

Transportkostnader och virkesflöden

Vid fordonsflottor med olika bruttoviktskombinationer: 64-, 70-, 74- och 90-ton.

Johanna Enström, Henrik von Hofsten, Lars Eliasson, Thomas Parklund



Foto: Lars Eliasson

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	4
Summary	5
Inledning	6
Bakgrund.....	6
Syfte	6
Material och metod	6
Simuleringsmodellen	8
Beräkningar och data.....	11
Scenarier	12
Resultat	12
Diskussion och slutsatser	14
Slutsatser	16
Referenser	17



skogforsk

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

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts 29 maj 2023 av Gert Andersson, programchef och Petrus Jönsson, Bitr. programchef. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering den 20 november.

Redaktör: Charlotte Hessulf, charlotte.hessulf@skogforsk.se
©Skogforsk 2023 ISSN 1404-305X

Förord

På uppdrag av ETT-projektet (En Trave Till) har Skogforsk genomfört en simuleringsstudie för att hitta en lämplig sammansättning av fordon i en region. Detta har skett med avseende på de ingående fordonens bruttovikter och bärighetsklassificeringen av vägnätet.

Studien omfattade ett tänkt virkesflöde om cirka 250 000 m³fub på årsbasis och syftet var att analysera olika fordonsflottors inverkan på transportkostnader och virkesflöden.

Studien har bekostats av de medel som ETT-projektet förfogar över genom årliga bidrag från Billerud Korsnäs, Holmen Skog, SCA, Stora Enso, Sveaskog, Söderenergi, Södra Skog, Skogsindustrierna samt Skogforsk.

Uppsala i maj 2023

Författarna

Sammanfattning

Skogforsk har sedan många år varit delaktiga i utvecklingen av så kallade HCT-fordon (High Capacity Transport). Hittills har arbetet mest handlat om att finna lösningar för praktisk driftsättning av enstaka HCT-fordon på olika platser i landet.

I denna studie har vi, på uppdrag av ETT-projektet, analyserat hur olika fördelningar mellan HCT-fordon med olika bruttovikter påverkar transportkostnader och virkesflöden inom en större region. För ändamålet valdes Värmlands län där Skogforsk sedan tidigare har ett bra datamaterial över faktiska virkesvolymen som transporteras samt aktuella vägar och mottagande industrier.

Till simuleringsstudien valdes sju scenarier med olika kombinationer av fordon, från några med bara 64- och 70-tonsfordon till de med huvudsakligen 74- och 90-tonsfordon.

De sju scenarier som användes var:

Scenario	Antal fordon per bruttoviktsklass				Totalt antal fordon
	64	70	74	90	
S1	2	5			7
S2		7			7
S3	1	3	3		7
S4	1	3	2	1	7
S5		3	2	1	6
S6		4	1	1	6
S7		1	3	2	6

Resultaten i sammanfattning:

Scenario	Kr/tonkm	Kr/ton	Relativa kostnader	Km	Relativa avstånd
S1	1,375	98,79	-	72	-
S2	1,406	99,03	100 %	70	98 %
S3	1,393	97,75	99 %	70	98 %
S4	1,392	95,99	97 %	69	96 %
S5	1,412	98,71	100 %	70	97 %
S6	1,408	97,01	98 %	69	96 %
S7	1,392	104,77	106 %	75	105 %

De relativa kostnaderna och avstånden är i relation till scenario 1 (S1).

Resultaten är inte entydiga, utan beror på vilka responsvariabler som väljs i simuleringen. Sett till kostnad per tonkilometer är scenariet med enbart 64- och 70-tonsfordon bäst medan scenariot med något eller några av alla fyra fordonstyperna presterade bäst sett till kostnad per transporterat ton.

De övergripande slutsatserna av studien är att även om skillnaden mellan scenarier är liten så bör:

- fordonsflottan innehålla fordonskombinationer för alla viktklasser, så länge BK4-vägnätet är så begränsat som i denna studie.
- arbetet med att förmå väghållarna nära industrierna att uppgradera aktuella vägar till BK4 intensifieras.

I en nära framtid bör studien utvidgas för att beakta följande frågor:

- De anslutningsvägar som leder in till industrierna bör klassas som BK4 för att studera effekterna i främst ekonomiska termer av en sådan åtgärd.
- På samma sätt bör en del större vägar knytas ihop med BK4 för att fingera fler tydliga "timmerrännor" mot industrierna.
- Ett basscenario med högsta bärighetsklass BK1 bör adderas som en referensnivå.
- Den miljömässiga aspekten av de olika scenarierna bör studeras i termer av exempelvis CO₂ per ton transporterat virke vid industri. Med tanke på den stora skillnaden i bränsleförbrukning mellan de olika simulerade fordonskombinationerna bör en sådan analys kunna bli ganska utslagsgivande.

Summary

For many years, Skogforsk has been involved in the development of HCT (High Capacity Transport) vehicles. The focus until now has been on finding solutions for practical commissioning of single HCT vehicles in different parts of the country. Within the ETT project, this simulation study analysed whether an optimal distribution between different types of HCT vehicles in a larger region could be found. The county of Värmland was chosen, where Skogforsk already has good data on actual timber volumes, and where roads and industries could be used for the study. Seven scenarios were selected with different vehicle combinations, some with only 64- and 70-tonne vehicles, some with mainly 74- and 90-tonne vehicles, and some with a mix of all vehicle sizes. The results are not conclusive, and fleet composition vary according to the preferred response variable. The scenario with only 64- and 70-tonne vehicles is the best in terms of cost per tonne-kilometres, while the scenario with one or more of all four vehicle types performed best in terms of cost per tonne transported.

