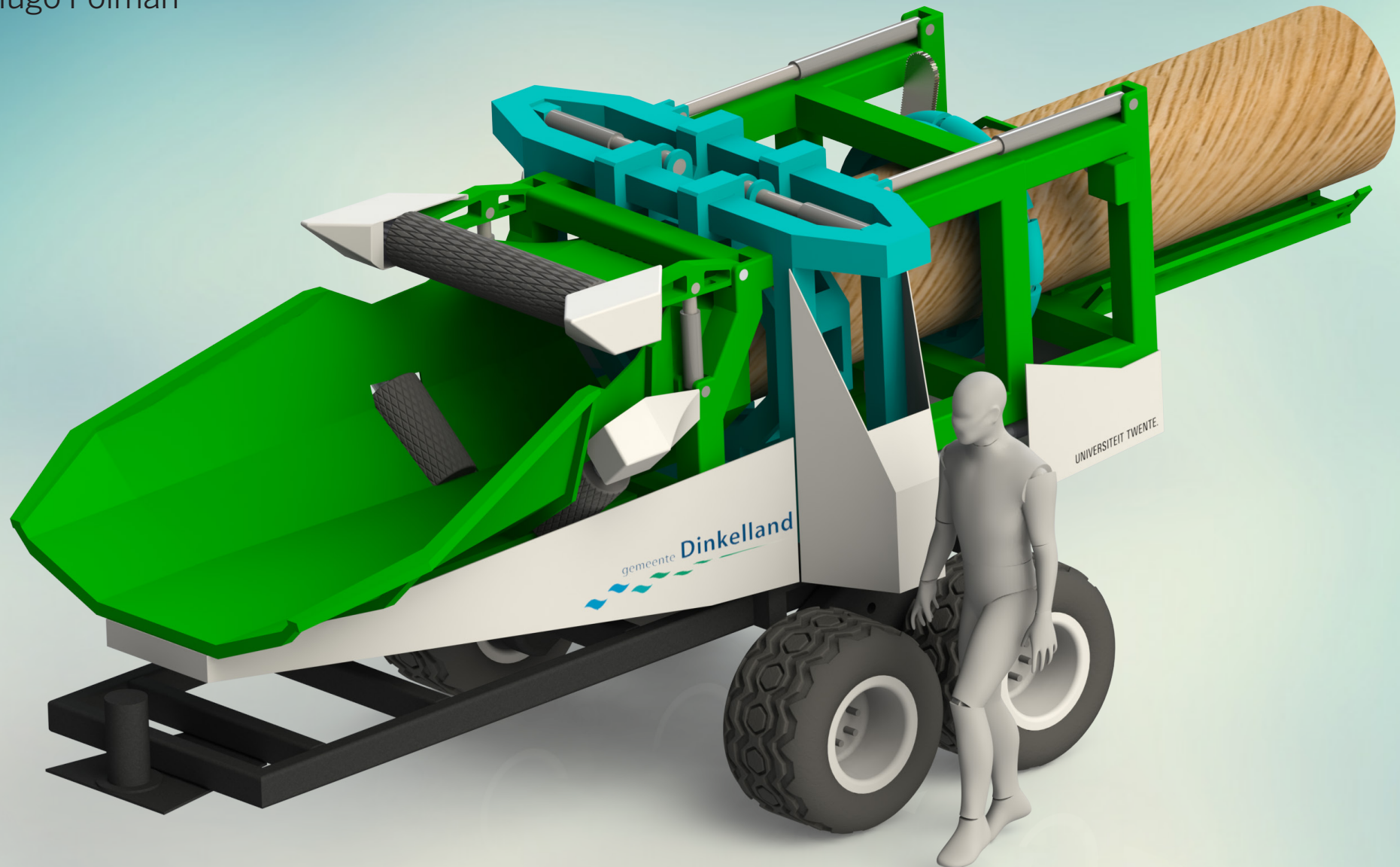


Bachelor opdracht

Hugo Polman



Universiteit Twente
Industrieel Ontwerpen

Bachelor Eindopdracht
In opdracht van Gemeente Dinkelland
Ontwerpen machine voor verwerking van houtige biomassa

Student
Hugo Polman

Studentnummer
s1009532

Tutor
T.G.M. Krone

Datum van publicatie
maart 2014



Voorwoord

Dit verslag is het resultaat van een onderzoek naar de haalbaarheid van een bundelmachine voor houtige biomassa. Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van de Bachelor Opdracht Industrieel Ontwerpen aan de Universiteit Twente. Ik hoop dat dit onderzoek bijdraagt aan een verdere ontwikkeling van een bundelmachine voor houtige biomassa.

Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van gemeente Dinkelland. Hierbij wil ik graag dhr. Davina, mijn begeleider en opdrachtgever bij de gemeente Dinkelland, bedanken voor de mogelijkheid om dit onderzoek uit te voeren.

Daarnaast gaat mijn dank uit naar tuin en landschaps-architect dhr. Bijkerk, waarbij ik een groot deel van de stageperiode heb mogen samenwerken. Dhr. Bijkerk heeft een persoonlijke interesse in het onderwerp, wat zorgde voor interessante gesprekken.

Vanuit Universiteit Twente heb ik begeleiding gekregen van dhr. Krone. Bij vragen omtrent het technisch functioneren van het eindproduct kon ik altijd terecht. Verder is er ondersteuning aangeboden bij het opbouwen van het verslag.

Tot slot wil ik nog alle overige betrokkenen in het project bedanken voor hun visie op de uitwerking van een bundelmachine voor houtige biomassa. Doordat er bij het ontwikkelen van de machine veel verschillende meningen zijn over de uitwerking van een dergelijk product, heb ik veel ideeën aangehoord en geprobeerd deze te integreren in het eindproduct. Het was voor mij heel waardevol om inzicht te krijgen in het totale ontwerpproces en de interactie met belanghebbenden.

Ik ben tevreden met het uiteindelijke resultaat en kan met een goed gevoel terugkijken op mijn Bachelor Opdracht.

Samenvatting

In dit verslag is te lezen hoe de bachelor opdracht bij gemeente Dinkelland is uitgevoerd en op welke manier het eindresultaat tot stand is gekomen. Begin september 2013 is deze opdracht, de afstudeeropdracht voor de bachelor Industrieel Ontwerpen, van start gegaan. Het doel is om de reeds opgedane kennis van drie jaar colleges en verschillende projecten nu zelfstandig toe te passen. Het verslag is opgebouwd volgens de verschillende ontwerpfasen waarbij de analysefase, functieanalyse, Idee-fase en conceptfase binnen dit project alleen zijn behandeld.

Ten eerste zijn in de analysefase de belanghebbenden, de omgeving, het snoeiproces, de potentiële beschikbare markten en hoeveelheid beschikbare biomassa onderzocht. Daarna is vastgesteld wat in de takkenbundels verwerkt kan worden en waar het snoeihout zijn bestemming kan vinden. Vervolgens zijn potentiële energie- en economische voordelen vastgesteld.

Ten tweede is er een functie analyse uitgevoerd naar de werking van de huidige bundelmachines. Vanuit deze werking is aansluiting gezocht op het verwerkingsproces van snoeihout uit houtwallen. Vervolgens zijn eigenschappen van de takkenbundels, bundeltouw en het transport bepaald. Deze analyse heeft geleid tot twee idee-richtingen waarbij één richting verder uitgewerkt is.

Ten slotte is het werkingsprincipe ontworpen waarna het beste werkingsprincipe is gevormd tot een eindconcept. Dit eindconcept is ontworpen tot aan het plaatsen van actuatoren en het controleren van het hydraulisch systeem. Het eindproduct is een concept en zal de detailleringfase nog moeten doorlopen.

Inhoud

Voorwoord	2
Samenvatting	2
Inhoud	3
Inleiding	4
Begripsbepaling	5
Opdracht	5
Opdrachtgever	6
Stakeholders	7

1. Analysefase

1.1 Houtwallen in gemeente Dinkelland	9
1.2 Potentieel beschikbare biomassa	11
1.3 Verwerking spilhout	12
1.4 Afzetmarkten snoeihout	14
1.5 Economisch voordeel	15
1.6 Energie voordeel	17
1.7 Budget	18
1.8 Standpunten stakeholders	19
1.9 Conclusie analyse	21
1.10 Alternatief	22

2. Functieanalyse

2.1 Product analyse	25
2.2 Concurrentie analyse	26
2.3 Bepaling systeemeigenschappen	28
2.4 Takkenbundel eigenschappen	30
2.5 Bundeltouw	32
2.6 Programma van eisen	33

3. Idee fase

3.1 Idee richting 1: compleet proces	35
3.2 Idee richting 2: versimpelde versie	37
3.3 Conclusie idee richtingen	38
3.4 Idee generatie werkingsprincipe	38

4. Concept fase

4.1 Compressiesysteem	41
4.2 Definitieve uitwerking	44
4.3 Product systemen	45
4.4 Definitieve onderdelen	46
4.5 Actuatoren en drukcilinders	48
4.6 Controle hydraulisch systeem	48

5. Eindconclusie

5.1 Conclusie en aanbeveling	51
------------------------------	----

6. Bijlages

Bijlage I	53
Bijlage II	54
Bijlage III	55
Bijlage IV	56
Bijlage V	58
Bijlage VI	59
Bijlage VII	62
Bijlage VIII	63
Bijlage IX	64

Bronnenlijst



Inleiding

Nederland wil verantwoordelijker energie gaan opwekken en minder afhankelijk zijn van fossiele brandstoffen zoals olie en kolen. Alternatieve energiebronnen zijn minder belastend voor het milieu en worden daarom gezien als duurzame energie. Deze energie kan opgewekt worden uit zon, wind, aardwarmte en biomassa. Het doel is om 20% van alle energie duurzaam te produceren in 2020.

Biomassa moet driekwart van alle duurzame energie produceren. Biomassa wordt omgezet naar elektriciteit en warmte door verbranding. Deze oplossing is één van de goedkoopste manieren om duurzame energie te produceren. Eén van de grondstoffenstromen in biomassa is de aanlevering van houtige biomassa. Hieronder wordt verstaan hout uit bossen, houtwallen, snoeihout, bomenrijen en kleine bosjes. Gemeente Dinkelland is een groene gemeente waar veel houtwallen aanwezig zijn en wil graag mee werken aan de doelstelling van Nederland om meer duurzame energie op te wekken. Dit kan door middel van een efficiëntere aanlevering en verwerking van snoeihout uit houtwallen binnen de gemeente.

De huidige methode is het versnipperen van snoeihout op locatie, waarna deze verbrand wordt bij een biomassa elektriciteitscentrale voor energieopwekking. Uit onderzoeken vanuit de gemeente is naar voren gekomen dat het proces aangepast kan worden om zo efficiënter energie te verkrijgen uit snoeihout. Het is aan te bevelen een Scandinavische verwerkingsmethode toe te passen, om op een natuurlijke wijze meer energie te verkrijgen uit snoeihout. Deze Scandinavische methode bestaat uit

het bundelen van resthout dat blijft liggen nadat bomen uit de bosbouw zijn gesnoeid. Het resthout, voornamelijk tak- en tophout, wordt gebundeld en vervolgens in het landschap geplaatst waarna de wind het hout winddroog maakt.

De vraag is of deze methode geschikt is voor de verwerking van snoeihout uit houtwallen van de gemeente Dinkelland en eventueel voor meerdere gemeentes in Nederland. Op dit moment wordt deze bundelmethode toegepast op een grotere schaal binnen de bosbouw met gespecialiseerde machines in Scandinavische landen. Deze machines blijken niet direct toepasbaar te zijn voor de verwerking van snoeihout uit houtwallen in Nederland. Eén bosbouwaannemer in Nederland heeft een bundel-machine aangeschaft, maar vanwege problemen bij de verwerking en geringe inzetmogelijkheden van de hand gedaan.¹

In dit project wordt onderzocht of deze efficiëntere manier van resthout verwerken toegepast kan worden bij het verwerken van snoeihout uit houtwallen in Nederland, en dan voornamelijk gericht op de situatie in de gemeente Dinkelland. Het eindproduct van dit project is een onderzoek naar de haalbaarheid van een bundelmaschine voor de verwerking van snoeihout uit houtwallen. Naast dit onderzoek zal er ook een bundelmaschine ontworpen worden tot aan de conceptfase. Vanuit deze resultaten kan gemeente Dinkelland het concept eventueel nader uitwerken.

¹ Logistieke keten van houtige biomassa uit bos, natuur en landschap in Nederland (2009)

Begripsbepaling

Windroog hout: Winddroog hout heeft een vochtpercentage van 20% in plaats van 50 tot 60% bij vers hout

Bundelmachine: Mobiele machine waarbij resthout ingevoerd wordt waarna dit gebundeld wordt tot hanterbare takkenbundels

Biomassa: Biologisch afbreekbare massa als snoeihout. Deze massa kan verwerkt worden in energiecentrales tot elektriciteit of warmte

Spilhout: Het stamhout van een boom

Opdracht

Gemeente Dinkelland heeft onderzoeken uitgevoerd om in kaart te brengen waar mogelijkheden liggen binnen de logistieke keten van houtige biomassa. Uit dit onderzoek kwam naar voren dat er mogelijkheden zijn in het bundelen van takhout. Omdat er bij de gemeente Dinkelland veel takhout vrijkomt uit houtwalonderhoud wil de gemeente deze methode graag verder onderzocht hebben.

Het opwekken van biomassa-energie uit houtwallen komt voornamelijk uit snoeihout dat versnipperd wordt. Deze natte houtchips worden hierna vervoerd, gedroogd en verbrandt tot duurzame energie. In het huidige proces wordt er vrijwel altijd gebruik gemaakt van een droogruimte voor houtchips die relatief veel energie en opslagruimte inneemt. Om het proces energiezuiniger te laten verlopen kunnen takken als bundels in het landschap geplaatst worden zodat de natuur ervoor zorgt dat de takken winddroog worden. Dit gedroogde takhout is beter te vervoeren dan natte houtchips doordat het compacter, handzamer en lichter is. Verder heeft het gedroogde hout een hoger energierendement wanneer het geleverd wordt bij Twence dan de natte houtchips. Wanneer deze takkenbundels naar Twence zijn gebracht worden ze verwerkt tot houtchips. Het versnipperen bij Twence door een industriële shredder blijkt efficiënter te zijn dan een kleine shredder op locatie.² Eenmaal versnipperd gaan de gedroogde takkenbundelsnippers in het verbrandingsrooster.

² Logistieke keten van houtige biomassa uit bos, natuur en landschap in Nederland (2009)



Opdrachtgever

Het doel van de bundelmaschine is snoeihout uit houtwallen interessanter maken voor belanghebbenden als Twence en aannemers. Door gedroogde takkenbundels aan te leveren zou het hout een hogere opbrengst moeten opleveren voor de aannemers. Het resultaat is dat de landschapsbeheerder en aannemers graag houtwallen willen onderhouden omdat er een hogere vergoeding ontvangen wordt voor het snoeihout. Deze opbrengsten moeten onder meer bij Twence vandaan komen omdat deze graag een hogere kwaliteit gedroogd hout ontvangt.

Momenteel bestaan er bundelmachines die gebruikt worden in landen als Canada, Verenigd Koninkrijk en de Scandinavische landen. De gemeente Dinkelland wil een bundelmaschine geschikt voor het onderhoud aan houtwallen en houtsingels. De huidige bundelmachines hebben problemen bij verwerking, een tekort aan inzetmogelijkheden en een te hoge kostprijs voor de functie die de gemeente van de machine wenst.

Dit verslag onderzoekt of het haalbaar is om een bundelmaschine te ontwikkelen voor de situatie in Nederland, gespecificeerd op de situatie in gemeente Dinkelland. Haalbaarheid is afhankelijk van eventuele kosten en inzetbaarheid van een toekomstige bundelmaschine. De winst van het hele proces zit in het aanleveren van gedroogd hout. Doordat de gedroogde takkenbundels goedkoper zijn in transport en bij de verwerking niet meer gedroogd hoeven te worden is hier extra winst uit te halen. Deze verhoogde afzetprijs zal zodanig hoog moeten zijn dat aannemers welwillend zijn om een bundelmaschine aan te schaffen.

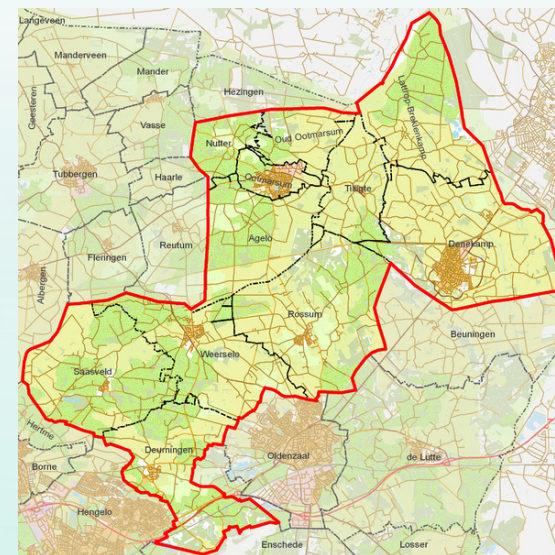
Gemeente Dinkelland

Dinkelland is een groene gemeente met een groot buiten-gebied. Het imago is een groene, agrarische toeristische gemeente waarbij de kenmerkende dorps uitstraling behouden moet worden. Binnen de gemeente is het onderhoud van landschapselementen van groot belang.

Landschapselementen zoals een houtwal, houtsingel, poel, solitaire boom, of wandelpad zijn karakteristieke elementen die iets vertellen over het ontstaan van het landschap. Deze elementen dragen bij aan natuurlijke ecosystemen en moeten daarom goed onderhouden worden. In de loop der jaren is vooral verval opgetreden in het onderhoud van houtwallen, omdat deze niet meer de praktische functie hebben voor vee afscheiding of houtvoorziening.

Dinkelland is een gemeente waar relatief veel houtwallen zijn. Om ervoor te zorgen dat het onderhoud van de houtwallen op een verantwoorde wijze plaats vindt, is er de regeling "Groene en Blauwe Diensten" opgericht. Het vergoedingssysteem zorgt ervoor dat de landschapsbeheerder een vergoeding ontvangt wanneer correct onderhoud en beheer plaatsvindt. Aanvullend zoekt de gemeente nog steeds naar oplossingen om het nog aantrekkelijker te maken voor de landschapsbeheerder om houtwallen te onderhouden.

Vanuit de gemeente is het initiatief gestart om de waarde van snoeihout te verhogen door takken te bundelen. Wenselijk is dat dit ervoor gaat zorgen dat er een grotere biomassa stroom gecreëerd wordt, wat resulteert in minder illegale verbranding.



Afb. 1 - Gemeente Dinkelland

Stakeholders



Afb. 2 - Landschapsbeheerder



Afb. 3 - Aannemer



Afb. 4 - Twence

Landschapsbeheerder

Een landschapsbeheerder is vaak druk met zijn eigen dagelijkse bezigheden. Aangezien de houtwal niet meer een functionele waarde heeft, is onderhoud niet van groot belang. Voor een landschapsbeheerder is het dan ook interessant wanneer er een oplossing wordt gecreëerd met een zo laag mogelijke belasting en een zo hoog mogelijke opbrengst.

Aannemers

Externe bedrijven of aannemers kunnen aangesteld worden om het onderhoud aan de houtwal uit te voeren. De aannemer levert mankracht en materieel om het snoeiwerk uit te kunnen voeren. Het grootste belang voor een aannemer is de potentiële winst. Wanneer takhout gebundeld wordt, zal de aannemer hier voldoende potentiële winst in moeten zien. De aanschafkosten zijn terug te verdienen door hogere opbrengskosten van de landschapsbeheerder en eventueel subsidies vanuit de gemeente.

Twence, Biomassa Elektriciteit Centrale in Hengelo

Twence produceert op een duurzame en efficiënte wijze energie uit afval en biomassa. Vanuit Hengelo is het bedrijf in staat om regionaal een breed afvalverwerkingspakket aan te bieden aan voornamelijk Twentse gemeenten en professionele inzamelaars van afval. De Biomassa Elektriciteit Centrale bij Twence heeft grote invloed op de aanlevering van houtige biomassa. Afhankelijk van de installatie die staat bij Twence, kunnen er verschillende kwaliteitsoorten biomassa aangeleverd worden. Momenteel bestaat de aanlevering voornamelijk uit houtige niet composteerbare delen uit de composteerinstallaties, organisch afvalmateriaal en B-hout. De verbrandingsoven van Twence is ingesteld op de aanvoer van deze materialen.

1. Analysefase



Eindconcept in perspectief-aanzicht

1.1 Houtwallen in gemeente Dinkelland

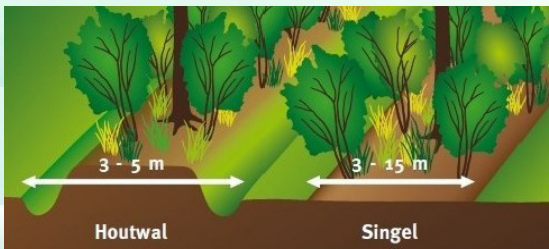


Afb. 5 - Houtwal in Twente



Afb. 6 - Houtwal

Afb. 7 - Houtsingel



Afb. 8 - Indeling en afmeting houtwal/singel

Houtwallen zijn karakteristiek voor Noord Twente. Deze zijn geplaatst op erfafscheidingen om het vee binnen het weiland te houden en roefdieren buiten het weiland. De houtwallen en houtsingels bestaan uit bomen en/of struiken en herbergen veel planten- en diersoorten. Boeren gebruiken de houtwallen ook als een bron voor brandhout.

Het verschil tussen houtwallen en houtsingels is zichtbaar aan het feit dat een houtwal op een heuveltje staat met vaak aan één of beide zijdes een greppel. Verder is een houtsingel meestal breder dan een houtwal. In dit rapport is voor het begrip houtwal gekozen.

Eigenschappen houtwal

Een houtwal is tussen de 50 en 100cm verhoogd ten opzichte van het veld en heeft ongeveer een breedte van 3 tot 5 meter. Het onderhoud van deze houtwallen wordt bij Gemeente Dinkelland eens in de 6 jaar uitgevoerd. Het doel van het onderhoud aan een houtwal is het creëren van een diverse strook beplanting. De bomen moeten in de binnenste rijen staan en de struiken aan de randen. Het beheer vindt plaats door de bomen af te zetten. Afzetten betekent dat de bomen en struiken tot 10 à 20cm boven de grond worden afgezaagd. De uitdunning is vaak drastisch omdat de afgezaagde bomen genoeg licht moeten ontvangen om weer uit te lopen.

Houtsoorten

Dankzij de afwijkende bodemopbouw in Twente zijn het aantal boom- en struiksoorten in houtwallen divers. Een paar van deze soorten zijn de eik, berk, els, populier, wilg, lijsterbes, meidoorn, braam, beuk en es.³

De meest voorkomende soort op houtwallen in Twente is de zomereik. De zomereik is een dominante en inheemse boom in Nederland en bepaald voor een groot deel het uitstraling van de houtwal. Een kenmerk van jonge eiken is dat ze de hele winter verdord blad vast houden. De hoogte die de bomen maximaal kunnen groeien in een openbare plek is 25 tot 30 meter. Een eik op een goed onderhouden houtwal heeft een kortere lengte van ongeveer 8 tot 10 meter.

Onderhoud houtwal

Voor het onderhoud van deze houtwal bestaat er de speciale regeling "Groene en Blauwe diensten" in Overijssel. Als een landschapsbeheerder een contract afsluit met de gemeente, dan krijgt deze in ruil voor het onderhoud een vergoeding uit het Landschapsfonds. De eindkap van houtwallen vindt eens in de 6 tot 10 jaar plaats. (zie Bijlage I) Voor dit project is dit kapmoment het belangrijkste, omdat er dan veel snoeihout vrijkomt uit de houtwal. Goed onderhouden houtwallen bevatten ook meer jonge bomen, die relatief gezien meer CO² omzetten dan houtwallen met achterstallig onderhoud. Deze jonge eikenbomen zijn oud genoeg om het verdorde blad te laten vallen in de winter.

³Houtwallen in het boerenland (1990)

Eindkap houtwallen

(Afb. 9) De landschapsbeheerder kan een houtwal onderhouden, maar het is gebruikelijker dat de eindkap wordt uitgevoerd door een aannemer.

(Afb. 10) Deze aannemer maakt gebruik van een knipmachine om complete bomen af te knippen en een motorzaag om de bomen in stukken te zagen. Eventueel kan er een kraan ingezet worden om de bomen gecontroleerd te laten vallen.

(Afb. 11) Nadat de bomen uit de houtwal zijn verwijderd, worden ze gesleept naar een open plaats. Dit uitslepen zorgt ervoor dat het snoeihout vervuild wordt met vuil en zand.

(Afb. 12) Daarna wordt het snoeihout versnipperd op de locatie. De takken kunnen handmatig in een hakselaar gegooid worden of zoals de afbeelding weergeeft, ingeladen met een hijskraan.

(Afb. 13,14) Daarna worden de houtchips afgevoerd door middel van vrachtwagens of tractors. Bij goede bereikbaarheid en grote hoeveelheden wordt er veelal gekozen voor een vrachtwagen om de houtchips af te voeren, in plaats van een tractor. De houtchips hebben een hoog vochtpercentage en worden bij de verwerkingsinstallatie gedroogd in droogruimtes.

(Afb. 15,16) Het snoeihout bestaat uit twee houtsoorten. Spilhout is de doorgaande stam met schors vanaf de grond tot en met eindknop zonder zijtakken. Tak- en tophout is al het bovengrondse hout van een boom dat dunner is dan 7 cm.

Toekomstig scenario

Snoeien wordt nog altijd uitgevoerd door de aannemer, maar deze snoeit nu het hout naar de gestelde eisen van de bundelmachine. Er is gebleken dat het takhout het beste op de houtwal zelf aangeboden moet worden aan de machine, wat resulteert in minder vervuiling van het hout. (zie Bijlage II) Deze takkenbundels moeten systematisch geplaatst worden voor een optimale verwerkingssnelheid van de bundelmachine.

In het nieuwe proces zal er geen hakselaar op de snoeiloctie aanwezig zijn. Verder zal er een scheiding komen tussen tak- en tophout, en spilhout. Het dikkere spilhout kan niet verwerkt worden in bundels, waardoor deze apart behandeld moeten worden en zal worden afgevoerd naar een verwerkingscentrale. Takhout wordt wel gebundeld door de bundelmachine.

De doelstelling vanuit de gemeente is takkenbundels winddroog te krijgen door deze in het landschap te plaatsen. Een vereiste aan deze plaatsing is dat het een open landschap moet zijn. Een andere mogelijkheid is een overdekte open ruimte waar alle takkenbundels geplaatst kunnen worden. Dit heeft als voordeel dat de bundels sneller drogen door de afwezigheid van regenval.

Houtvrachtwagens transporteren de bundels en hebben open containers met verticale balken aan de zijkant, waardoor los materiaal afgedekt moet worden. Eenmaal ingeladen en afgedekt worden de takkenbundels vervoerd naar de verwerkingscentrale. Het spilhout wordt geleverd in de snoeimaanden januari/december en de takkenbundels wanneer deze gedroogd zijn rond september/augustus.



