



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2018 30 stp

Kartlegging av volumvariasjon per vogn for jernbaneleveranse av massevirke via «Norgespendelen»

Assessment of volum variation per wagon of pulp delivery on railway in «Norgespendelen»

Pål-Arne Aa. Løfsgaard

Master skogfag
Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

Forord

Min tid som skogfagstudent ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet er over med denne masteroppgaven. Oppgaven er skrevet for og i samarbeid med Stora Enso Skog AS, Virkestransport Øst og Norsk Virkesmåling, og er en kartlegging av volumvariasjon ved jernbaneleveranse av massevirke.

Jeg vil rette en stor takk til veileder og seniorforsker Dag Fjeld for god veiledning gjennom våren 2018. Jeg vil også takke Arne Ivar Øvergård, daglig leder i Stora Enso Skog AS, for muligheten til å gjennomføre denne oppgaven, samt all veiledning jeg har fått på veien, og Ole Søren Skybak, transportleder i VTØ, for råd og hjelp med oppgaven. En stor takk til Jan Sørnum som var svært behjelpelig under volumregistreringene høsten 2017.

Videre vil jeg også rette en stor takk til mine medstudenter ved skogfag og NMBU generelt, og spesielt til alle samboerne mine i «Tømmerdalen» gjennom 5 deilige år på Ås. Tilslutt går en stor takk til familien hjemme og spesielt tusen takk til samboeren min Ida Bråthen, hjemme i Odalen.

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

Ås, Norge, 11.mai 2018

Pål-Arne Aa. Løfsgaard

Sammendrag

Siden den første jernbanestrekningen ble anlagt i Norge i 1854, har tømmer og trelast blitt fraktet på jernbane, men det er først i de seneste årene at de virkelig store volumene har tatt jernbanen. I 2010 fraktet jernbanen rundt 1.100.000 m³ rundvirke. Fire år senere, som følge av store nedleggelse i papir- og celluloseindustrien, tok omtrent 2.500.000 m³ rundvirke banen. Per tonnkilometer er kostnadene ved lastebiltransport tre ganger så store som for jernbanen. Jernbanen sitter med andre ord på nøkkelen til en mer lønnsom transport for skognæringen, spesielt når transportavstanden fra skogen til industrien stadig øker.

I denne studien ble det kartlagt forekomst og størrelse av volumvariasjoner per vogn for jernbaneleveranse av massevirke, for tre av de største tømmerterminalene i Stora Enso's «Norgespendel»-systemet. Det ble også sett på hovedårsakene til volumvariasjonen, innad og mellom terminalene. Resultatene viste en klar sammenheng mellom volumvariasjon og total virkeslengde per vogn, med en R² verdi på 57,6%. Middelhøyde og middelfastmasseprosenten var også av betydning for volumvariasjonen. De fleste faktorene ble påvirket av antall lag per vogn. Det ble videre sett på lastningspraksis, i form av tilgjengelig lastningstid, bruk av lastemaskintype og terminalutforming, for de ulike terminalene. Her viste resultatene at Norsenga var den terminalen med best lastningspraksis og tid, ved at terminalen oppnådde høyest middelfastmasseprosent, for både lag med fallende lengder og kubb.

Studien så også på forskjeller mellom de tidligere volumregistreringsmetodene av vogner og en mer detaljert volumregistrering. Tilslutt ble det gjennomført enkle beregninger på tiltak for økt lønnsomhet av jernbanetransport av tømmer. Resultatene viste at en økning i vognprofil ga det største innsparingspotensialet, men en eventuell vognprofilutvidelse kan komme i konflikt med tillatt aksellast på jernbanenettet.

Abstract

Since the first railway line was built in Norway in 1854, timber and timber products have been transported by rail. However, it is only in the recent years that large amounts have taken the railroad. In 2010 the railroad transported about 1.100.000 m³ of roundwood. Four years later, due to major closures in the paper- and cellulose industry, 2.500.000 m³ of roundwood were transported by rail. Per ton kilometer the cost of trucking is three times as high as for the railroad. In other words, the railroad is the key to a more profitable transport for the forest industry, especially when the transport distance from forest to industry is increasing.

In this study, the occurrence and size of volume variations per wagon of pulp delivery were assessed, for three of the largest timber terminals in Stora Enso's "Norgespendel"-system. The main reasons for the volume variation, inside and between the terminals, were also studied. The results showed a clear correlation between volume variation and total timber length per wagon, with a R² value of 57.6%. Mean height and mean solid mass percent were also important for the volume variation. Most factors were influenced by the number of bundles per wagon. Loading practices were also compared, in the form of available loading time, types of loading machine and terminal design, for the various terminals. Here, the results showed that the Norsenga terminal had the longest available loading time and efficient loading practice, in that the terminal achieved the highest average solid mass percentage, for both bundles with unsorted and standard lengths (3 meters).

The study also looked at differences between the previous methods for volume registration, and the latest more detailed volume registration. Finally, some simple calculations were done to compare the potential effect of various measures on cost reductions. The results showed that an increase in the wagon profile gave the largest savings potential, until this results in surpassing the permitted axel load on the rail network.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	I
Sammendrag.....	II
Abstract.....	III
1. Innledning.....	1
1.1. Kostnader.....	1
1.2. Tidligere undersøkelser.....	2
1.3. Vogntype ved jernbanetransport av tømmer.....	3
1.4. Problemstilling.....	4
1.5. Mål.....	5
2. Material og Metode.....	5
2.1. Material.....	5
2.1.1. Studieområde.....	5
2.1.2. Teknisk beskrivelse av vogner.....	6
2.1.3. Jernbanenettet.....	6
2.1.4. Terminalene.....	8
2.2. Metode.....	9
2.2.1. Volumregistrering.....	9
2.2.2. Statistisk metode.....	11
3. Resultat.....	12
3.1. Volumregistrering på mottaker terminalene.....	12
3.2. Volum registrering på avsender terminalene.....	13
3.2.1. Middelvolum per vogn og terminal, og hovedfaktorer.....	13
3.2.2. Forskjell i sum stokklengde mellom terminaler.....	15
3.2.3. Forskjell i høyde mellom terminaler.....	17
3.2.4. Forskjell i fastmasseprosent mellom terminaler.....	18
3.2.5. Sammenstilling av trender for vognvolum, lastningstid og lastningspraksis.....	20
3.2.6. Eksempler på vogner lastet med høyt og lavt volum.....	22
4. Diskusjon.....	25
5. Konklusjon.....	29
6. Referanser.....	30

1. Innledning

Den første jernbanestrekningen i Norge ble anlagt i 1854 (Bane Nor, 2008). Denne gikk fra gamle Kristiania til Eidsvoll, og ble kalt Hovedbanen. Muligheten for transport av rundvirke og trelast var av vesentlig betydning for anleggelsen. Selv om jernbanenettet økte, forble fløting den dominerende tømmertransport kilden fram til lastebilens inntog på 1930-tallet. Det var det ikke før på 1970-tallet at jernbanen fraktet mer tømmer enn fløtinga (Statistisk sentralbyrå, 2001). Lastebilen dominerer fremdeles transporten av rundvirke, og transporterer virke fra velteplassen i skogen og direkte til industrien, eller til terminaler for videretransport.