Inledning

Bakgrund

Sedan år 2006 har Skogforsk arbetat med utvecklingen av längre och tyngre virkesfordon. Syftet är att minska den totala bränsleförbrukningen och därmed de totala utsläppen från virkestransporterna. Detta bör även leda till minskade kostnader och färre fordon på vägarna. Arbetet har inte bara omfattat de tekniska lösningarna, utan har i minst lika hög grad syftat till att få ett vägnät där dessa fordon får köra utan krav på särskilda tillstånd. Detta arbete har lett till att vi idag har omkring 3 500 mil statlig väg upplåten för transporter med 74-ton bruttovikt (BK4 – vägar) (von Hofsten & Parklund 2022), vilket motsvarar omkring 35 procent av det statliga vägnätet. Eftersom endast en tredjedel av vägnätet kan användas för vikter över 64 ton är det av stort intresse att studera hur användbart vägnätet trots allt är. Vi ser redan idag att många åkerier har fordonskombinationer konfigurerade på lite olika sätt, från 64 ton till 74 ton, men hur många kombinationer av fordon i de olika storleksklasserna är mest fördelaktigt i en given region? Skulle situationen förändras om man lägger till en ännu större fordonskombination på 90 ton?

Syfte

Syftet med projektet har varit att:

- öka förståelsen för hur en flotta av olika fordonstyper inom ett verksamhetsområde påverkar varandra och transportsystemet som helhet
- studera samspelet mellan tillgängligt vägnät, fordonen och transportuppdraget
- utvärdera transportkostnaden för hela den studerade virkesvolymen för de olika scenarierna med fordonsflottor med olika kombination av bruttovikter
- utvärdera ekonomin för hela flottan.

Material och metod

Den övergripande metoden är en simulerad fallstudie med hjälp av händelsestyrd simulering i programvaran ExtendSim. Händelsestyrd simulering är ett sätt att analysera system där tiden har betydelse och kan stegas fram. I simuleringsmodellen läses data in och används för beräkning och sortering i olika steg. Endast ett fåtal moduler representerar själva tidsåtgången för olika moment.

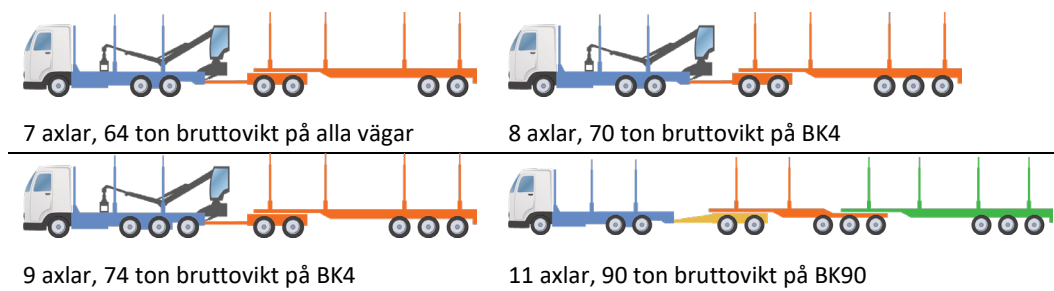
Målet med den framtagna modellen är att möjliggöra jämförelser av system med olika sammansättning av fordonsflottan, avseende antal fordon och fordonens bruttovikt, på transportarbetet i en utvald region – i detta fall Värmland.

Inom regionen finns vägar med olika bärighet. Utöver BK1 (64-tons bruttovikt) och BK4 (74-tons bruttovikt) från det verkliga vägnätet, såsom det såg ut 2021, har en fiktiv bärighetsklass – BK90 (90-tons bruttovikt) – lagts till. Den senare är i princip BK4 med tillägget att vägen ska vara minst 3,5 meter bred vilket straffar ut en del mindre vägar. Skogsvägarna har vi antagit varit tillräckligt bäriga för samtliga fordonskombinationer.

Utifrån dessa förutsättningar har vi skapat ett nät av rutter från varje avlägg till industri med hänsyn till varje bärighetsklass och utifrån dessa tagit fram avstånd mellan varje objekt och mottagare.

Det virke som transporterats i simuleringsmodellen slumpas ut, i landskapet Värmland, veckovis med 5 500–6 000 m³fub per vecka till 2–10 avlägg beroende på hur stort slumpen gjort avverkningarna. Slumpen har styrt beståndsvalet vilket i sin tur avgör sortimentsfördelningen. Därmed har årsvolymen i simuleringen varierat mellan 245 000 och 265 000 m³fub. All transport har skett till den närmaste mottagaren för aktuellt sortiment. De simulerade transporterarna har alltså inte sökt efterlikna en faktisk industriefterfrågan.

Transporterna har simulerats med en blandad flotta av olika lastbilsekipage med sju, åtta, nio, respektive elva axlar vilket ger maximala bruttovikter på 64, 70, 74 och 90 ton på BK4 respektive BK90-vägar, se Figur 1 och Tabell 1. Kombinationerna med 7–9 axlar har antagits ha egna kranar för lastning medan den 11-axliga kombinationen blir för lång för att lasta med egen kran. I stället har vi antagit att den fordonstypen har tillgång till separatlastare på plats. De rutter som inte kan köras i hela sin längd på de högre bärighetsklasserna har då blivit en BK1-rutt vilket lett till att de maximala bruttovikterna sänkts till 64 ton oavsett antalet axlar. I sådana fall har 90-tonsfordonet diskvalificerats helt från den aktuella ruten. En bärande del i simuleringsstudien har varit att modellera antalet fordonskombinationer av de olika storlekarna, det totala antalet har dock varit tämligen konstant med 6–7 ekipage.

