch verband tussen de verdichtingsgraad en het aantal berijdingen, met een grote invloed vanwege de eerste berijdingen en een kleinere tot uiteindelijk verwaarloosbare invloed van verdere berijding. Wanneer verdichting geïnduceerd wordt, leidt dit zoals hoger vermeld tot een hogere bodemsterkte en dus een gedeeltelijke bescherming tegenover een volgende impact. Hierdoor worden de extra effecten van opeenvolgende berijdingen met dezelfde machine steeds kleiner.



Figuur 2: Dwarsdoorsnede van een kleiige bodem langs een transect dwars over een ruimingspiste, voor (boven) en na (onder) vijf berijdingen met een JD640 skidder (positie sporen aangegeven door zwarte pijlen), waarbij de kleurlegende een indicatie geeft van de indringingsweerstand. De machineberijding induceerde een verdubbeling van de indringingsweerstand, maar de waarden bleven kleiner dan 3MPa en zijn bijgevolg relatief beperkt te noemen. Tegelijk werden diepe sporen gecreëerd.



Figuur 3: Verloop van de CO₂ concentratie (met 95% betrouwbaarheidsinterval) langs een transect dwars over een ruimingspiste, na vijf passages van een skidder (positie sporen aangeduid door zwarte pijlen). In de sporen werden duidelijk hogere concentraties aan CO₂ vastgesteld in vergelijking met de niet-bereden oppervlakte.

Wanneer de bodemsterkte uiteindelijk even groot wordt als de toegepaste machinekrachten, heeft de machine geen invloed meer op de bodem. Rekening houdend met het belang van de eerste berijding(en) is het dus aangewezen om de machines op vaste ruimingspistes te concentreren, zodoende te vermijden dat het bosbestand vlaksgewijs verdicht wordt. Wanneer de bodem initieel al verdicht is, mag dit geen aanleiding vormen om dergelijke beschermende maatregelen achterwege te laten. Bij het gebruik van vaste ruimingspistes krijgt de bodem tussen de pistes namelijk de kans om te herstellen.

Biotische effecten van bodemverdichting

Algemeen wordt aangenomen dat bovenstaande abiotische veranderingen een weerslag hebben op het bodemleven. De hogere indringingsweerstand (of bodemsterkte) en afname van de porositeit zouden de wortelgroei en graafactiviteiten van bodemfauna tegenwerken. Bovendien zorgen de gewijzigde hydraulische condities, chemische processen en samenstelling van de bodemlucht voor suboptimale omstandigheden voor groei en overleving van fauna en flora. De resultaten van eerder gevoerde onderzoeken variëren echter sterk en meestal werd slechts één verdichtingsgraad, bodemtype of taxonomische fauna- of floragroep onderzocht waardoor geen algemene conclusies kunnen getrokken worden. Om deze reden werd een tweede meta-analyse uitgevoerd naar de impact van bodemverdichting op de hoogte- en diametergroei en overleving van zaailingen (Ampoorter et al., 2011a). De invloed was hoofdzakelijk niet significant, gekenmerkt door een sterke spreiding van de onderzoeksresultaten rondom het nuleffect. Met andere woorden, de impact van verdichting op zaailingen was zeker niet altijd negatief. De bodemtextuur bleek hier bovendien een lichte invloed op te hebben. Op de fijnere texturen was de invloed van

bodemverdichting op groei en overleving zoals verwacht licht negatief, terwijl de zaailingen op de grovere texturen geen of eerder een licht positief effect ondervonden. Op bodems met grovere textuur zijn de bodemporiën in niet-verdichte toestand vaak te breed om na een regenbui voldoende water tegen de zwaartekracht in vast te houden. Verdichting leidt tot smallere poriën en bijgevolg een betere waterretentie. De ongunstige effecten vanwege de verdichting worden hier dus deels gecompenseerd door een betere vochtbalans. Hierbij wordt opgemerkt dat deze conclusies gebaseerd zijn op een beperkt aantal studies en op lichtboomsorten met sterk variërende resultaten als gevolg van verschillen in textuur, soort, verdichtingsgraad, etc. Bovendien toonden onder meer Godefroid & Koedam (2004) en Jordan et al. (1999) aan dat de kruidlaag, respectievelijk bodemfauna, ook in een bepaalde mate beïnvloed worden door bodemverdichting. Hoewel de impact van bodemverdichting op de zaailingen niet éénduidig negatief was, blijft het dus vanwege het voorzorgsprincipe van belang te streven naar een minimalisatie van de verdichtingsgraad.