I 2010 ble om lag 1.100.000 m³ tømmer transportert på jernbane (Skjølaas, 2016). Etter flere nedleggelse i papir- og celluloseindustrien i Norge, måtte det en omstrukturering til i tømmer næringen. Løsningen på massevirkeoverskuddet ble Sverige. Transporten dit foregår i hovedsak på jernbane, og i 2014 ble om lag 2.500.000 m³ tømmer transportert på jernbanen i Norge.

1.1. Kostnader

Det er store kostnader knyttet til transport av tømmer. Forsberg et al. (2005) viser til at 1/3 av de totale kostnadene for rundvirket til industrien kommer av transport (Forsberg et al., 2005). For massevirke i Norge har transport, fra velteplass til industritomt, stått for opptil 30-50% av den totale råvarekostnaden til industrien (Meld. St. 6 (2016-2017)).

En effektivisering av tømmertransporten vil dermed kunne gi store kostnadsbesparelser. Jernbanetransport har en betydelig lavere kostnad enn bil over lengre avstander. Per tonnkilometer er kostnadene på bil tre ganger så store som for jernbane, henholdsvis 60 øre/tonnkm mot 20 øre/tonnkm (Statens landbruksforvaltning & Jernbaneverket, 2010). Med biltransport til og omlastingskostnader på terminalene, vil jernbanetransport først bli mer lønnsomt enn biltransport over en viss avstand. Denne konkurransegrensen er beregnet til 130 km. En finsk undersøkelse kom fram til at transport med bane ga lavere kostnader for energivirke ved en distanse over 135-165 km, avhengig av formen av energivirke (rundvirke, flis etc.) (Tahvanainen & Anttila, 2011).

En annen årsak til å øke transporten på jernbane er miljøhensyn og sikkerhet. Mens en tømmerbil på 24 meter og lastevikt på 60 tonn kan transportere ca. 42 m³ per tur, kan et fullastet tog med 28 vogner ha med seg opptil 1800 m³. Dette medfører en betydelig reduksjon i antall tømmerbiler på norske veier.

I en næring som er presset på pris og kostnader, og med skogeiere som er mindre villig til å avvirke ved lave tømmerpriser, er det viktig at transportkostnadene reduseres til et minimum. Dette kan oppnås ved å utnytte kapasiteten på jernbanen og vognene best mulig. Hele skognæringen er i dag tydelige på at utnyttelsen av jernbanen er viktig med tanke på fremtiden. Det er gjennomført flere utredninger på hvordan terminaler og jernbanenettet bør utbedres for økt effektivisering.

1.2. Tidligere undersøkelser

Statens landbruksforvaltning og Jernbaneverket gjorde i 2010 en utredning om økt virkestransport på jernbane. Her ble det sett på muligheter og utfordringer ved å overføre mer av transporten i skognæringen fra vei og til jernbane. Det ble også foreslått tiltak som kunne bidra til å nå målsetningen om at godskapasiteten på jernbane skulle dobles innen 2020. Blant de anbefalte tiltakene var en oppgradering av terminalene Norsenga, Vestmo, Koppang, Hovemoen og Formofoss, og etablering av et nytt kryssingsspor på Kongsvingerbanen (Statens landbruksforvaltning & Jernbaneverket, 2010).

Dag Skjølaas har i prosjektrapport om effektivisering av jernbane sett på lønnsomheten av elektrifisering av jernbanenettet, samt endringer i terminalstrukturen i Norge. I følge analysen vil for eksempel en elektrifisering av Røros- og Solørbanen gi en årlig kostnadsbesparelse på over 15 millioner kroner (Skjølaas, 2016).

I Nasjonal transportplan 2018-2029, (Meld. St. 33 (2016-2017)), er det planlagt å øke lønnsomheten til tømmertransporten i Norge. Her står det blant annet at det prioriteres om lag 300 millioner kroner i løpet av planperioden til utbedring av flaskehalsen som er til hinder for effektiv tømmertransport. Transport på jernbane er en del av dette. Blant annet er Norsenga bru på Kongsvinger allerede oppgradert til å tåle 60 tonn, for å effektivisere transporten inn til tømmerterminalen her (Meld. St. 6 (2016-2017)). Selv om det er gjort flere utredninger på økt effektivisering av jernbanen, er det få som tar opp dagens utnyttelsesgrad av vognene. Fjeld og Skjølaas påpeker at den mest følsomme faktoren ved drift av tømmertransport på jernbane er vognprofilen, altså transportert volum per vogn. Der vognprofilen i 2016 setter volumbegrensning før man oppnår maksimal tillatt lastevikt (Fjeld & Skjølaas, 2016).

Tidligere studier som har sett på tømmertransport, har for eksempel undersøkt tidsbruken ved lastebiltransport (Nurminen & Heinonen, 2007), effekten av større vogntog (Palander, 2017), og effekten av et bedre jernbanenett (Etlinger et al., 2014). Til denne oppgaven er vi ute etter utnyttelsen av lastekapasiteten til jernbanevogner.

Palander et al. (2017) gjorde en studie på effekten av innføring av 76 tonns tømmerbiler i Finland. Denne studien ser på lastebiltransport av tømmer, men prinsippet med utnyttelse av lastekapasitet gjelder. Resultatet ble at en får et redusert transportarbeid med 12,5%. På lang sikt, når alle tømmerbiler får kapasitet til å kjøre 76 tonn, kan reduksjonen bli så mye som 26,7%. 76 tonns bilene var imidlertid volumbegrenset, noe som gjorde det vanskelig å oppnå maksimal lastevekt. Virkeslengder på 3 og 5 meter utfylte den potensielle lastelengden og lastekapasiteten, mens mellom langt massevirke (3,5-4 meter) skapte en underutnyttelse av kapasiteten, spesielt da tømmerbilen kjørte uten kran. Tabell 1 viser Palander og Karhas resultater på effekten av virkeslengde på nyttelasten for 76 tonns tømmerbil uten kran (Palander & Kärhä, 2017).

Tabell 1. Effekten av virkeslengde på nyttelasten for 76 tonns tømmerbil uten kran. Signifikansnivå; *p<0,05, *p<0,001 (Palander & Kärhä, 2017).**

Lengde	Lastevekt
3 meter	55,1 tonn
3,5 meter	52,1 tonn ***
4 meter	50,2 tonn ***
4,5 meter	52,0 tonn*
5 meter	55,0 tonn

Enström et al. (2009) gjorde en undersøkelse på systemtransporter av skogsbrensel på jernbane. Denne studien ser på skogsbrensel, men den gir et innblikk i lastningspraksis. Det ble sett på sammenheng mellom terminalutforming og effektivitet i lasting av torv og grot-flis. De fant ut at måling (veiing av flis) ved lasting ofte ikke samsvarte med lossing. Differansen var fra -6,6% til 5,7%. En usikkerhet på omkring 5% syntes de var for høyt med tanke på at vekten ligger til grunn for betaling. Ved 5% avvik vil et togsett ha en kostnad på +/- 21 000 SEK ved en pris på 175 kr per MWh. De fant også ut at det ved høye vogner ofte ble et problem for hjullasterføreren ved lasting, da føreren ikke kunne se ned i vognen, og at avstanden mellom vogn og flishaug var av betydning for lastningstiden (Enström & Winberg, 2009).