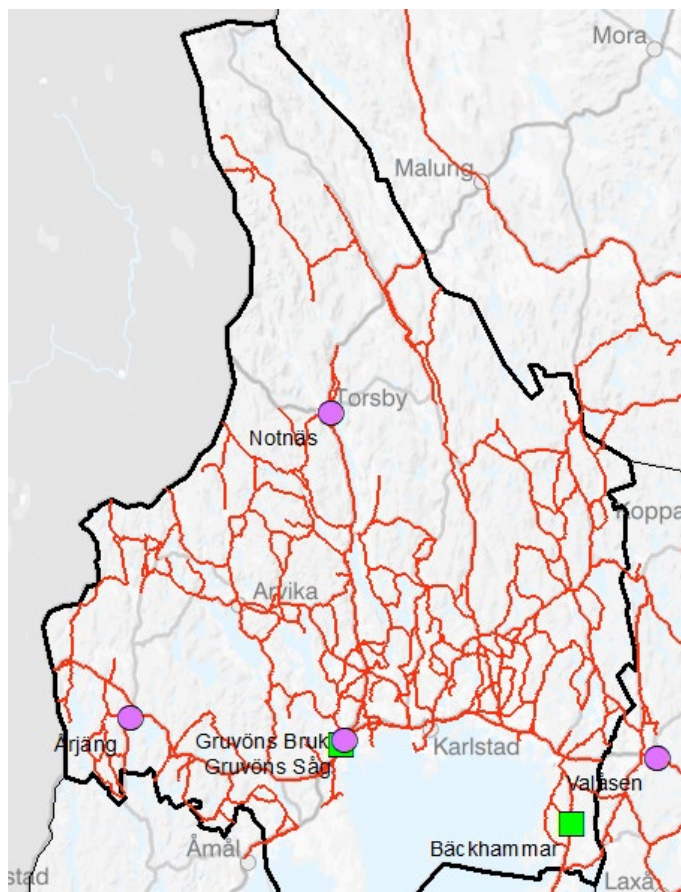


Figur 1. Schematiska illustrationer över de fordonskombinationer som ingått i simuleringsstudien. De med 7–9 axlar har tillåtits köra på BK1-vägar med 64 tons bruttovikt, medan den 11-axliga kombinationen helt undantagits från BK1. Observera att i systemet med den 11-axliga kombinationen ingår även en separatlastare.

Tabell 1. Maximal lastkapacitet per axelkonfiguration och belastningsklass för de fordonståg som ingått i studien, Figur 1, samt maximal möjlig vedvolym innanför stakarna.

Axelkonfiguration	Tjänstevikt	Lastvikt, BK1	Lastvikt, BK4	Max virkesvolym, m ³ fub
7 axlar	22,3	41,7	41,7	55,3
8 axlar	23,1	41,0	47,0	60,8
9 axlar	24,3	39,8	49,8	60,8
11 axlar	24,8	-	65,2	73,5

Mottagarna som ingått i studien är fyra sågverk och två massabruk. Ett av sågverken antogs endast ta emot grantimmer medan de andra fick ta emot både gran- och talltimmer. Båda massabruken tilläts ta emot all massaved och hade också, i praktiken, obegränsad tillgång till BK4-vägar i sina respektive närområden. Av sågverken var det bara Gruvvön som hade full tillgänglighet med BK4 medan de andra hade begränsningar i någon riktning där endast 64-tonslast kunde köras. Se Figur 2.



Figur 2. Det BK4-vägnät som användes samt de mottagande industrierna som ingick i studien. Gröna fyrkanter är massabruken och lila cirklar är sågverken.

Efter att simuleringarna körts och medelvärden för de olika upprepningarna beräknats har data från simuleringen använts för att beräkna kostnaden för respektive fordon i systemet och därefter för systemet som helhet. För detta har vi använt en kalkylmodell framtagen genom det samnordiska forskningssamarbetet NB-nord (Fjeld m.fl. 2021). Kalkylmodellen är avsedd att användas för att jämföra olika fordon med olika ingångsvärden vilket gör modellen väl lämpad för aktuellt ändamål. För den 11-axliga kombinationen har det antagits att den haft en separatlastare på plats som givits en fast kostnad om 17 kr/ton, baserat på erfarenhetsdata.

Simuleringsmodellen

Bilarnas kapaciteter är i fokus för analysen och har därför modellerats detaljerat. Hänsyn har tagits till volym- och viktförhållandet för aktuell fordonstyp på respektive vägklass samt densiteten för respektive sortiment och årstid.

Leveransplanering har däremot inte varit syftet med modellen och därför har ingen hänsyn tagits till industriernas efterfrågan (en ren "push-modell"). Ur en databas med 306 historiska avlägg, slumpades avlägg fram och frisläpps veckovis. Volymen delades upp på olika sortiment som förenklats ner till tre sortimentsgrupper.