Status van Vlaamse bosbodems

Gezien de invloed van verdichting op de abiotische bodemkenmerken en de potentieel ongunstige impact op het bodemleven, is het van belang dat bodemverdichting zo snel mogelijk verdwijnt. Verschillende natuurlijke processen dragen bij tot dit structuurherstel. Het bevriezen en ontdooien van bodemwater in vorstperiodes en het zwellen en krimpen van kleipartikels zorgen voor een verwijding van de poriën. Ook wortelgroei en graafactiviteiten van bodemfauna hebben een invloed. In negen Vlaamse bosbestanden verspreid over de texturen zand (naaldhout), zandleem (loofhout) en leem (loofhout), waar de laatste exploitatie zeven tot negen jaar geleden plaats vond, werd de verdichtingstoestand onderzocht aan de hand van een derde veldexperiment. Overal werden sporen van voormalig machineverkeer teruggevonden, vooral dicht tegen de bosweg waarlangs het hout werd afgevoerd. Sommige bestanden (zoals in het Zoniënwoud)

Figuur 4: Markering op een te oogsten boom, die het begin van een vaste ruimingspiste aangeeft. © Robbie Goris



vertoonden algemeen hoge indringingsweerstand en als gevolg van ongelimiteerd machineverkeer bij vroegere exploitaties, hoge recreatiedruk en wellicht ook de jarenlange houtskoolextractie. In andere bestanden konden oude ruimingspistes teruggevonden worden aan de hand van lokaal verhoogde indringingsweerstand. In alle onderzochte bestanden op de drie texturen was herstel van bodemverdichting dus onvolledig zeven tot negen jaar na de laatste houtoogstactiviteit. In Vlaanderen is dit de standaardperiode tussen twee houtoogsten. Om te voorkomen dat de gevolgen van bodemverdichting accumuleren en uitbreiden, is het aangewezen om het machineverkeer bij toekomstige exploitaties te concentreren op vaste ruimingspistes (Fig. 4).

Mogelijkheden voor ecologisch herstel van verdichte bosbodems

Uit voorgaande resultaten bleek dat herstel van bodemverdichting traag verloopt. Volgens de resultaten die Jakobsen (1983) en Croke et al. (2001) behaalden, zou dit proces zeker 25-30 jaar in beslag nemen. Greacen & Sands (1980) toonden aan dat verdichting in diepere lagen zelfs 50-100 jaar aanwezig kan zijn. Aangezien verdichting het bodemecosysteem beïnvloedt zolang de bodem niet volledig hersteld is, is sneller herstel gewenst. Het kunstmatig losmaken van de bodem door middel van een ploeg is slechts in heel uitzonderlijke situaties aangewezen omdat deze handeling heel wat neveneffecten heeft (wortelschade, omwoelen van bodemlagen,...). Wat betreft de natuurlijke herstelprocessen kan enkel de biologische bodemactiviteit gemanipuleerd worden. In een vierde veldproef, eveneens uitgevoerd in de 4 bestanden op zandleem- tot leembodems uit het eerste veldexperiment, werd daarom de invloed van bekalken, manipulatie van de strooiselkwaliteit en toevoegen van de diepgravende wormensoort *Lumbricus terrestris* op de verdichtingsgraad onderzocht (Ampoorter et al., 2011b). Diepgravende wormen, ook wel anecische wormen genoemd, beschikken over een sterk graafvermogen en kunnen dus een grote bijdrage leveren aan het bodemherstel. De hoge bodemzuurtegraad zorgde er echter voor dat ze in de onderzochte bosbestanden initieel afwezig waren. Zowel bekalken als het vervangen van het bestandseigen strooisel door strooisel van hogere kwaliteit hadden een positief effect op het aantal toegevoegde individuen van *L. terrestris* dat werd teruggevonden. Beide behandelingen creëerden namelijk betere bodemcondities (lagere zuurtegraad, betere nutriëntentoestand) en dus betere levensomstandigheden voor de anecische wormen. De drie behandelingen samen resulteerden ook in de snelste strooiselafbraak, als indicator voor een verhoogde biologische activiteit. Geen enkele behandeling(scombinatie) leidde tot een volledig herstel van bodemverdichting, noch in de wielsporen, noch op de oppervlakte ernaast die niet bereiden werd tijdens het experiment maar ook relatief hoge verdichtingsgraden vertoonde. De aanwezigheid van de