Afb. 9 - Handmatig snoeien



Afb. 10 - Knipmachine



Afb. 11 - Uitslepen snoeihout



Afb. 12 - Versnipperen op locatie



Afb. 13 - Transport



Afb. 14 - Droogruimtes

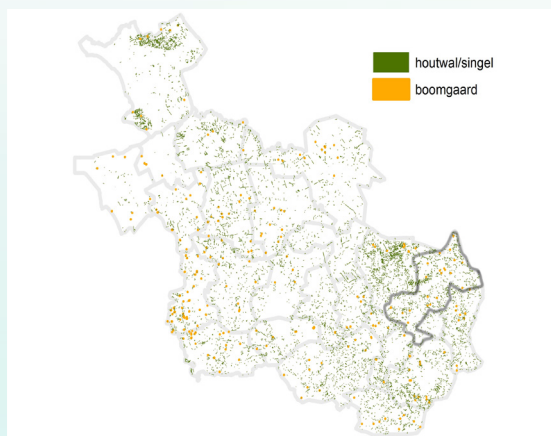


Afb. 15 - Spilhout



Afb. 16 - Tak- en tophout

1.2 Potentieel beschikbare biomassa⁴



Afb. 17 - Houtwallen in Overijssel

Elementtype	Lijnen in km
Bomenrij enkel	4.698
Houtwal/houtsingel	2.912
Bomenrij dubbel	1.227

Tabel 1 - Totaal kilometer houtwallen Overijssel

Elementtype	Biomassa tak- en tophout in ton per jaar	Energie-inhoud in GJ per jaar
Houtwal/houtsingel	4.840	95.832
Loofbos	3.147	62.311
Bomenrij enkel	1.597	31.621
Bomenrij dubbel	625	12.375
Gemend bos	213	4.217
Losse boom	204	4.039
Naaldbos	52	1.030
Griend	15	297
Boomgaard	8	158
Totaal	10.700	21.880

Tabel 2 - Potentieel jaarlijkse biomassa

Behalve dat de haalbaarheid van de bundelmachine afhangt van de stakeholders, is deze ook afhankelijk van de hoeveelheid beschikbare houtige biomassa in de gemeente Dinkelland. Dit onderzoek richt zich op de potentiële energiewinning in de provincie Overijssel en niet op de huidige oogst van biomassa. Bij de bepaling van de beschikbare biomassa is er rekening gehouden met bodemuitputting. Indien er te veel biomassa wordt verwijderd worden er te veel nutriënten uit de bodem onttrokken. Zo wordt de houtwal in de winter gesnoeid, wanneer alle bladeren van de bomen gevallen zijn en de grond dus rijk is van de voedingsstoffen uit de bladeren.

Het onderzoek richt zich op houtwallen en houtsingels met een minimale lengte van 100m. Hierdoor zijn niet alle houtwallen opgenomen in de resultaten en is de werkelijke houtige biomassa meer dan is opgenomen in het onderzoek. Ten tweede is de staat van de houtwallen en singels in Overijssel slecht. De houtwallen zijn door slecht onderhoud sterk uitgedund en kunnen daardoor aangezien worden voor een bomenrij. De conclusie hieruit is dat de werkelijke hoeveelheid biomassa hoger zal zijn.

Afbeelding 17 geeft weer hoeveel bomenrijen en houtwallen er in Overijssel zijn. Deze kaart maakt zichtbaar dat de gemeente Dinkelland relatief veel houtwallen ter beschikking heeft. Tabel 1 geeft het totaal aantal kilometers houtwal in Overijssel weer.

Tabel 2 laat zien hoeveel biomassa tak- en tophout er jaarlijks geoogst zou kunnen worden uit landschapselementen in Overijssel. De potentiële biomassa die jaarlijks vrijkomt uit houtwallen en houtsingels (4.840 ton droge stof tak- en tophout) zal niet ieder jaar uit dezelfde houtwal komen. Om ieder jaar dezelfde hoeveelheden biomassa uit de verschillende landschapselementen te verkrijgen, is goed afgestemd en gefaseerd beheer van belang. Dit zorgt voor een continue aanstroom van biomassa en biodiversiteit in het landschap.

Tabel 3 geeft de hoeveelheid biomassa aan tak- en tophout per gemeente weer. Ook in deze tabel is een doorrekening gemaakt naar het energiepotentieel van de biomassa, om zo goed mogelijk aan te sluiten bij het rapport "Inventarisatie biomassastromen uit natuur en landschap in de provincie Overijssel".⁵

Gemeente	Biomassa tak- en tophout in ton per jaar	Energie-inhoud in GJ per jaar
Steenwijkerland	832	16.300
Hardenberg	815	16.138
Tubbergen	768	15.210
Hof van Twente	765	15.148
Dinkelland	762	15.090
Rest	6.767	133.982
Totaal	10.700	211.868

Tabel 3 - Hoeveelheid biomassa gemeentes

De gemeentes Steenwijkerland, Hardenberg, Tubbergen, Hof van Twente en Dinkelland hebben het meeste biomassa beschikbaar uit tak- en tophout in Overijssel. Dit potentieel is berekend over alle landschapselementen. De grote hoeveelheid houtwallen is voor de slagingskans van dit project gunstig.

⁴ Biomassa analyse landschapselementen Overijssel (2012)

⁵ Inventarisatie biomassastromen uit natuur en landschap in de provincie Overijssel (2012)

1.3 Verwerking spilhout

Situatie gemeente Dinkelland

Het rapport laat zien dat er in totaal 762 ton/jaar aan biomassa te winnen is in Overijssel. Per ton levert dit ongeveer 19,8 GJ⁶ op. Deze waarde is gecontroleerd en de eigenschappen van het snoeihout zijn bepaald. (zie Bijlage III) Aangezien er niet direct aangegeven staat hoeveel energie er uit houtwallen in de gemeente Dinkelland gehaald kan worden zal dit omgerekend moeten worden. Dit is behaald door dezelfde verhoudingen te hanteren tussen houtwallen in Overijssel als in Dinkelland zoals tabel 4 en 5 laat zien.

Conclusie: energiepotentieel gemeente Dinkelland

Er is in de gemeente 346 ton aan houtige biomassa beschikbaar vanuit de houtwallen. Het totaal dat de gemeente Dinkelland kan benutten is:
 $19,8 \text{ GJ} \times 346 \text{ ton} = 6850,8 \text{ GJ/jaar}$

Hieruit kan geconcludeerd worden dat er veel houtige biomassa beschikbaar is in de gemeente Dinkelland. De energieopbrengst blijft een schatting aangezien er aannames zijn gemaakt in verhoudingen. Mogelijk is de hoeveelheid biomassa hoger door achterstallig onderhouden houtwallen die aangezien zijn voor bomenrijen. Verder zijn houtwallen van minder dan 100 meter niet meegenomen in de berekening. Ook is er rekening gehouden met een redelijk hoog percentage van 20% om kaalslag tegen te gaan. Verder is er geen spilhout meegenomen in de bepaling. Dat betekent dat takken met een hogere diameter dan 7cm niet in de bepaling zijn mee genomen. Wanneer er bepaald wordt dat dit wel beschouwd wordt als biomassa, is de potentiële energie vanuit de gemeente Dinkelland meer.

Bij het snoeien van de houtwal komt er spilhout en takhout vrij. Bestaande bundelmachines zijn allemaal gericht op het verwerken van takhout. Bij elke machine is het eindproduct een bundel takken met een touw daaromheen gebonden. Bij het snoeien van houtwallen is de vraag of het spilhout verwerkt moet worden in het eindproduct, de takkenbundel. Het spilhout komt van 6 tot 10 jaar oude bomen en heeft een diameter van 7 tot 10cm, wat kan oplopen tot een diameter van 20cm.

Bij gespleten spilhout moet er uitgegaan worden van de richtlijnen voor brandhout. Om bij gespleten spilhout een vochtpercentage van 20% te bereiken moet het hout 2 tot 3 jaar drogen. Dit is te lang om het hout te verwerken in takkenbundels, omdat de opslagtijd dan aanzienlijk veel langer wordt. Hieronder worden twee methoden nader uitgewerkt om te exploreren of het mogelijk is om spilhout mee te nemen in het ontwerp. Ten eerste is er gekeken of het spilhout in de takkenbundels verwerkt kan worden, en ten tweede is de mogelijkheid bekeken of het spilhout onverwerkt moet blijven.

Verwerken in takkenbundels

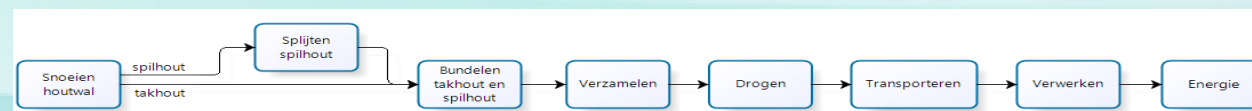
Wanneer het haalbaar is het spilhout te verwerken tot lange latjes is de droogtijd korter. Een bijkomend voordeel is dat al het hout vanuit de houtwal verwerkt kan worden tot één homogene biomassaastroom aan takkenbundels. Het spilhout wordt in de lengte gespleten om zo een kleinere diameter te verkrijgen. Hierdoor is het hout te verwerken in de takkenbundels en kan het winddroog gemaakt worden. Het resultaat is een bundel bestaande uit zowel spilhout als takhout. Deze methode is nog niet eerder toegepast en dus is het resultaat nog onbekend.

Elementtype	Biomassa tak- en tophout in ton per jaar
Houtwal	4840
Rest	5861

Tabel 4 - Verhouding houtwallen Overijssel

Elementtype	Biomassa tak- en tophout in ton per jaar
Houtwal	346
Rest	423

Tabel 5 - Verhouding houtwallen gemeente Dinkelland



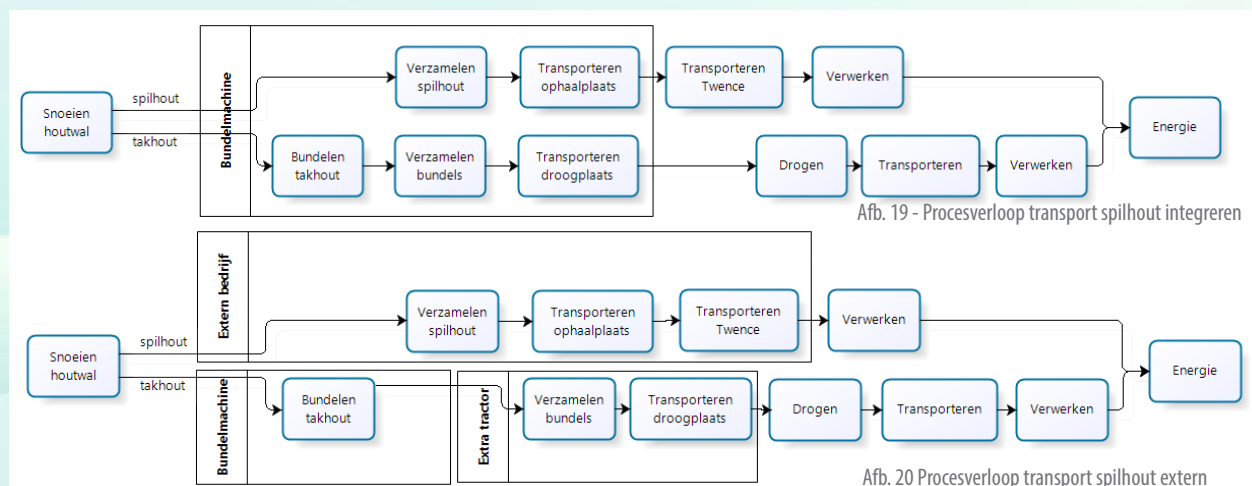
⁶ Beschikbaarheid van Nederlandse biomassa voor elektriciteit en warmte in 2020. (2009)



Afb. 24 - Spilthout splijtmachine

Het splijten kan uitgevoerd worden door de bundelmachine. Er bestaan ook machines die spilthout kunnen splijten, maar dit proces verloopt traag en kan alleen uitgevoerd worden bij korte stamblokken. Van het gespleten hout wordt verwacht dat dit te langzaam droogt en daarbij bestaan er geen technische oplossingen om snel lange stammen te splijten. Verder zal de bundeltijd hoger worden, en resulteert het in een hogere kostprijs van de bundelmachine.

Concluderend, de verwerking van spilthout in takkenbundels geeft extra ontwerpkosten, testkosten en productiekosten en dus is deze verwerking niet geschikt voor gemeente Dinkelland.



Onverwerkt ophalen

Onverwerkt ophalen houdt in dat spilthout in het snoeiproces uit de houtwal wordt gehaald en op een andere stapel geplaatst dan het takhout. De aannemer verwijdert de stam van de boom en takken die dikker dan 12 centimeter zijn. Er kunnen verschillende bestemmingen toegekend worden aan het spilthout.

Er zijn twee mogelijkheden in het transporteren van het spilthout. De eerste optie is een extra tractor inzetten, de tweede optie is het transport van spilthout integreren in de bundelmachine. Afbeelding 19 laat zien dat wanneer het transport van spilthout wordt meegenomen in het concept, er ook transport van takkenbundels uitgevoerd kan worden. Bij het bundelen van takhout en vervoeren van takkenbundels en spilthout is er maar één machine die ingezet hoeft te worden. Het transport van de houtwal naar verwerkingsbedrijven als Twence verloopt nog wel door middel van een extra tractor of vrachtwagen.

Tot slot is er nog de mogelijkheid om het complete transport buiten beschouwing van de bundelmachine te laten. Hierdoor zal het complete snoeiproces hetzelfde zijn, en wordt alleen de bundelmachine aan het proces toegevoegd. Doordat de transportfunctie niet in het ontwerp is opgenomen, zal deze oplossing resulteren in de laagste ontwerpkosten.

Er blijkt dat de complete houtwal, inclusief gespleten spilthout, niet verwerkt kan worden in één bundel. Wanneer de bundelmachine afgesteld moet worden op het complete verwerkingsproces dan is het raadzaam om het transport van spilthout en takkenbundels mee te nemen in het ontwerp. Een andere mogelijkheid is het laag houden van de ontwerpkosten, wat geeft dat niet alle functies in de bundelmachine verwerkt kunnen worden. Transport van takkenbundels en spilthout is niet opgenomen in het ontwerp.

Beide opties hebben voor en nadelen. Later in het ontwerpproces wordt definitief besloten welke optie het meest gunstig is voor dit project.



1.4 Afzetmarkten snoeihout

Er bestaan verschillende mogelijkheden in het afzetten van snoeihout uit houtwallen. De takkenbundels kunnen verwerkt worden tot houtchips of tot houtpellets. Spilhout heeft naast waarde voor de biomassa industrie, ook waarde voor zagerijen en de vezelindustrie.

Het doel is meer waarde toekennen aan snoeihout uit houtwallen. Dit is het principe “biobased economy”, waarin de ladder van Lansink⁷ een grote rol speelt. Bij hout moet er eerst gekeken worden of het zijn doel kan vinden in een hoogwaardig product. De visie is dat grondstoffen een grotere bijdrage kunnen leveren aan de economie als ze langer in de materiaalkringloop blijven. Hierdoor ligt de focus niet alleen op het produceren van bio-energie, maar ook op de verwerking in producten. Onderstaand zijn de drie mogelijke verwerkingsprocessen weergegeven.

Toepassing spilhout

Zagerijen

Hoogwaardig hout uit de houtwal kan geselecteerd en doorgevoerd worden naar de zagerijen. Deze sector biedt het meeste geld voor het hout en maakt onderscheid tussen zwaar langhout en licht langhout. Zwaar langhout heeft een goede financiële waarde en één van de vereisten is dat het een diameter van 21 centimeter of meer heeft.⁸ Het lichte langhout heeft een lagere financiële waarde voor zagerijen. Aangezien regelmatig onderhoud ervoor zorgt dat er geen bomen gesnoeid worden met een diameter groter dan 20 centimeter, zal het maximale resultaat licht langhout zijn.

Vezelindustrie

Een andere afzetmarkt voor spilhout is de vezelindustrie. Dit is geen interessante afzetmarkt, aangezien de opbrengst uit de vezelindustrie lager is dan die voor bio-energie.⁹ Ten tijde van het onderzoek was er gebruikt gemaakt van de toen beschikbare gegevens. Ondertussen is er een grotere vraag naar biomassa en stijgt de prijs dus geleidelijk. Wanneer er de keuze bestaat tussen de bio-energie en vezelindustrie zal de voorkeur uitgaan naar bio-energie.

Biomassa

Wanneer spilhout verwerkt wordt tot biomassa zijn er twee mogelijkheden. De eerste is het spilhout direct vervoeren naar een verwerkingscentrale, die het versnipperd en droogt. De tweede mogelijkheid is het spilhout winddroog laten worden op dezelfde manier als brandhout. Dit betekent dat het spilhout gespleten in het landschap geplaatst moet worden. Onder goede omstandigheden heeft het spilhout na een jaar een vochtpercentage van 28%.¹⁰ Het proces is energiezuiniger, maar vanwege de lange droogtijd en door het gebruik van opslagruimte niet erg aantrekkelijk.

Conclusie

Bij achterstallig onderhouden houtwallen is nog wel spilhout aanwezig met een houtstamdiameter geschikt voor verwerking in zagerijen. Bij goed onderhouden houtwallen is de houtstamdiameter niet groot genoeg en zal al het aangeleverde spilhout rechtstreeks verwerkt worden tot biomassa.

^{7,9} Nederlandse houtstromen in Beeld. (2012)

⁸ Richtlijnen voor het meten van inlands rondhout ten behoeve van de verkoop. (2012)

¹⁰ Haardhout tips en advies. (2014)



Afb. 21 - Houtpellets



Afb. 22 - Pelletmolen

Afb. 23 - Shredder



Afb. 24 - Houtchips

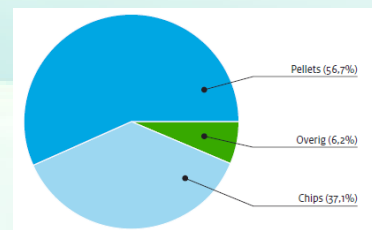
Toepassing gebundeld takhout

Houtpellets

Bio-energie kan opgewekt worden uit houtpellets of houtchips. Pellets zijn geperste houtkorrels en worden geproduceerd uit zaagsel en snoeihout dat tot poeder gemalen is. De pellets worden geperst in een pelletmolen en hebben een doorsnee van gemiddeld 6 mm en een lengte van 10 tot 40 mm. Deze pellets worden zonder toevoeging van bindmiddelen onder hoge druk geperst en hebben een verbrandingswaarde van ongeveer 18 MJ/kg.¹¹

Houtchips

Houtchips ontstaan als de houtstukken versplintert worden door een hakselaar, welke te onderverdelen zijn in brekers en malers. Shredders maken met een laag toeren-tal de houtstukken kapot, hakselaars doen dit met een hoog toerental. Het minst gevoelig voor vervuiling van stenen en metalen is de shredder. Dit maakt deze het meeste geschikt voor de verwerking van takkenbundels¹²



Afb. 25 - Verdeling type biomassa¹³

	Energetische bestemming Nederland (in kton)	Energetische bestemming Buitenland (in kton)
Spilhout	75	0
Houtchips	27,5	27,5

Tabel 6 - Bestemming biomassa

¹¹ Pellets encyclopedie. (2014)

¹² Eigen chips niet eerst! (2013)

¹³ Green deal duurzaamheid biomassa. (2012)

Conclusie

Het grootste verschil tussen beide biomassastromen is de kwaliteit van het eindproduct. Een pellet is een kwalitatief hoogstaander product, maar er moet er ook meer energie geleverd worden om tot dit eindproduct te komen. Houtpellets zijn vooral geschikt om te vervoeren over lange afstanden. Doordat er eerst twee keer zoveel energie ingestopt moet worden, is dit alleen rendabel bij grote transportafstanden

Voor dit project hebben houtchips de voorkeur boven houtpellets, omdat houtchips uit gedroogde takkenbundels ontstaan en er met korte transportafstanden gewerkt wordt. Pas wanneer export de doelstelling is, zijn houtpellets mogelijk rendabel. (zie Bijlage IV)

Export houtchips

Het doel is om de export van houtchips te beperken en zoveel mogelijk de biomassa in Nederland te houden. Veel snoeihout wordt afgezet bij het buitenland, omdat daar meer geld voor houtchips wordt betaald. Dit betekent dat het snoeihout uit houtwallen in de regio Twente en Dinkelland mogelijk zijn bestemming vindt buiten de gemeentes.¹⁴ Het is wenselijker om bio-energie op te wekken met houtchips uit eigen gemeente, omdat dit scheelt in transportkosten en meer energie oplevert uit het eigen landschap.¹⁵ Dit scheelt in transportkosten en levert meer energie op vanuit eigen landschap. Om dit te verkrijgen moet de waarde van in Nederland omhoog. Mogelijk kunnen gedroogde takkenbundels dit realiseren.

¹⁴ Nederlandse houtstromen in Beeld. (2012)

¹⁵ Bio-energie input. (2010)



1.5 Economisch voordeel

In de gemeente Dinkelland is een potentieel van 346 ton aan tak- en tophout beschikbaar uit houtwallen. Berekeningen tonen aan dat de onkosten in de oorspronkelijke situatie 82,2 euro/ton zijn. Bij het toepassen van de bundelmethode komen deze totale onkosten uit op 64,3 euro/ton. Dit betekent dat er door het toepassen van de bundelmethode, er op jaarbasis ongeveer 6.400 euro minder aan totale snoeikosten uitgegeven kan worden. (zie Bijlage V)

Dit is een schatting, op basis van een gemiddelde van 60 afgelegde kilometers. Deze afstand is genomen, omdat blijkt dat vanaf deze afstand vervoer met vrachtauto's voordelig is. Daarbij is de afstand tussen Twence en Dinkelland ongeveer 60 kilometer. Bij een gebrek aan voldoende parameters voor ontwerp en gebruik zijn de geschatte bundelkosten gebaseerd op de bundelkosten van de huidige John Deere 1490D.¹⁶ Ook de opslagkosten van de takkenbundels zijn geschat, omdat hier nog geen informatie over beschikbaar is. De opslagkosten van houtchips zijn wel bekend, en omdat hier droogkosten bij in zijn gerekend, zijn de opslagkosten van takkenbundels lager ingeschat.

Opbrengsten

De kostprijs voor een aannemer is 12,90 euro per ton minder in de nieuwe situatie. De opbrengsten voor de takkenbundels zijn afhankelijk van wat de verwerkingscentrale ervoor biedt. Bij Twence is gebleken dat er geen vergoeding gegeven kan worden in verband met de omzetkosten van de Biomassa Elektriciteit Centrale.

Aangezien een aannemer voor natte houtchips wel een vergoeding ontvangt is dit zeer ongunstig. Doordat er niet meer 35 euro per ton¹⁷ aan vergoeding wordt ontvangen, gaat het een aannemer meer geld kosten in vergelijking met de oorspronkelijke situatie.

Conclusie

Doordat er niet extra geld ontvangen wordt voor een kwalitatief hoger eindproduct, gaat het een aannemer ongeveer 48 euro per ton extra kosten om deze te leveren. Desalniettemin is het totale proces van takken bundelen uiteindelijk wel goedkoper door de lagere transport-, opslag- en versnipperkosten.

Vaste waarden:¹⁸

	Gelijke onkosten
Kostprijs gemeentelijke snoeiwerkzaamheden	4,2 euro/ton
Laad- en los kosten	14 euro/ton
Kosten vrachtauto	1,5 euro/ton
Transport naar verbrandingsinstallatie	0,04 euro per ton/km

Tabel 7 - Bekende waarden

Variabele waarden:

	Houtchips	Takkenbundels
Transport	0,69 euro per ton/km	0,31 euro per ton/km
Overdekte opslag	8 euro/ton	6 euro/ton
Versnipperen	15,5 euro/ton	7,75 euro/ton

Tabel 8 - Variabele waarden

¹⁶ Bundling woody biomass. (2010)

¹⁷ Bron: Aannemer Welhuis

¹⁸ Energie uit houtige biomassa. (2011)

1.6 Energie voordeel

Energiewinst door winddrogen

Aangezien de wind het gebundelde takhout droogt, scheelt dit in de input van energie. Het drogen van houtchips vindt plaats in een drooghok, waar ze zo gestapeld worden dat er voldoende luchtdoorstroom is. Het drogen van houtchips gebeurt met vrijgekomen compostingswarmte en door het toevoegen van externe warmte/ventilatie.

Per installatie verschilt het aantal kWh dat nodig is om water te verdampen uit houtchips. Er is data beschikbaar over grote drooginstallaties, welke meestal afvalwater of afvalwarmte gebruiken om houtchips te drogen. De installatie bij Georgia heeft over het algemeen 970 kWh tot 1030 kWh nodig om één ton water te verwijderen uit houtchips.¹⁹ Een andere grote installatie heeft 990 kWh per ton nodig om van een vochtpercentage van 55% tot 10% te komen.²⁰

De orde van grote bij drooghokken is ongeveer 950 tot 1400 kWh om één ton aan hout te drogen.²¹ Omdat er verder te weinig exacte data beschikbaar is en de parameters teveel variëren, zal de energie input geschat moeten worden. Daar ook beide voorbeeldinstallaties binnen deze marge vallen, wordt er uitgegaan van een grote installatie, waarbij er ongeveer 1000 kWh nodig is om één ton aan natte houtchips te drogen.

De energie input om hout winddroog te krijgen is bij de bundelmachine verwaarloosbaar. Het energieverbruik van de bundelmachine wordt als niet significant verklaard, aangezien de takkenbundels bij een grote shredder energiezuiniger verwerkt worden dan bij een kleine hakselaar.

Energiewinst door transport

Verder is er energiewinst vanwege een vermindering van brandstofverbruik bij transport. Het brandstofverbruik bij transport van houtchips hangt af van het volume, gewicht en de afstand waarover de houtchips vervoerd moeten worden. Dit verschilt per landbouwvoertuig of vrachtwagen.

Het vervoeren van gedroogd snoeihout is zeer voordelig. Zowel het vervoeren van gedroogde houtchips dalen de transportkosten (-40,9%) als het vervoeren van gedroogde takkenbundels (-44,7%) is goedkoper dan natte houtchips.²² Uit hetzelfde onderzoek is gebleken dat het vervoeren van takkenbundels, inclusief chippen, ongeveer 4-5euro/MWh bespaart op korte tot medium lange transport afstanden. Door een gebrek aan verdere gegevens zal er verder gerekend worden met de duurste schatting, 5euro/MWh.

Aangezien de winst voornamelijk zit in het verbruik van de vrachtwagen, zal er uitgegaan worden van de dieselprijs. Deze is februari 2014 ongeveer €1,45/liter en zal ten tijde van het onderzoek (2006) lager zijn geweest. Deze 5euro/MWh is omgerekend ongeveer 3,45 liter diesel. Waardoor 3,45 liter diesel wordt gebruikt om 1 MWh²³ oftewel 0,6 ton aan bundels te vervoeren.

