

# Egenskapsbaserad sortering av massaved för bättre precision i styrning av massans kvalitet

Oskar Gustavsson, Lovisa Engberg Sundström, Ingemar Eriksson (Forbis AB)



Foto: Erik Viklund

# Innehåll

<b>Förord</b> .....	<b>3</b>
<b>Summary</b> .....	<b>4</b>
<b>Sammanfattning</b> .....	<b>5</b>
<b>Inledning</b> .....	<b>6</b>
<b>Syfte</b> .....	<b>6</b>
<b>Metod</b> .....	<b>7</b>
Utformning av egenskapsbaserade sorteringsstrategier .....	7
Apteringssimulering med hänsyn till virkesegenskaper .....	8
Fallstudie Södra skogsägarna .....	9
Virkes- och massaegenskapsmodeller i fallstudie .....	10
<b>Resultat</b> .....	<b>10</b>
<b>Diskussion</b> .....	<b>12</b>
<b>Slutsatser</b> .....	<b>14</b>
<b>Referenser</b> .....	<b>15</b>



Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala  
skogforsk@skogforsk.se  
skogforsk.se

---

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts 28 oktober 2021 av Maria Nordström, Bitr. programchef samt Maria Iwarsson Wide, programchef. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering den 21 december 2021.

Redaktör: Hanna Andtbacka, hanna.andtbacka@skogforsk.se  
©Skogforsk 2021 ISSN 1404-305X

# Förord

Detta projekt har finansierats av Södra skogsägarnas forskningsstiftelse och utformats i samverkan med personal på flera enheter inom Södra. Ett varmt tack riktas till alla som har tagit sig tid att bidra!

Oskar Gustavsson, projektledare.

# Summary

To supply customers with suitable raw materials while achieving minimal costs is a central part of wood supply. The variation in properties between trees and harvesting sites have hitherto required significant simplifications of the product definitions in industrial wood flow. Through combining structured harvesting data with established models to calculate internal wood properties, new substantial possibilities for wood sorting strategies are created.

With the aim to evaluate the potential of controlling pulpwood categories based on internal wood properties, this study has combined a model for integrated management of production and transport with models for calculating internal wood properties.

The analysis resulted in a proposed sorting of the pulpwood, fully based on calculated internal wood properties. The new sorting strategy achieved a higher concentration of the desired properties compared to the traditional sorting strategy. However, this resulted in increased transport and production costs. The increased costs are probably related to the formulation of the case study and would not necessarily occur if the strategy was evaluated in a more realistic case.

Several aspects of this study require further analysis, not least how the economic result would be affected by a more explicit sorting strategy. Skogforsk will continue this work in other projects.

# Sammanfattning

En central del i virkesförsörjningen är att leverera rätt virke till rätt kund, till minsta möjliga kostnad. Hittills har den stora variationen i virkesegenskaper som finns både inom träd och bestånd gjort att kraftig förenkling av produktkvaliteter har krävts i stora flöden. Möjligheterna att kombinera strukturerade skördardata och etablerade modeller för beräkning av virkesegenskaper skapar dock nya möjligheter för nya sorteringsstrategier.

Med syftet att utvärdera potentialen för att styra massavedskvaliteter baserat på virkesråvarans inre egenskaper har denna studie kombinerat en modell för integrerad styrning av aptering och transport med modeller för att beräkna virkets inre egenskaper.

Analysen resulterade i ett förslag på sortering av massaveden, helt baserat på beräknade inre virkesegenskaper som åstadkom en större anrikning av de önskade egenskaperna än den traditionella sorteringen. Det medförde dock ökade transport- och produktionskostnader. De ökade kostnaderna kan bero på hur fallstudien formulerades och behöver inte uppstå om denna sortering skulle utvärderas i verkligheten.

Det är flera aspekter av studien som behöver analyseras mer, inte minst hur det ekonomiska utfallet skulle påverkas av en utvecklad sortering. Skogforsk kommer gå vidare med detta i andra projekt.