1.3. Vogntype ved jernbanetransport av tømmer

Vognene som ble benyttet til tømmertransport i Norge i 1984 var av typen Lps (NSB & Borregaard, 1984). Disse vognene hadde to aksler, en lasteevne på 29 fm³ og en brutto vekt inklusiv last på 35 tonn. Dette ga en aksellast på 17,5 tonn, 5 tonn mindre enn dagens (2018) tillatte aksellast på Sgnss-vognene til tømmertransport på Østlandet. Dagens (2018) lasteevne er mer enn det dobbelte. Jernbanen blir benyttet til tømmertransport flere steder i verden. I Sverige foregikk ca. 17 % av all

tømmertransport i 2012 på jernbane (Löf, 2015), mens jernbanen i Finland sto for ca. 16% av tømmertransporten i 2005 (Tahvanainen & Anttila, 2011). Tabell 2 viser oversikt over vogntyper, lengde, lastevekt og vognprofil på tømmervogner for jernbanetransport i Norge, Sverige, Tyskland og Finland. Forskjellen mellom de svenske sgnss-vognene var at vognene til Stora Enso hadde endevegg både foran og bak, mens SCA Skog bare hadde en endevegg per vogn. Vognene til Stora Enso var også tilpasset norske vognprofiler. Innowagon var en ny type vogn med 25% større lastevekt og en større vognprofil enn tidligere vogner.

Tabell 2. Oversikt over vogntyper, lengde, lastevekt og vognprofil i Norge, Sverige, Tyskland og Finland.

	Type	Vogn lengde (meter)	Typisk lastevekt (tonn)	Vognprofil Bredde x Høyde (meter)	Kilde
Norge	Lps (1984)	-	29 fm ³		(NSB & Borregaard, 1984)
	Sgnss	19,64	67 tonn	3,2 m x 2,6	(VTG Rail)
Sverige	Kbps-x (2007)	14	-	-	(Net et al., 2011)
	Sgnss (SCA Skog)	19,64	68 tonn	-	(Larsson, 2016)
	Sgnss (Stora Enso)	19,64	57 tonn	-	(Larsson, 2016)
	Sggrrs 80´	-	25% mer enn tidligere	3,6 m x 3,5 m	(Rail Freight, 2017)
Tyskland	Snps	19,60	63 tonn	-	(Net et al., 2011)
	Roos	18,40	59 tonn	-	(Net et al., 2011)
Finland	13-3121	14,62	70 tonn	2,95 m x 2,99 m	(Heljanko, 2017)

1.4. Problemstilling

Til Karlstad transporterte Stora Enso årlig ca. 1.700.000 m³ massevirke (2017), som tilsvarte tre togsett daglig, 350 dager i året (Arne Ivar Øvergård, pers. med. 26.03.2018). Vognene som ankom mottakene i Karlstad varierte til dels mye i volum, og levert volum varierte fra innmålt volum fra avsender terminalene i Norge. I Norge ble målingene gjennomført av Norsk Virkesmåling, som var en nøytral tredjepart mellom kjøper og selger av tømmer. Hver enkelt tømmerbil ble enten FMB-målt eller fotoweb-målt ved innkjøring på terminalen. Fram til september ble det foretatt en grov måling av vognene, der et få talls vogner ble målt ved ankomst i Karlstad. Disse vognene ble brukt som et snitt for de resterende vognene på toget. Dette ble ikke gjort for hvert togsett, så det samme snittet ble dermed brukt for flere togsett. I september 2017 ble det innført et nytt system, der opplasterne på terminalene i Norge registrerte antall lag, som ble lastet på hver vogn. Basert på tidligere målinger

hadde hver av disse lagkonstellasjonene fått et gjennomsnittsvolum. Ut ifra lagertellinger ble det også beregnet egne omregningstall for å tilpasse volumet til hver enkelt terminal.

1.5. Mål

Denne oppgaven ble gjennomført på oppdrag fra Stora Enso. Formålet var å kartlegge forekomst og størrelse av volumvariasjoner per vogn for jernbaneleveranse av massevirke. Fokus lå på hovedårsakene til volumvariasjonen, både innad og mellom terminaler. Oppgaven ble avgrenset til å gjelde Stora Enso's Norgespendel, det vil si tømmertransport på jernbane fra indre Østlandet til Karlstad. De gjennomførte målingene vil senere kunne bidra til å forbedre det nye registreringsystemet som har blitt innført. Denne oppgaven ble gjennomført i samarbeid med Stora Enso, Norsk Virkesmåling og Virkestransport Øst (VTØ).

2. Material og Metode

2.1. Material

2.1.1. Studieområde.

Registreringene ble gjennomført i september, oktober og november 2017 på tre av de største tømmerterminalene i systemet. Disse terminalene var Norsenga på Kongsvinger, Vestmo på Elverum og Hovemoen på Lillehammer. Planen var å registrere vogner på Sørli, men på grunn av at det bare gikk kveldstog fra denne terminalen ble Hovemoen valgt i stedet. Disse terminalene hadde også samme opplastere. Opprinnelig skulle det ha vært sett på hele togsett, men på grunn av tidsmangel og upassende stilltid ble det besluttet og heller se på enkeltvogner. Ved registrering ble hver enkelt vogn på togsettet volum-målt med FMB-måling. På Norsenga ble det registrert både vogner med lauv- og barrmassevirke. Barrmassevirke er en blanding av gran (*Picea abies*) og furu (*Pinus sylvestris*). På Vestmo ble det bare registrert barrmassevirke, mens det på Hovemoen bare ble registrert granmassevirke. Det var planlagt en redusert transport fra oktober fra Norsenga, noe som gjorde at det kun ble registrert tre barr-tog der, totalt 55 vogner tabell 3. På Vestmo ble det registrert 58 vogner fordelt på seks tog fra i år, og et tog fra i fjor. På Hovemoen ble det registrert tre tog i perioden, totalt 42 vogner. For lauvvirke ble 27 vogner registrert fordelt på to tog, alle på Norsenga. Det ble ikke registret om vognene skulle til Skoghall eller Gruvöns bruk i Karlstad.

Tabell 3. Antall togsett, vogner og sortiment som ble registrert fra de ulike terminalene.