Syftet med sortimentsgrupperna är att inte skapa orimligt hög andel delade lass (som plockas ihop från olika avlägg). Massabruk tar ofta emot både barr- och granmassaved, även om ett visst sortiment föredras. Likaså finns det många sågverk som sågar både tall och grantimmer. I de fall olika sortiment ska till samma mottagare kan man i många fall samlasta dessa på ett fordon om alternativet är att plocka ihop volym från flera avlägg. En rimlighetsbedömning av dessa antaganden har gjorts genom att studera transportdata och även via samtal med åkare.

Varje avlägg har en uppsättning avstånd till var och en av de sex mottagarna. Om det är möjligt att köra från avlägg A till en industri B via vägnätet för exempelvis BK4 så tilldelas ett avstånd mellan dessa noder. Det innebär att varje avlägg har totalt 18 avstånd till olika mottagare via de tre vägnäten (som dock kan vara noll om vägen inte är möjlig).

Avläggen går genom modellen som enheter vilka delas upp i lass beroende på väglklass och fordon när transporten skall utföras och fordonen anlitas som resurser. För varje scenario anges hur många resurser som ska finnas tillgängliga av varje fordonstyp. Nedan följer en steg-för-steg-beskrivning över vad som sker när entiteter passerar genom modellen. Flödesschemat i Figur 3 ger en kompletterande bild av hur modellen är organiserad.

Objektets gång genom modellen:

1. Objekt läses in med volymer av olika sortiment.
2. Objekten sorteras i slumpmässig ordning. Det innebär att varje gång modellen körs kommer samma avlägg att levereras till mottagarna men i en ny ordning.
3. Varje vecka tillkommer objekt med en total avläggsvolym på cirka 5 900 m³fub till de objekt som är möjliga att leverera till kund. Väntevärdet för den totala volymen under de 44 simulerade veckorna blir då cirka 260 000 m³fub.
4. Ett objekt blir tre sortimentsobjekt. Om objektet ligger närmast det sågverk som endast tar emot gran delas talltimmet av i ett eget flöde. Modellen möjliggör därmed ingen samlastning mellan olika sortimentsgrupper.
5. Avstånd läses in till de industrier som tar emot sortimentsgruppen. Bland dem jämförs vilken som är närmast baserat på BK1-avståndet och objektet tilldelas denna mottagare.
6. Objektet tilldelas tre avstånd till närmaste industri – BK1, BK4 och BK90.
7. Sortimentsobjektet sorteras till en "BK-kö" enligt följande:

Finns det ett BK90-avstånd och är det max 30 % längre än BK1-avståndet?
Är volymen av sortimentsgruppen minst 190 m³fub?
Om ja på samtliga frågor: sortera till BK90.

Annars: Finns det ett BK4-avstånd och det är max 15 % längre än BK1-avståndet?
Om ja: sortera till BK4.

Annars: Sortera till BK1

8. Objektet väntar i BK-kön tills en resurs (lastbil) som är kopplad till kön är fri att paras ihop med sortimentsobjektet. BK1-kön servas av 64- och 70-tonnare, BK4-kön servas av 70- och 74-tonnare, BK90-kön servas av 90-tonnare.
9. Objekt som väntat mer än en vecka slussas till annan kö där även "fel" sorts bilar kan hämta. En 7-axlig bil får till exempel köra på BK4 eller BK90-väg, men med maxvikten 66 ton. Dock tillåts inte 90-tons lastbilarna hämta i andra köer än BK90.
10. Lassets volym läses in från en databas, baserat på fordonet, bärighetsklassen, sortimentet och årstiden.
11. Volymen på avlägget minskas med lassets volym. Om det finns lass kvar delas avlägget i två där resterande mängd väntar kvar i kön på nästa fordon.
12. Om <90 % av ett lass finns kvar kommer den volymen att slås ihop med nästa avlägg i kön. Första lasset från det nya avlägget markeras då som ett delat lass.
13. Om <3 m³fub finns kvar på avlägget anses det som avslutat.

Lastbillassets gång genom modellen:

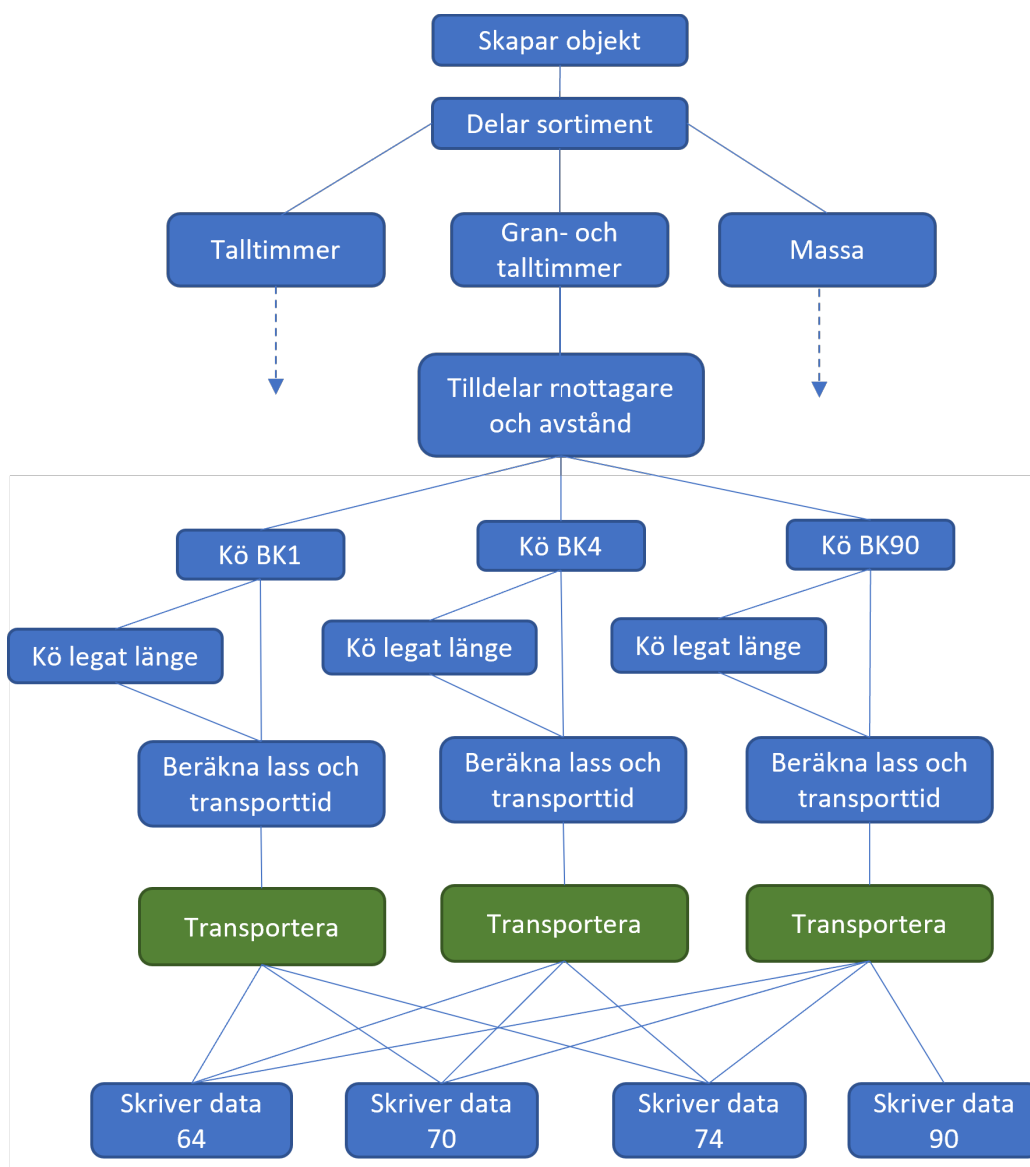
1. Så fort resursen (lastbilen) är ledig paras den ihop med ett objekt i någon av köerna som efterfrågar fordonstypen. Bland de objekt som väntat länge och kan ta alla typer prioriteras ändå rätt lastbilstyp om flera skulle finnas lediga. Skulle det inte finnas något väntande objekt stannar bilen kvar i sin resurspool.
2. Ett transportavstånd väljs utifrån fordonet och bärighetsklassen för objektet. Till exempel om avlägget sorterats till BK90 men fått vänta och därför betjänas av en 74-bil så blir det BK4-avståndet som används.
3. Hela cykeltiden för transport, lastning och lossning beräknas utifrån transportavstånd och fordonstyp.
4. Transporten utförs – resursen upptas under denna tid och släpps därefter fri att betjäna nästa avlägg i någon av köerna som efterfrågar den.
5. Data för varje lass genererar en ny rad i en databas som sedan exporteras till Excel.

De utdata som listas per lass i en tabell för varje fordonstyp är följande:

- Lass nr
- Sortiment
- Mottagare
- Bärighetsklass
- Volym, m³fub
- Sträcka, km
- Lastningstid, h
- Lossningstid, h
- Cykeltid, h
- Delat lass
- Upprepning nummer
- Vecka som transporten sker
- Fordonstyp

Som resultat av varje scenario visas också data över nyttjandegraden för varje biltyper och volymer lagrade vid avläggen under simuleringens gång.

Med hjälp av data för varje lass kan mycket statistik tas fram per scenario, exempelvis över hur stor andel av lasset som 74-tonsfordonen har kört på BK1-väg då kapaciteten av 64 och 70-tonsfordonen inte räckt till.



Figur 3. Schematisk bild över flödet i modellen. Likadana flöden gäller för alla sortimenten och data från leveranser av samtliga sortiment skrivs samman för respektive fordonstyp. Modellen är indelad i flera nivåer av submodeller.

Beräkningar och data

Transporttiden beräknas utifrån avståndet och en hastighet som beror på transportsträckan enligt Ranta (2002). Hastighetsfunktionen har dock anpassats för att ge en något lägre hastighet för större fordon. Vid ett enkelt transportavstånd på 80 km ger de justerade formlerna en ökning av transporttiden med 2 procent för 74-tonsfordon och 4 procent för 90-tonsfordon jämfört med originalformeln. Cykeltiden beräknas enligt en av formlerna nedan för en vända (i timmar).