anecische wormen resulteerde wel in een lichte daling van de bodemdichtheid naast de sporen. De bekalking zorgde voor een lichte afname van de indringingsweerstand in afwezigheid van deze wormen. De algemeen beperkte tot verwaarloosbare invloed van de behandelingen is wellicht te wijten aan een algemeen laag aantal teruggevonden wormen, omwille van de hoge bodemzuurtegraad, zelfs na bekalken of toevoegen van kwalitatief strooisel. Bovendien vergt het graven in een verdichte bodem heel wat energie zodat het herstelproces verder vertraagt. Tot slot was de looptijd van dit onderzoek (18 maanden) wellicht te beperkt om nu al duidelijke effecten waar te nemen. Onze resultaten geven aan dat er potentieel bestaat voor ecologisch herstel van verdichte bosbodems met behulp van diepgravende wormen maar dan wel op lange termijn en op voorwaarde dat de bodemomstandigheden gunstig zijn. Dit kan bereikt worden door een menging van de boomsoorten met hoog kwalitatief strooisel na te streven, een maatregel die perfect past binnen het kader van ecologisch bosbeheer en nog heel wat andere positieve effecten met zich meebrengt (vb. nutriëntencycli, diversiteit). ■

Als afsluiter van dit artikel herhalen we kort de aanbevelingen voor het bosbeheer die volgen uit deze resultaten:

- Bij de planning van houtoogstactiviteiten:
 - Zowel fijne als grove bodemtexturen kunnen kwetsbaar zijn voor verdichting, en dit is onder meer afhankelijk van de initiële bodemdichtheid en het bodemvochtgehalte;
 - Voer houtoogsten op intermediaire tot fijne texturen uit wanneer de bodem droog is;
 - Gevoelige bodemindicatoren (zoals CO₂-uitwisseling) kunnen, zelfs op reeds verdichte bodems, nog steeds sterke wijzigingen ondergaan;
 - Hoewel de invloed van bodemverdichting op fauna en flora niet algemeen negatief is, moet uitgegaan worden van het voorzorgsprincipe om de soorten te beschermen die wel kwetsbaar zijn;
 - Probeer in de mate van het mogelijke de bodemdruk van de machine te verlagen, vb. via bredere banden, lagere bandendruk, lager machinegewicht, takkenmat,...
 - Gebruik vaste ruimingspistes om te vermijden dat de gevolgen van opeenvolgende exploitaties cumuleren of zich ruimtelijk uitbreiden. Bovendien krijgt de bodem tussen de pistes zo de kans om zich te herstellen.
- Voor het bosbeheer:
 - Streef naar een menging met boomsoorten die hoog kwalitatief strooisel leveren. De lagere zuurtegraad en de verbeterde nutriëntenstatus van de bodem die hiermee gepaard gaan, stimuleren het herstel van verdichte bodems en deze maatregel heeft ook een breder positief, ecologisch effect.

Referenties: zie www.vbv.be