Dit geeft een schatting van 5,75 liter diesel/ton minder aan transportkosten. Eén liter diesel bevat 11,1 kWh wat betekent dat er 63,8 kWh/ton minder aan energie verbruikt wordt bij het vervoeren van de takkenbundels.

¹⁹ Wood chip and drying costs. (2014)

^{20, 21} Forest research, project report. (2011)

²² Transport and handling of forest energy bundles. (2006)

²³ Timberjack forest energy technology. (2014)



1.7 Budget

Conclusie

Gemeente Dinkelland heeft een potentie van 346 ton biomassa per jaar. Dat betekent dat er per jaar 364.684 kWh bespaart kan worden.

Een gemiddeld gezin verbruikt ongeveer 3.340 kWh aan elektriciteit per jaar.²⁴ Dus de energiewinst per jaar staat gelijk aan het elektriciteitsverbruik van ongeveer 109 huishoudens.

	Chips	Bundels	Energiewinst (kWh/ton)
Drooghok (kWh/ton)	990	0	1000
Vervoeren (kWh/ton)	0	-63,8	63,8
Totaal			1064

Tabel 9 - Energiewinst

Het budget is niet te bepalen uit het economisch voordeel aangezien deze niet aanwezig is. Het energie voordeel bij het inzetten van een bundelmachine in gemeente Dinkelland is bepaald op 3.340 kWh/jaar.

Aangezien er veel aannames gemaakt zijn in de berekeningen is het niet reëel om een exact budget te bepalen voor de bundelmachine. Vanuit de markt is er geen grote vraag naar een bundelmachine, aangezien aannemers extra kosten moeten maken om deze aan te schaffen en verwerkingsinstallaties als Twence geen hoge vergoeding geven voor gedroogde takkenbundels. In het teken van duurzaamheid en verantwoord ondernemen kan de bundelmachine wel geproduceerd worden.

Het doel is om zo weinig risico's te nemen in het ontwerp-proces zodat de kosten zoveel mogelijk gedrukt zijn.

²⁴ Nibud (2013)

1.8 Standpunten stakeholders

Zoals eerder vermeld hangt de haalbaarheid sterk af van de welwillendheid van belanghebbenden. Vanuit gesprekken met deze belanghebbenden is achterhaald wat belangrijke punten zijn voor een bundelmachine. Elke partij heeft zijn eigen standpunten wat zorgt voor conflicten.

Twence

Twence koopt momenteel alleen droge houtchips voor 80 euro per ton en zijn dan gefilterd en van een relatief hoge kwaliteit. Natte houtchips worden vrijwel niet ingekocht, maar spilhout wel. Dit spilhout wordt gechipt en gedroogd waarna het verwerkt wordt in kleine verbrandingsovens bij zwembaden en dergelijke.

Wanneer Twence gedroogde takkenbundels zal gaan verwerken, resulteert dit in hoge kosten om de Biomassa Elektriciteit Centrale (BEC) om te zetten naar deze vernieuwde standaard. Momenteel wordt de BEC gebruikt voor verbranding van organische afvalmaterialen. Dit is vooral geveerd en behandeld hout, houtige niet-compostbare delen uit de composteringsinstallaties en grove delen uit het groenafval. Aangezien houtchips hier van afwijken zal de centrale omgezet moeten worden om deze nieuwe biomassa-stroom te verwerken. Deze omzetting zal een paar jaar duren en voor hoge kosten gaan zorgen.

Aangezien hout tegenwoordig steeds vaker voor producten hergebruikt wordt, zal er langzamerhand een schifting komen. De aanvoer van hout naar BEC zal in de loop der tijd minder worden, waardoor de takkenbundels een goede aanvulling zouden kunnen zijn. Deze manier van energieopwekking is wat Twence meer wil gaan nastreven, daar het doel is om meer een grondstofverwerkingscentrale te zijn in plaats van afvalverwerkingscentrale.

²⁵ Bio-energie input. (2010)

Twence wil takkenbundels zo homogeen mogelijk met dik hout. Een zekerheid blijft dat de takkenbundels geen vergoeding ontvangen, ook als deze gedroogd zijn. Dit heeft mede te maken met het complete filterproces voordat het takhout de oven ingaat en de hoge omzetkosten van de BEC.

Aannemer (Welhuis)

Onderhoudsprojecten worden uitbesteed aan aannemers met de laagste kostprijs. Dit heeft als resultaat dat aannemers geen constante stroom aan inkomsten ontvangen. In Duitsland, Denemarken en Finland bestaan er contracten voor aannemers waarbij de gemeente een contract afsluit van 7 tot 12 jaar. Doordat deze contracten bestaan is de aannemer verzekerd van werk, en zal hierdoor ook bereid zijn grotere investeringen te doen.

Zolang er voor een aannemer teveel zorgen bestaan over de constante geldstroom dan zal deze geen dure machine aanschaffen.²⁵ Aangegeven wordt dat aannemers en loonwerkers terughoudend zijn in gespecialiseerde verwerkingsmachines en productie van hoogwaardige biomassa. De redenen hiervoor zijn de onzekerheid over de afzetmarkt, de lage prijs en onzekerheid over toekomstig werkelijk oogstbare hoeveelheden.

Het is een persoonlijke interesse van dhr. Welhuis om waarde voor hout te creëren zodat onderhoud regelmatig plaatsvindt. Het concept van een bundelmachine is volgens dhr. Welhuis haalbaar als de focus ligt op het produceren van houtpellets en als de complete boom in de bundel verwerkt wordt. Een andere vereiste is het verhogen van de inzetbaarheid in weersomstandigheden. Momenteel is het bij natte ondergrond niet goed mogelijk om een houtwal te snoeien en zijn de onkosten hoger.



Landschapsbeheerder

Het is de vraag of elke landschapsbeheerder bereid is een deel van zijn landbouwgrond af te staan voor het drogen van takkenbundels. Tijdens een periode van december/januari tot en met begin september moet een gedeelte van zijn land vrij gehouden worden voor de plaatsing van deze bundels.

Een voorbeeld waarom boeren hier last van krijgen is het zaaiseizoen van mais. Deze is begin mei, wat betekent dat grond waarop takkenbundels liggen niet gebruikt kan worden. Mais wordt geoogst in oktober wat ook tegenstrijdig is met de gestelde eisen voor takkenbundels. Deze moeten van het land gehaald worden in begin september. Dat betekent dat de takkenbundels naast de ingang van het maaiveld moeten staan zodat er niet over het volgroeide mais heen gereden wordt.

Gemeente Dinkelland

Gemeente Dinkelland is positief over het project en wil graag een bundelmachine. Vergoedingen aan de landschapsbeheerders worden betaald uit "Groene en Blauwe Diensten" en wenselijk is dat aannemers langdurige contracten aangeboden krijgen.

Conclusie

Er zijn meerdere factoren die de aanschaf van de bundelmachine beïnvloeden. Het doel is een bundelmachine ontwerpen waarbij de kosten zo laag mogelijk zijn. Verder moet het eindproduct, gedroogd en gebundeld takhout, voldoende op kunnen brengen om de bundelmachine rendabel te maken.

Ten eerste is de kwaliteit van de takkenbundels niet geschikt voor de verbrandingsovens. Bij Twence komen er teveel kosten bij om het eindproduct homogeen te maken. Verder zijn de wensen die Twence stelt aan de takkenbundels tegenstrijdig met de doelstelling van de bundelmachine. Twence wil zo min mogelijk takhout in de BEC, terwijl dit juist de functie is van de bundelmachine. Gebundeld takhout kan aangeboden worden aan Twence, maar het aanleveren van bundels zal geen geld opleveren.

Ten tweede hebben aannemers geen constante inkomstenbron waardoor duur materieel niet aangeschaft wordt. Als een aannemer moet investeren in een machine die geen toegevoegde waarde heeft, een hogere opbrengst ontvangen voor gedroogd takhout, is een bundelmachine niet haalbaar.

Concluderend kan er vastgesteld worden dat de opbrengst van gedroogd en gebundeld takhout te laag is om de bundelmachine haalbaar te laten zijn.

1.9 Conclusie analyse

Ten eerste zorgt het onderhoud aan houtwallen ervoor dat de kenmerkende landschapselementen van gemeente Dinkelland weer terug naar een gezonde staat gaan. Door regelmatig onderhoud aan houtwallen kan er een hogere biomassaastroom gecreëerd worden. Deze hogere biomassaastroom wordt behaald door het takhout te verwerken tot gedroogde takkenbundels. Deze hebben in de huidige verwerkingsmethode weinig toegevoegde waarde en worden vaak illegaal verbrand. Door het takhout te verwerken tot gedroogde bundels heeft dit hout een waarde voor stakeholders en zal het zijn toepassing vinden in biomassa.

Ten tweede is er verder voldoende potentieel aan biomassa in de gemeente Dinkelland. Wanneer er meer gemeentes gaan samenwerken, kan gebundeld takhout zorgen voor een extra toestroom aan biomassa. Deze biomassa bestaat nog steeds uit een biomassaastroom, waarbij spil- en takhout gescheiden van elkaar behandeld en verwerkt worden. Het spilhout kan niet verwerkt worden in takkenbundels en zal niet meegenomen worden in het ontwerp.

Ten derde zijn de opbrengsten van de gedroogde takkenbundels niet voldoende, vanwege extra filter en installatie omzetkosten bij Twence. Het complete snoeiproces heeft wel financiële baat bij het inzetten van een bundelmachine, omdat onkosten als transport en energieverbruik minder zullen zijn. Een extra reden om de bundelmachine te ontwerpen is dat de houtwal duurzaam kan worden verwerkt.

Ten vierde zorgt de lage opbrengst van takkenbundels en de onzekerheid bij aannemers in het aanschaffen van een bundelmachine ervoor dat de aanschafkosten van de bundelmachine zo laag mogelijk moet zijn. Vanuit het energie- en economisch voordeel is er geprobeerd een exact budget te bepalen, maar deze kan niet aangesteld worden omdat er veel onbekende variabelen van invloed zijn op het project.

Concluderend kan er gesteld worden dat de opbrengst voor een gedroogde bundel takhout niet zo hoog is als de verwachting was. Het concept is haalbaar wanneer de gedroogde takkenbundels zonder extra onkosten, zoals filterprocessen en installatie omzetkosten, verwerkt kunnen worden in een verbrandingsoven. De opbrengst van een ton gedroogde takkenbundels zal meer moeten opbrengen dan natte houtsnippers in Nederland of Duitsland. De opbrengst van gedroogde takkenbundels kan mogelijk verhoogd worden door deze bij een installatie te verwerken, waarbij geen filterproces nodig is.

1.10 Alternatief

Een alternatief is een verwerkingsinstallatie opzetten waarbij de takkenbundels gesnipperd en vervolgens rechtstreeks omgezet worden tot energie. Aangezien Twence geen vergoeding kan geven voor gedroogde takkenbundels, is de bouw van deze nieuwe kleine biomassa elektriciteitscentrale mogelijk een optie. Deze zou op een strategisch centrale plek in de gemeente geplaatst kunnen worden, waardoor transportkosten laag blijven. Een aanbeveling is het plaatsen van een opslagplaats naast deze elektriciteitscentrale, waar de takkenbundels gestapeld kunnen drogen. Transport wordt zo zoveel mogelijk beperkt en de locatie kan afgesteld worden op de gewenste omstandigheden voor de takkenbundels. Verder zal het versnipperen van takkenbundels moeten plaatsvinden bij de elektriciteitscentrale.

Roosteroven Twence

Op dit moment beschikt Twence over een Biomassa Elektriciteit Centrale bestaande uit een roosteroven, stoomketelinstallatie en rookgasreiniging. De nominale verbrandingscapaciteit van dit systeem is ongeveer 35Mw met als belangrijkste biomassastromen B-hout en compostoverloop.²⁵

Belangrijke eigenschappen van BEC zijn:²⁶

- Geschikt voor verwerking van huishoudelijk afval en biomassa met uiteenlopende kwaliteit;
- Grote flexibiliteit in brandstoffen met betrekking tot type, samenstelling en verbrandingswaarde;
- Beperkte tot geen brandstofvoorbereiding vereist;
- Grenzen aan deeltjesgrootte; namelijk,
 - o Zo homogeen mogelijk;
 - o Voorkeursgrootte 50x50x20mm;
 - Maximale lengte kleiner dan 300mm;
 - o Het materiaal mag niet volledig bestaan aan uit kleinere deeltjes dan de voorkeursgrootte.

Alternatief

Een alternatief zou de bouw van een centrale kunnen zijn die meer geschikt is om het gebundelde takhout om te zetten tot energie. Als voorbeeld voor een alternatieve verbrandingsoven is de biomassa installatie van Viessmann genomen. De Pyroflex SRT is een installatie die een veel kleinere capaciteit heeft dan de BEC bij Twence, maar is meer geschikt om de takkenbundels te verbranden. Bij deze installatie zal er nog wel een shredder aan te pas komen die de takkenbundels tot houtchips omzet. Er wordt aan Nederland alleen kleine ketels geleverd met een maximaal vermogen van 1250 kW.²⁷ In Nederland zijn vooral installaties interessant tussen de 80-1000kW.²⁸

Bruikbare brandstoffen:

- Houtchips;
- Bos en houtresten;
- Schors;
- Hout uit landschapsbeheer;
- Groenafval;
- Lange vezelige bast.

Eigenschappen Pyroflex SRT:

- Vermogen van 850-8000 kW;
- Geschikt voor vochtgehalte van 20% tot 60%;
- Ontworpen voor continu gebruik (> 80
- Roosteroven dus hoge flexibiliteit in brandstof;
- Prestatiegarantie in natte en as rijke brandstof;
 - o Vochtgehalte tot 60%;
 - o As gehalte tot 10%.



Afb. 26 - Roosteroven Twence



Afb. 27 - Viessmann Pyroflex SRT

²⁵ Project BEC (Biomassa Elektriciteits Centrale) Twence. (2014)

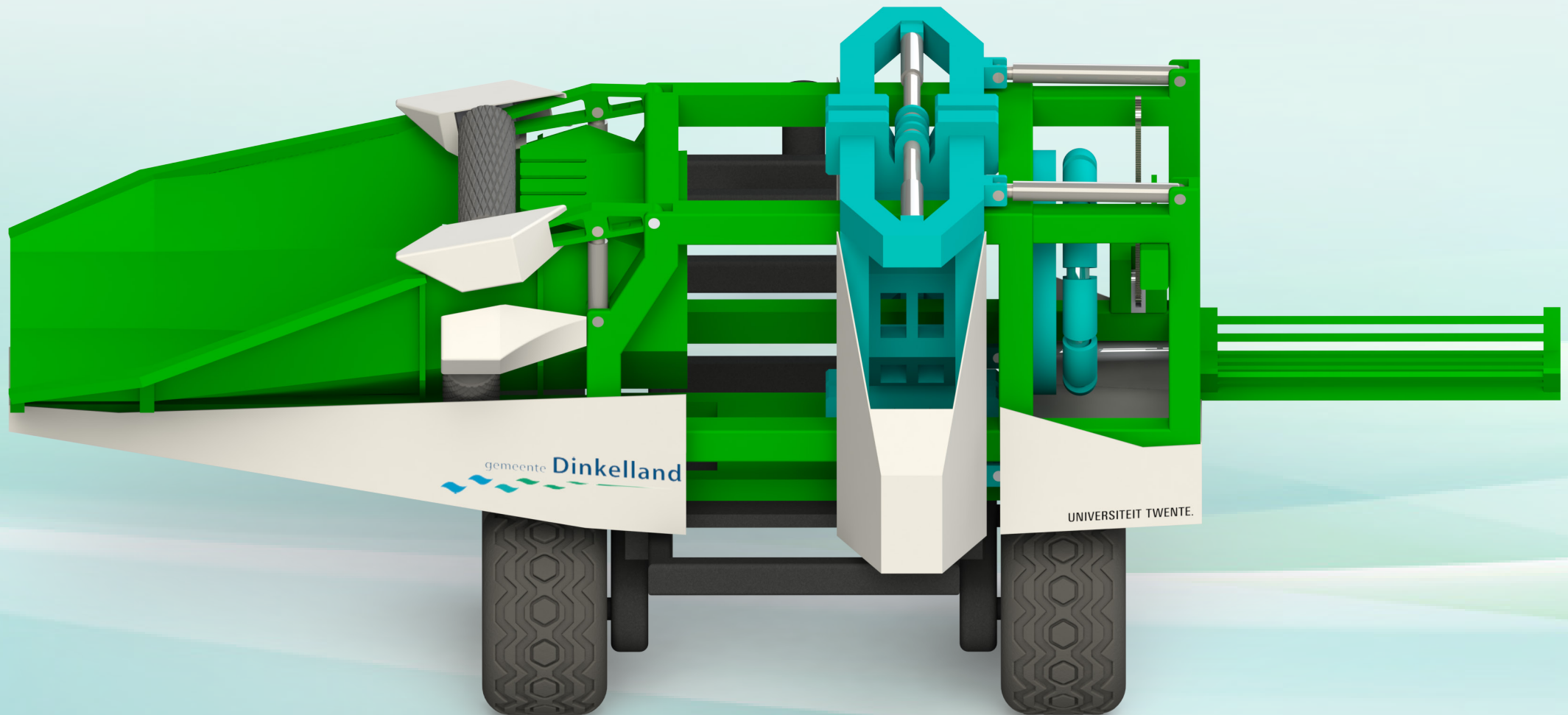
²⁶ Startnotitie milieu-effectrapport bec Twence (2014)

²⁷ Viessmann (2014)

²⁸ Ondernemen en natuur: stoken op streekhout. (2014)



2. Functieanalyse



Overzicht functies: 1) invoeren 2) compressie 3) touwbundelen 4) afzagen 5) ondersteunen

2.1 Product analyse



Afb. 28 - Inladen takhout



Afb. 29 - Getande cilinders



Afb. 30 - Compressie systeem

Werking bosbouw bundelmachines

Bundelmachines worden toegepast in de bosbouw en verzamelen takken die na de bomenvaling zijn blijven liggen. Met een kleine hijskraan worden de takken in een bak met getande cilinders geplaatst. Deze getande cilinders zijn gefixeerd of duwen van bovenaf op de losse takken. Doordat er voldoende wrijving ontstaat bij de duwende beweging worden de takken in de machine geperst. Vervolgens vindt er een extra compressie plaats, waarna de takkenbundel de compacte ronde vorm krijgt. De takkenbundels worden hierna omwikkeld met touwen en afgezaagd op een gewenste afmeting.

Vervolgens worden de takkenbundels verzameld en geplaatst in een transport-carrier. Deze transporteert takkenbundels naar een algemene verzamelplaats, waar alle bundels winddroog worden na verloop van tijd. Het doel van een bundelmachine in de bosbouw is een hogere oogstopbrengst halen uit de bossen. Doordat elke bundel ongeveer één MWH bevat is het bij grote projecten lonend om een bundelmachine aan te schaffen.

De marktleider in deze bundelmachines is John Deere. Het bedrijf heeft een focus op land- en bosbouwmachines. Eén van hun producten is de John Deere 1490D. De machine kan zelfstandig door bossen rijden en stapels los takhout verwerken tot takkenbundels. De kostprijs van deze John Deere is ongeveer \$400.000.

In Nederland is de bundelmachine maar één keer in bezit geweest van een bosbouwaannemer. Dit was een kleinere versie van de John Deere namelijk de Pinox 330. Vanwege problemen bij de verwerking van het bundeltouw en de weinig efficiënte inzetmogelijkheden is deze door de aannemer van de hand gedaan.²⁹

²⁹ Logistieke keten van houtige biomassa uit bos, natuur en landschap in Nederland. (2009)

³⁰ Biomass balers. (2014)

Werking John Deere 1490D³⁰

(Afbeelding 28) Het complete proces vanaf de takken oprapen tot aan het bundelen en op maat zagen, wordt door de John Deere uitgevoerd. Transport van takkenbundels is bij de John Deere niet opgenomen. De operator plaatst met behulp van de hijskraan de takken in de lengte in de aanvoertafel. Deze takken kunnen variëren van dunne takken/resten tot takken van ongeveer 10 tot 12 centimeter. De exacte maximale verwerkingsdikte van de takken is niet bekend.

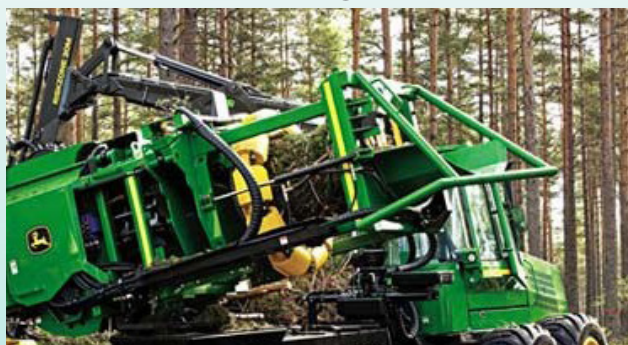
(Afbeelding 29) Hierna worden de takken samengedrukt en de machine ingevoerd door middel van vier getande cilinders. Aan de zijkant van de inlaadbak zijn twee kleine vaste cilinders geplaatst. De meeste invoerkracht komt vanuit de twee grote cilinders, waarbij de bovenste cilinder naar beneden kan duwen. Wanneer de bovenste rol is geheven, moet de operator de takken in de bak plaatsten.

(Afbeelding 30) Vervolgens wordt de bundel samengeperst door een hydraulisch systeem. Door middel van een knijpbeweging wordt de bundel van alle kanten samengeperst. Hierdoor is het mogelijk om het totale materiaalvolume met 80% te verminderen. De bedoeling van deze machine is een compacte bundel maken, waarbij het materiaal niet verpletterd wordt. De hydraulische pers zorgt ervoor dat het materiaal naar voren getrokken wordt en bepaald grotendeels de verwerkingstijd. Wanneer het takhout voor een gedeelte door de machine is getrokken, ontspant het systeem en keert het terug naar de oorspronkelijke positie.



2.2 Concurrentie analyse

(Afbeelding 31) Bij het plaatsen van het bundeltouw wordt er rekening gehouden met de lengte van de bundel en de kracht van het hout. Een boordcomputer berekend hoeveel touwen er geplaatst moeten worden. Tijdens het verplaatsen van de takken door de machine wordt dit touw om de bundel gewikkeld.



Afb. 31 - Touwbundel systeem

(Afbeelding 32) Het laatste proces is het afzagen van de bundels met een zaag. Deze zaag zaagt de bundel af op de vooraf bepaalde lengte.



Afb. 32 - Afzagen

Er kan onderscheid gemaakt worden tussen twee typen biomassa bundelmachines. De machines in de tabel 10 zijn gericht op het bundelen van tak- en tophout. De machines in tabel 11 zijn juist meer gericht op het bundelen van resthout. Nadat deze technieken zijn geanalyseerd is bepaald dat de techniek van het bundelen van resthout niet kan worden toegepast in het ontwerp van de vernieuwde bundelmachine.



Afb. 33 - Kingwell Fiberpac



Afb. 34 - Pinox 330



Afb. 35 - Monra Enfo

	John Deere	Kingwell Fiberpac	Monra Enfo	Pinox
Zelfrijder	Ja	Ja	Ja	Ja
Takken oppakken	Hijskraan	Hijskraan	Hijskraan	Hijskraan
Takken invoeren	3 vaste cilinders 1 beweegbare cilinder	3 vaste cilinders 1 beweegbare cilinder	3 vaste cilinders 1 beweegbare cilinder	1 vaste cilinder 1 beweegbare cilinder
Takken samendrukken	Hydraulische persbeweging	Hydraulische persbeweging	Hydraulische persbeweging	2 beweegbare cilinders
Takkenbundel bundelen	Dynamisch beweegbaar bundelsysteem	Dynamisch beweegbaar bundelsysteem	Dynamisch beweegbaar bundelsysteem	Vast gepositioneerd bundelsysteem
Takkenbundel op maat maken	Zagen	Zagen	Knippen	Zagen

Tabel 10 - Tak- en tophout bundelmachines



Afb. 36 - Flexa bala biomass baler



Afb. 37 - Valmet woodpac



Afb. 38 - Anderson biobaler

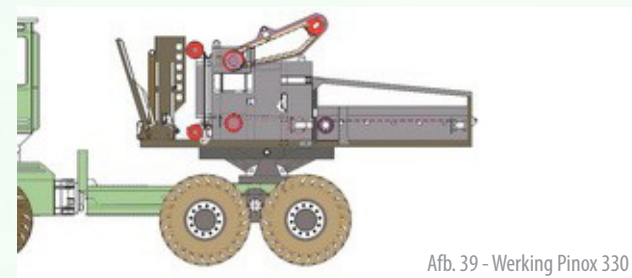
	Flexa bala biomass baler	Valmet woodpac	Anderson biobaler
Zelfrijder	Ja	Ja	Nee
Takken oppakken	Hijskraan	Hijskraan	Kleine verse bomen afsnijden
Takken invoeren	1 losse cilinder	Rolbank	Rolbank
Takken samendrukken	Rolbank samenpersen	Rolbank samenpersen	Rolbank samenpersen
Takkenbundel bundelen	Plastic omheen wikkelen	Draad omheen wikkelen	Plastic omheen wikkelen
Takkenbundel op maat maken	Automatisch stopsysteem	Automatisch stopsysteem	Automatisch stopsysteem

Tabel 11 - Resthout bundelmachines

Te zien is dat bundelmachines gericht op tak- en tophout allemaal zelfrijders zijn en het materiaal wordt ingeladen met een eigen hijskraan. De John Deere, Kingwell en Monra Enfo gebruiken alle drie hetzelfde cilindrische perssysteem. Verder worden de takken allemaal op een vergelijkbare wijze met getande cilinders in de machine gevoerd.

Er is één producent die afwijkt van bovenstaande drie machines door het takhout op een andere methode in te voeren en samen te persen. Pinox 330 gebruikt een methode, waarbij het hout wordt ingevoerd met getande cilinders en een loopband die bevestigd is aan de beweegbare cilinder. Compressie vindt hierna plaats door

middel van beweegbare cilinders die de takkenbundel samenpersen. Meer informatie is er niet beschikbaar over de Pinox 330. Het bedrijf bestaat niet meer, en de bundelmachine wordt niet meer verkocht.



Afb. 39 - Werking Pinox 330

De bundels worden allemaal door een machine omwikkeld met een touw, welke statisch is vastgemaakt aan het apparaat of meebeweegt met de bundel. Wanneer deze met de bundel meebeweegt zorgt dit voor een snellere verwerkingstijd per bundel. Tot slot wordt de bundel afgezaagd of afgeknipt.

Mogelijkheden liggen in het versimpelen van de bundelmachine of de inzetbaarheid verhogen. De inzetbaarheid kan verhoogd worden door de bundelmachine geschikt te maken voor het complete snoeiproces uit houtwallen. Versimpelen van de bundelmachine kan door onderdelen buiten beschouwing te laten, waardoor een externe machine deze moet uitvoeren. Hierbij kan gedacht worden aan de aandrijving en/of het inladen van takhout.

De exacte werking van de bundelmachines zijn niet te achterhalen, aangezien er weinig tot geen technische informatie beschikbaar is.