Originalformeln (1) som använts för 7- och 8-axliga fordon där parametern *Delat* normalt är noll men får värdet 1 om volymer från två olika avlägg krävs för att fylla ekipaget. *Delat* kan även ha värdet 2 om sortimentsgruppen på flera avlägg varit så liten att ytterligare volym krävs. Parametern *Sträcka* är det enkla transportavståndet i km.

$$(1) t = 2 * \text{Sträcka} / (14,96 + 9,86 * \ln(\text{Sträcka})) + \text{Lastningstid} + \text{Lossningstid} + 0,5 * \text{Delat}$$

Formel (2) som använts för 74-tonns fordon:

$$(2) t = 2 * \text{Sträcka} / (13,8 + 9,86 * \ln(\text{Sträcka})) + \text{Lastningstid} + \text{Lossningstid} + 0,5 * \text{Delat}$$

Formel (3) som använts för 90-tonns fordon:

$$(3) t = 2 * \text{Sträcka} / (12,8 + 9,86 * \ln(\text{Sträcka})) + \text{Lastningstid} + \text{Lossningstid} + 0,5 * \text{Delat}$$

Scenarier

Utgångspunkten för försöksupplägget har varit att i första hand inkludera kombinationer av fordonstyper som klarar transportuppgiften utan att ge orimligt lågt utnyttjande på någon av bilarna. Kapaciteten ska vara tillräcklig för att hålla lagren vid avlägg på en nivå som inte skenar iväg under året som simuleras. Det sista scenariot har ansetts intressant att inkludera som diskussionsunderlag trots att det avviker från dessa kriterier.

Ett scenario körs under 44 veckor (årsarbetstiden) och lastbilarna kör då i tvåskift, vilket innebär totalt 80 timmars arbetstid per vecka. Kör- och vilotider har inte tagits hänsyn till eftersom ingen ruttplanering ingår i modellen. En vända kan i simuleringen sträcka sig över olika skift och även över olika dagar eftersom inga gränser där lastbilen måste parkeras vid ett garage eller annan fast punkt under natten har modellerats.

Varje scenario har körts med tre upprepningar, vilket förenklat kan anses motsvara tre års körning.

Tabell 2. Antal fordon av respektive typ i de olika scenarierna. Varje scenario har körts med tre repetitioner.

Scenario	Antal fordon per bruttoviktssklass				Totalt antal fordon
	64	70	74	90	
S1	2	5			7
S2		7			7
S3	1	3	3		7
S4	1	3	2	1	7
S5		3	2	1	6
S6		4	1	1	6
S7		1	3	2	6

Resultat

I simuleringarna ger scenario 4 den lägsta observerade medelkostnaden per ton virke levererat till kund, Tabell 3. Skillnaderna i vägval medför dock att scenariot inte ger den lägsta observerade kostnaden per tonkm. Nyttjandegraden för 74- och 90-tonnsfordonen i scenariot är relativt lågt (Tabell 5) och den kalkylerade kostnaden förutsätter att de kan komplettera sitt arbete med körning utanför det simulerade området eller åt andra uppdragsgivare. Förutom scenario 7, klarar alla scenarier att leverera det mesta av den tillgängliga volymen.

Anledningen till att scenario 7 inte fullt ut kan leverera den befintliga volymen till mottagarna är en brist på fordon som kan transportera virke på BK1 och smala BK4 vägar, då de två 90-tonsfordonen inte antas kunna utnyttjas som 64- eller 74-tonsfordon utan endast på det utpekade 90-tonsvägnätet.

Tabell 3. Kostnader uttryckt som kr/ton vid industrigrind för de olika scenarierna.

Scenario	Kr/tonkm	Transporterad volym	Kr/ton
S1	1,375	249 806	98,79
S2	1,406	255 772	99,03
S3	1,393	250 163	97,75
S4	1,392	245 558	95,99
S5	1,412	245 325	98,71
S6	1,408	247 529	97,01
S7	1,392	200 700	104,77

Vid en närmare analys av utfallet kan man se att för sågtimmer påverkar de olika valen av fordonsflotta (scenarierna) inte vare sig tiden eller sträckan per kubikmeter signifikant, se Tabell 4. Detta är en effekt av att endast ett av de fem sågverken har väg med bärighet BK4 hela vägen fram till industrin. För massaleveranserna är utfallet ett annat och scenario 2 ger både den kortaste tiden och kortaste sträckan per kubikmeter (Tabell 4). Den relativt sett höga kostnaden för 70-tonsfordonen i scenario 2 jämfört med medelkostnaderna per scenario gör att scenario 3 och 4 totalt sett blir billigare, Tabell 2. I dessa scenarier används 74-tonsfordon där transporten blir billigare per ton eftersom de har en hög andel lass där deras lastkapacitet utnyttjas fullt ut. I scenario 4 tillkommer dessutom ett 90-tonsfordon som enligt förutsättningarna endast utnyttjas där det är tillåtet med 90 tons bruttovikt, vilket ytterligare sänker kostnaden per ton.

Tabell 4. Tid och sträcka per m³ transporterat virke. Kolumnerna med bokstäver markerar skillnader mellan scenarierna som är statistiskt säkerställda där skilda bokstäver anger signifikanta skillnader. För timmer finns således inga signifikanta skillnader men för massaved finns en del, ganska svårtolkade skillnader. Medeltal i en kolumn som efterföljs av samma bokstav är inte säkerställt skilda från varandra.