	Antall togsett	Antall vogner registrert	Sortiment
Norsenga	3	55	Barr
Norsenga	2	27	Lauv
Vestmo	7	58	Barr
Hovemoen	3	42	Gran

2.1.2. Teknisk beskrivelse av vogner

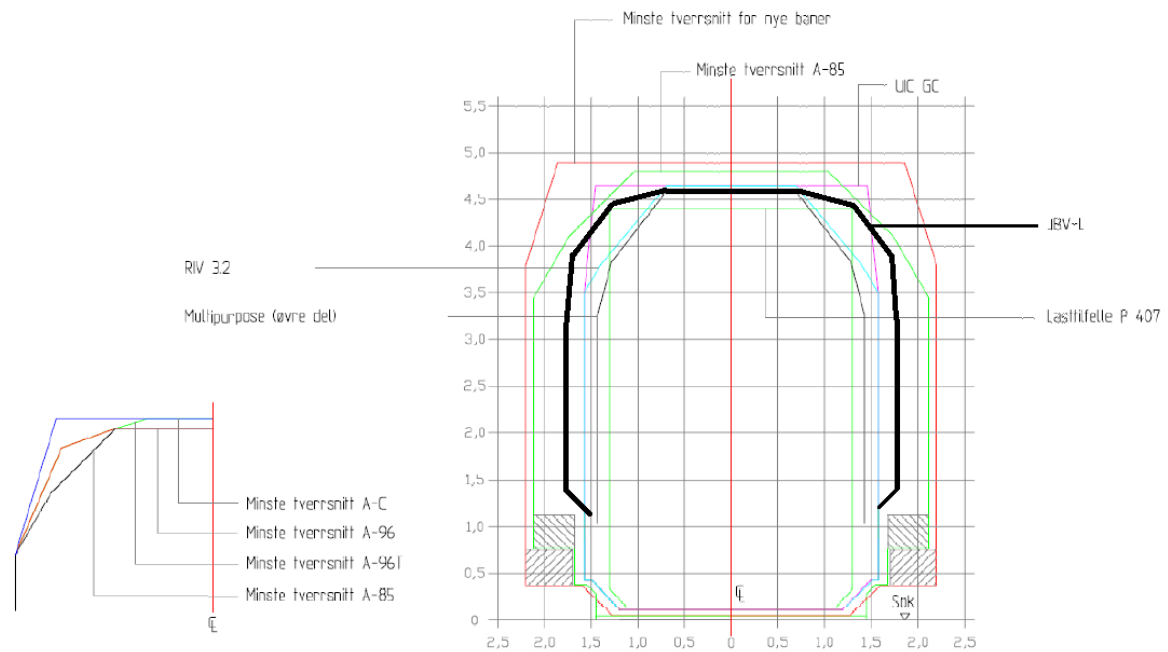


Figur 1. Fullstet sgnss-tømmervogn. (foto: Pål-Arne Løfsgaard)

Til tømmertransport på jernbane i Norge blir det brukt fire-akslet boogie-vogner av typen sgnss med tømmerstaker. Vognene er 19,64 meter lange med endevegg i hver ende (VTG Rail). Lastelengde er på ca. 18,4 meter og lastevekt på 67 tonn. Sgnss-vognene har en høyde på 1,15 meter fra skinnetopp til lasteplan. Stakene har en høyde på 2,6 meter og en innvendig bredde på 3,2 meter. Vognene kommer med enten 9 eller 10 stakesett per vogn. Et tømmer tog kan ha med seg 28 vogner, men på grunn av begrensninger i jernbanenettet går det oftest maksimalt 14 vogner fra enkelte terminaler. Ved transport av 14 vogner blir det som regel tatt med 14 vogner til fra en annen terminal, slik at 28 vogner ankommer Karlstad hver gang.

2.1.3. Jernbanenettet

De fleste jernbanestrekningene i Norge har tillatt aksellast på 22,5 tonn eller mer. Noen få steder er tillatt aksellast på 20,5 tonn (Bane Nor, u.å.-a). Tømmertransport på jernbane foregår i størst omfang på Østlandet og til Sverige, i den såkalte Norgespendelen. Alle disse strekkene har tillatt aksellast på 22,5 tonn eller mer.



Figur 2. «Ofte benyttede minste tverrsnitt, profiler og lastetilfeller på Bane NORs nett». Tømmervogner går under lastetilfellet JBV-L, merket med svart. (Bane Nor, 2017)

Minste tverrsnitt, profiler og lastetilfeller forklarer hvordan vognprofilen kan være på de forskjellige jernbanestrekningene. Begrensninger her kommer av blant annet tunnelprofiler og avstander til kontaktledninger på strekningene. De norske tømmervognene går i dag under lastetilfellet JBV-L, merket svart i figur 1. Dette lastetilfellet har en tillatt høyde på ca. 4,5 meter fra skinnegang. For å kunne utnytte bredden setter profilet begrensninger for høydeutnyttelsen på tømmervognene. Alle nye baner i Norge følger målet for minste tverrsnitt for nye baner, markert rødt, med en bredde på over 4 meter og maksimal høyde på nesten 5 meter.

Muligheten for endringer av vognprofilen begrenses av tunneltverrsnitt, spesielt på jernbanenettet vest for Oslo. Bane Nor, tidligere Jernbaneverket, vurderer profilutvidelse med tanke på tunneltverrsnitt på følgende strekninger (Skjølaas, 2016):

- Sørlandsbanen sørover fra Meheia
- Bergensbanen nord-vestover fra Hønefoss til Nesbyen

Andre begrensninger for tømmertransport i jernbanenettet er aksellast og stigning, dobbeltspor, kryssingsspor og tilsving. For økt last-størrelse er det spesielt aksellast og stigning som setter begrensninger.

For mer informasjon om jernbanenettet og dens tekniske utforming vises det til Bane Nor sine hjemmesider og teknisk regelverk (Bane Nor, u.å.-a).

2.1.4. Terminalene

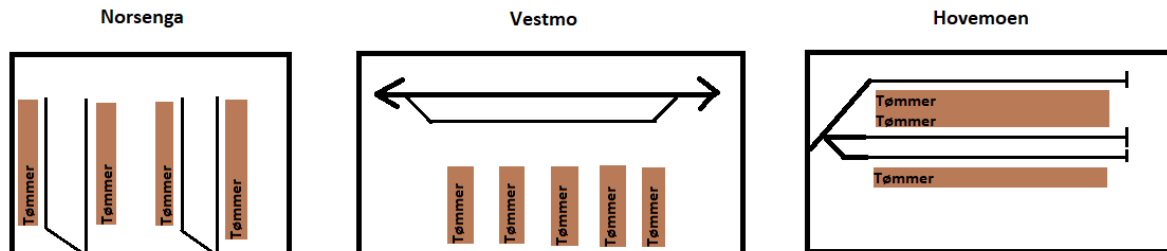
Tabell 4 viser de forskjellige tekniske beskrivelsene til terminalene det ble registrert vogner på. Norsenga var en liten terminal, der det ble håndtert store volum i forhold til areal. Fra tabell 4 ser man at Norsenga hadde fire lastespor, to korte og to litt lengre. Ingen av sporene var lange nok til å laste 28 sammenhengende vogner. Togsettet måtte dermed deles ved ankomst og bli satt sammen igjen ved avreise. Vestmo var en stor terminal, men med bare et lastespor. Dette var til gjengjeld langt. På grunn av plasseringen av lastesporet på Vestmo, kunne vognene bare lastes fra en side. På Hovemoen var det tre lastespor, et langt og to mindre. Fra Hovemoen gikk det stort sett bare 14 vogner om gangen, sporenlengden på terminalen var dermed tilstrekkelig, og hele togsettet fikk plass på et spor. Grunnen til at det bare gikk 14 vogner fra Hovemoen var begrensninger i jernbanenettet.