# Inledning

Vid produktion av papper och pappersmassa finns många faktorer som påverkar den slutliga produktkvaliteten. Flera faktorer styrs i realtid i massabrukens tillverkningsprocesser. En faktor som avgörs redan innan tillverkning är egenskaperna hos själva råvaran, det vill säga massavedens ved- och fiberegenskaper. Massavedens virkesegenskaper varierar mellan olika avverkningar, mellan enskilda träd och mellan stockar inom träd, vilket är en utmaning när målet vid massaproduktion ofta är en homogen produktkvalitet. För att begränsa variationen i massavedens ved- och fiberegenskaper används idag olika sorteringsstrategier, exempelvis baserade på avverkningsform eller virkesålder (färskhets) (Duchesne m.fl. 1997; Spångberg 1999). Sådan sortering ger möjligheter till en grov men robust grund för styrning av massavedsflödet till bruket. En avancerad sortering i många klasser försvåras dock av möjligheter att utföra en kostnadseffektiv hantering på begränsat utrymme i skogen, vid transport och på vedgården. Det är därför centralt att väga nyttan av en ökad sortering av massaved mot kostnaden och möjligheterna till särhållning i virkesflödet. Ett flertal olika studier har pekat på möjligheterna att höja både massautbyte och produktkvalitet genom att styra råvaran efter information om virkets egenskaper (Nordström m.fl. 2010; Andersson m.fl. 2016; Nordström m.fl. 2020). Att mer utvecklade sorteringsstrategier ännu inte har kommit i omfattande praktisk drift beror, förutom utmaningarna som beskrivs ovan, även på att den information som krävs för att kunna beräkna virkesegenskaper för massaveden inte har funnits tillgänglig i stor skala. Dagens produktionsrapportering från skördarna skapar dock nya möjligheter för storskalig användning.

I dagens skogsbruk styrs vanligen aptering och transporter som två separata och delvis parallella processer med olikställda mål. Medan apteringen styrs mot maximalt virkesvärde alternativt maximal virkesvolym, styrs vanligen transporter för att minimera transportkostnaden. En mycket hård styrning mot maximalt virkesvärde kan leda till att antalet produkter ökar kraftigt, vilket medför ökade hanteringskostnader. Å andra sidan kan en mycket hård styrning mot att begränsa transportkostnad leda till att antalet produkter blir onödigt lågt och därmed blir utnyttjandet av virkesvärdet sämre. En integrerad styrning av aptering och transport skulle kunna bidra till att dessa problem minskar och att den totala variationen i virkesflödet utnyttjas på ett mer effektivt sätt genom bättre sortering av produkterna. Dessutom har tidigare projekt visat på en viss potential för ökat värdeskapande och minskade kostnader genom en integrerad styrning (Holappa Jonsson m.fl. 2019).

## Syfte

Detta projekt har syftat till att beskriva en arbetsgång för utformning av strategier för egenskapsbaserad sortering av massaved för vilka målet är att uppnå bättre precision i styrningen av massans kvalitet, samt att genom en fallstudie utvärdera användandet av en egenskapsbaserad sorteringsstrategi med hjälp av apteringssimulering.

# Metod

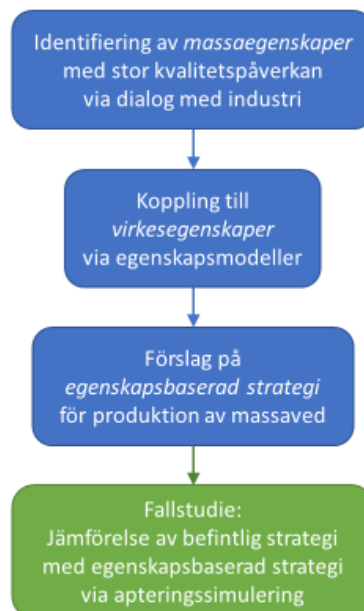
Metoden som tillämpats i detta projekt sammanfattas nedan i tre delar. I den första delen beskrivs en generell arbetsgång för utformande av egenskapsbaserade sorteringsstrategier. I den andra delen beskrivs det verktyg som använts i projektets fallstudie för apteringssimulering med hänsyn till virkesegenskaper. I den tredje delen sammanfattas arbetet med den genomförda fallstudien där en specifik sorteringsstrategi tagits fram i samverkan med Södra skogsägarna.

## Utformning av egenskapsbaserade sorteringsstrategier

Med sorteringsstrategi menas i detta projekt en metod för att hålla isär virke av samma kvalitet eller produktgrupp, så att det ska kunna levereras till separata mottagare med egna kvalitetsbehov. Det finns flera exempel på sorteringsstrategier som antingen har utvecklats i praktiken eller formulerats i forskning. Dessa grundar sig på beståndsegenskaper (exempelvis avverkningsform, beståndsålder eller bonitet) eller på stockegenskaper (exempelvis trädslag, längd, diameter eller inre virkesegenskaper).

För massaved är det vanligt att särskilja olika trädslag efter mottagarnas särskilda behov. Därutöver förekommer särskilning efter avverkningsform. Att sortera massaved på stocknivå och utifrån inre virkesegenskaper är dock ovanligt i praktiken. Vilken virkesegenskap en sådan sorteringsstrategi skulle baseras på behöver avgöras utifrån varje mottagande industris önskemål om sina massaprodukters egenskaper.