2.3 Bepaling systeemeigenschappen

Aandrijving

Afhankelijk van de inzetbaarheid en het beschikbare budget is er bepaald of de bundelmachine een zelfrijder of aanhanger wordt. Zoals uit de analysefase is gebleken zijn alle huidige bundelmachines zelfrijders. Het complete systeem omvat een motor, operatorcabine, hijskraan en de bundelmachine zelf. In situaties waar veel hout gewonnen wordt uit bossen, zijn deze kosten nog acceptabel aangezien dit veel biomassa oplevert.

Dit is niet de situatie in de gemeente Dinkelland, waar de inzetbaarheid lager is met een lager budget. De machine kan alleen ingezet worden in de snoeiperiode en voor een kleiner houtvolume dan bij bos-uitdunning. Om de productiekosten laag te houden is er gekozen om de motoren operatorcabine niet in het concept te verwerken. Wanneer deze niet gefabriceerd en ontworpen wordt, kan er gebruik gemaakt worden van tractoren. Deze zijn in grote getalen aanwezig bij aannemers en boeren in de gemeente. Een bijkomend en essentieel punt is de geschiktheid voor de ondergrond. Doordat tractoren gemaakt zijn voor zachte ondergronden kunnen deze goed toegepast worden. Verder beschikken tractoren over een aftak-as en een hydraulisch systeem, die de bundelmachine kunnen aansturen.

De combinatie van beide factoren, zowel het besparen in de kosten, als de geschiktheid voor de grond hebben geleid tot de keuze om de bundelmachine te laten voortdrijven door een tractor. Om voldoende kracht te leveren voor het verwerken van takkenbundels is de schatting dat de middelgrote tractor ongeveer 180 tot 200 pk moet kunnen leveren.

Aanbieden takkenrijen

Er is een onderzoek gedaan naar het functioneren van de John Deere 1490D en hoe resthout het beste aangeboden kan worden. Dit onderzoek vond plaats in Cloceanog Forest in Noord Wales, met als doel de productie te verhogen. De conclusie was dat de dichtheid van het aangeboden materiaal zo hoog mogelijk moet zijn, en de bereikbaarheid in afstand zo klein mogelijk.³¹ Een voorbereide werkplek bleek de productie te verhogen, waardoor de kosten per takkenbundel omlaag gingen. Voor het aanbieden van takkenrijen is gekozen voor stapels takhout, zodat de dichtheid van het aangevoerde materiaal constant is. (Zie Bijlage VIII)

Transport takkenbundels

Optioneel kan het transport van takkenbundels geïntegreerd worden in het concept. Wanneer de bundelmachine in staat is om takken in te laden, te bundelen en daarna te vervoeren kan het hele proces door de bundelmachine uitgevoerd worden. Dit heeft als voordeel dat er één machine nodig is voor het hele proces, maar is de bundelmachine wel duurder. In het proces is transport van grote invloed op de totale kosten, waarbij de volgende factoren bepalend zijn voor de efficiëntie:³²

- Hoeveelheid en vorm van het te transporteren materiaal;
- Beschikbaarheid van transportmiddelen en toegankelijkheid van het terrein;
- Droogte van het materiaal;
- Transportafstand.



Afb. 40 - Houtvrachtwagen

Vereiste mechanische druk³³

De vereiste mechanische druk is afgeleid van de huidige bundelmachine, de John Deere 1490D. Bij het invoeren van de takkenbundels vindt er een druk plaats in het mechanisme van 240 bar. Wanneer de takken zijn ingevoerd worden deze nog extra nagedrukt door het compressiesysteem onder een druk van 270 bar in de hydraulische pomp.

³¹ Presentation of brash for baling from clearfell harvesting. (2007)

³² Logistieke keten van houtige biomassa uit bos. (2009)

³³ Biomass balers. (2014)



Afb. 41 - Tractor container-carrier



Afb. 42 - Tractor met hijskraan en aanhanger

Situatie 1: Drogen op het land

Bundels verplaatsen vanaf de houtwal naar stapellocatie

De lage transportafstanden en zachte ondergrond zorgen ervoor dat alleen tractoren geschikt zijn. Er zal een extra tractor ingezet moeten worden, of de bundelmachine moet een extra laadruimte hebben om de bundels te vervoeren. Onderzoek geeft aan dat het interessant is om een tractor met container-carrier in te zetten in een werkstraal van circa 15km.

Bundels verplaatsen van de openbare weg naar verwerkingslocatie

Onderzoek geeft aan dat vanaf een transportafstand van 40km het interessant is om een vrachtwagen met afrolcontainer in te zetten vanwege de tijd die gemoeid is bij het op- en afladen. Efficiëntie hangt echter af van de hoeveelheid materiaal dat per keer vervoerd kan worden. Houtvrachtwagens zijn zelfladend door gebruik te maken van een hijskraan. Bundels worden vaak op houtvrachtwagens vervoerd. Deze vrachtwagens hebben rongen aan de zijkant en zijn dus open. Omdat losse takken niet tijdens het vervoer van de vrachtwagen af mogen vallen, kost het extra tijd om de lading af te dekken. Op een vrachtwagen passen normaliter twee standaard TEU containermaten.

Situatie 2: Drogen bij verwerkingslocatie

Bundels vanaf de houtwal naar stapellocatie/verwerkingslocatie

Een andere mogelijkheid is de takkenbundels rechtstreeks naar een stapel- en verwerkingsinstallatie te vervoeren. Hierbij hoeft er maar één keer zwaar materiaal ingezet te worden, en kan het lonend zijn om een extra tractor in te zetten voor transport. Van groot belang is de bereikbaarheid van het terrein en de transportafstand.

De bundels worden naar een centrale stapellocatie gebracht, waardoor de verwachting is dat er een kleinere transportafstand is.

Conclusie

De beschikbaarheid van transportmiddelen en toegankelijkheid van het terrein zijn in de eerste situatie van groot belang. Verder is de transportafstand relatief klein, waardoor de transportkosten lager worden wanneer weinig materieel ingezet wordt binnen deze kleine afstand. De conclusie is dat er op het land het beste gewerkt kan worden met een tractor en container-carrier combinatie wanneer de takkenbundels bij de landschapsbeheerder drogen. Deze is geschikt voor korte afstanden en goed geschikt om op zachte ondergronden te rijden. Het integreren van deze container-carrier in de bundelmachine zorgt ervoor dat er maar één tractor met de bundelmachine ingezet hoeft te worden.

Wanneer er gekozen wordt om de takkenbundels op een centrale locatie te drogen, dan is het inzetten van extra materieel rendabel. Hierbij kan gedacht worden aan het toevoegen van een tractor met hijskraan en aanhanger aan het werkproces om voor het transport van takkenbundels te zorgen.

Concluderend zijn er twee ideeën richtingen mogelijk. De eerste mogelijkheid is het complete proces aanpakken en de tweede is een zo gestript mogelijke versie van de bundelmachine. De gestripte versie is alleen gericht op het bundelproces en heeft geen hijskraan en trailer. De ideeëricting waarbij het complete proces aangepakt wordt, heeft als doelstelling dat er maar één machine ingezet hoeft te worden voor het complete verwerkingsproces.

2.4 Takkenbundel eigenschappen

Er is een onderzoek gedaan in 2007 door Biomassa-upstream Doelgroep.³⁴ Dit onderzoek is gericht op het toepassen van takkenbundels specifiek gericht op Nederland. Er is gebruik gemaakt van wereldwijde onderzoeken. Vanuit deze onderzoeken zijn er aannames en conclusies getrokken specifiek gericht op de Nederlandse situatie.

De eerste conclusie van het onderzoek is dat het vochtpercentage van het hout sterk afhangt van de luchtvochtigheid. Deze luchtvochtigheid is afhankelijk van de maand en het seizoen. Wanneer het hout compleet afgedekt wordt verschilt het vochtpercentage in het hout sterk. Dit is per maand bijgehouden waarbij het resultaat van de gemeten vochtigpercentages weergegeven is in tabel 12. Het percentage begint weer te stijgen bij de maanden juli, augustus, en september.

Een ander resultaat is voortgekomen uit wilgenhout dat gebundeld werd in een veld. Het droogproces is 200 dagen bijgehouden. Dit was vanaf midden januari tot aan augustus en resulteerde in de conclusie dat het compleet bedekken van de stapels geen significant effect had op het vochtpercentage van de bundels. Ook bleek dat de luchtdoorstroom van groot belang is op snelheid waarmee bundels drogen.

Een ander experiment in Japan is gefocust op andere elementen. De invloed van schaduw werd gemeten en de invloed van het verhogen van de bundels. Het resultaat was dat schaduw geen significant verschil maakte. De hoogte van de bundels bleek wel van belang. Bundels op de grond hadden 10% meer vocht in het hout dan bundels die verhoogd waren.

Samengevat zijn de belangrijkste conclusies:

- Het vochtpercentage heeft veel invloed op de waarde van het hout. 1% minder vocht betekend ongeveer 5% minder opbrengst per GJ;
- De droogperiode in Nederland is optimaal van december/ januari tot begin september;
- De beste droogplaats is een plek waar geen gebouwen, vegetatie of beschutting staat. De bundels moeten geplaatst worden in een open landschap waar de wind goed kan waaien;
- Er moeten geen bladeren in de bundels zijn om luchtdoorstroom te bevorderen.

Afmetingen takkenbundels

Bij de voorgaande bundelmachines was een lengte van 3 tot 3,2m gebruikelijk met een diameter van 0,7 tot 0,8m. Gezien de standaard containermaten bij de vrachtwagens is deze lengte nog steeds geschikt. Door deze maat te hanteren kunnen er in de lengte twee rijen gestapeld worden. Afhankelijk van de diameter kunnen er 3 tot 4 kolommen takkenbundels naast elkaar gestapeld worden. De breedte van een oplegger is bepaald op ongeveer 2,4 meter.

Bundels met een diameter van 0,8m resulteren in een kolombreedte van drie.

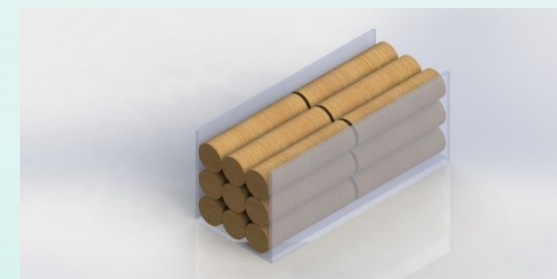
- 18 bundels
- Inhoud per bundel 1,51 m³
- Gewicht per bundel 740kg

Bundels met een diameter van 0,6m resulteren in een kolombreedte van vier.

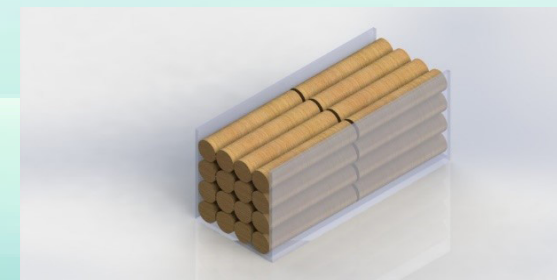
- 32 bundels
- Inhoud per bundel 0,85 m³
- Gewicht per bundel 416kg

Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
19,5	18	15	13	12	12
Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
14	14	16	17	19	21

Tabel 12 - Maandelijks vochtpercentage



Afb. 43 - Bundels van 0,8m in oplegger



Afb. 44 - Bundels van 0,6m in oplegger

³⁴The harvest of logging residues in the Dutch forests and landscape. (2007)



Afb. 45 - Illustratie scenario 1



Afb. 46 - Illustratie scenario 3

Lengte	1 km
Spilhout (-20%)	24,4 ton
Tak- en tophout (-20%)	20 ton
Aantal takkenbundels	50

Tabel 13 - Biomassa per km houtwal

Bij grotere bundels gaat het gewicht sterk omhoog en kan dit riskant zijn voor de luchtdoorstroming. Kleinere bundels hebben meer luchtdoorstroom, maar kosten meer tijd om te bundelen en om te transporteren. In verband met luchtdoorstroom en het ontwerpen van een goedkopere kleinere bundelmachine is ervoor gekozen de kleinere diameter van 0,6m. Verder past deze bundelgrootte precies binnen de standaard TEU containermaat.

Aantal takkenbundels per meter houtwal

Gemeente Dinkelland heeft ongeveer 208km aan houtwallen en per jaar 346 ton biomassa tak- en tophout. Als een houtwal van 1 km lang wordt afgezet, levert dit eens in de 12 jaar 30,5 ton aan spilhout en 25 ton aan tak- en tophout.³⁵ Niet alles kan geoogst worden vanwege vervuiling door aarde, onbereikbaarheid en behoud van bodemnutriënten. Hierdoor de haalbare oogst van tak- en tophout met een marge van 20% verminderd. Concluderend geeft dit 20 ton aan tak- en tophout in een houtwal van 1 km lang.

Berekend is dat er ongeveer 13.000 kg aan gebundeld hout per TEU container vervoerd wordt. Wanneer er gebruik gemaakt wordt van houttrailers, zal er ongeveer een halve TEU container per keer vervoerd worden, dus 6,5 ton aan biomassa tak- en tophout. Per houttrailer kan er ongeveer 0,33 km aan tak- en tophout gebundeld worden. Gebaseerd op deze schattingen zal er uit 20m houtwal één takkenbundel geproduceerd kunnen worden van 0,4 ton. Dit is bij tak- en tophout met een diameter kleiner dan 7cm, maar dit is in het werkelijkheid hoger. Verder is het aantal kilometer houtwal bij de gemeente Dinkelland laag ingeschat, waardoor de verwachting is dat er meer takkenbundels geproduceerd kunnen worden.

³⁵ Biomassa analyse landschapselementen Overijssel. (2012)

³⁶ Logistieke keten van houtige biomassa uit bos. (2009)

³⁷ Forest research, project report. (2011).

Droging takkenbundels

Er zijn uiteenlopende factoren die de kwaliteit en droogsnelheid van de takkenbundels bepalen. Zo blijkt er dat er bij een afstand van minder dan 60cm boven de grond, er geen droging plaatsvindt in het hout.³⁶ Als de bundels wel op de grond liggen, dan kunnen deze beter op een verharde ondergrond liggen.³⁷ Verder drogen stammen waarvan de bast beschadigt is beter en zorgen tussenlagen in de bundel voor een betere luchtdoorvoer en daarmee droging.

Hierop gebaseerd is het een doelstelling dat bij het opstapelen van de bundels er zo min mogelijk contact is met de grond. Dit kan door extra elementen toe te voegen, anders te stapelen of door een speciale droogplaats aan te wijzen. In de meest ideale situatie worden de takkenbundels onder een afdak op een verhoogd plateau geplaatst met tussenruimte tussen de bundels.

Plaatsing takkenbundels

Scenario 1: Een paar bundels opofferen

- Wanneer er bundels worden opgeofferd zal ongeveer 15 tot 20 procent van de bundels niet goed gedroogd zijn.

Scenario 2: Verticale plaatsing

- Verticale plaatsing zorgt ervoor dat de onderkant tot 60cm niet goed droogt. Dit is van de totale lengte, 3m, ongeveer 20 procent. Bij verticale plaatsing bestaat er een ongewenst gevaar dat de zeer zware takkenbundels omvallen.

Scenario 3: Op een verhoogd plateau plaatsen

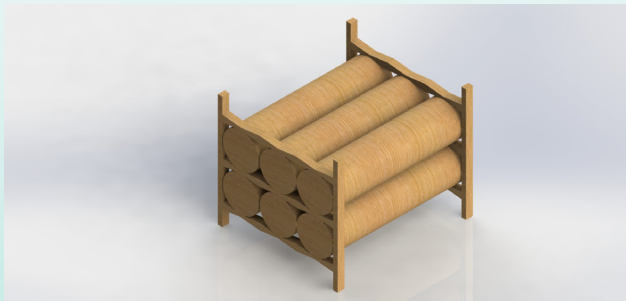
- Het resultaat is volledig gedroogde takkenbundels.

Een wenselijk scenario is dat de bundels onder een afdak geplaatst zijn. Het meest gunstig voor de kwaliteit van de takkenbundels is het plaatsen op een verhoogd plateau.

2.5 Bundeltouw

Tussenlaag creëren

Om een extra tussenlaag te creëren kan er gedacht worden aan een toevoeging tussen de bundels. In de ideëricting is het doel geweest om de bundelstapels vanuit modules op te bouwen.



Afb. 47 - Luchtdoorstroom bevorderen

Bundels positioneren

Het maximale ARBO til-gewicht dat wordt gehanteerd is 23 kg, onder ideale omstandigheden. Aangezien de takkenbundel ver boven deze waarde ligt, zal de bundel machinaal in positie gebracht moeten worden. Dit betekent dat een hijskraan altijd bij de takkenbundels moet kunnen komen.

Bij het versnipperen van de takkenbundels ontstaan er problemen met het aanwezige bundeltouw. Dit touw gaat vastlopen bij de shredder. Het bindtouw is vaak gemaakt van polypropylene (PP), maar er kan ook gekozen worden voor bundelen met Sisal-touw. Dit natuurtouw kan zonder enig probleem verwerkt worden in een shredder maar heeft als grootste nadeel dat het niet rot-bestendig is. Tests tonen aan dat Sisal-touw uit elkaar valt na een aantal maanden.³⁸

Vier natuurlijke touwsoorten zijn:

- Manila
- Sisal
- Kokos
- Hennep

Touw van hennep of kokos blijkt niet geschikt te zijn, aangezien deze touwsoorten een kleinere treksterkte aan kunnen en niet rotbestendig zijn. Manilla is wel een mogelijke optie aangezien deze, wanneer onbehandeld, meer rotbestendig is dan sisal touw.³⁹ Behandeld Sisal-touw kan op aanvraag geleverd worden, en wordt al toegepast in het bundelen van hout. Qua kosten schelen beide touwsoorten niet veel en er zijn geen duidelijke voordelen zichtbaar.

Aangezien Sisal-touw momenteel al toegepast wordt heeft dit de voorkeur. Er bestaan nog geen betere behandelmethoden op het gebied van rotbestendig maken, en elk touw waarin plastic is verwerkt zal in de hakselaar gaan smelten, wat resulteert in vastlopen.

De eigenschappen van Sisal zijn erg geschikt voor dit doel, maar omdat er uit tests is ondervonden dat het touw na een paar maanden gaat rotten, zal er iets moeten veranderen. De test vond plaats in de buitenlucht, waardoor een oplossing zou kunnen zijn het overdekt plaatsen van de takkenbundels. De takkenbundels ondervinden dan geen last van vocht door regenval.

Durability: fluids and sunlight

Water (fresh)	Excellent
Water (salt)	Excellent
Weak acids	Acceptable
Strong acids	Unacceptable
Weak alkalis	Acceptable
Strong alkalis	Unacceptable
Organic solvents	Acceptable
UV radiation (sunlight)	Good
Oxidation at 500C	Unacceptable

Afb. 48 - Eigenschappen Sisal-touw⁴⁰

³⁸ The harvest of logging residues in the Dutch landscape. (2007)

³⁹ Product properties Manila. (2014)

⁴⁰ CES Edupack 2013

2.6 Programma van eisen

Snoeien en plaatsing

- De houtwallen en houtsingels worden eens in de 6 jaar gesnoeid
 - o Verdeeld over heel gemeente Dinkelland voor continue doorstroom
- De houtwallen en houtsingels worden gesnoeid in december/januari
- De takkenbundels worden opgehaald en verwerkt in augustus/begin september
- Takkenbundels worden afgedekt tegen regen (wens)
- De werkplaats is voorbereid
 - o Alle takken liggen in één richting
 - o De takken zijn niet versleept (wens)
 - o De takken zijn opgestapeld

Bundelmaschine eigenschappen

- De bundelmaschine wordt aangedreven en voortgetrokken door een tractor
- De bundelmaschine is geschikt voor zachte grondtypen
- De bundelmaschine is door één operator te besturen
- De verwerkingssnelheid is één bundel per twee minuten
- De bundelmaschine kan zelf bundels oppakken en verplaatsen (wens)

Takkenbundel eigenschappen

- Bundel afmetingen
 - o Lengte 3m
 - o Diameter 0,6m
 - o Gewicht ≈ 500kg
- Maximale diameter van de takken is 12cm
- Een bundel reduceert het oorspronkelijke volume van het hout met 70%
- De bundels hebben voldoende luchtdoorstroom
 - o Er zitten geen bladeren en naalden in de takkenbundel
- Het bundeltouw kan verwerkt worden door hakselaar
 - o Biologisch afbreekbaar materiaal

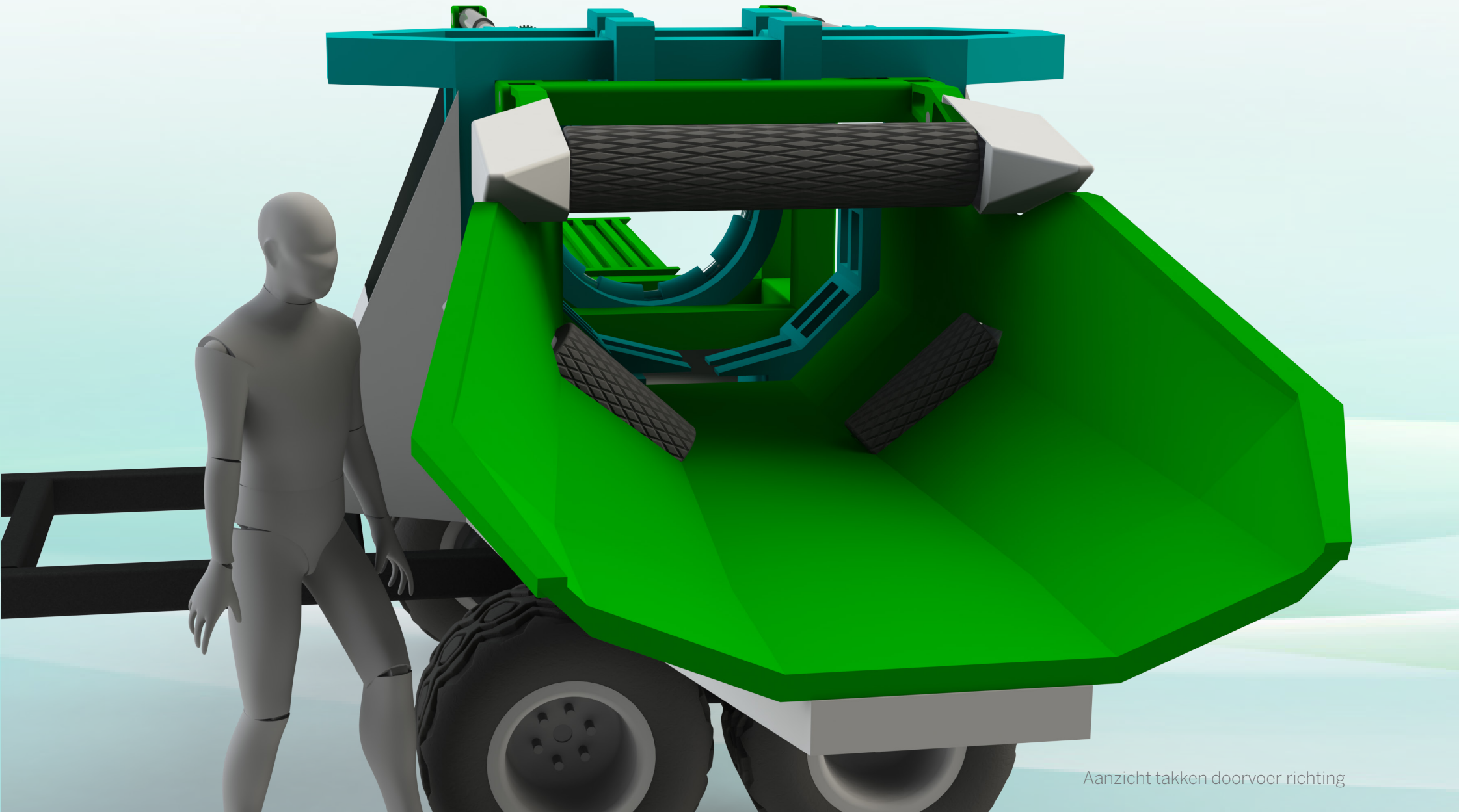
Bundelstapel eigenschappen

- Alle bundels worden 60cm boven de grond geplaatst
- Tussenslagen tussen de bundels
- De bundelstapel is geplaatst in een open landschap
- Eindproduct vochtpercentage 20%

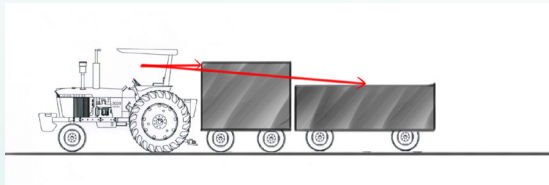
Flora en fauna

- De natuur en omgeving mag niet beschadigt worden door de bundelmaschine
 - o Flora en fauna mogen zich niet nestelen in de bundels

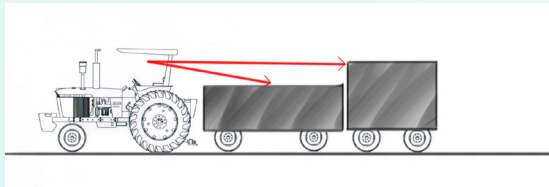
3. Ideefase



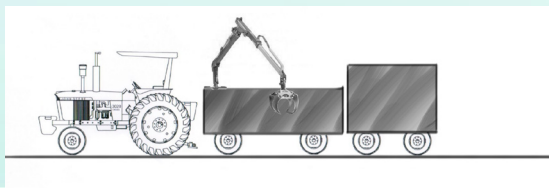
3.1 Ideerichting 1: compleet proces



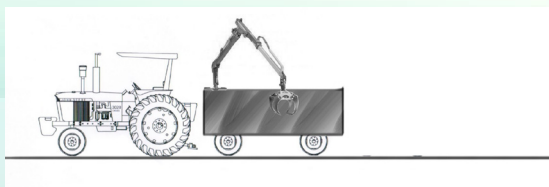
Afb. 49 - Indeling tractor-bundelmachine-aanhanger



Afb. 50 - Indeling tractor-aanhanger-bundelmachine



Afb. 51 - Winterscenario: hijskraan met trailer en bundelmachine



Afb. 52 - Zomerscenario: hijskraan met trailer

Ideerichting 1: Compleet proces ontwerpen

Om het takhout en spilhout te verwerken is er een ideerichting, waarbij de bundelmachine compleet geïntegreerd is in alle handelingen die hiervoor noodzakelijk zijn. Deze handelingen zijn het inladen van takhout door middel van een hijskraan, het bundelen van takhout en het transporteren van takkenbundels en spilhout naar de gewenste locatie. Bij deze ideerichting bestuurt de operator de tractor, hijskraan en de bundelmachine.

Ideerichting 2: Versimpelde versie

De kostprijs van de bundelmachine is bepalend voor het slagen van het project. Deze ideerichting is gefocust op het reduceren van de kosten door de functies en techniek van de huidige bundelmachines simpel toe te passen in het concept. Alleen de noodzakelijke elementen worden in het concept verwerkt. Bij deze ideerichting zijn er twee operators. Eén operator bestuurt de tractor en bundelmachine, een andere operator bestuurt de extra tractor en hijskraan.