Både på Norsenga og Hovemoen lå tømmerankene parallelt med lastesporet (Figur 3). Begge terminalene brukte også Liebherr maskiner til lasting. Disse maskinene hadde en hjulgående gravemaskinkropp med roterende kran, et gripeareal på 1-1,9 m² og førerhytta kunne heves (Liebherr, u.å.-a) (Liebherr, u.å.-b). Opplasterne kunne dermed bare snu krana for å lesse og de kunne heve hytta for å få bedre oversikt. Liebherr maskinene blir heretter kalt GrHh. På Vestmo lå rankene vinkelrett fra lastesporet, og det ble benyttet hjullaster og hjullaster med høyløfter til lasting. Hjullasteren, heretter Hj, har en tømmerklo med gripeareal på ca. 2 m² montert på lasteapparatet (Volvo Maskin AS, u.å.-a). Høyløfteren, heretter HjHl, er en hjullaster med tømmerkran fastmontert foran maskinen, kloa er roterende, men krana kan bare heves og senkes (Volvo Maskin AS, u.å.-b). Gripearealet er på over 3 m². Dette gjorde at opplasterne på Vestmo måtte kjøre frem og tilbake mellom rankene og vognene ved lasting. De hadde også fast førerhytte som gjorde at oversikten ble dårligere enn for GrHh maskinene. Retningslinjer for lasting av rundvirke ved tømmertransport på jernbane finnes i föreskrift om lastning av rundvirke (Föreskrift om lastning av rundvirke, 2009). Her sto det blant annet at lasting ikke får skje over staketopp.

Tabell 4: Teknisk beskrivelse av de forskjellige terminalene. (Bane Nor, u.å.-b)

	Norsenga	Vestmo	Hovemoen
Sporlengde	1: 120 meter	1: 1330 meter	1: 360 meter
	2: 160 meter		2: 520 meter
	3: 390 meter		3: 380 meter
	4: 390 meter		
Dekke	Asfalt	Grus, jord og bark	Grus, jord og bark
Lastemaskin	2 stk GrHh	1 stk Hj og flere HjHl	2 stk GrHh
Gripe areal	1-1,9 m ²	>2 m ²	1-1,9 m ²
Plassering av tømmer	Ranker parallelt med sporet	Ranker vinkelrett fra sporet	Ranker parallelt med sporet
Avstand fra tømmerranke til lastningsspor	< 10 meter	>10 meter	< 10 meter

Figur 3. Skisse over lastespor med plassering av tømmerranker for de ulike terminalene.



2.2. Metode

2.2.1. Volumregistrering

Ved transport ble alt virke lastet på minimum to staker, dette betød at vogner med 9 staker ikke kunne bli lastet med 5 lag, mens vogner med 10 staker optimalt ble lastet med 5 lag. Normalt ble lag med kubb lastet på to staker og fallende lengder på tre staker. Under registreringene ble det ikke registrert hvor mange staker vognene hadde.

En vogn bestod av 3, 4 eller 5 lag med virke. Der 3 lags vogner kun bestod av fallendelengder, 4 lags vogner bestod optimalt av 3 lag med kubb og 1 lag med fallende lengde, og 5 lags vogner bestod av 5 lag med kubb. Kubb hadde fast lengde på litt over 3 meter og ofte en grov dimensjon, da dette stort

sett var en rotstokk. Lag med fallende lengder var stokker med lengder mellom 3,5 og 5,5 meter. De fallende lengdene hadde ofte små dimensjoner, da dette ofte var toppstokker eller annet virke som ikke oppfylte kravene til sagbrukene.

Registreringene ble gjennomført ved FMB-måling, fastmassebedømming, av hvert enkelt lag. Det ble registrert lengde, bredde, høyde og fastmasseprosent. Ved FMB-måling ble laget målt som en tenkt kasse, og reglementet for FMB-måling av massevirke til Norsk Virkesmåling ble brukt (Norsk Virkesmåling, 2015). Alle registreringene ble gjort fra en side. Bredden ble satt til avstanden mellom stakene på vognene, som ved flere målinger ble 32 desimeter (dm). Bredden blir derfor ikke kommentert videre i oppgaven.

Lengde, høyde og fastmasseprosent ble målt for hvert lag. Lengden ble målt ved å anslå gjennomsnittslengden på laget. For å registrere dette ble hver ende av laget anslått til en rett kant, der endene av det lange virket kompenserte for de korte lengdene. Dette gjaldt for lag som hadde fallende lengder. For kubb lag var det en fast lengde på rett over 3 meter, det ble brukt en lengde på 3,03 eller 3,05 meter avhengig av den ytterste stokken som ble målt på laget.

Stakene ble målt til 26 dm, som da tilsvarte maksimal høyde på lagene. Høyden ble målt på midten av langsiden til hvert lag, og det ble brukt en stige for å kunne se toppen av lagene. Ved eventuelle groper i toppen, eller manglende/mer virke i toppen på motsatt side, ble høyden redusert/økt for å få den riktige høyden på den tenkte «toppen» til kassen for hvert lag. Høyden for hvert lag ble også redusert som følge av bunnbreddekompensasjon for bankene på stakene. Det er gjennomført to forskjellige beregninger på dette. Stora Enso kom fram til at det skulle trekkes 7,8 cm i høyden, mens en utregning på Vestmo kom fram til et trekk på 3,36 cm. For målingene til denne oppgaven ble det konsekvent trukket 5 cm i høyden for hvert lag.

Fastmasseprosenten er definert som «det prosentiske forhold mellom fastvolum og løsvolumet for laget under bark. Til støtte for skjønnet benyttes faktortabeller» (Norsk Virkesmåling, 2017).

Gjennomsnittstoppdiameteren og den doble barktykkelsen til hvert lag bestemte i hovedsak fastmasseprosenten. Det ble også justert for blant annet lengde på virke, høyde på laget, opparbeiding av laget og andre faktorer som rotbein, krok osv. (Norsk Virkesmåling, 2014).

Utgangspunktet var i hovedsak 58 % for lag med fallendelengder og 63% for kubb lag. Tilslutt ble baksiden av vognene kontrollert, for å korrigere fastmasseprosenten ved forskjeller fra framsiden.

Etter noen målinger ble det besluttet å registrere kort hvordan lagene så ut for å kunne forklare eventuelle variasjoner. Disse beskrivelsene var treslag (gran, furu eller en blanding), hvordan den generelle dimensjonen på virket var og om toppen og langsiden til lagene var jevn eller ujevn. Disse registreringene ble bare gjort på Vestmo og Hovemoen.