Den arbetsgång för utformning av egenskapsbaserade sorteringsstrategier som föreslås och används i detta projekt beskrivs i Figur 1.

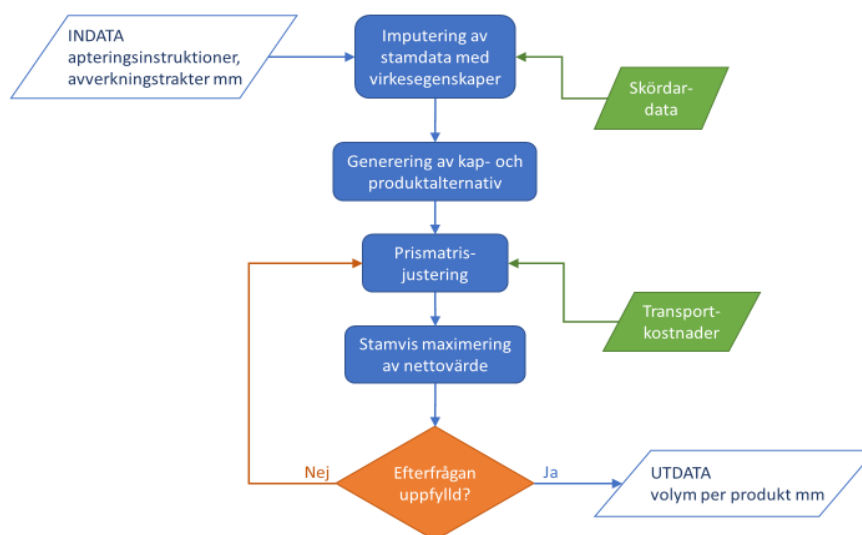


Figur 1. Övergripande arbetsgång vid utformning av egenskapsbaserade strategier för produktion av massaved. Arbetsgången användes i projektets fallstudie.

## Apteringssimulering med hänsyn till virkesegenskaper

Apteringssimulering är ett sätt att prognosticera utbytet av en avverkning givet de förutsättningar för aptering som ges. Resultatet av en apteringssimulering kan användas på flera sätt. Exempel på användning på operativ nivå är för att justera apteringsinstruktioner (i synnerhet prismatriser) så att önskat prognosutbyte uppnås, och på en mer strategisk nivå för att avgränsa fångstområden för mottagande industrier eller för att skatta kostnader, virkesvärden eller andra nyckeltal. För strategisk användning krävs att simuleringen utförs på flera trakter.

Genom att uttrycka sorteringsstrategier i termer av apteringsinstruktioner kan olika strategier jämföras och utvärderas. I detta projekt har apteringssimulering utförts med hjälp av verktyget BisBucker. BisBucker är utvecklat för att ta hänsyn till både virkesvärden och transportkostnader genom ett kombinerat apterings- och destineringsbeslut. Verktyget skiljer sig därmed från andra algoritmer för apteringssimulering som ofta endast tar hänsyn till virkesvärde. BisBucker är utvecklat i ett tidigare projekt, och den ursprungliga funktionaliteten beskrivs i Holappa Jonsson m.fl. (2019).



Figur 2. Schematisk illustration av verktyget BisBucker.

BisBucker har i detta projekt vidareutvecklats för att dels inkludera imputering av skördardata, dels hantera krav på virkesegenskaper. En schematisk illustration av den vidareutvecklade versionen ges i Figur 2. I denna version skapades inledningsvis en stambank genom imputering av skördardata på de bestånd som ingår i analysen (se Möller m.fl. (2017) för en introduktion till imputering av skördardata). Därefter genomförde BisBucker apteringssimulering av hela stambanken. För varje stam genererades alla möjliga kapalternativ, det vill säga alla möjliga uppsättningar stockar för stammen. Kapalternativen begränsades genom en ansatt min- och maxlängd per stock, exempelvis 2 och 6 meter. För varje potentiell stock utvärderades vilka produkter (kombination av mottagare och sortiment) som stocken uppfyller kraven för, däribland krav på träslag, dimensioner och inre virkesegenskaper. När genereringen var klar fanns ett stort antal möjliga uppsättningar stockar för varje stam, och ett stort antal möjliga produktalternativ för varje stock. Därefter hämtades transportavstånd för varje kombination av avverkningsobjekt och mottagande industri via funktioner i Nationella vägdatatabasen (NVDB), och avståndsbaserade transportkostnader beräknades. I den



optimerande delen av BisBucker valdes sedan de högst värderade apteringsalternativen så att stammens nettovärde efter avdrag för transportkostnader maximeras.