De bundelmachine bezit drie functies en is voornamelijk gericht op het drogen van takkenbundels bij de landschapsbeheerder. De eerste functie is het inladen van los takhout, gebundeld takhout en spilhout. De tweede functie is het bundelen van takhout. En tot slot, het transport van gebundeld takhout en spilhout. Transport zal voornamelijk plaatsvinden op het erf van de landschapsbeheerder en korte afstanden rondom. Beide elementen moeten van elkaar los gekoppeld kunnen worden, zodat de inlaadruimte ook gebruikt kan worden buiten de periode waarin takken gesnoeid en gebundeld worden.

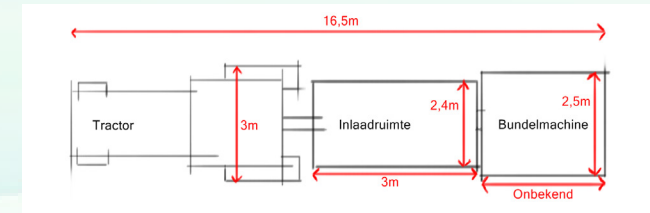
Indeling

Het is belangrijk dat de operator goed zicht heeft op de invoer van de takken in de bundelmachine. De hoogte van beide onderdelen bepaald voor een groot gedeelte hoe de combinatie vormgegeven moet worden. In alle opzichten zal het laagste onderdeel vooraan geplaatst moeten worden. Het is een reële aanname dat de bundelmachine hoger zal zijn dan de aanhanger.

Maximale afmetingen

De maximale wettelijke afmetingen van een oplegger zijn 12 meter lang, 4 meter hoog en 2,55 meter breed. De lengte van de inlaadruimte is minimaal 3 meter vanwege de eerder vastgestelde lengte voor takkenbundels.

Inladen takhout en spilhout



Afb. 53 - Maximale afmetingen

Houttrailers worden optioneel verkocht met een hijskraan. Wanneer deze trailers gebruikt worden heeft de operator altijd zicht op het inladen van takken en spilhout.

Wanneer de hijskraan verbonden is met de trailer, dan kan deze combinatie tijdens de winter ingezet worden om takkenbundels op het land te vervoeren. In de zomer kan dit onderdeel gebruikt worden om de takkenbundels op te halen. Deze aanhangers kunnen standaard ingekocht worden en daarna aangepast worden naar de wensen voor de bundelmachine.

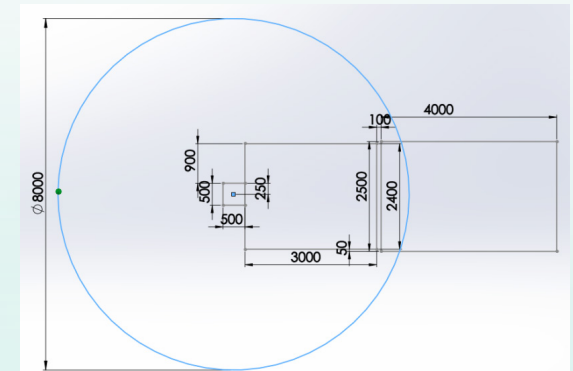
Opstelling bundelmachine

De reikwijdte van de hijskraan moet groot genoeg zijn om het inladen bij de bundelmachine mogelijk te maken. Om hieraan te kunnen voldoen moet er in de trailer zelf ingeladen worden. Aangezien de aanhanger standaard wordt ingekocht, is de enige vereiste dat de zijkanten van deze aanhanger dichtgemaakt worden. Als de zijkanten dicht zijn kan de aanhanger gezien worden als een inlaadruimte voor takhout, waarna deze ingevoerd kan worden in de bundelmachine.

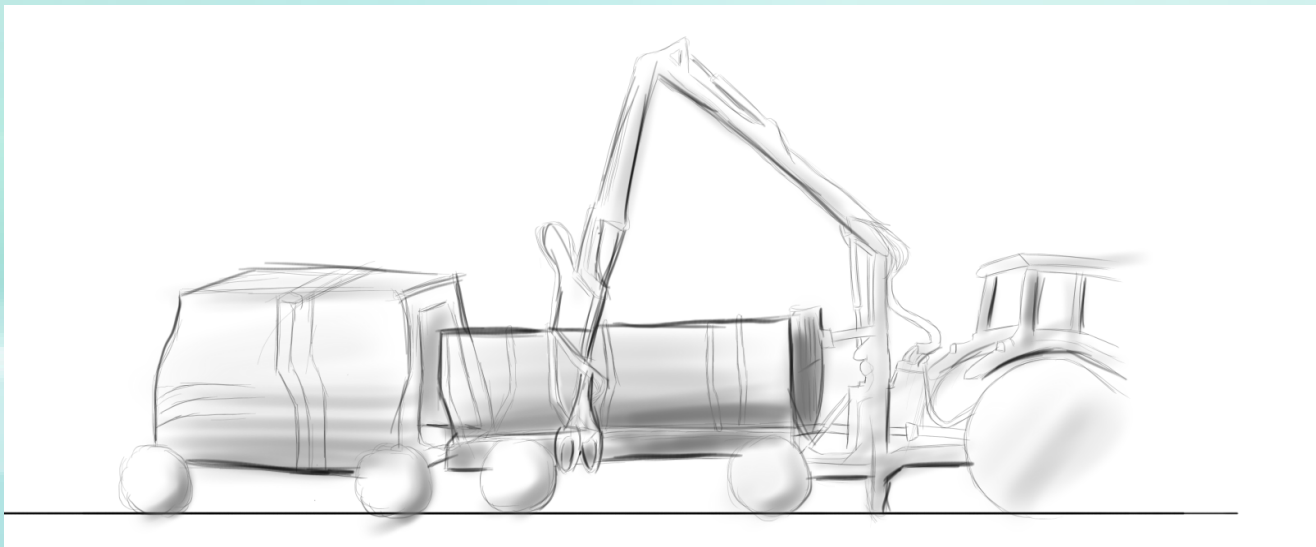
De meest voordelige oplossing is het aanpassen van een bestaande constructie. De combinatie tractor, hijskraan en trailer kan standaard worden ingekocht. Verder heeft de operator dan goed zicht op het inladen van het tak- en spilhout. Bij de uitwerking van dit concept is uitgegaan van het gebruik van zoveel mogelijk standaard onderdelen.



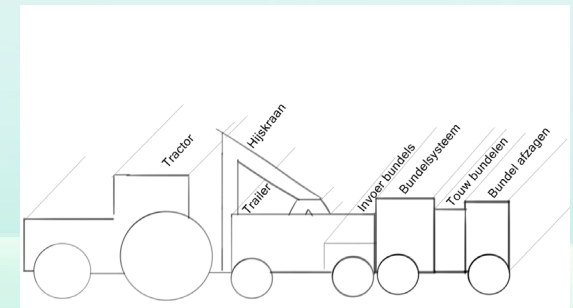
Afb. 55 - Houttrailer met hijskraan



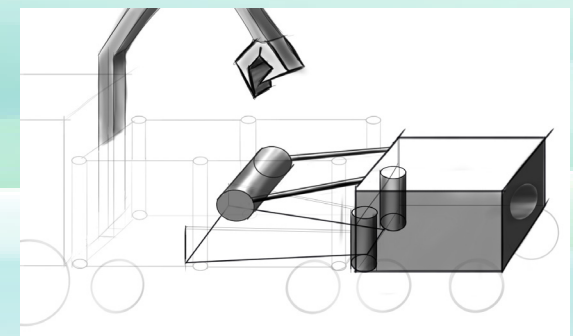
Afb. 56 - Reikwijdte hijskraan



Afb. 54 - Ideerichting 1

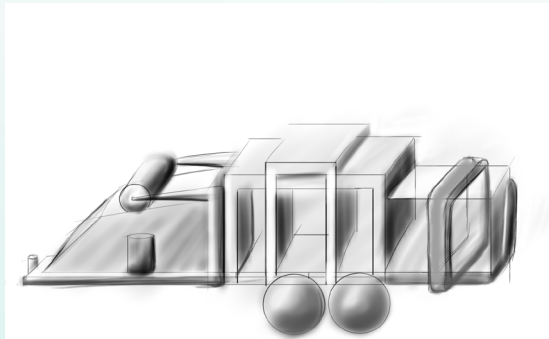


Afb. 57 - Indeling systemen



Afb. 58 - Invoer in de trailer

3.2 Ideerichting 2: versimpelde versie

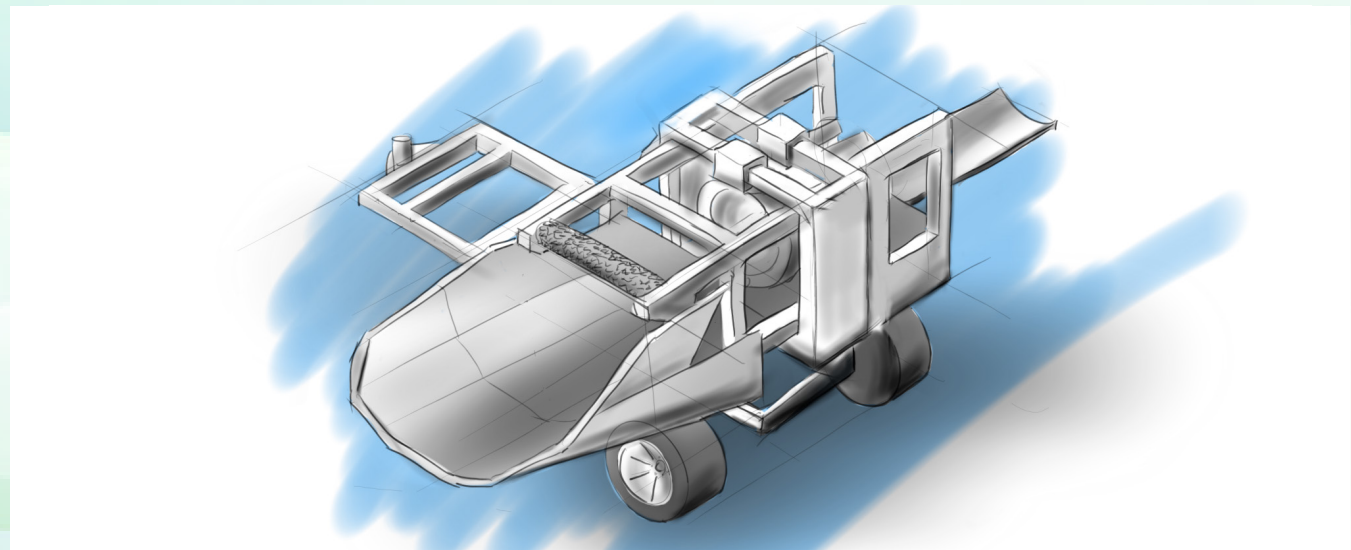


Afb. 59 - Noodzakelijke onderdelen

Bij deze ideerichting zal de bundelmachine zoveel mogelijk versimpeld zijn en wordt deze aangedreven door een tractor. De hijskraanfunctie en het transport wordt door een extra tractor verzorgd, waardoor er twee operators ontstaan die rekening met elkaar moeten houden. Eén operator verzorgt de aandrijving en werking van de bundelmachine en één operator laadt de losse takkenbundels in de bundelmachine.

Het inladen van het takhout kan alleen plaatsvinden aan de zijkant van de bundelmachine, omdat de kraanoperator goed zicht moet hebben op de invoer van de takken. Aan welke kant dit inladen van de takken plaatsvindt, kan verschillen per houtwal en situatie. Hierdoor moet de bundelmachine zowel links- als rechtsom draaibaar zijn op het onderstel.

De focus van deze ideerichting is het integreren van vier noodzakelijke systemen om de bundelmachine te laten werken. 1) Het invoeren van takken in de machine door middel van getande cilinders, 2) de functie waarbij de takken compressie ondervinden, 3) het touw om de takkenbundel heen wikkelen en 4) de takkenbundel op maat zagen. Door alleen deze functies te ontwerpen zal het concept zo ver mogelijk gestript worden en is het de meest goedkoop mogelijke versie.



Afb. 60 - Ideerichting 2

3.3 Conclusie ideerichtingen

Als de keuze voor het concept gebaseerd moet worden op het programma van eisen, dan is de ideerichting waarin het complete proces in het ontwerp is opgenomen het meest geschikt. Er is bij deze ideerichting maar één operator nodig en alle functies vanaf het inladen tot aan het transport zijn verwerkt in het concept. De ideerichting waarbij de bundelmachine zo ver mogelijk gestript is, voldoet in mindere mate aan het programma van eisen omdat hierbij twee operators en een extra tractor nodig zijn om takhout in te laden en takkenbundels te vervoeren.

Als het complete proces uitgevoerd zal worden door één tractor met daarachter een combinatie van houtrailer, hijskraan en bundelmachine, dan is dat de meest efficiënte methode. Nadelig is dat de kostprijs van de bundelmachine omhoog zal gaan, wat niet wenselijk gebaseerd op de gestelde eisen uit de analysefase. De conclusie vanuit de analysefase toonde aan dat de doelstelling voornamelijk het zo laag mogelijk houden van de kostprijs is. Redenen zijn een gebrek aan vraag door de markt en gedroogde takkenbundels leveren in de huidige situatie onvoldoende op. Ook de opdrachtgever wil de kostengraag zo laag mogelijk houden. Als er wordt uitgegaan van de beschikbare middelen van een aannemer, dan hoeven de functies inladen en transport niet worden meegenomen in het concept. Een extra tractor zal dan worden ingezet met een hijskraan en houtrailer. Het is vooral lonend om een extra tractor in te zetten als de takkenbundels over een korte afstand naar een centrale locatie verplaatst worden.

Concluderend, als eindconcept is de ideerichting waarbij de aandrijving, hijskraan en transport niet in het concept zijn opgenomen het meest geschikt. De focus is bij het eindconcept alleen op het bundelen van tak- en tophout.

3.4 Ideegeneratie werkingsprincipe

De takken zijn allemaal in dezelfde richting geplaatst, waarna deze door de bundelmachine verwerkt worden. Het hout wordt recht in de laadbak gelegd zodat het niet in de lengte vervormt, en zijtakken worden meegebogen/afgebroken tot de gewenste compacte vorm bereikt is. Dit hele proces wordt uitgevoerd vanuit twee systemen. Het eerste systeem voert de takken in de machine, daarna zorgt het tweede systeem ervoor dat deze takken worden samengedrukt tot een compacte bundel.

Er zijn verschillende variaties op deze systemen bedacht, waardoor een divers aanbod aan werkingsprincipes is ontstaan. Aanpassingen in bestaande werkingsprincipes hebben geleid tot snelle schetsen en uitwerkingen in een driedimensionale omgeving. Door gebruik te maken van het ontwerpen in deze omgeving zijn verhoudingen, beschikbare ruimtes en de samenhang tussen systemen zichtbaar geworden.



Studie 1: Voornamelijk invoer vanuit getande cilinders. Eerst druk vanuit beweegbare cilinder, om takhout in de machine te voeren. Daarna twee drukcilinders welke het materiaal door de machine trekken.

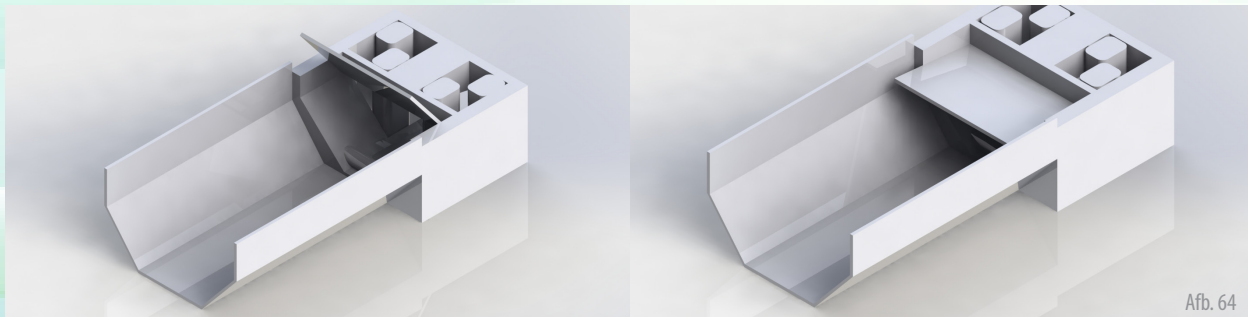
Afb. 61



Studie 2: Invoer in de machine vanuit de beweegbare cilinder. Daarna compressie door twee cilinders welke het takhout vervolgens door de machine geleiden.



Studie 3: Takhout wordt ingevoerd door de beweegbare cilinder, waarna deze door vier cilinders extra wordt nagedrukt. Compressie vindt door een extern systeem plaats.



Studie 4: Invoer bovenin de machine, waarna compressie vanuit rolbeweging.

Conclusie

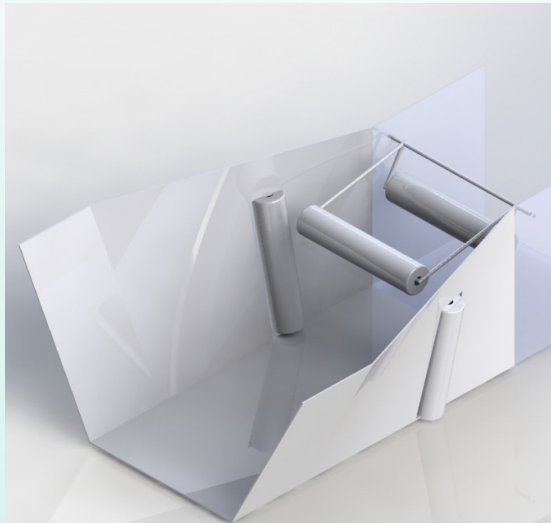
De vernieuwde werkingsprincipes zijn vergeleken met de huidige, waarna is geconcludeerd dat grote aanpassingen waarschijnlijk zorgen voor een verminderd resultaat. Het doel is om de takken grotendeels al samen te drukken voordat compressie plaatsvindt. Aanpassingen waarbij er te weinig frictie en kracht vanuit de getande cilinders geven onvoldoende compressie. Daarom is er voor gekozen een lichte aanpassing aan het huidige ontwerp te maken, waarbij er minimaal getande cilinders gebruikt worden om van alle richtingen in wrijving te voorzien. Door deze onder een hoek te plaatsen is de verwachting dat de takken in elkaar gaan draaien.

Vanuit de modellen is er de conclusie getrokken dat het systeem onnodig complex en langzaam wordt als het invoersysteem ook als compressiesysteem functioneert. In het ontwerp zal het invoersysteem dus los van het compressiesysteem ontworpen worden.

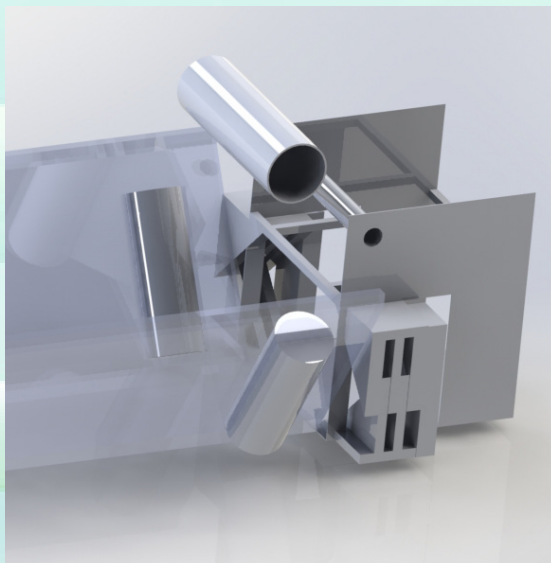
4. Conceptfase



4.1 Compressiesysteem



Afb. 65 - Uitgangspunt ontwerp



Afb. 66 - Eerste versie rechtgeleiding

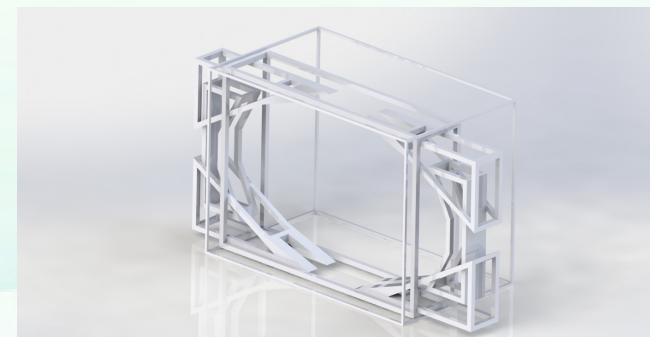
Het eindconcept is een versimpelde versie van de huidige bundelmachines. Er zijn aanpassingen gemaakt bij de invoer en compressie van de takken. Het touwbundel systeem is niet aangepast, aangezien er voor deze toepassing geen andere geschikte technieken beschikbaar zijn. Doordat het concept dicht bij de werking van de huidige bundelmachines blijft, is de technische haalbaarheid groter.

Invoer van de takken vindt plaats door drie getande cilinders, welke met een draaiende beweging zorgen voor een compacte doorvoer van de takken. Doordat de cilinders aan de zijkant onder een schuine hoek geplaatst zijn, is de verwachting dat de takken in elkaar gedraaid worden. Optioneel kan er een extra vierde cilinder gebruikt worden om de takkeninstroom extra aan te drukken.

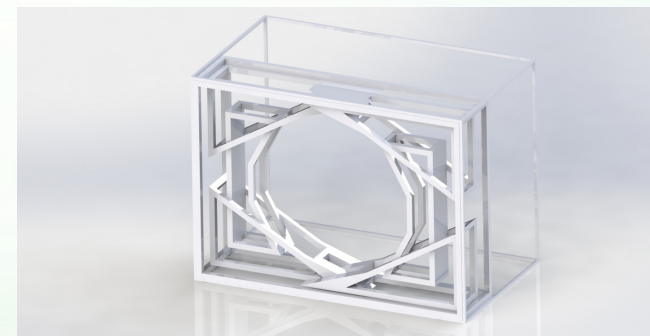
Door middel van rechtgeleiding is het doel om de bundels samen te persen. De takken zijn bij de invoer al samengedrukt tot de gewenste hoogte, namelijk ongeveer 0,6m hoog. Deze takkenstroom moeten nu nog in de breedte samengedrukt worden tot een compacte bundel van 0,6m diameter.

Werking vanuit rechtgeleiding

Een mogelijkheid bij het compressiesysteem is twee vooraf gevormde onderdelen samenpersen. Een andere oplossing is meerdere onderdelen die onafhankelijk van elkaar kunnen bewegen. Vanuit deze ideerichting is onderzocht hoe deze beweging zou moeten plaatsvinden. Onderstaand is het voorbeeld van zes losse onderdelen welke tezamen zorgen voor een achthoekige cilindervorm. Door de instroom van een rechthoekige takkenbos moeten de middelste onderdelen de meeste kracht uit het hout halen. De perskracht komt voornamelijk uit de breedte van het systeem.



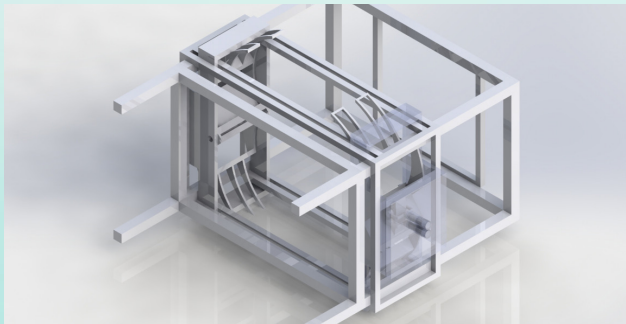
Afb. 67 - Beginstand losse onderdelen



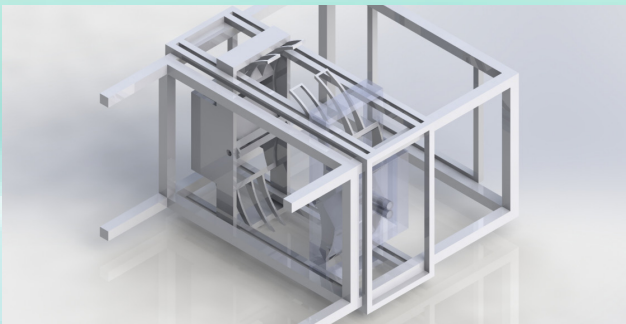
Afb. 68 - Eindstand losse onderdelen

Werking vanuit knijpkracht

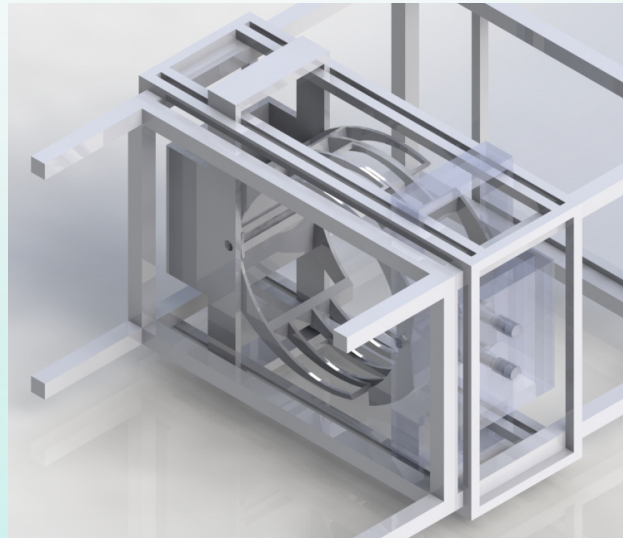
Naast compressie door rechtgeleiding kan er ook richting een knijpkracht ontworpen worden. Dit volgt de ideeërchtiging om het werkingsprincipe van een hijskraan toe te passen. Doordat de instroom van takken nog relatief breed is, is het niet mogelijk om alleen gebruik te maken van een deze knijpkracht. Om de eerste krachten uit de takkeninstroom te halen, wordt er eerst rechtgeleiding toegepast waarna de takken in de gewenste vorm nageperst worden door deze vast te knijpen.