Det ble også gitt tilgang til registrert volum hos industrien i Sverige, der alle tog fra 1.januar til 4.oktober 2017 var med. Hvert enkelt tog var registrert med mottaker (Skoghall eller Gruvön), avsender terminal, antall vogner, volum per tog, middelvolum per vogn og sortiment. Fra og med september 2017 ble det startet en ny registreringsmetode av volum. Denne ble videre i oppgaven kalt ny registreringsmetode på mottaker terminalene, mens registreringer før september 2017 ble kalt gammel registreringsmetode på mottaker terminalene. Det ble utelatt 182 målinger for det registrerte volumet på mottaker terminalene. Dette var registreringer som hadde sortimentene lauv og barr i samme togsett, eller andre bemerkninger om feillast.

Ved bruk av middelvolum i oppgaven ble det for det registrerte volumet på mottaker terminalene (resultat 3.1.) brukt beregnet middelvolum per vogn for et helt togsett. Altså totalt volum på togsettet dividert med antall vogner. For volumregistreringen på avsender terminalene (resultat 3.2.) ble det brukt et faktisk målt volum per vogn.

Siden fastmasseprosenten under FMB-målingen ved volumregistrering på avsender terminalene ble bestemt av dobbelbark tykkelse og dimensjon, ble det for alle volum fra og med resultat 3.2. brukt m^3_{fub} (under bark).

2.2.2. Statistisk metode

For å få gjennomført statistiske beregninger og fremstilt grafer ble statistikkprogrammet Minitab 18.1.0.0 academic setup brukt.

For det registrerte volumet på mottaker terminalene fra perioden 1.januar til 4.oktober 2017 ble det gjort en volumsammenligning mellom terminalene og mellom mottakerne. Det ble sett på månedsvise volumvariasjon og hvordan målingene stemte med volumregistreringene på avsender terminalene. Her ble det kun sett på sortimentene barr- og granmassevirke.

For volumregistreringene på avsender terminalene, Norsenga, Vestmo og Hovemoen, ble det sett på variasjoner mellom terminaler, men også innad på terminalene. Først ble det gjort boxplots og histogrammer for å vise sammenhenger og variasjon. For boxplotene representerer de blå boksene (Interquartile range box) som vist i figur 4 50 % av observasjonene av avvik. De vertikale strekene i figur 4 (whiskers) representerer 75% av observasjonene av avvik. Disse to danner et intervall som avvikene fordeler seg innenfor, og ekstreme avvik er dermed ikke medregnet. Sirkelene i hver boks i figur 4 representerer middelveidien, mens den horisontale streken representerer medianen (Minitab Inc, 2017). Histogrammene viser antall observasjon av hver verdi til variabelen. Det ble startet med vognvise forskjeller, før det ble sett på lagvise, der man kunne se forskjeller innad i de fallende

lengdene og kubb. Til å forklare variasjon ble det bruk to ulike spredningsmål, variasjonsbredde og standardavvik. Variasjonsbredde er største observasjon minus minste observasjon, og beskriver bredden på observasjonene (Løvås, 2013). Siden variasjonsbredde er sterkt avhengig av størrelsen på utvalget, ble det også sett på standardavvik for å få et mer presist estimat på variasjonen.

Effekten av kontinuerlige variabler ble testet med regresjonsanalyse, mens effekten av ikke kontinuerlige variabler, som terminal og antall lag, ble testet med general linear model (GLM). Tukeys test ble brukt for å sammenligne gjennomsnittene av ikke kontinuerlige variabler, med et konfidensintervall på 95 %. Tilslutt ble beskrivelsene av lagene brukt til kort å forklare forskjeller mellom terminalene. For å illustrere vogner med høyt og lavt volum er eksempler og bilder vedlagt og kommentert.

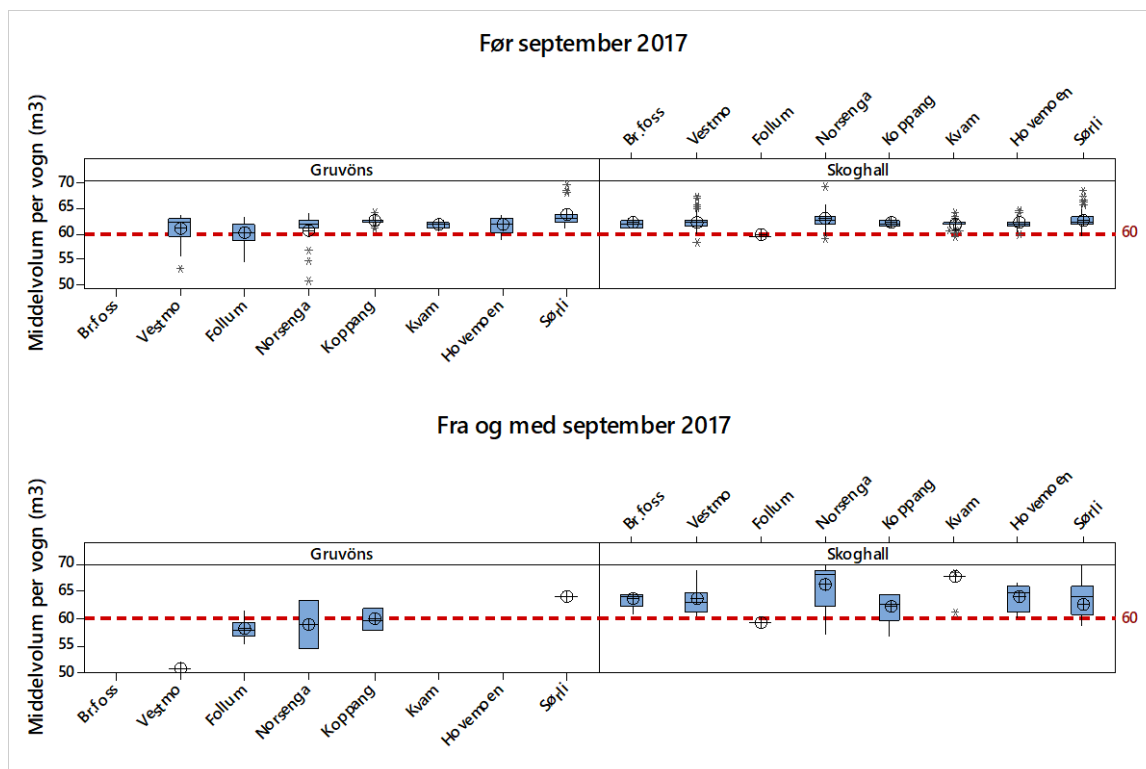
For beregning av aksellast ble vegvesenets tabell for vektor benyttet. Her hadde massevirke på Østlandet er egenvekten 908 kg/fm^3 (Vegvesenet, u.å.)