När samtliga stammar har apterats beräknades den totala volymen per produkt och jämfördes med den överenskomna efterfrågan. Om efterfrågan inte var uppfylld för någon produkt, eller om alldeles för stor volym producerades, justerades produktens prismatris uppåt eller nedåt för att antingen öka eller minska incitamenten att välja just den produkten. Därefter kördes den optimerande delen i BisBucker om.

När efterfrågan på samtliga produkter var uppfylld genomfördes ett slutsteg med syfte att begränsa antalet produkter från varje avverkningsstrakt. Produkter med små volymer eliminerades i de fall det fanns alternativ av samma eller lägre kvalitet. Detta gjordes för en produkt åt gången tills inga produkter med liten volym fanns kvar. Begränsningen av antalet produkter per avverkningsobjekt är viktig för att inte produktionskostnaden ska stiga kraftigt.

## Fallstudie Södra skogsägarna

Utformning och användande av en sorteringsstrategi för egenskapsbaserad produktion av massaved testades och utvärderades i en fallstudie i samverkan med Södra skogsägarna (Södra). Utbytet som uppnåddes med den föreslagna egenskapsbaserade strategin jämfördes med det som uppnås med Södras befintliga sorteringsstrategi.

Arbetsgången i fallstudien följde den föreslagna i Figur 1. Som första steg utreddes vilka massaegenskaper som är viktigast för att uppnå god massakvalitet med avseende på Södras massaprodukter. Genom diskussion med specialister och ansvariga för planering på Södras tre massabruk konstaterades att massans dragindex utgör en betydelsefull faktor för ett särskilt urval av slutprodukterna. I ett andra steg användes massaegenskapsmodeller framtagna i tidigare studier (se Tabell 1) för att identifiera virkesegenskaper med stor inverkan på massans dragindex. Resultat från dessa studier visar att dragindex korrelerar med, och kan estimeras utifrån, råvarans sommarvedsandel samt antalet årsringar i stockarnas toppända. Dessa virkesegenskaper utgjorde därför grunden till den egenskapsbaserade sorteringsstrategi som föreslogs. Befintlig strategi och den föreslagna egenskapsbaserade strategin kan formuleras enligt följande:

1. Särhållning av massaved från gallring
2. Särhållning av massaved med under 25 procent sommarvedsandel och färre än 25 årsringar

Vid apteringssimulering med BisBucker implementerades dessa strategier genom att komplettera respektive mottagares produktdefinitioner för massavedsprodukter med krav på antingen virkesegenskaper enligt Strategi 2 eller avverkningsform enligt Strategi 1.

För att genomföra apteringssimulering användes skördarproduktionsfiler med detaljerad virkesinformation från 48 avverkningsobjekt. Samtliga objekt avverkades under november 2019 och är belägna inom rimligt transportavstånd till Södras tre massabruk som ingår i fallstudien. Övriga indata till BisBucker, såsom apteringsinstruktioner, genererades utifrån de apteringsfiler som skördarna använt vid avverkningsstillfället, vilket resulterade i produktdefinitioner för 42 olika produkter (kombination av mottagare och sortiment). Därmed motsvarar det simulerade scenariot i stor utsträckning de förutsättningar som rådde i praktiken.

## Virkes- och massaegenskapsmodeller i fallstudie

För att simulera den egenskapsbaserade sorteringsstrategin integrerades modeller för att estimerar sommarvedsandel och antal årsringar med BisBucker. I Tabell 1 ges hänvisningar till respektive modell. Dessa modeller kräver, utöver imputerade skördardata (såsom diameter, längd och trädslag), information om beståndsålder. I denna fallstudie saknades dock sådan information. Beståndsålder skattades i stället baserat på beräkningsytans övre höjd (beräknat från skördardata) och sambandet mellan ståndortsindex, övre höjd och ålder enligt Elving & Kiviste (1997).