Afb. 69 - Beginstand knijpsysteem



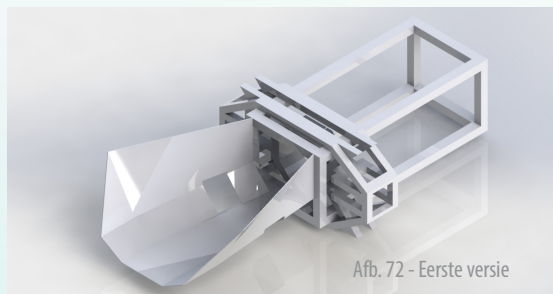
Afb. 70 - Rechtgeleiding over het subframe



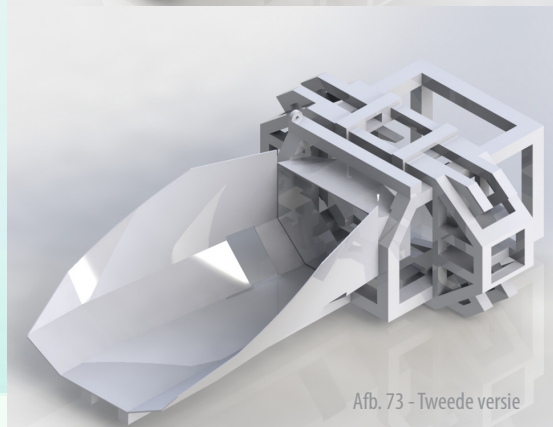
Afb. 71 - Eindstand systeem

Conclusie werkingsprincipe

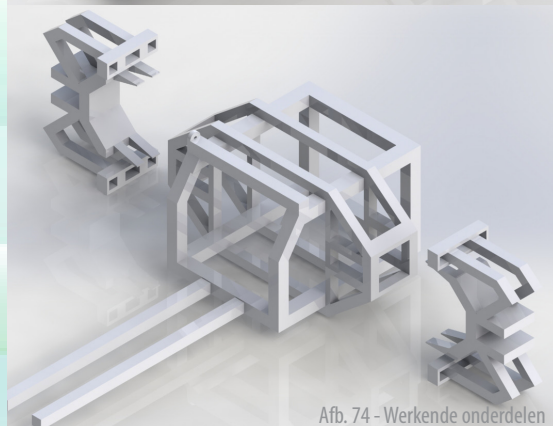
Het blijkt dat de uitwerking van knijpkracht zorgt voor onnodige functies in het samenpersen van de takkeninstroom. Om de doelstelling van dit werkingsprincipe te halen moet er nog steeds rechtgeleiding toegepast worden. Dit voldoet niet aan de doelstelling, waarbij een versimpeling van de bundelmachine gehaald moet worden. Daarom is er gekozen om het compressiesysteem alleen te laten werken vanuit rechtgeleiding.



Afb. 72 - Eerste versie



Afb. 73 - Tweede versie

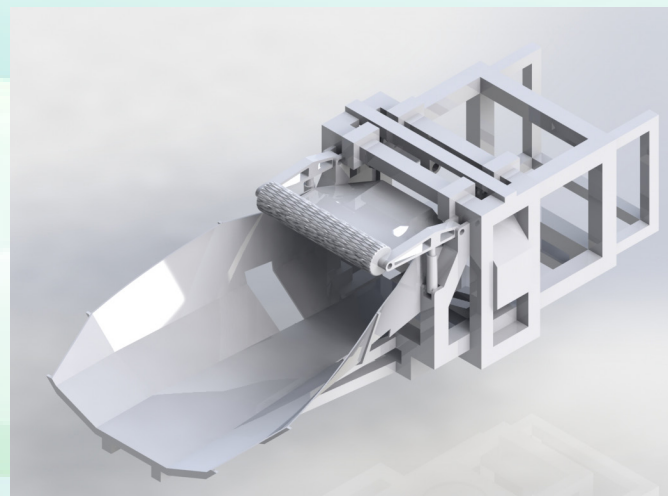


Afb. 74 - Werkende onderdelen

Uitwerking compressiesysteem

Het doel is een systeem maken dat zo eenvoudig mogelijk werkt en gefabriceerd kan worden. Er is gekozen voor een systeem waarbij twee vastgelegde vormen die, wanneer samengedrukt, zorgen voor een tienhoekige ronde bundel. Bij de uitwerking van dit concept blijkt dat er geen ruimte is om de personderdelen te laten geleiden aan de boven- en onderkant van het subframe. Dit is opgelost door de krachten om het sub- en hoofdframe te laten geleiden. (zie afbeelding 72) Een probleem dat hierbij ontstaat is dat het systeem mogelijk overgedefinieerd gaat worden in de vrijheidsgraden.

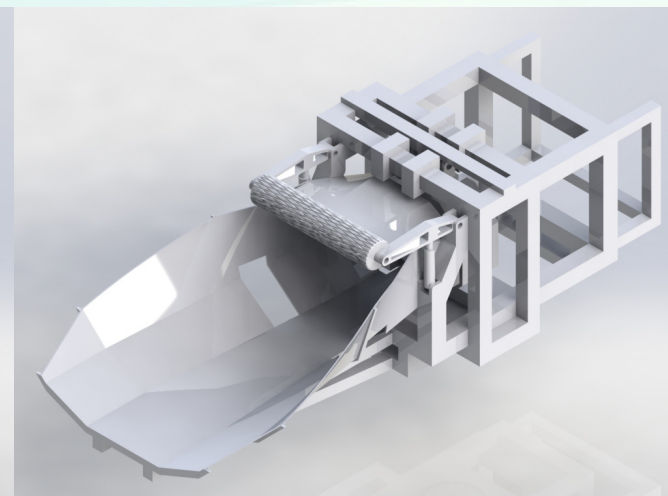
Het werkingsprincipe is verder uitgewerkt naar een compressiesysteem, waarbij de inlaadruimte aansluiting heeft met het hoofd- en subframe. Verder is het hoofdframe verder aangepast om het invoersysteem, waarbij gebruik gemaakt wordt van getande cilinders, mogelijk te maken.



Afb. 75 - Aanpassing concept open

Conclusie compressiesysteem

Aanpassingen aan de inlaadruimte, de frameconstructie en verhoudingen binnen de compressie-onderdelen zorgt ervoor dat rechtgeleiding rechtstreeks aan het subframe kan plaatsvinden. (zie afbeelding 75 en 76) De rechthoekige invoerstroom van takken wordt samengedrukt in de hoeken, waardoor er meer ruimte in het subframe beschikbaar is om onderdelen te plaatsen. Dit zorgt voor een complete aanpassing van het concept, nu blijkt dat de meest simpele en effectieve optie mogelijk is. De geleiding rechtstreeks over het subframe is later uitgewerkt tot een definitieve conceptringing.

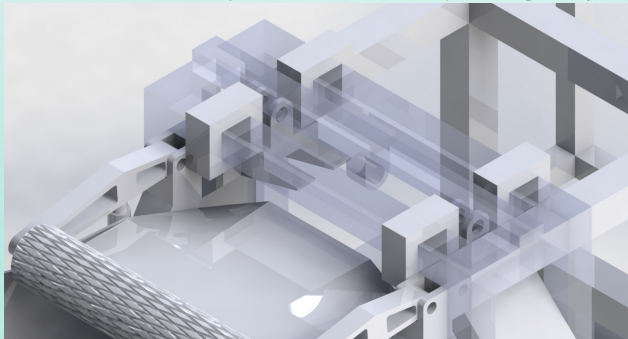


Afb. 76 - Aanpassing concept gesloten

4.2 Definitieve uitwerking

Plaatsing drukcilinders

De definitieve conceptringing is een rechtstreekse geleiding aan het subframe. Wanneer dit systeem de takkenbundel moet samendrukken, wordt duidelijk dat er in de begin- en eindstand geen ruimte is voor het plaatsen van een drukcilinder. Door het gebrek aan ruimte is er gezocht binnen mogelijkheden in het verplaatsen van deze cilinders. Het verplaatsen van de drukcilinder uit het subframe leidt nog steeds tot een gebrek aan ruimte en zorgt ervoor dat deze extra krachtarm een groter werkend moment op de drukcilinders plaatst. Uitbreiding van het subframe blijkt de enige, maar ook meest simpele en effectieve oplossing te zijn.



Afb. 77 - Beschikbare ruimte bij systeem open



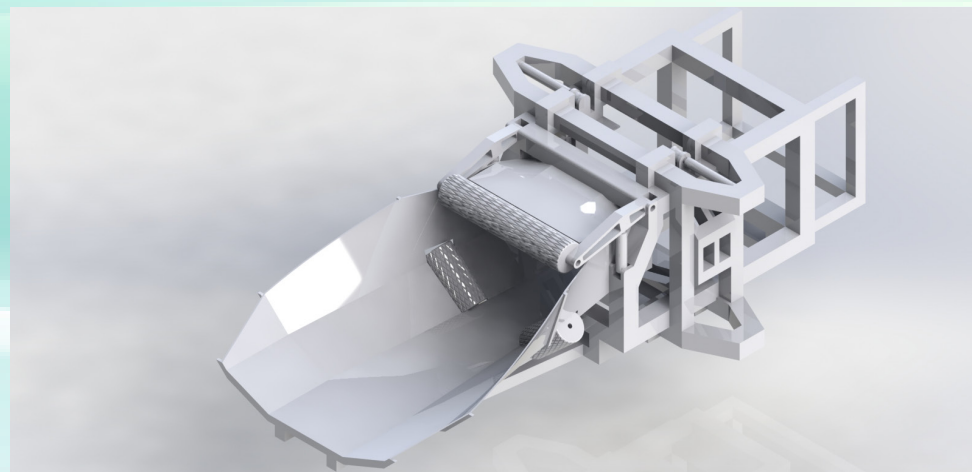
Afb. 78 - Beschikbare ruimte bij systeem gesloten

Resultaat compressiesysteem

Bij het compressiesysteem leveren de drukcilinders nu de kracht rechtstreeks op het subframe. Door een aanpassing in de vormgeving te maken is het nu voor de drukcilinders mogelijk om de complete beweging uit te voeren. Deze drukcilinders persen eerst de twee klemmen naar elkaar, waarna deze over het hoofdframe geleid worden.

Resultaat invoersysteem

Het invoersysteem is in het ontwerpproces stapsgewijs verandert onder invloed van de vooraf gestelde eisen. De vormgeving van de inlaadruimte is gewijzigd naar een open vorm en verlaagd, waardoor het voor de kraan operator beter zichtbaar is waar de takken ingevoerd moeten worden. Verder is de hoek waaronder de gefixeerde getande cilinders zijn geplaatst groter gemaakt, om de takkenbundels beter in elkaar te laten draaien. De krachtarm waaronder de beweegbare getande cilinder werkt is klein gehouden, om zo hogere druk te kunnen leveren.



Afb. 79 - Eindresultaat invoer- en compressiesysteem

4.3 Product systemen

Onderstel

Er is een onderstel geplaatst met standaard afmetingen binnen de landbouw, waarbij een slewing ring zorgt voor de mogelijkheid voor rotatie zowel links- als rechtsom.

Touw bundelsysteem

Het bundelen van de takken gebeurt met hetzelfde touw bundelsysteem als in andere bundelmachines. Het knoopsysteem van een hooibaalmachine is overwogen, maar beoordeeld als minder effectief en met extra ontwikkelingskosten als gevolg.

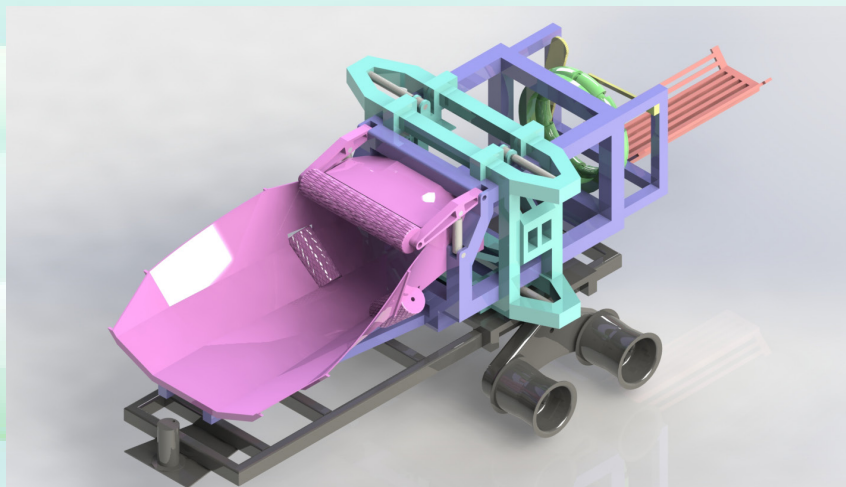
Afzaagsysteem

Verder worden de takkenbundels op maat gemaakt door een zaag. Er is een oplossing waarbij de takkenbundels worden afgeknipt, maar het doel is een eindconcept gericht op budget. De verwachting is dat het afzagen van bundels de goedkoopste oplossing is. Dit afzagen wordt ondersteund door een stang die de bundel vastklemt.

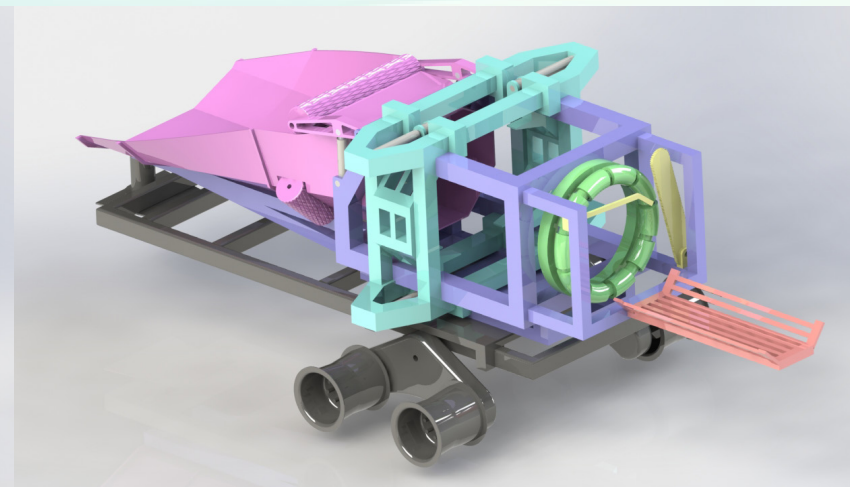
Ondersteuning

Ondersteuning van de takkenbundel vindt plaats door een uitklapbaar systeem, waarbij de takkenbundel met het zwaartepunt op de ondersteuning blijft tot deze is afgezaagd. Bij transport van de bundelmachine is de ondersteuning ingevouwen.

<i>Roze:</i>	<i>Invoersysteem</i>
<i>Licht blauw:</i>	<i>Compressiesysteem en subframe</i>
<i>Donker blauw:</i>	<i>Hoofdframe</i>
<i>Zwart:</i>	<i>Onderstel</i>
<i>Groen:</i>	<i>Touw bundelsysteem</i>
<i>Geel:</i>	<i>Afzaagsysteem</i>
<i>Rood:</i>	<i>Ondersteuning</i>



Afb. 80 - Plaatsing systemen voorkant

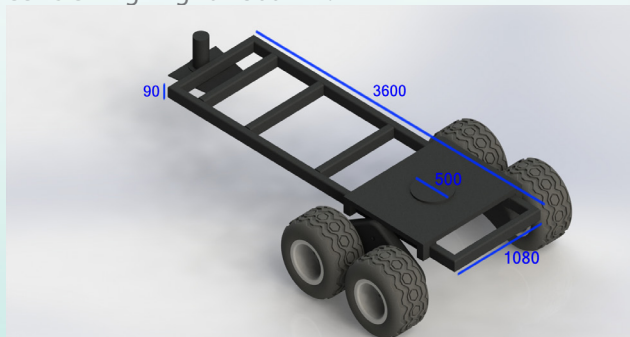


Afb. 81 - Plaatsing systemen achterkant

4.4 Definitieve onderdelen

Onderstel

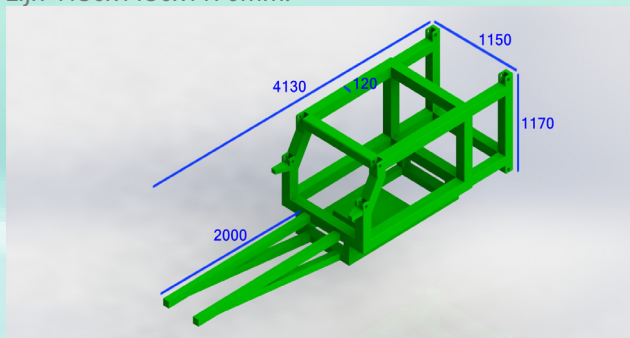
Het onderstel heeft een formaat van 3600x1080mm, en een slewing ring van 500mm.



Afb.82 - Onderstel

Hoofdframe

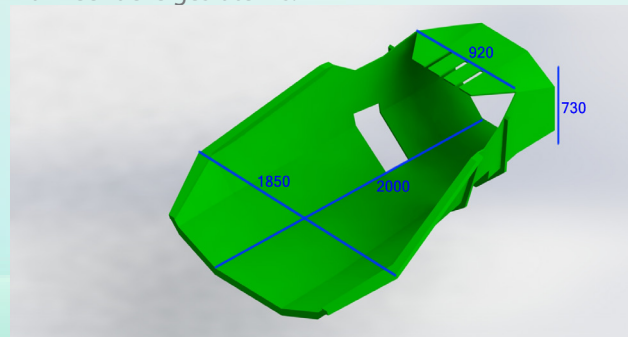
Het hoofdframe heeft een framedikte van 120mm. Verder biedt het ondersteuning voor de inlaadruimte, kan het subframe aan de onder- en bovenkant over het hoofdframe geleiden en ligt het zwaartepunt centraal op de aansluiting van de slewing ring. De totale afmetingen zijn 4130x1150x1170mm.



Afb. 83 - Hoofdframe

Inlaadruimte

De inlaadruimte is verstevigd aan de buitenkant. De bovenste sleuven zorgen ervoor dat takken niet uitsteken nadat ze zijn ingevoerd door de getande cilinders. Verder zijn de gefixeerde getande cilinders onder een grote hoek geplaatst, om grip te krijgen op de takken uit alle richtingen. Ten slotte is het doel om de inlaadruimte zo laag mogelijk te houden om zicht van de operator te garanderen, en is er rekening mee gehouden dat de hijskraan voldoende ruimte heeft om de takken te plaatsen. De inlaadruimte is zo ontworpen dat de beweegbare getande cilinder perfecte aansluiting heeft wanneer deze gesloten is.



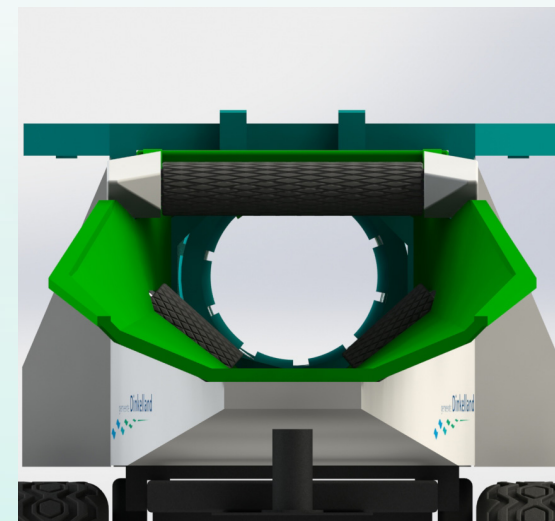
Afb. 84 - Inlaadruimte

Bovenste beweegbare getande cilinder

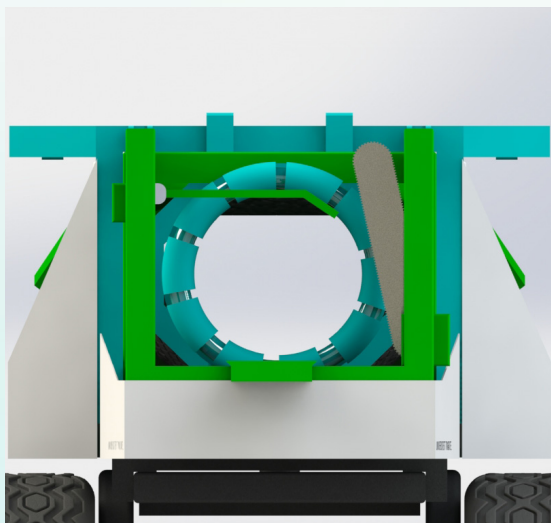
- Lengte 970mm
- Diameter 200mm

Onderste gefixeerde getande cilinders

- Lengte 400mm
- Diameter 200mm
- Hoekgrootte 48 graden



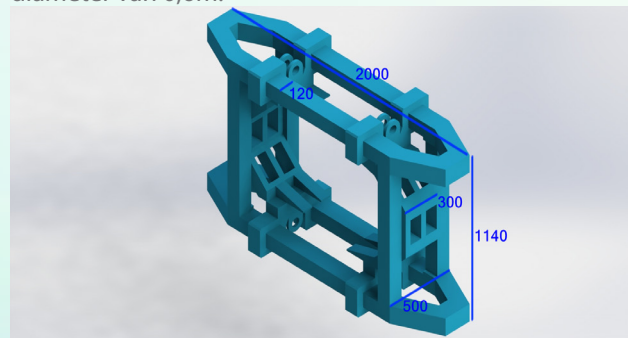
Afb. 85 - Getande cilinders



Afb. 86 - Eindsystemen

Compressie systeem

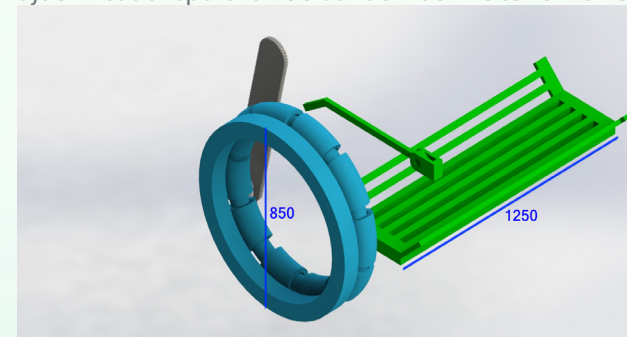
De compressie delen zijn rechte reeks aan het subframe bevestigd door middel van recht geleiding. Per afgerond proces wordt een takkenbundel 500mm door het hoofdframe getrokken, waardoor de complete beweging zes keer uitgevoerd moet worden om één takkenbundel te produceren. De framedikte is 120mm en de compressie delen zijn elk 300mm breed. De takkenbundel wordt door het systeem in een tienhoekige vorm gedrukt met een diameter van 0,6m.



Afb. 87 - Subframe

Touw-, zaag en ondersteuningssysteem

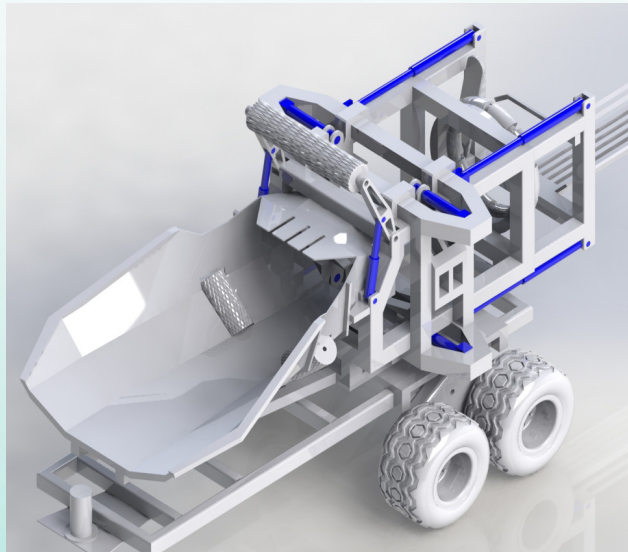
Het touw-bundelsysteem is relatief groot aangehouden, met een totale diameter van 850mm. Het afzagen gebeurt door een zaag en een stang klemt de bundel vast tijdens het zagen. Ondersteuning van de takkenbundel gebeurt door een rooster dat inklapbaar is, om de lengte tijdens het transport van de bundelmachine te verkleinen.