3. Resultat

3.1. Volumregistrering på mottaker terminalene

Registrering av volum i perioden 1.januar 2017 til 4.oktober 2017. Middelvolum per vogn for de to mottakene i Sverige var på $62,4 \text{ m}^3$ for Skoghall ($n=959$) og $60,7 \text{ m}^3$ for Gruvön ($n=167$), gjennom hele perioden. For de aktuelle terminalene som ble undersøkt i registreringer på avsender terminalene, var middelvolum per vogn fra Norsenga, Vestmo og Hovemoen på henholdsvis 63 , $62,2$ og 62 m^3 til Skoghall og $60,1$, $60,2$ og $61,5 \text{ m}^3$ til Gruvön. Lauvvirke er ikke medregnet.

Fra figur 4. ser man at det fram til september var et jevnt middelvolum per vogn fra alle terminaler. Fra og med september gikk levert middelvolum per vogn opp for alle terminalene med unntak av Follum terminal, som hadde et lavere middelvolum per vogn. Før september var levert middelvolum til industrien relativt jevnt mellom avsender terminalene og mottakene. Fra og med september ble det levert et høyere middelvolum per vogn til Skoghall og et lavere til Gruvön. Variasjonen mellom avsender terminal var også større fra og med september. Eksempelvis var middelvolum per vogn fra Norsenga før den nye registreringsmetoden på mottaker terminalene ble innført i september på $62,58 \text{ m}^3$ til Skoghall ($n=218$), ikke medregnet lauvvirke. Fra og med september var middelvolumet økt til $65,88 \text{ m}^3$ per vogn ($n=31$). Altså en økning på over 3 m^3 per vogn.



Figur 4. Boxplot av registrert middelvolum på mottaker terminalene fra terminal til mottaker, før og etter ny registreringsmetode i kubikkmeter (m³). Referanselinja er satt til 60 m³ for å enkelt kunne se økning og nedgang i volum.

3.2. Volum registrering på avsender terminalene

Det ble målt 55 vogner med barmassevirke på Norsenga og 27 med lauvvirke, på Vestmo ble det målt 58 vogner med barmassevirke, mens det på Hovemoen ble målt 42 vogner med granmassevirke. På grunn av manglende beskrivelse av lag fra Norsenga, blir bare Vestmo og Hovemoen sammenlignet ut ifra beskrivelsene av lagene.

3.2.1. Middelvolum per vogn og terminal, og hovedfaktorer.

Tabell 5 viser at Hovemoen var terminalen med høyest middelvolum per vogn med 67,44 m³fub, etterfulgt av Vestmo med 65,97 m³fub. Norsenga hadde lavest middelvolum per vogn med 64,50 m³fub. Mellom terminalene varierte middelvolum altså med 1,5 m³fub per vogn, og Norsenga hadde et snitt på nesten 3 m³fub lavere enn Hovemoen. Hovemoen var den terminalen med minst variasjonsbredde i volum, fra 60,7 til 78,7 m³fub/vogn, men det høyeste standardavviket på 4,34 m³fub. Vestmo hadde en noe større variasjonsbredde, fra 57,6 til 78,9 m³fub/vogn, men det minste standardavviket på 4,06 m³fub. Størst variasjonsbredde i volum var det på Norsenga, hvor det gikk

fra 51,9 til 78,5 m³fub/vogn, standardavviket var omtrent like stort som for Vestmo, og var på 4,06 m³fub. For sortimentet lauv var middelvolum per vogn på 52,49 m³fub, med et standardavvik på 1,27 m³fub. For volum var effekten av antall lag statistisk signifikant (p<0,001), mens terminal alene ikke var det (p>0,05). Derimot var volum per vogn for vogner med 3 lag på Hovemoen statistisk signifikant forskjellig (p<0,01) fra vogner med 3 lag på Norsenga og Vestmo.

Tabell 5. Middelvolum og standardavvik per vogn og terminal. Middelvolum per vogn for vogner med 3, 4 og 5 lag fra de ulike terminalene.

Terminal	Middelvolum per vogn (m³fub)	Standardavvik	3 lag m³fub	4 lag m³fub	5 lag m³fub
Hovemoen	67,44 m ³ fub/vogn (N=42)	4,34	66,98	65,06	77,14
Vestmo	65,97 m ³ fub/vogn (N=58)	4,06	64,09	67,28	77,00
Norsenga	64,50 m ³ fub/vogn (N=55)	4,06	63,53	66,92	74,44
Norsenga lauv	52,49 m ³ fub/vogn (N=27)	1,27			
			64,87	66,42	76,20

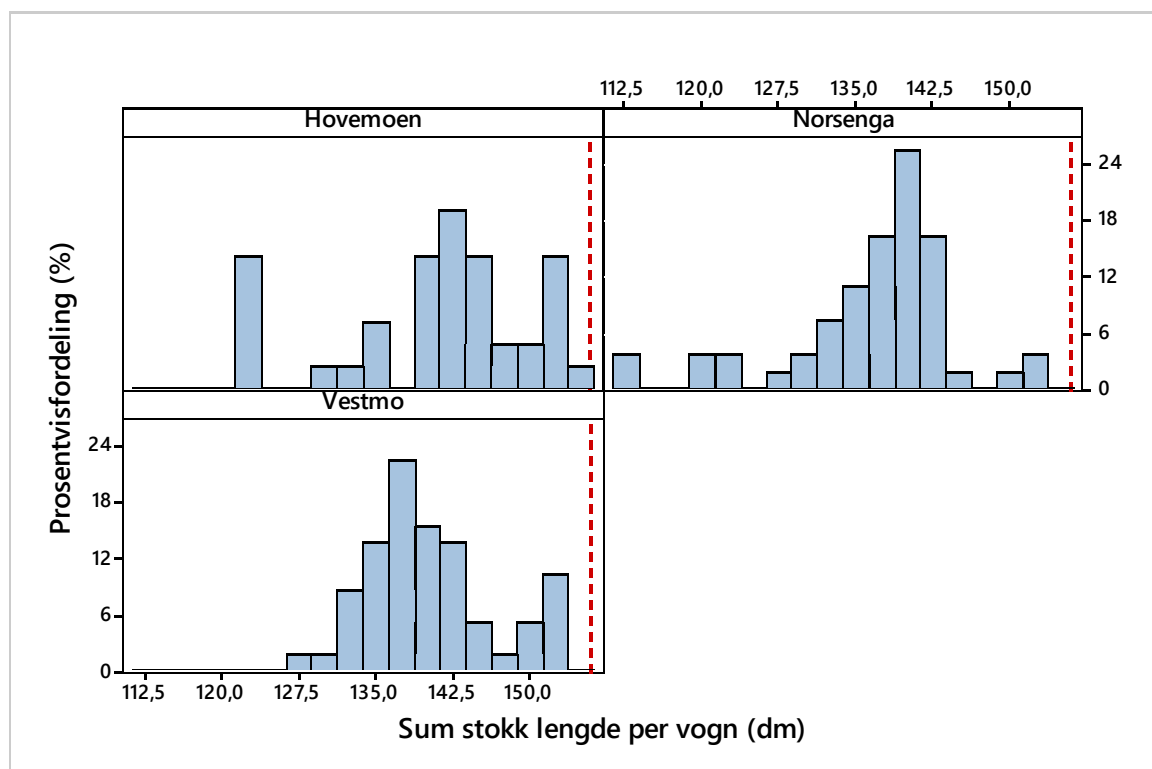
Tabell 6 viser at variasjon i volum ble best forklart med sum stokklengde, total virkeslengde per vogn. 57,6% av variasjonen i volum kunne forklares av denne faktoren (R²). Antall lag var den drivende faktoren for sum stokk lengde. Middelhøyde og middelfastmasseprosent per vogn forklarte henholdsvis 12,8% og 12,1% av variasjon i volum. Tilsvarende for fast volum per stokklengde (m³fub/dm) var på 20,5%, og gir et uttrykk for hvor godt vognene var lastet.