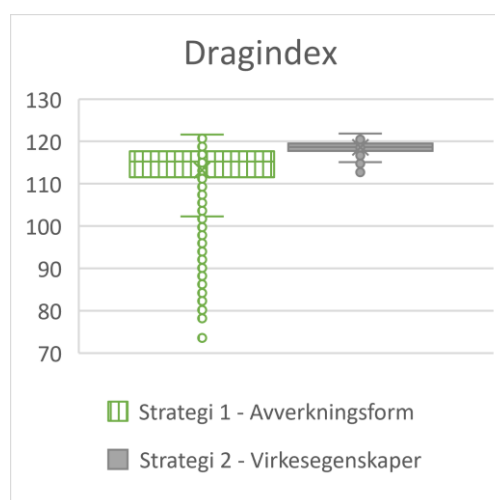
Tabell 1. Källhänvisningar för virkes- och massaegenskapsmodeller som användes i projektets fallstudie. Virkesegenskapsmodellerna har integrerats i verktyget BisBucker för apteringsmodellering, och massaegenskapsmodellerna har använts vid analys av simuleringens resultat.

Virkes-/massaegenskap	Värde	Referens
Sommarvedsandel	Volymmedel per stock	Wilhelmsson m.fl. (2002)
Antal årsringar	Medel av antal årsringar per stock	Wilhelmsson (2006)
Dragindex	Medelvärde per stock vid 4000 malvarv	Jonasson m.fl. (2001)
Zerospanindex (fiberstyrka)	Medelvärde per stock	Jonasson m.fl. (2001)
Rivindex	Medelvärde per stock vid 4000 malvarv	Jonasson m.fl. (2001)

## Resultat

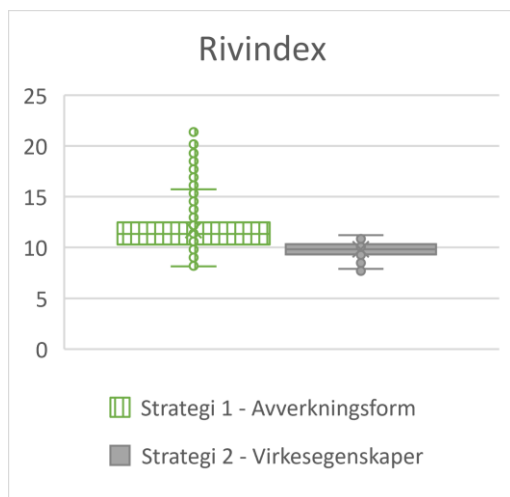
Fördelningen av beräknade massaegenskaper hos den producerade massaveden presenteras i Figur 3–5. Källhänvisningar till de massaegenskapsmodeller som använts ges i Tabell 1.

De två sorteringsstrategierna gav olika egenskaper i den levererade massaveden (Figur 4). Massaegenskaper redovisas här för den särskilda fraktionen, alltså den massaved som antas vara mest efterfrågad. Medelvärdet för dragindex ökade med 3 procent och spridningen minskade kraftigt i Strategi 2 (Figur 3). Även andra massaegenskaper påverkades. Medelvärdena för rivindex (Figur 4) och zerospanindex (fiberstyrka) (Figur 6) minskade, då de beror av virkesegenskaper som delvis är motsatta de som påverkar dragindex. Spridningen i rivindex minskade på samma sätt som för



Figur 3. Dragindex hos den särskilda massaveden.

dragindex. Spridningen för zerospanindex minskade inte lika tydligt, men kvartilavståndet krympte.

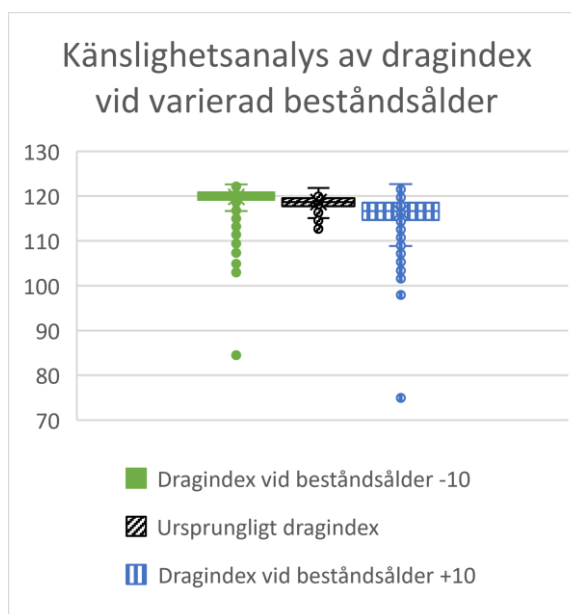


Figur 4. Rivindex hos den sårhållna massaveden.



Figur 5. Dragindex hos den sårhållna massaveden i Strategi 2 vid varierad beståndsålder.