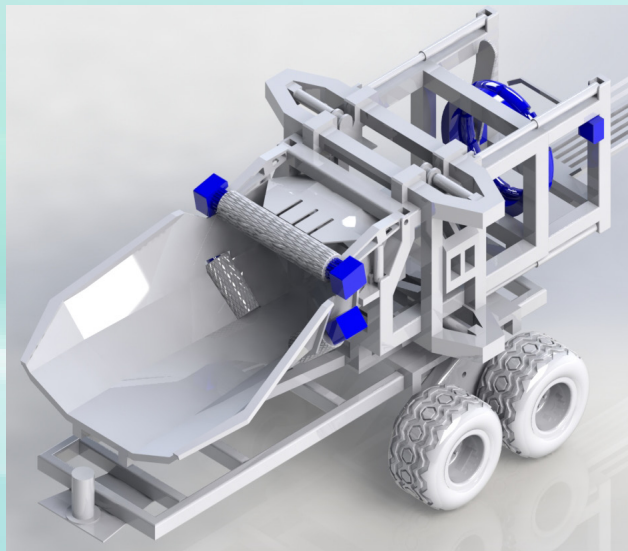
Afb. 88 - Touw-, zaag en ondersteuningssysteem



4.5 Actuatoren en drukcilinders

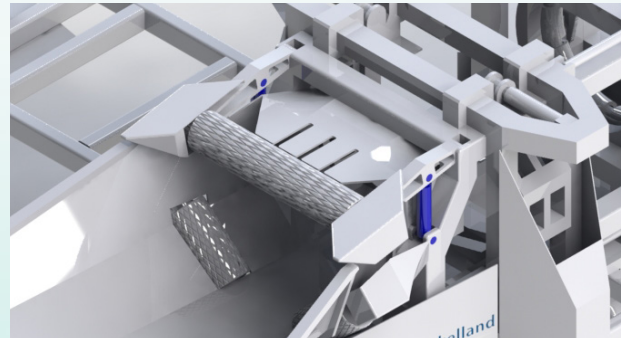


Plaatsing van tien drukcilinders

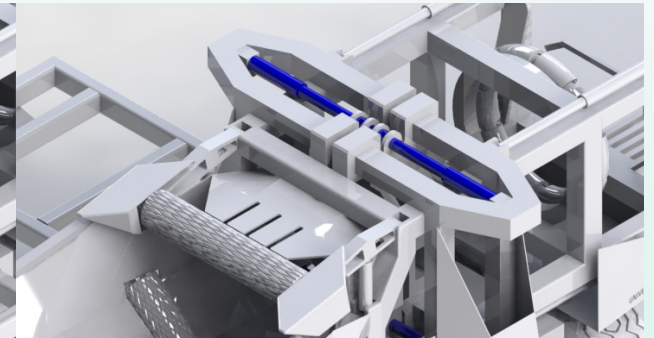


Plaatsing van vier actuatoren, plus actuatoren in touw-
bundelsysteem en zaagsysteem

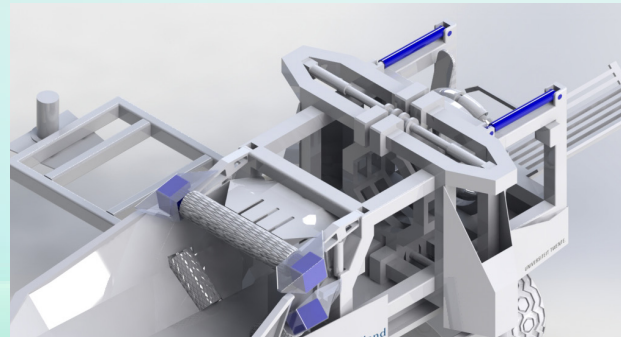
4.6 Controle hydraulisch systeem



Stap 1: Arm dalen, twee drukcilinders

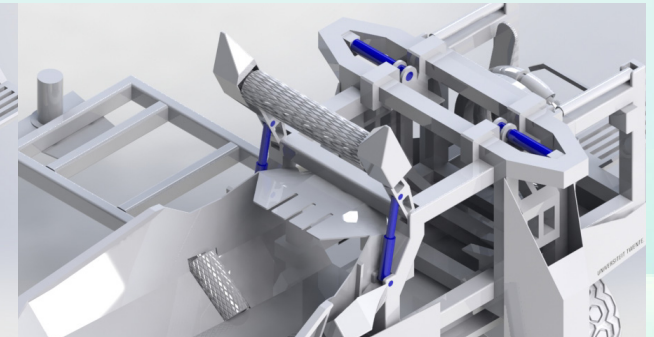


Stap 2: Compressie delen sluiten, vier drukcilinders



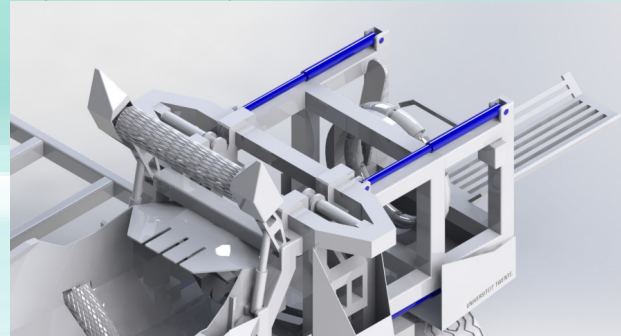
Stap 3: Takken invoeren, vier actuatoren

Stap 4: Subframe verplaatsen, vier drukcilinders



Stap 5: Compressie delen openen, vier drukcilinders

Stap 6: Arm heffen, twee drukcilinders



Stap 7: Subframe verplaatsen, vier drukcilinders

	Stap1	Stap2	Stap3 & Stap4	Stap5 & Stap6	Stap7
Actuatoren	2 drukcilinders	4 actuatoren	4 actuatoren 4 drukcilinders	4 drukcilinders 2 drukcilinders	4 drukcilinders
Flowrate	22l/min	96l/min	196l/min & 44l/min	96l/min & 22l/min	44l/min
Totaal	22l/min	96l/min	240l/min	118l/min	44l/min
Tijdsduur	3,4 sec	5 sec	7,1 sec	5 sec	7,1 sec

Tabel 14 - Flowrate en tijdsduur

De maximale flowrate die het systeem nodig heeft is 240l/min. Verder heeft de bundelmachine 31 seconden nodig om de takkenbundel 500mm te verwerken. In totaal houdt dit in dat er voor de verwerking van een complete takkenbundel van 3000mm ongeveer 3 minuten nodig is. De getande cilinder heeft met een diameter van 200mm ongeveer 2,5 omwentelingen nodig om de takkenbundel 500mm te verplaatsen. De takkenbundel wordt gelijktijdig verplaatst door het compressie systeem, die 7,1 seconden doet over 500mm. Als resultaat heeft de getande cilinder een toerental van 21 omwentelingen per minuut. Om dit te verkrijgen zal de overbrengingsverhouding verlaagd worden. (zie Bijlage IX)

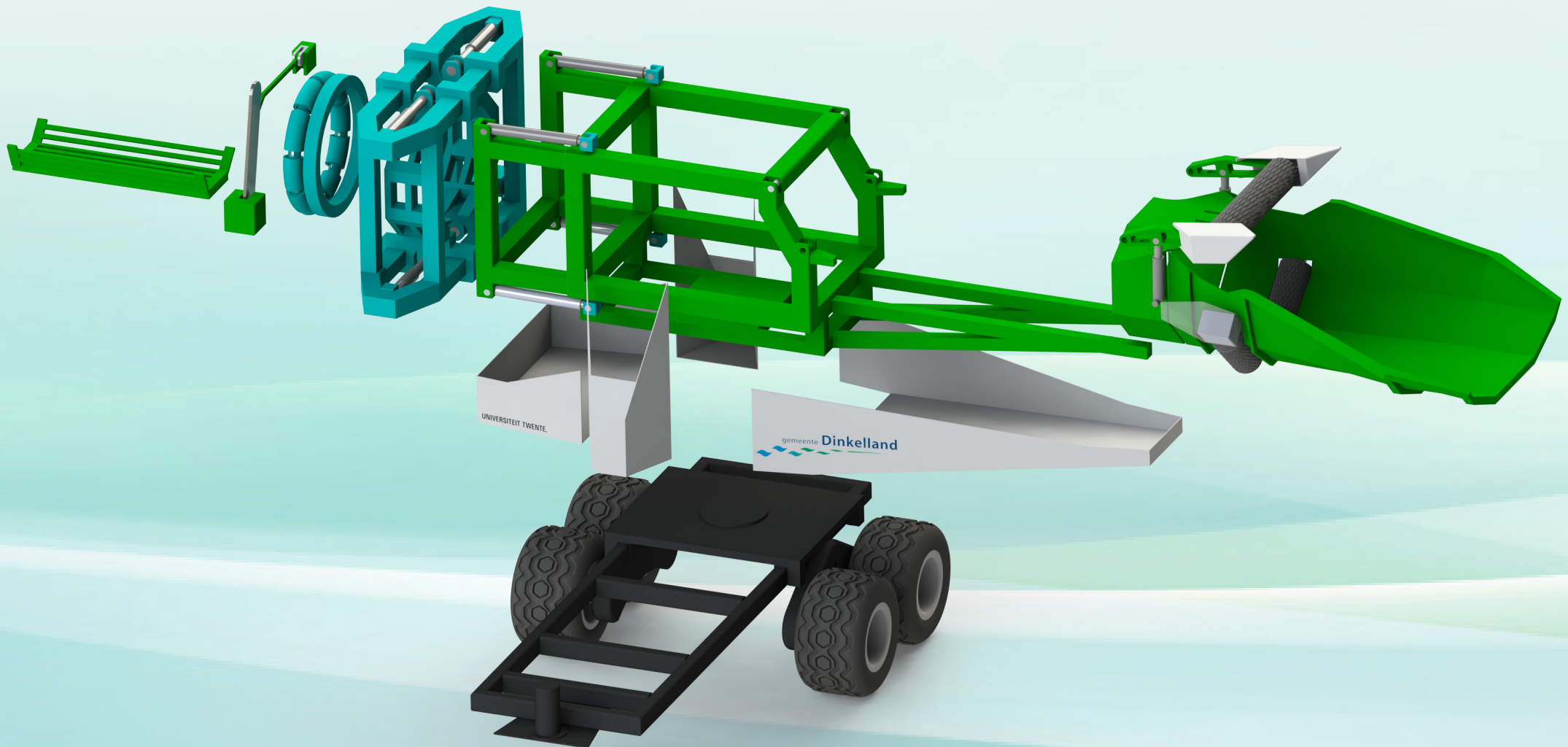
De aandrijving van het systeem vindt plaats door de hydraulische pomp. Deze pomp is verwerkt in de tractor van ongeveer 180 tot 200pk waarbij als voorbeeld de John Deere 6R tractor is genomen. Deze heeft een hydraulisch systeem waarbij de flowrate 155l/min is vanuit een 63cc pomp met een maximale systeemdruk van 200 bar. Bestaande bundelsystemen worden aangedreven door een hydraulisch systeem waarbij de maximale druk 250 bar is en de minimale flow van 175l/min is.

Conclusie

Aangezien het ontworpen systeem niet voldoet aan de flowrate van 155l/min, maar 240l/min vraagt van de hydraulische pomp, is het mogelijk dat het systeem niet alleen op de aandrijving van de tractor kan werken. De bottleneck ontstaat bij de vier actuatoren waarbij uitgegaan is van een axial piston fixed motor AA2FM van Boschrexroth. Er is bij deze motor uitgegaan van een maximale belasting met een hoog toerental. Hierdoor is de verwachting dat de flowrate na aanpassingen in vertanding en toerental lager zal zijn.

Concluderend, de werking van het systeem kan pas gegarandeerd worden na de detaillering. Wanneer er blijkt dat de bundelmachine teveel van de hydraulische pomp vraagt, kan het systeem uitgebreid worden. Er kan een extra olietank geplaatst worden van 400L tot 455L of een extra hydraulische pomp om het systeem te ondersteunen.

5. Eindconclusie



Exploded view eindconcept

5.1 Conclusie en aanbeveling

Conclusie

Het doel van dit project was een bundelmachine ontwerpen die geschikt is voor het verwerken van takhout uit houtwallen. Vanuit de analyse kwam naar voren dat het mogelijk is om een bundelmachine te ontwerpen waarin het gehele verwerkingsproces is geïntegreerd. Verder kwam er uit de analyse dat de kostprijs zo laag mogelijk moet zijn, waardoor de tweede ideeëricting gericht is op het zo laag mogelijk houden van de kosten.

Het voornaamste verschil in beide ideeërictingen zit in het aantal operators, de toevoeging van een extra tractor en de keuze tot het wel of niet ontwerpen van de hijskraan- en transportfunctie. Omdat er geen grote vraag vanuit de markt is naar een bundelmachine, en op basis van gesprekken met de opdrachtgever, is het doel de productiekosten van de bundelmachine zo laag mogelijk te houden.

Het ontwerp volgt ongeveer hetzelfde werkingsprincipe als de huidige bundelmachines en zal qua kostprijs lager zijn. Het verschil in de kostprijs is het resultaat van onderstaande aanpassingen:

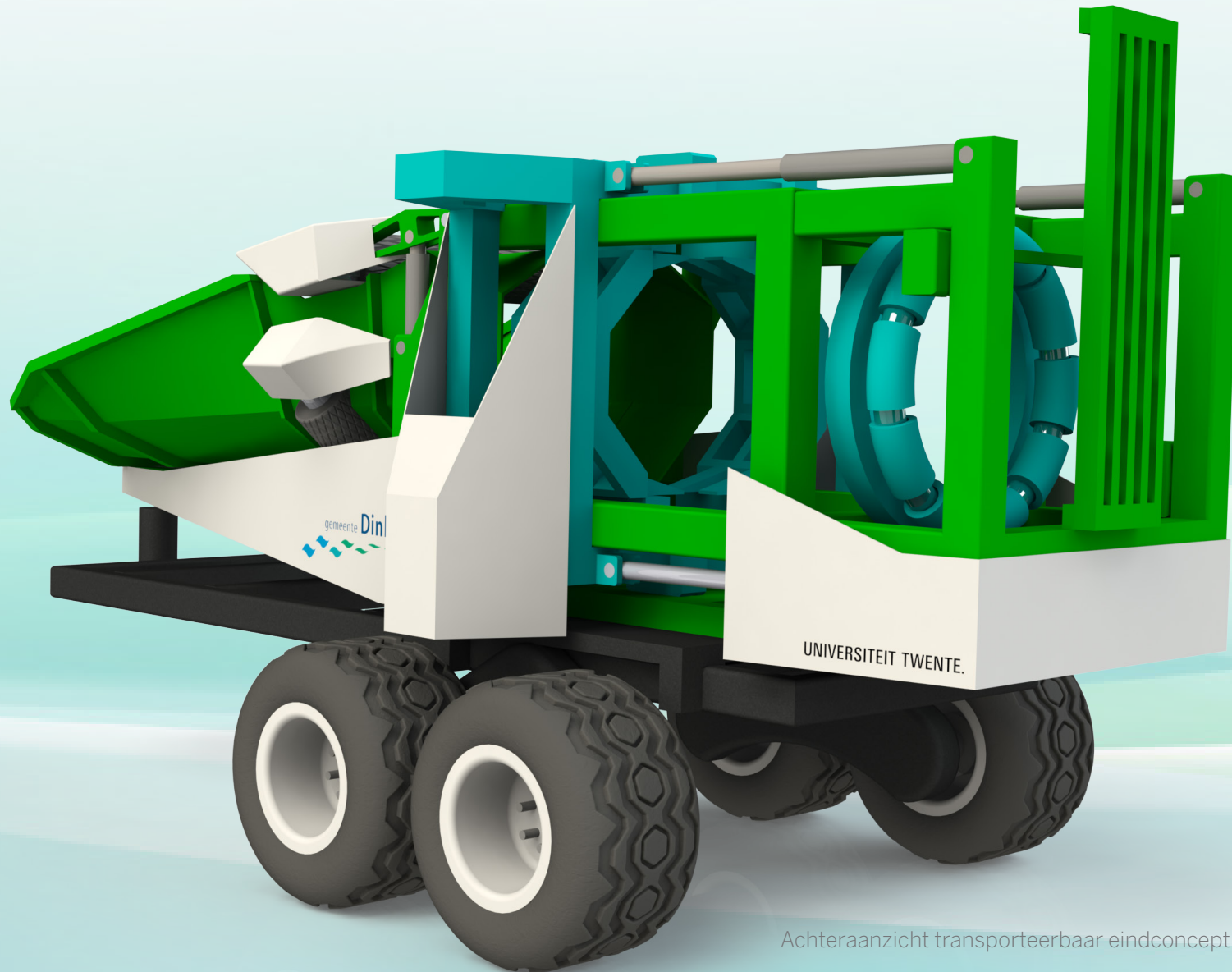
- *De bundelmachine wordt voortgetrokken en aangedreven door een tractor;*
- *Transport en het invoeren van takken wordt verzorgd door een extra tractor met hijskraan;*
- *De takkenbundels worden ingevoerd door drie getande cilinders in plaats van vier;*
- *Compressie van de takkenbundels is versimpeld;*
- *De diameter van de takkenbundels is verkleind van 0,7-0,8m naar 0,6m.*

Concluderend kan er gesteld worden dat aan alle vooraf gestelde eisen is voldaan, behalve dat in het ontwerp het transport en inladen van takhout niet is meegenomen. Verder is het aannemelijk dat het concept zal gaan werken, omdat het werkingsprincipe dicht bij de huidige bundelmachines blijft. Door functies uit te besteden is er een effectieve versie van een bundelmachine ontworpen. De ontworpen bundelmachine is dus het meest geschikt om te worden toegepast binnen de gemeente Dinkelland.

Aanbeveling

Het resultaat van dit project is een bundelmachine die tot en met de conceptfase is ontworpen. De berekening, waarbij er gecontroleerd wordt of de bundelmachine aangedreven kan worden door het hydraulische systeem, is gebaseerd op aannames en schattingen. Om de werking van het concept te garanderen zal het ontwerp nog verder in detail moeten worden aangepast, door onder andere krachtberekeningen, definitieve actuatoren te kiezen en de kostprijs te bepalen.

Bijlagen



Achteraanzicht transporteerbaar eindconcept

Bijlage I: Richtlijnen beheer

Noordoost Twente heeft richtlijnen opgesteld ten behoeve van het onderhouden van een houtwal of houtsingel. Het beheer van een houtwal of houtsingel vindt plaats in de periode van 1 oktober tot 15 maart en bij berkenhakhout tussen 1 oktober en 15 februari.

Onderhoud van houtwallen kan ingedeeld worden in vier verschillende soorten:

- *Jaarlijkse onderhoud;*
- *Tussentijdse ingrepen;*
- *Eventuele eindkap;*
- *Verwijderen van ongewenste soorten.*

Jaarlijks onderhoud

Het jaarlijks onderhoud bestaat uit het verwijderen van ongewenste gewassen uit de wal of singel. Hierbij gaat het om uitheemse soorten en bijvoorbeeld het maaien van braam en ruigtekruiden.

Tussentijdse ingrepen

Tussentijdse ingrepen (één of twee keer binnen 15 jaar) zijn bedoeld om de overhangende takken te verwijderen. Naast het reguliere onderhoud zullen opgevallene plekken moeten worden opgevuld met nieuwe aanplant.

Eindkap

De eindkap vindt eens in de 6 tot 10 jaar plaats en is voornamelijk afhankelijk van de groeisnelheid. Indicatief kan er uitgegaan worden van stammen met een maximale diameter van 20 centimeter. Bij de eindkap worden alle stammen afgezet op 5 tot 15 cm boven de grond. Het doel van deze maatregel is het verjongen van de beplanting. Bij het afzetten is het van belang dat er genoeg licht op de bodem valt om de stobben te laten uitlopen. Om te voorkomen dat een kaal landschap ontstaat en dieren worden weggejaagd is het afzetten van de houtwallen gefaseerd.

Verwijderen van ongewenste soorten

Ongewenste soorten verwijderen houdt in dat boom- en struiksoorten die gaan overheersen maar niet in de houtwal of houtsingel thuishoren, moeten worden gerooid. Dit zijn bijvoorbeeld de Amerikaanse vogelkers (prunus), gewone esdoorn, Noorse esdoorn en ratel-populier.



Bijlage II: Bepaling snoeiscenario

Situatie 1



Afb. 1 - Snoeien houtwal (3 tot 5 personen)

Afb. 2 - Verwijderen van spilhout



Afb. 3 - Verkleinen takhout

Afb. 4 - Plaatsing naast de houtwal

Voordeel	Nadeel
Takken dikker dan 12cm zijn al verwijderd voor brandhout	Veel personen
Kleine stukken zijn makkelijk te verplaatsen	Tijdsintensief
Bundel droogt sneller door dunne takken	Geen energiewinst uit het verwijderde brandhout
Takken kunnen goed geplaatst worden voor de bundelmachine	Slepen van hout zorgt voor vervuild hout



Voordeel	Nadeel
Vrijwel geen snoeiwerk	Lastig te verwerken
Lage kosten snoeien houtwal	

Situatie 3



Afb.7 - Snoeien houtwal (3 tot 5 personen)

Afb. 8 - Verwijderen van spilhout



Afb. 9 - Verkleinen takhout

Afb. 10 - Op de houtwal laten liggen

Voordeel	Nadeel
Tijdswinst	Bundelmachine moet bij het hout kunnen komen
Takken dikker dan 12cm zijn al verwijderd voor brandhout	
Bundel droogt sneller door dunne takken	
Tijdswinst	

Situatie 2

Afb. 5 - Snoeien houtwal (2 personen)

Afb. 6 - Compleet op de houtwal laten liggen

Situatie 4



Afb. 11 - Snoeien houtwal (3 tot 5 personen)

Afb. 12 - Verkleinen takhout



Afb. 13 - Plaatsing naast de houtwal

Voordeel	Nadeel
Kleine stukken zijn snel te verplaatsen	Veel personen
Minder snoeiwerk	Tijdsintensief
Meer energiewinst uit het hout	Slepen van hout zorgt voor vervuild hout
Takken kunnen goed geplaatst worden voor de bundelmachine	Takken boven een diameter van 12cm zijn lastig te verwerken
	Bundel droogt minder snel door hoge diameter takken

Bijlage III: Hout kenmerken

Calorische waarde

Deze waarde is gecontroleerd om na te gaan welke vorm van gedroogd hout precies is toegepast in de berekening. De calorische waarde van vaste stoffen is gegeven. Hierbij wordt rekening gehouden met de verschillende soorten hout en het percentage vocht dat hierin beschikbaar is. Deze bron verwijst niet direct vermeld naar de oorsprong van de informatie maar vermeldt wel dat er zoveel mogelijk bronnen zijn geraadpleegd.

- Hout, loofbomen (50% vocht)	9,5 GJ/ton
- Hout, lucht gedroogd (20% vocht)	15,5 GJ/ton
- Hout, stammen (droog)	19,1 GJ/ton
- Hout, takken (droog)	20,1 GJ/ton
- Hout, ongedefinieerd (droog, gemiddeld)	19,8 GJ/ton

Hierdoor kan er uitgegaan worden dat er in het rapport gebruik is gemaakt van ongedefinieerd hout dat gedroogd is. Aangezien er takken gebundeld worden in de bundelmachine en geen stammen levert dit volgens de bron een hoger calorische waarde op (20,1 GJ/ton). Kanttekening is wel dat dit wel een hoog aangehouden waarde is aangezien winddroog hout een lagere calorische waarde heeft. Al met al kan er geconstateerd worden dat 19,8 GJ/ton een reële waarde is. De waarde kan niet precies vastgesteld worden.

Calorische waarde verschillende houtsoorten

Boomsoort	Massadichtheid droog (kg/m ³)	Energie per kg (MJ/kg)
eik	750	11.40
beuk	750	11.40
kastanje	700	11.36
berk	650	11.38
wilg	550	11.40

Van meeste invloed op houtkenmerken heeft de massadichtheid van hout. De massadichtheid van hout is

afhankelijk van de houtsoort, het vochtgehalte en in minder mate van de jaarringbreedte. In bovenstaande tabel staat het soortelijk gewicht voor enkele houtsoorten in luchtdroge toestand (een vochtgehalte van 20 %) Verdere invloeden op massadichtheid, energie en kracht worden bepaald door de vormgeving van het hout. Nerfstructuur, schors en vochtigheid bepalen voor een groot gedeelte de rest van de variabelen.

Buigsterkte

Houtsoorten met een hogere massadichtheid hebben over het algemeen een hogere buigsterkte. Van invloed op de buigsterkte is ook het vochtigheidspercentage in het hout. Hoe hoger dit percentage, dus hoe verser, hoe beter het hout te buigen is. Over het algemeen wordt er bij hout gesproken over een elasticiteitsmodulus hout van 0,6 tot 1,0 GPa.

Buigproef

Er is een buigproef uitgevoerd op de eik, welke de meest taaie boom is. Doordat er nog water zit opgenomen in de moleculen van het hout resulteert dit in een lagere elasticiteitsmodulus dan gedroogd hout. De theoretische elasticiteitsmodulus van eikenhout is 9800 N/mm². Uit een onderzoek werd duidelijk dat de waardes afwijkend worden wanneer er vochtig hout gebogen wordt. De uitkomst van vier metingen gaven een gemiddelde van 4134 N/mm² als er langs de nerf werd gebogen. Dwars op de nerf gaf een sterk lagere waarde van 904 N/mm². Het verschil in droog en nat hout is voornamelijk uitgevoerd bij dennenhout. Het gemiddelde resultaat uit vier testen toont aan dat de elasticiteitsmodulus van droog dennenhout 5469 N/mm² is. Van nat dennenhout is dit 4641 N/mm². Er komt uit het experiment dus dat nat hout de elasticiteitsmodulus 15% lager heeft dan droog hout.



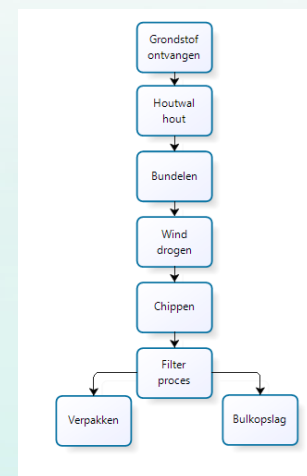
Bijlage IV: Houtchips en houtpellets

Er kan gesteld worden dat de krachten bij het bundelen plaats moeten vinden in de dunste onderdelen van de takken. Om bundels te creëren zal er op dezelfde manier gewerkt moeten worden als de rest van de machines. De takken worden in de lengte aan elkaar gebundeld. Eventuele dikke uitsparingen van de takken zullen niet meer bedragen dan 10cm.

Houtchips

Momenteel is het eigenlijk alleen tak en tophout vanuit de gemeentes dat verwerkt wordt tot houtchips. Dit omdat gemeentes ervoor betalen dat al het vrijkomende hout wordt afgevoerd. Hierdoor is het financieel rendabel om houtchips te produceren. Een belangrijke stap in het proces van de houtchips is het filteren van de houtchips. Chips moeten een standaard kwaliteit hebben, wat zorgt voor een extra verwerkingstap.

Wanneer takkenbundels gedroogd aan zullen komen bij verwerkingsinstallatie Twence, dan worden deze gesorteerd aan de hand van de grootte, vochtigheid, as gehalte en dichtheid. De norm die hiervoor wordt aangehouden is de o-norm.



Afb. 14 - Verwerkingsproces houtchips

Classificatie afmetingen houtchips

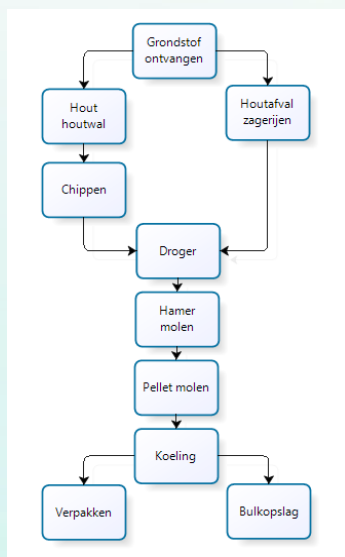
Chip designation	< 4% of particles	< 20% of particles	60-100% of particles	< 20% of particles	Max. area cm ²	Max. length cm
G30	< 1 mm	1 – 3 mm	3 – 16 mm	> 16 mm	3	8,5
G50	< 1 mm	1 – 6 mm	6 – 32 mm	> 32 mm	5	12
G100	< 1 mm	1 – 11 mm	11 – 63 mm	> 63 mm	10	25
G120	< 1 mm	1 – 63 mm	63 – 100 mm	> 100 mm	12	30
G150	< 1 mm	1 – 100 mm	100 – 130 mm	> 130 mm	15	40

Classificatie vochtgehalte

Quality class designation	Moisture content	Description
W20	< 20%	Air dry
W30	20% - 30%	Storable
W35	30% - 35%	Storable within limits
W40	35% - 40%	Wet
W50	40% - 50%	Green (freshly harvested)

Classificatie dichtheid

Chip designation	Material density in kg/m ³	Density definition
S160	< 160	Low
S200	160 – 250	Medium
S250	> 250	High



Afb. 15 - Verwerkingsproces houtpellets

Classificatie as-gehalte

Chip designation	Ash content as % fuel weight	Ash content definition
A1	< 1%	Low
A2	> 1%	High

Eerst worden de houtchips geselecteerd op de grootte. Over het algemeen geldt dat hoe kleiner en hoe meer uniform hoe beter het resultaat is. Dit verkleinen zal bij Twence gebeuren. Het goedkoopste en meest geschikt voor het verkleinen van takkenbundels is een shredder. De keuze ligt bij Twence of de houtstukken verder gechipt moeten worden of dat dit resultaat voldoende is. Het hoogst haalbare doel is de G30 klassering. Het zeven zorgt voor een extra bewerking bij Twence, en dus extra onkosten aan het omzetten van bundels naar biomassa energie.

Een andere klasse is het vochtgehalte. Doordat de bundels als winddroog zijn, hebben ze de hoogste klassering. Hier hoeft Twence geen energie meer in te stoppen om tot een hoge kwaliteit te komen.

De dichtheid hangt af van de houtsoort die verwerkt is in de takkenbundels. Eik is een houtsoort met een hoge dichtheid. Aangezien dit de hoofdsoort is die uit de takkenbundels komt zorgt dit voor een relatief goed eindresultaat. Maar omdat dit niet de enige soort is en er ook berken, elzen en wilgen op staan zal de houtkwaliteit gemiddeld zijn. Er kan gerekend worden op de norm s200. De kwaliteit zal wisselend zijn per bundel omdat niet elke houtwal op dezelfde manier is opgebouwd.

De laatste factor is het as-gehalte van de houtchips. Dit as-gehalte is afhankelijk van het aandeel groen in chips. As zorgt voor slakvorming in de ketel waardoor er hoge onderhoudsonkosten bij komen. Vooral naalden en bladresten van de bomen hebben hier een veel invloed op omdat deze veel alkaliën en zouten bevatten. Doordat het hout gebundeld wordt in de winter is al het blad al van de bomen gevallen. Hierdoor zal het snoeihout weinig as bevatten. Een kanttekening is wel dat chips van takhout

minder schoon zijn dan chips van spilhout. Spilhout is schoner doordat dit relatief minder schors bevat.