Scenario	Massaved		Timmer	
	Tid per m ³ (minuter)	Sträcka per m ³ (km)	Tid per m ³ (minuter)	Sträcka per m ³ (km)
S1	5,7 AB	1,98 A	4,3 A	1,16 A
S2	5,6 A	1,92 A	4,4 A	1,19 A
S3	5,7 AB	1,95 A	4,2 A	1,12 A
S4	5,9 AB	2,03 A	4,2 A	1,17 A
S5	6,0 BC	2,11 AB	4,2 A	1,18 A
S6	5,8 AB	2,02 A	4,3 A	1,19 A
S7	6,3 C	2,23 B	4,4 A	1,28 A

I alla scenarier utnyttjas 70-tons fordonen till stor del som 64-tonsfordon, vilket minskar medellastvikten och därigenom ökar transportkostnaden per ton (Tabell 4 & Tabell 5). Särskilt scenarierna 4 till 7 skulle ha fått något sänkta kostnader om ett eller två 70-tonsfordon ersatts med 64-tonsfordon. Med fler mottagare som varit anslutna till BK4-vägnätet hade andelen transporter där 70- och 74-tonsfordonen varit tvungna att användas som 64-tonsfordon minskats betydligt. Detta hade lett till minskade kostnader per ton virke då medellastvikten på dessa fordonstyper ökat.

Tabell 5. Utnyttjandegrad, kostnad per ton i de olika scenarierna samt andelen lass som körs med "fel" fordonstyp.

	Nyttjandegrad %				Kostnad per ton				Andel som 64-tonsfordon %			
	64	70	74	90	64	70	74	90	64	70	74	90
S1	84	87			98,7	98,8			100	62		
S2		83				99,0				74		
S3	98	98	56		97,7	103,5	89,4		100	92	28	
S4	95	95	51	68	95,1	101,9	93,8	81,6	100	95	47	0
S5		100	84	74		106,8	95,3	82,6		97	72	0
S6		99	77	71		101,6	93,6	82,1		92	66	0
S7		100	98	42		111,4	114,1	77,4		100	81	0

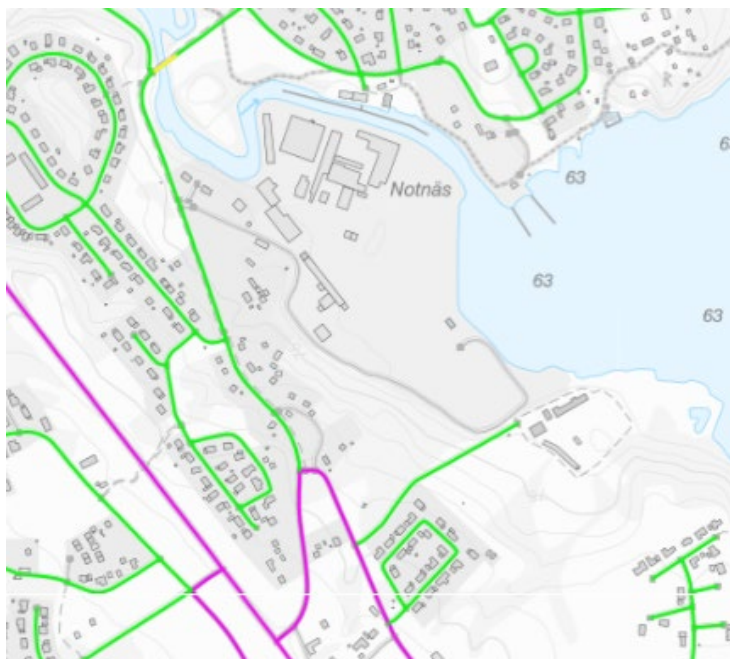
Tabell 6. Medellastvikt per fordonstyp i de olika scenarierna. Förhållandevis låga lastvikter för en viss typ innebär att fordonstypen gått som 64-tonnare i större utsträckning.

	Lastvikt			
	64	70	74	90
S1	39,6	41,1		
S2		40,4		
S3	39,6	39,4	42,8	
S4	39,6	39,2	42,8	61,9
S5		39,1	40,4	61,9
S6		39,4	41,0	61,9
S7		38,9	39,6	61,9

Diskussion och slutsatser

Resultaten från studien har sannolikt påverkats stort av att BK4-vägnätet i Värmland är ganska begränsat. Detta var känt i samband med planeringen av projektet men ansågs belysa de problem som kan uppstå. Dessutom fanns redan ett väldigt bra material över virkesmängder, avläggspositioner, avverkningsstrakter med mera från ett tidigare projekt med samma vägnät (Fjeld m.fl. 2022).

Ett typiskt problem som uppstod på grund av att anslutningsvägar till mottagaren inte klassificerats som BK4 i den nationella vägdatan NVDB exemplifieras i Figur 4, där sågverket i Torsby (Notnäs) har BK4-väg nästan ända fram (rosa) men det saknas drygt 500 meter som är markerad som BK1. Alla vägar inom det tätbebyggda området ägs och underhålls av kommunen. Tyvärr är det inte ovanligt att sista biten från det statliga vägnätet till industrier eller terminaler inte klassats upp till BK4 vilket gör att i denna simulering har vi inte kunnat köra mer än 64 ton fram till Torsby sågverk. I studien är samtliga sågverk utom det i Gruvön drabbat av liknande situationer.



Figur 4. Belastningsklassning för infartsvägarna till sågverket i Torsby (Notnäs). Rosa är BK4 och grönt är BK1.

Därutöver finns ett antal längre vägvagnsnitt på det statliga vägnätet (Figur 2) som inte är BK4 vilket gjort att simuleringen varit tvungen att endera köra runt med ett större fordon, släppa den transporten till något av de mindre fordonen alternativt reducera bruttovikten på ett 70-/74-tonsfordon till 64 ton. Detta har i de flesta fallen påverkat det ekonomiska utfallet negativt, men frågan är komplex och bör bli föremål för framtida studier där man exempelvis gör egna fiktiva belastningsklassningar av vissa vägvagnsnitt för att studera effekterna på systemet i sin helhet.