I en känslighetsanalys studerades inverkan på dragindex av över- och underskattning av beståndsålder. Beståndsålder utgör en grund för sorteringen i Strategi 2 och är samtidigt ofta en osåker uppgift i skogliga register. I känslighetsanalysen varierades den skattade beståndsåldern med 10 år. När åldern ökas, det vill säga om beståndsåldern var underskattad vid apteringssimulering, minskade medelvärdet för dragindex med omkring 8 procent (Figur 6). Det omvända gäller om åldern minskas, det vill säga vid överskattning. I båda fallen var variationen i dragindex procentuellt större än variationen i ålder, och spridningen ökade. Detta kan förklaras av att dragindexmodellen drivs mot utkanterna av det ursprungliga underlaget.



Figur 6. Zerospanindex hos den sårhållna massaveden.

En sammanställning av det totala utfallet från apteringssimuleringen redovisas i Tabell 2. Resultatet visar hur den totala mängden massaved som produceras varierade något mellan de två sorteringsstrategierna (detsamma gäller fördelningen av massaved mellan de mottagande massbrukerna). Även skillnader i transportkostnad och produktionskostnad uppstod. Variationerna beror på att strategierna har olika produktdefinitioner samtidigt som apteringssimuleringen strävar efter att uppfylla samma efterfrågan och maximera nettovärdet. De snävare produktdefinitionerna i

Strategi 2 (färre stockar uppfyller produktkraven) gav en något högre transportkostnad, när efterfrågad massaved måste hämtas längre bort. Att produktionskostnaden steg för Strategi 2 är å sin sida en väntad konsekvens av att använda en sorteringsstrategi på stocknivå i stället för på beståndsnivå. Produktionskostnaden har beräknats i efterhand enligt Brunberg och Arlinger (2001).

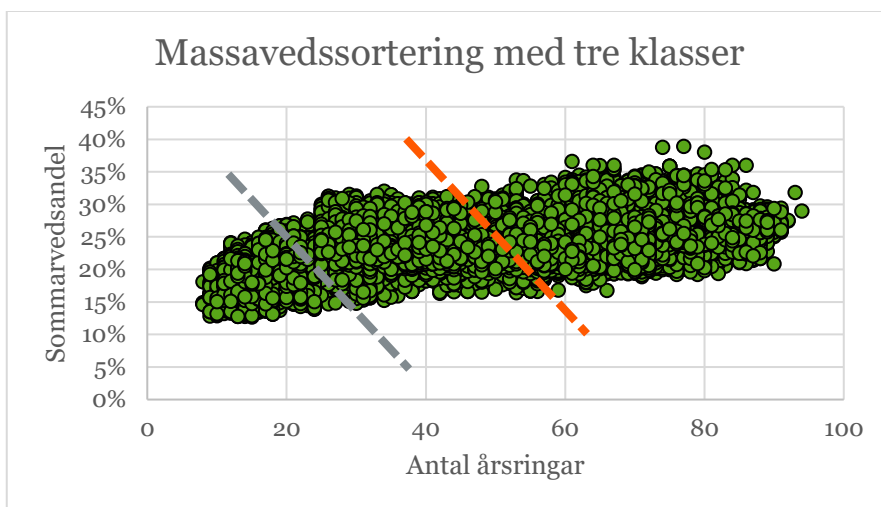
Tabell 2. Sammanställning av total volym massaved (barrmassaved) och kostnader som de två sorteringsstrategierna resulterar i.

Strategi	Massaved, m <sup>3</sup> fub	Transportkostnad, kr/m <sup>3</sup> fub	Produktionskostnad, kr/m <sup>3</sup> fub
1 Avverkningsform	7005	101	1
2 Virkesegenskaper	6885	108	6

## Diskussion

Resultatet av fallstudien visar att sortering av massaved utifrån ålder och sommarvedsandel är lämpligt för att öka dragindex hos en andel av det levererade virket. Värt att notera är att dragindex sannolikt skulle minska hos övriga produkter, eftersom den totala variationen av egenskaper i virkesflödet är konstant. Känslighetsanalysen visar på relativt stor påverkan av osäkerhet i beståndsålder, men denna osäkerhet gäller sannolikt oavsett strategival. Bättre indata för beräkning av beståndsålder bör dock eftersträvas. Faktisk mätning av egenskaper i den producerade pappersmassan skulle också utgöra ett komplement till denna simuleringsbaserade fallstudie.