De conclusie hieruit is dat er bij Twence nog extra kosten komen voor het filterproces. De bundels moeten tot een homogene stroom verwerkt worden wat zorgt voor extra bewerkingen. Dit filterproces gaat van invloed zijn op de vergoeding voor de houtchips.

Houtpellets

Het verbruik van houtpellets is in Europa in de laatste jaren zeer sterk gestegen. Van 3,8 miljoen ton in 2005 naar 9,8 miljoen ton in 2010. Het grootste voordeel is dat houtpellets schoon opbranden en ook afgezet kunnen worden bij kleinen huishoudens. Meestal worden de pellets geproduceerd van uit het resthout uit zagerijen. Dit zaagsel wordt samengeperst tot een korrel waarna deze verbrandt wordt.

Houtpellets worden over grote afstanden geïmporteerd omdat zagerijen vanuit Nederland niet voldoende zaaghout kunnen opbrengen voor de vraag die er Momenteel heerst. Door de grote vraag worden momenteel ook verse loofhoutbomen gebruikt die omgezet worden tot houtpellets. Wanneer deze bomen vanuit externe landen zoals Canada moeten komen, dan kost dit extra energie. Deze stap kan uit het proces gehaald worden wanneer het ronde spilhout uit houtwallen verwerkt wordt tot houtpellets. Dit hout is van een hoge kwaliteit, en mag in het proces geen vervuiling van zand krijgen.

Wanneer houtpellets geproduceerd zouden worden in Nederland levert dit extra arbeidsplaatsen op. Houtpellets worden momenteel veel geïmporteerd en productiekosten van houtpellets zijn wel twee keer zo hoog als die van houtchips. De opkoopprijs van pellets is

daardoor dan ook twee- tot driemaal zo hoog als die van chips. De afzetmarkt is groeiend doordat een consument weinig extra handelingen nodig heeft om houtpellets te verstoken. Ook is de fijn stof die vrij komt relatief laag waardoor huishoudelijke consumenten ook gebruik kunnen maken van de grondstof.

Verschil houtchips of houtpellets

	Pellets	Houtchips
Vochtpercentage	10%	20%
Energiewaarde	16,8 MJ/kg	15,5-19,8MJ/kg
Investeringskosten kachel	Lager	Hoger
Prijs per ton	140-160	30-80
Transport	Hoge compactheid + Wel tussenhandelaar	Gem. compactheid ++ Geen tussenhandelaar
Transport kosten	Als eindproduct: laag	Als eindproduct: gemiddeld
Productiekosten	Hoger	Lager
Afzetmarkt	Hoger	Lager
As gehalte	0,5%	0,5-1,5%

Afb. 16 - Vergelijking houtchips en houtpellets

Bijlage V: Berekening economisch voordeel

Variabelen	Aantal km	60
	Kostprijs bundel	6

Oorspronkelijk scenario	Euro per ton	Euro per ton/km	Aantal km	60
Kostprijs snoeien (snoeihout gemeente)	4,2			
Laad- en los kosten	14			
Transport		0,69		
Overdekte opslag (2 maanden)	8			
Versnipperen (50-250mm, inclusief filtreren)	15,5			
Kosten vrachtauto (80m3)	1,5			
Transport naar verbrandingsinstallatie		0,04		
Totaal aan vaste kosten	39			
Totaal aan variabele kosten		43,8		
Totaal euro per ton	82,8			
Totaal gemeente Dinkelland (euro)	28648,8			

Takkenbundel scenario	Euro per ton	Euro per ton/km	Aantal km	60
Kostprijs snoeien (snoeihout gemeente)	4,2		Gelijk	
Bundelkosten	10		Schatting	
Laad- en los kosten	14		Gelijk	
Transport		0,31	x 0,447	
Opslag bij de boer	6		Schatting	
Versnipperen (50-250mm)	7,75		x 0,5	
Kosten vrachtauto (80m3)	1,5		Gelijk	
Transport naar verbrandingsinstallatie		0,04	Gelijk	
Totaal aan vaste kosten	43,41			
Totaal aan variabele kosten		20,9		
Totaal euro per ton	64,3			
Totaal gemeente Dinkelland (euro)	22253,3			

Totaal verschil (euro)	6395,5
------------------------	--------

	Oorspronkelijk	Houtbundel	Verschil
Kostprijs aannemer (inclusief transport)	59,6	46,7	-12,9
Opbrengst aannemer	35	0	-35,0
Voordeel voor aannemer (euro)	-47,9		

Afb. 17 - Excel berekening

- €12,00/stere snoeihout gemeente;
- €6,50/meter snoeien singel handmatig;
- €3/meter versnipperen;
- Machinaal versnipperen helft aan kosten;
- €7/ton transporteren (straal 60km) 2,63/m3;
- 30 ton met 30% vocht scheelt 34.500 KWh op 1 vracht.

Bijlage VI: Concurrentie analyse

Kingwell Fiberpac 370B

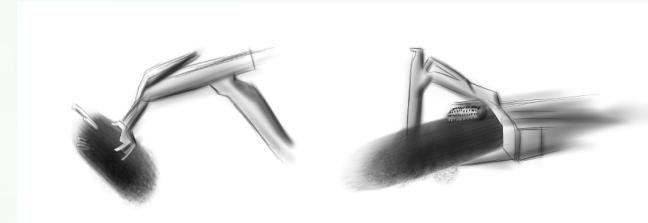


Zelfde werking en vergelijkbare grootte als de John Deere 1490D

Monra Enfo 2000



Het werkingsprincipe is hetzelfde als de John Deere. Het verschil zit in grotere rollers aan de voorkant en het afknippen van de bundels. De grootte van de machine is ongeveer hetzelfde als de John Deere. De machine is geschikt voor grote takken.



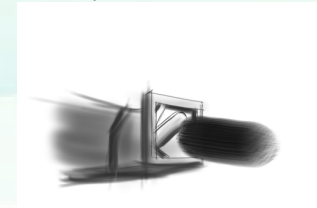
Afb. 18 - Oppakken takhout

Afb. 19 - Invoeren en samendrukken. Cilinders zij- en onderkant zijn gefixeerd

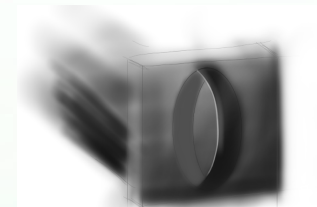


Afb. 20 - Pers voert de takkenbundel door de machine

Afb. 21 - Tijdens het doorvoeren wordt er een touw omheen gewikkeld



Afb. 22 - Bij Kingwell wordt de takkenbundel afgezaagd

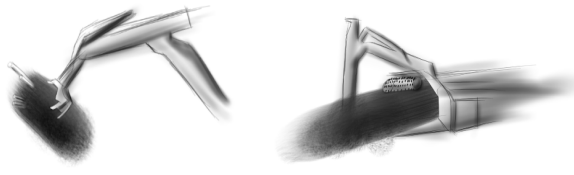


Afb. 23 - Bij Monra Enfo wordt de takkenbundel afknipt

Pinox 330 (bedrijf bestaat niet meer)



Het materiaal is hier ook samengedrukt maar doordat er niet twee keer een samendrukking plaats vindt is er uitgegaan van een minder compacte bundel. Het proces verloopt iets trager dan de John Deere maar is wel een stuk kleiner. Er wordt vanuit gegaan dat de kosten ook lager zijn dan de John Deere. De machine is geschikt voor grote takken.



Afb. 24 - Oppakken takhout

Afb. 25 - Samengedrukt door rolbank en cilinders welke de takkenbundel persen



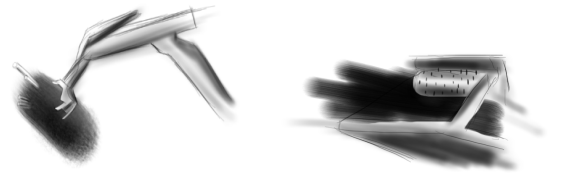
Afb. 26 - Wanneer de bundel is samengedrukt wordt het touw gewikkeld

Afb. 27 - De takkenbundel wordt afgezaagd

Flexus Bala Biomass Baler

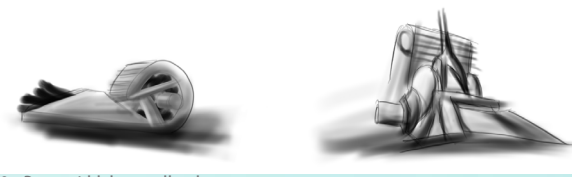


Werkt door middel van een rolbank. Binnenin wordt het hout gerold waarna er een plastic folie omheen gewikkeld wordt. Wanneer de bundel klaar is gaat het mechanisme open en wordt er een verpakte baal uitgehaald. Deze machine is alleen geschikt voor klein resthout.



Afb. 28 - Oppakken takhout

Afb. 29 - Invoer door middel van één vaste getande cilinder



Afb. 30 - Door middel van rolbanken samenpersen

Afb. 31 - Verpakken in plastic en uitnemen

Valmet Woodpac 860



Valmet WoodPac 860 kan gebruikt worden en gemonteerd op een voertuig of stationair met een gemonteerde motor. De werking van deze machine is om takken te bundelen en daar langwerpige balen van te maken. Werkt door middel van rollers en is vergelijkbaar met de flexus bala biomass baler alleen dan andere richting. Ook deze methode is alleen geschikt voor klein resthout.

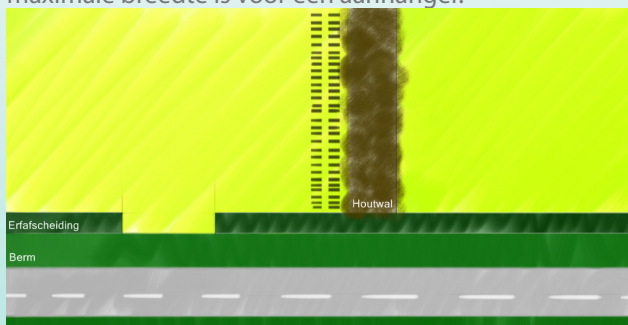
Anderson Biobaler



De machine is bedoeld voor kleine geplante bomen die bedoeld zijn voor het opwekken van bio-energie. De maximale dikte is 10 cm. De machine hakt eerst de bomen af, waarna ze op worden gerold op dezelfde manier als de Flexus.

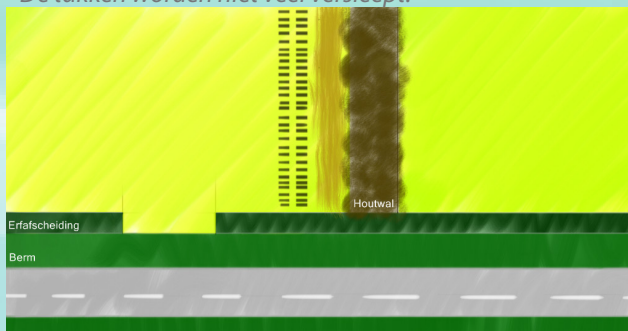
Bijlage VII: Rijpad bundelmachine

Bij het rijpad moet voorkomen worden dat de takken vervuild worden met zand en hout. Verder is van belang dat de takken goed bereikbaar blijven om in de bundelmachine te laden. Het rijpad van de bundelmachine zal niet meer dan 3 meter, de maximale breedte van een tractor, bedragen. De bundelmachine zelf zal niet breder zijn dan 2,50 meter aangezien dit de maximale breedte is voor een aanhanger.



Takken aanbieden in de houtwal zorgt ervoor dat er zo min mogelijk grond van de boer wordt overreden. Het hout moet op deze manier nog wel uit de houtwal gehaald worden met behulp van de bundelmachine.

- *Weinig schade aan het erf;*
- *Bundelmachine moet het hout uit de houtwal halen;*
- *De takken worden niet veel versleept.*



Een ander scenario is het rijpad van de bundelmachine naast de takken. Doordat de bundelmachine ernaast rijdt wordt er meer erf gebruikt dan het andere scenario. Deze werkzaamheden worden in de winterperiode (december/januari) uitgevoerd en zal het land dus niet intensief gebruikt worden.

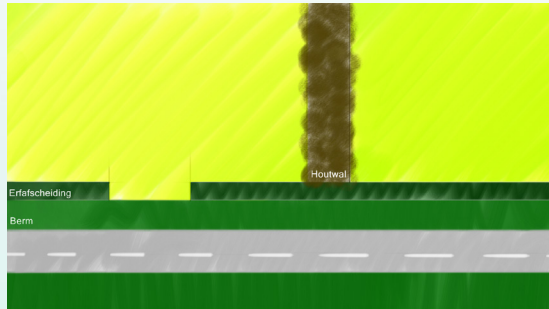
- *Meer gebruik van het erf;*
- *Voorbereidde werkplaats zorgt voor snellere verwerking.*

Conclusie

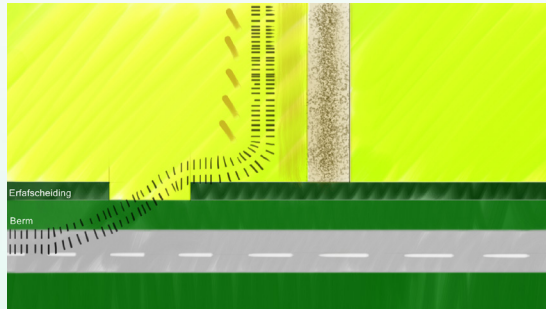
Het meest gebruiksvriendelijk voor de bundelmachine is een voorbereide werkplek waar de takken naast de bundelmachine geplaatst worden. Het meest gunstig voor de landschapsbeheerder is het verzamelen van de takken uit de houtwal. Hierbij wordt er zo min mogelijk land gebruikt. Het meest geschikt om de bundelmachine rendabel te maken is de snelheid van verwerking van de takken. Er is gebleken dat een voorbereide werkplek zorgt voor een verhoging van de productie bij huidige bundelmachines.

Wenselijk is takkenbundels in de houtwal laten liggen maar dat deze wel allemaal in dezelfde richting geplaatst zijn. De voorbereide werkplek zorgt voor een hogere verwerkingssnelheid en betere onkosten per takkenbundel. Om de goede aanvoer van takken te garanderen is het voor de bundelmachine van belang dat de takken stapels aangeboden worden.

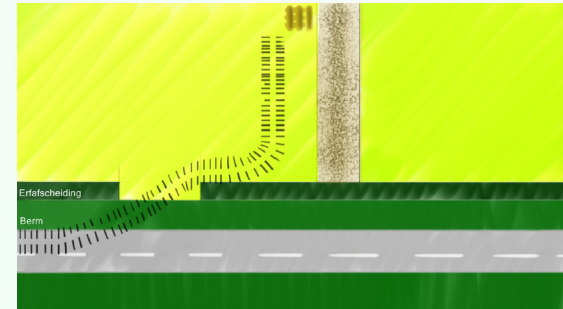
Bijlage VIII: Procesverloop verwerking



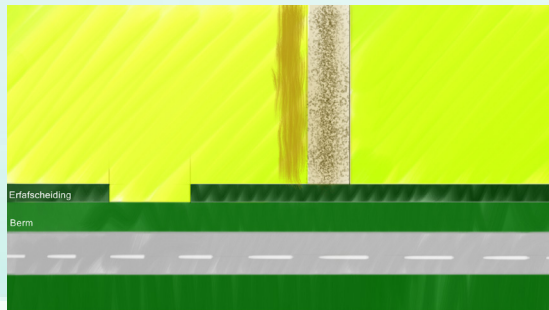
Afb. 32 - Oorspronkelijke situatie, houtwal is nog niet gesnoeid



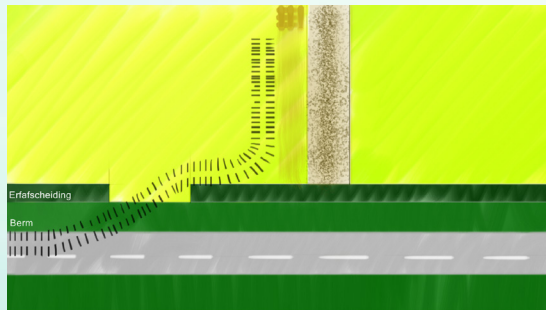
Afb. 35 - Takhout gebundeld



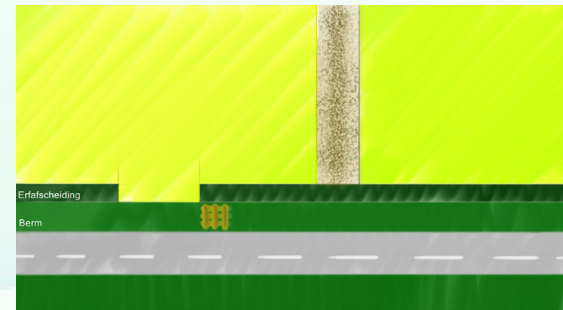
Afb. 38 - Transport takkenbundels arriveerd



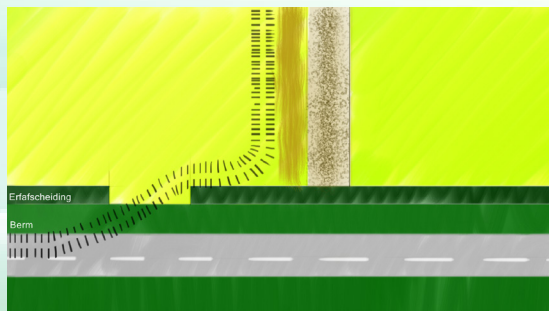
Afb. 33 - Houtwal is gesnoeid



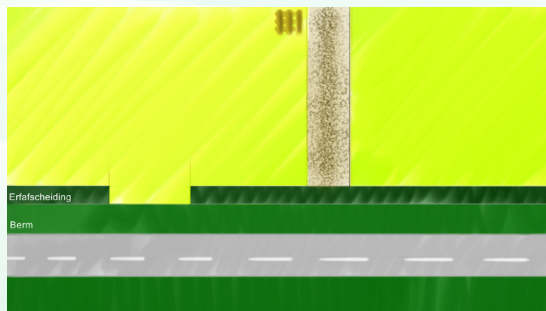
Afb. 36 - Bundels gestapeld



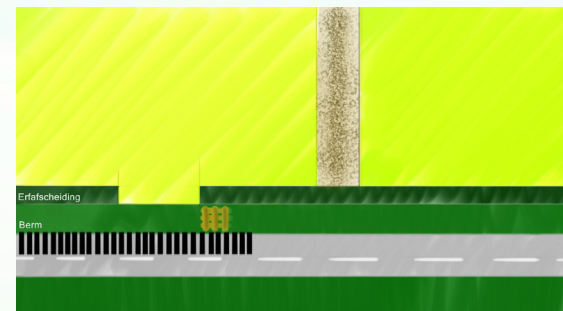
Afb. 39 - Verplaatst naar openbare weg



Afb. 34 - Bundelmachine arriveerd



Afb. 37 - Bundelmachine klaar, takkenbundels drogen



Afb. 40 - Transport over lange afstand arriveerd



Bijlage IX Hydraulisch systeem

Stap 1: Arm dalen						
○ Twee drukcilinders	50mm	270mm	11l/min	80mm/sec	3,4sec	50mm diameter met 3,4 seconden over hele lengte van 270mm. 8 centimeter per seconde
Stap 2: Compressie delen sluiten						Flow rate = 157,08 cm ³ /seconde = 0,18l/sec = 11l/min
○ Vier drukcilinders	80mm	400mm	24l/min	80mm/sec	5sec	
Stap 3: Takken invoeren						
○ Vier actuatoren getande cilinders			49l/min	21 min ⁻¹	7,1sec	80mm diameter met 6 seconden over hele lengte van 400mm. 8 centimeter per seconde
Stap 4: Tweede frame verplaatsen						Flow rate = 402,12 cm ³ /seconde = 0,4l/sec = 24l/min
○ Vier drukcilinders	50mm	570mm	11l/min	80mm/sec	7,1sec	
Stap 5: Compressie delen openen						
○ Vier drukcilinders	80mm	400mm	24l/min	80mm/sec	5sec	50mm diameter met 7,1 seconden over hele lengte van 570mm. 8 centimeter per seconde
Stap 6: arm heffen						Flow rate = 157,08 cm ³ /seconde = 0,18l/sec = 11l/min
○ Twee drukcilinders	50mm	270mm	11l/min	80mm/sec	3,4sec	
Stap 7: Tweede frame verplaatsen						
○ Vier drukcilinders	50mm	570mm	11l/min	80mm/sec	7,1sec	

Afb. 41 - Systeem eigenschappen

CYLINDER AREA In Square Inches	Area = $\pi \times \text{Radius}^2$ (Inches)	$A = \pi r^2$
	Area = $(P/4) \times \text{Diameter}^2$ (Inches)	$A = (\pi D^2)/4$ or $A = .785D^2$
CYLINDER FORCE In Pounds, Push or Pull	Area = Pressure (psi) x Net Area (sq in.)	$F = \text{psi} \times A$ or $F = PA$
CYLINDER VELOCITY or SPEED In Feet/Second	Velocity = $\frac{231 \times \text{Flow Rate (GPM)}}{12 \times 60 \times \text{Net Area (sq in.)}}$	$v = 231Q/720A$ or $v = .3208Q/A$
CYLINDER VOLUME CAPACITY In Gallons of Fluid	Volume = $\frac{\pi \times \text{Radius}^2 \text{ (in.)} \times \text{Stroke (in.)}}{231}$	$V = (\pi r^2 L)/231$
	Volume = $\frac{\text{Net Area (sq. in.)} \times \text{Stroke (in.)}}{231}$	$V = (A L)/231$
CYLINDER FLOW RATE In Gallons/Minute	Flow Rate = $\frac{12 \times 60 \times \text{Velocity (Ft/Sec)} \times \text{Net Area (sq. in.)}}{231}$	$Q = (720vA)/231$ or $Q = 3.117vA$

Afb. 42 - Gebruikte formules





Bronnenlijst

- Beschikbaarheid van Nederlandse biomassa voor elektriciteit en warmte in 2020.* Koppejan, J., Elbersen, W., Meeusen, & M., Bindraban, P. (2009). [elektronische versie]. SenterNovem.
- Bio-energie input.* Agentschap NL ministerie van economische zaken, landbouw en innovatie. (2010)
- Biomass balers.* Opgevraagd op februari 2014 van <http://www.spectechnika.com/ru/filling/y-2010.n-11.oid-451.html>
- Biomassa analyse landschapselementen Overijssel.* Biomassa voor energie uit landschapselementen in de provincie Overijssel. Kramerling, A. (2012). [elektronische versie]. Provincie Overijssel.
- Bundling woody biomass.* [12-02-2010]. Opgeroepen op februari 2014 van <http://www.extension.org/pages/26530/bundling-woody-biomass#.UvzsAvl5N1V>
- CES Edupack 2013.* Programm for material properties.
- Eigen chips niet eerst!* Onderzoek naar het oogsten van houtige chips uit lokale landschappelijke beplantingen het verstoken ervan in (lokale) verbrandingsinstallaties. Kienhuis, A. (2013).
- Energie uit houtige biomassa.* Duurzame mogelijkheden in de gemeente Dronten. VanHassel, P. (2011)
- Forest research, project report.* (2011). [elektronische versie] opgeroepen op februari 2014 van http://www.biomassenergycentre.org.uk/pls/portal/docs/PAGE/RESOURCES/REF_LIB_RES/PUBLICATIONS/TECHNICAL_DEVELOPMENT/FCPR045%20WOODCHIP%20DRYING.PDF
- Green deal duurzaamheid biomassa.* Rapportage ministerie van infrastructuur en milieu. Agentschap NL (2012). [elektronische versie].
- Haardhout tips en advies.* Opgeroepen op februari 2014 van <http://www.haardhout.com/tips-advies-i-14.html>
- Houtwallen in het boerenland.* Alleleijn, W.F. (1990). Stichting Natuur en Milieu. Blz. 26, ISBN 907124511X
- Inventarisatie biomassastromen uit natuur en landschap in de provincie Overijssel.* Arcadis. (2012). [elektronische versie].
- Logistieke keten van houtige biomassa uit bos, natuur en landschap in Nederland: stand van zaken, knelpunten en kansen.* Boosten, M., Oldenburger, J., Oorschot, J., Boertjes, M., & VandenBriel, J. (2009). [elektronische versie]. Probos.

Nederlandse houtstromen in Beeld. Oldenburger, J., Groot, C., & Winterink, A. (2012). [elektronische versie]. Probos.

Nibud. Uitgaven gas, elektriciteit en water. (2013) Opgeroepen op februari 2014 van <http://www.nibud.nl/uitgaven/huishouden/gas-elektriciteit-en-water.html>

Ondernemen en natuur: stoken op streekhout. Stichting Staring Advies. (2012). [elektronische versie] opgevraagd op februari 2014 van <http://www.staringadvies.nl/downloads/symposium/2012/7-Wilfried-klein-Gunnewiek.pdf>

Pellets encyclopedie. Opgeroepen op februari 2014 van <http://www.joostdevree.nl/shtmls/pellets.shtml>

Product properties Manila. Swedishrope. Opgevraagd op februari 2014 van <http://www.swedishrope.se/index.php/products/laid-rope/manila/?lang=en>

Project BEC (Biomassa Elektriciteits Centrale) Twence. Visser & Smit Bouw. Opgevraagd op februari 2014 van <http://www.visserensmitbouw.nl>

Presentation of brash for baling from clearfell harvesting. Forest research. (2007). [elektronische versie]

Richtlijnen voor het meten van inlands rondhout ten behoeve van de verkoop. Bosschap. (2002). [elektronische versie].

Startnotitie milieu-effectrapport biomassa-elektricitetiscentrale Twence B.V. [elektronische versie] opgevraagd op februari 2014 van <http://api.commissiemer.nl/docs/mer/p14/p1407/1407-002sn.pdf>

Timberjack forest energy technology. Opgeroepen op februari 2014 van <http://www.fs.fed.us/woodybiomass/strategy/bundling/documents/TJBundlerWDC.pdf>

The harvest of logging residues in the Dutch forests and landscape. Vonk, M. & Theunissen, M. (2007). [elektronische versie] Probos.

Transport and handling of forest energy bundles – advantages and problems. Biomass and bioenergy. Johansson, Liss, Gullberg & Bjorheden. (2006). [elektronische versie] opgeroepen op februari 2014 van http://pubget.com/paper/pgtmp_19479832be3db4b2da498be7b61b57f8/transport-and-handling-of-forest-energy-bundles-advantages-and-problems

Viessmann. Pyroflex SRT. Opgevraagd op februari 2014 van http://www.viessmann.de/de/Nahwaermenetze/Produkte/Holzfeuerungsanlagen/Pyroflex_SRT.html

Wood chip drying and costs. Georgia forestry commission. [elektronische versie] opgeroepen op februari 2014 van <http://www.gfc.state.ga.us/utilization/forest-biomass/research/WoodChipDryingandCosts.pdf>