Ruttplaneringen med början och slut av skift samt kör- och vilotider utgör begränsande faktorer för kapaciteten i det verkliga transportsystemet som inte inkluderats i modellen. Det innebär att den verkliga kapaciteten hos en motsvarande fordonsflotta kan antas vara lägre jämfört med vårt simulerade system. I samma riktning påverkar att modellen hela tiden levererar till närmsta industri för sortimentsgruppen vilket ger kortare transportavstånd än i verkligheten där avtal och efterfrågan styr flödena (ibland förbi närmsta mottagare). Vi kan därför anta att det simulerade systemet har en högre effektivitet jämfört med ett verkligt, med samma avlägg och samma fordonsflotta.

Även om kapaciteterna är något överskattade så kommer inte jämförelserna mellan olika scenarier påverkas nämnvärt. Därför kan resultaten användas för att dra slutsatser om fördelningen av olika fordonstyper för ett vägnät och virkesflöde motsvarande det i studien.

I modellen har vi valt att diskvalificera den 11-axliga konfigurationen från transporter där den inte kunnat köra som just 90-tonnare. I verkligheten är det naturligtvis fullt möjligt att ta isär ekipaget genom att ta bort linken (orange i Figur 1) och därmed skapa en 8-axlig 70-tonnare. Ett sådant system hade dock varit svårt att inkludera i simuleringen på ett bra sätt, dessutom hade det kortade ekipaget fortfarande saknat kran. I de fall där åtminstone en del av de mindre fordonen körs som gruppfordon och lastas av en separatlastare är det fullt möjligt att inkludera möjligheten att ta bort linken från ett 90-tonnsfordon i simuleringen.

Inget av de simulerade scenarierna kan sägas ha kommit ut som tydlig vinnare, däremot får nog scenario 7 betecknas som ett realistiskt alternativ. S7 saknar 64-tonnare helt och har bara en 70-tonnare vilket leder till att de ingående 74-tonnarna får ta en stor del av transporterna även på BK1 med minskad medellastvikt och ökade kostnader som följd. Avsaknaden av mindre fordonskombinationer har också lett till att lagernivåerna på avlägg inte kunnat hållas på en jämn nivå utan ökat över tid. Se Tabell 3 där totalt inkörd mängd virke är ca 50 000 ton mindre än för de andra scenarierna. På sikt, när BK4-vägnätet byggts ut mer än ett scenario 7 med hög andel tunga fordonskombinationer, dock bli intressant.

Scenario 1 blir väldigt billigt sett till kostnad per tonkilometer beroende på att scenariot bara har 64- och 70-tonnsfordon, vilka bägge är förhållandevis billiga att köra på BK1-vägar och därmed alltid kan ta kortaste vägen till industri. Å andra sidan blir kostnaden per ton relativt hög eftersom det blir fler och mindre lass.

Ser man till kostnad per ton framkört till industri är det scenario 4 som tar en betryggande ledning. S4 är det scenario som har störst flora av olika fordonskombinationer vilket leder till att transporterna kan optimeras bättre beroende av vägklass, sträcka och vart virket ska. Men även där får 70- och 74-tonnarna transportera en stor del lass med 64-tons bruttovikt beroende på att det saknas tillräckligt många BK4-vägar fram till industrierna, särskilt sågverken.

Slutsatser

Slutsatsen av denna studie är att även om skillnaden mellan scenarier är liten så bör:

- fordonsflottan innehålla fordonskombinationer för alla viktklasser, så länge BK4-vägnätet är så pass begränsat som i denna studie
- arbetet med att förmå väghållarna nära industrierna att uppgradera aktuella vägar till BK4 intensifieras.

I en nära framtid bör studien utvidgas för att beakta följande frågor:

- De vägar som leder in till industrierna bör fiktivt klassas till BK4 för att studera effekterna i främst ekonomiska termer av en sådan åtgärd.
- På samma sätt bör en del större vägar knytas ihop med BK4 för att fingera fler tydliga "timmerrännor" mot industrierna.
- Den miljömässiga aspekten av de olika scenarierna bör studeras i termer av exempelvis CO₂ per ton transporterat virke vid industri. Med tanke på den stora skillnaden i bränsleförbrukning mellan de olika simulerade fordonskombinationerna bör en sådan analys kunna bli ganska utslagsgivande.

Referenser

- Fjeld, D. Eliasson, L; Westlund, K; Kogler, C; Rauch, P;; Kanzian, C; Holzfeind, T; och Gobakken, LR; 2022. Regional model documentation. MS5 – Value tracking and response sub-models implemented. Regional case models ready to run in workshops. GreenLane Research Report D4.
- Fjeld, D., Väätäinen, K., von Hofsten, H., Noreland, D., Callesen, I. & Lazdins, A. 2021. A common Nordic-Baltic costing framework for road, rail and sea transport of roundwood. NIBIO Report 7:8.
- Ranta, T. 2002. Logging residues from regeneration fellings for biofuel production - a GIS-based availability and supply cost analysis. Lappeenranta University of Technology, Nr. Acta universitatis Lappeenrantaensis 128, 182 sid.
- von Hofsten, H. & Parklund, T. 2022. Utvecklingen av BK4-vägnätet och virkesfordon konfigurerade för BK4. Skogforsk. Webbartikel 74.