Den föreslagna egenskapsbaserade sorteringsstrategin har i denna fallstudie implementerats på stocknivå. Eftersom virkesegenskaper kan variera kraftigt inom ett avverkningsobjekt, ger sortering på stocknivå en mer precis kvalitetsstyrning. Om sortering på stocknivå görs för allt virke kommer dock säkerligen produktionskostnaden att öka, om inte antalet produkter begränsas på annat sätt. Därför är det kostnadsmässigt fördelaktigt att så långt som möjligt tillämpa även egenskapsbaserad sortering på beståndsnivå. För att göra sådan sortering på beståndsnivå mer flexibel och bibehålla god precision i kvalitetsstyrningen, kan det vara lämpligt att införa flera nivåer av massavedssortering. Tidigare studier har föreslagit införande av flera klasser för massaved (Duchesne m.fl. 1997; Arlinger m.fl. 2000; Jonasson m.fl. 2001). I Figur 7 illustreras en möjlig indelning av massaveden som fallit ut i projektets fallstudie i tre klasser baserat på sommarvedsandel och antal årsringar. Mellankategorin kan här särhållas om en större volym behövs i någon av de andra klasserna, och i annat fall levereras just som ett mellanting.



Figur 7. Samtliga stockar presenterade som en kombination av sommarvedsandel och antal årsringar, med två nya indelningar. Stockarna till vänster om det gråa strecket har högst dragindex, stockarna mellan strecken utgör en mellanklass och stockarna till höger om strecken har lägst dragindex.

De ökade transportkostnaderna som syns i resultatet för egenskapsbaserad sortering beror av såväl strategival som fallstudiespecifikt indata. Utöver det faktum att den egenskapsbaserade strategin har snävare produktdefinitioner och därmed behöver transportera efterfrågad massaved från längre avstånd, kan en viss del av den högre transportkostnaden härledas till att avverkningsobjekten som ingick i fallstudien inte var jämnt fördelade över industriernas upptagningsområde. Skillnaden i transportkostnad mellan de två sorteringsstrategierna hade sannolikt sett annorlunda ut om den geografiska spridningen varit mer realistisk. Det bör även poängteras att transportkostnaden bara utgör en del i den nettovärdemaximerande apteringssimuleringen. Att den ökade transportkostnaden inte kompenseras av högre virkesvärde kan således inte uteslutas. Virkesvärden har inte analyserats i denna fallstudie på grund av skillnaden mellan de värden som används för apteringsstyrning och de faktiska försäljningspriserna. Att göra en sådan analys är ett intressant framtida område.

Att det är stammarnas nettovärde efter transportkostnad som maximeras i apteringssimuleringen förklarar även delar av den variation i total massavedsvolym som syns i resultaten. När en del av stockarna som inte uppfyller rätt produktkrav inte kan levereras till det massabruk som ligger närmast, blir det i vissa fall mer ekonomiskt att sortera dessa stockar som andra produkter (i första hand energived).

Ökningen i produktionskostnad hänger i stället tätt ihop med ett ökat antal produkter per avverkningsobjekt. Att en förändrad sorteringsstrategi kombinerad med optimering i verkligheten skulle leda till en sådan ökning är dock inte troligt. I praktiken är det flera andra aspekter som begränsar antalet produkter, såsom överenskommelser med markägarna och aktuellt leveransutrymme hos kunderna. Fortsatta studier kommer ha som målsättning att inkludera produktionskostnad i apteringssimuleringen eller på annat sätt begränsa antalet produkter i varje avverkning.

Ett alternativ för att utveckla modellen för situationer när industrins utökade egenskapskrav för en produkt är mer komplexa och inte bör uttryckas som tröskelvärden (hårda krav) kan vara att använda ett egenskapsindex. Ett sådant index ska beskriva den

beräknade sammanlagda effekten (indexvärdet) av en eller flera önskvärda eller ej önskvärda egenskaper (mjuka krav) relativt alla stockar som uppfyller sortimentets minimikrav (Wilhelmsson m.fl. 2011; Andersson m.fl. 2016). På det viset kan indexet anpassas vid varje tidpunkt för att balansera aktuell efterfrågan i kvantitet och kvalitet mot kostnader och intäkter för de indexerade egenskaperna. Detta skulle till exempel eliminera problemet med minskningen av mängden massaved i den aktuella fallstudien. Därmed skulle tillgång och efterfrågan, variation i kostnader och intäkter samt utveckling av egenskapsbeskrivningar med högre precision kunna vägas in på ett tydligare sätt än i den tidigare algoritmen och beräkningstekniken.

Fallstudien visar på en potential att leverera mer kundanpassad virkesråvara genom en förändrad sorteringsstrategi. Huruvida detta medför högre kostnader, i synnerhet produktionskostnad, behöver utredas ytterligare. Ytterligare kunskap behövs även gällande vilket värde som skulle skapas genom leverans av en mer kundanpassad råvara. Det senare krävs för att kunna dra slutsatser kring nettovärdet av att tillämpa en viss sorteringsstrategi.

Skogforsk kommer fortsätta arbetet med logistikaptering. Den fortsatta forskningen kommer fokuseras på hur produktionskostnad kan inkluderas i apteringssimuleringen och hur index kan ersätta tröskelvärden. Motsvarande studier för timmer och sågverk väntas också genomföras.

## Slutsatser

Från projektet drar vi följande slutsatser:

- Genom att sortera och särskilja massaveden utifrån virkesegenskaper redan i skogen finns en potential att öka anrikningen av efterfrågade egenskaper i leveranserna till de industrier som efterfrågar egenskaperna.
- Genom att inkludera transportkostnaden i apteringsbeslutet går det att anpassa massavedsflödet utifrån kundens önskemål till en rimlig transportkostnad.
- Att sortera och leverera i högre grad utifrån virkesegenskaper ger en något högre transportkostnad jämfört med dagens styrning.
- Ytterligare arbete behövs för att undersöka hur det ekonomiska utfallet för massavedsleverantör och -kund skulle bli vid operativ användning av egenskapsbaserad styrning.

# Referenser

- Andersson, G., Flisberg, P., Nordström, M., Rönnqvist, M. & Wilhelmsson, L. 2016. A model approach to include wood properties in log sorting and transportation planning. *INFOR: Information Systems and Operational Research* 54(3): 282-303.
- Arlinger, J., Brunberg, T., Duchesne, I., Jönsson, A., Miller, J., Nylinder, M., Rehnberg, O., Spångberg, K. & Wilhelmsson, L. 2000. Vedsortering för bättre pappers- och kartongprodukter. *Skogforsk Redogörelse* 4 2000 Nr. 4 107 sid.
- Brunberg, T. & Arlinger, J. 2001. Vad kostar det att sortera virket i skogen?, *Skogforsk*. 4 sid ISSN: 1103-4173
- Duchesne, I., Wilhelmsson, L. & Spångberg, K. 1997. Effects of in-forest sorting of Norway spruce (*Picea abies*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*) on wood and fibre properties. *Canadian journal of forest research* 27(5): 790-795.
- Elfving, B., & Kiviste, A. (1997). Construction of site index equations for *Pinus sylvestris* L. using permanent plot data in Sweden. *Forest Ecology and Management*, 98(2), 125-134.
- Holappa Jonsson, S., Asmoarp, V. & Eriksson, I. 2019. Resurseffektiv skörd av biomassa genom integrerad produktions-och flödesstyrning. *Skogforsk, Arbetsrapport* 1027.
- Jonasson, J., Arlinger, J., Wilhelmsson, L., Spångberg, K., Ekenstedt, F., Grahn, T., Hedenberg, Ö., Lundqvist, S.-O., Jansson, U. & Oskarsson, R. 2001. *Skog-Massa-Papper Sydsvensk utvidgning. Södra, Mörrum* Nr. 89
- Möller J., J., Arlinger, J., Bhuiyan, N., Eriksson, I. & Söderberg, J. 2017. Utbytesprognoser baserade på skogs- och skördardata - Modell och systembeskrivning för skapande av stambanker och imputerat utbyte. *Skogforsk Arbetsrapport* 961: 35 sid.
- Nordström, M., Arlinger, J., Grahn, T., Hägg, L., Jägbrant, S., Lycken, A., Möller, J. J., Ohlström, A., Runosson, D. & Wallbäcks, L. 2020. Ökad integration skog-industri med digitala egenskapsdeklarationer av rundved och flis. *Skogforsk Arbetsrapport* 1057.
- Nordström, M., Wilhelmsson, L., Arlinger, J. & Möller J., J. 2010. Skördardata kan ge industrin viktig information från skogen. *Skogforsk Resultat* 21.
- Spångberg, K. 1999. Classification of *Picea abies* pulpwood according to wood and stand properties. *Scandinavian journal of forest research* 14(3): 276-281.
- Wilhelmsson, L. 2006. Two models for predicting the number of annual rings in cross-sections of tree stems. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21(S7): 37-47.
- Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Hannrup, B., Nordström, M., Övrum, A. & Gjerdrum, P. 2011. Methods and models for relating wood properties and storage conditions to process efficiency and product quality. *Skogforsk Arbetsrapport* 750.
- Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Spångberg, K., Lundqvist, S.-O., Grahn, T., Hedenberg, Ö. & Olsson, L. 2002. Models for predicting wood properties in stems of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 17: 21 sid.