Tabell 6. Forklaringsfaktorer for volumvariasjon per vogn (m³fub/vogn).

Faktor	Regresjonsligning for m³fub/vogn	R²	p-verdi
Sum stokklengde (dm)	9,76 + 0,4030 (sum stokklengde)	57,6%	P < 0,000
Antall lag	51,6 + 4,213 (antall lag)	35,7%	P < 0,000
Middelhøyde (dm)	-5,6 + 2,864 (middelhøyde)	12,8%	P < 0,000
MiddelFM%	24,79 + 69,2 (middelFM%)	12,1%	P < 0,000
m ³ fub/stokklengde (m ³ fub/dm)	22,39 + 2,933 (m ³ fub/stokklengde)	20,5%	P < 0,000

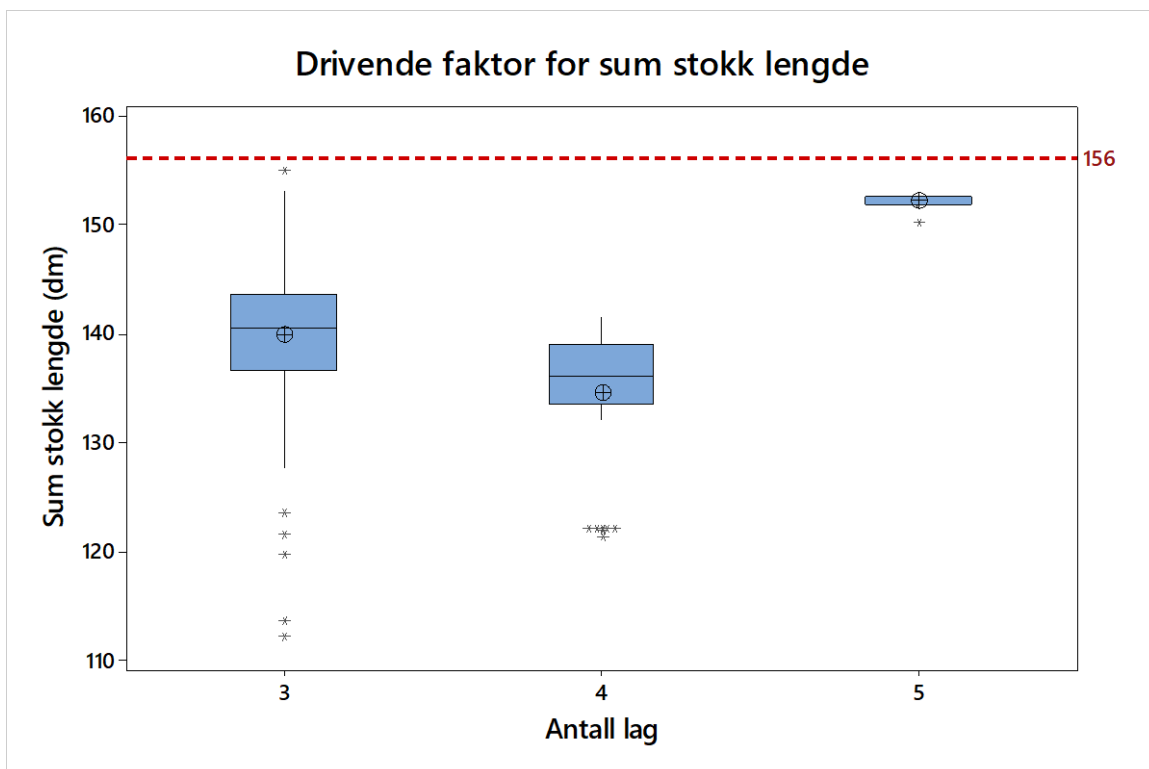
3.2.2. Forskjell i sum stokklengde mellom terminaler

Den viktigste faktoren for volumvariasjon per vogn var sum stokklengde, total virkeslengde per vogn, og 57,6% av variasjon i volum kunne forklares med denne faktoren. Figur 5 viser at sum stokklengde varierte fra 11,3 meter til 15,6. Hovemoen var den terminalen med den lengste middel sum stokklengden per vogn med 14,08 meter, her var variasjonsbredden i sum stokklengde på 3,5 meter, fra 12,1 meter til 15,6 meter. Den lengste sum stokklengde som ble målt, ca. 15,6 meter, ble målt på Hovemoen. Denne ble brukt som referanseverdi. Vestmo hadde en nesten lik middel sum stokklengde som Hovemoen, med 14,03 meter. Derimot var variasjonsbredden en del mindre, 2,6 meter. Den korteste sum stokklengden målt på Vestmo var på 12,7 meter og den lengste på 15,3 meter. Norsenga hadde den korteste middel sum stokklengde per vogn med 13,68 meter, 40 cm kortere enn Hovemoen. Variasjonsbredden på Norsenga var på 4 meter, fra 11,3 til 15,3 meter. For m³fub per stokklengde var effekten av antall lag statistisk signifikant ($p < 0,001$). Innad her hadde vogner med 4 og 5 lag ingen signifikant forskjell. Effekten av terminal på m³fub per stokklengde var også statistisk signifikant ($p < 0,05$), men ikke like signifikant som antall lag. Her ble det registrert forskjell mellom terminalene Hovemoen og Vestmo.



Figur 5. Histogrammer av sum stokklengde per vogn og terminal i desimeter (dm). Referanselinja er satt til 156,0 dm.

Effekten av antall lag på sum stokklengde var statistisk signifikant ($p < 0,001$). For antall lag skiltes det mellom fallende lengder og kubb, og kubb hadde en fast lengde på i overkant av 3 meter. For de fallende lengdene hadde Hovemoen en middellengde på 4,79 meter, Vestmo 4,68 meter og Norsenga 4,45 meter. Figur 6 viser at vogner med 5 lag, bestående av 5 lag med kubb, hadde den lengste middel sum stokklengde per vogn på 15,2 meter. Vogner med 3 lag bestod av 3 lag med fallende lengder og hadde en middel sumstokk lengde per vogn på 13,97 meter. Vogner med 4 lag bestod optimalt av 3 lag med kubb og 1 lag med fallende lengde, men det ble også målt vogner med 4 kubb lag. Denne lastningstypen hadde den laveste middel sum stokklengde på 13,44 meter.

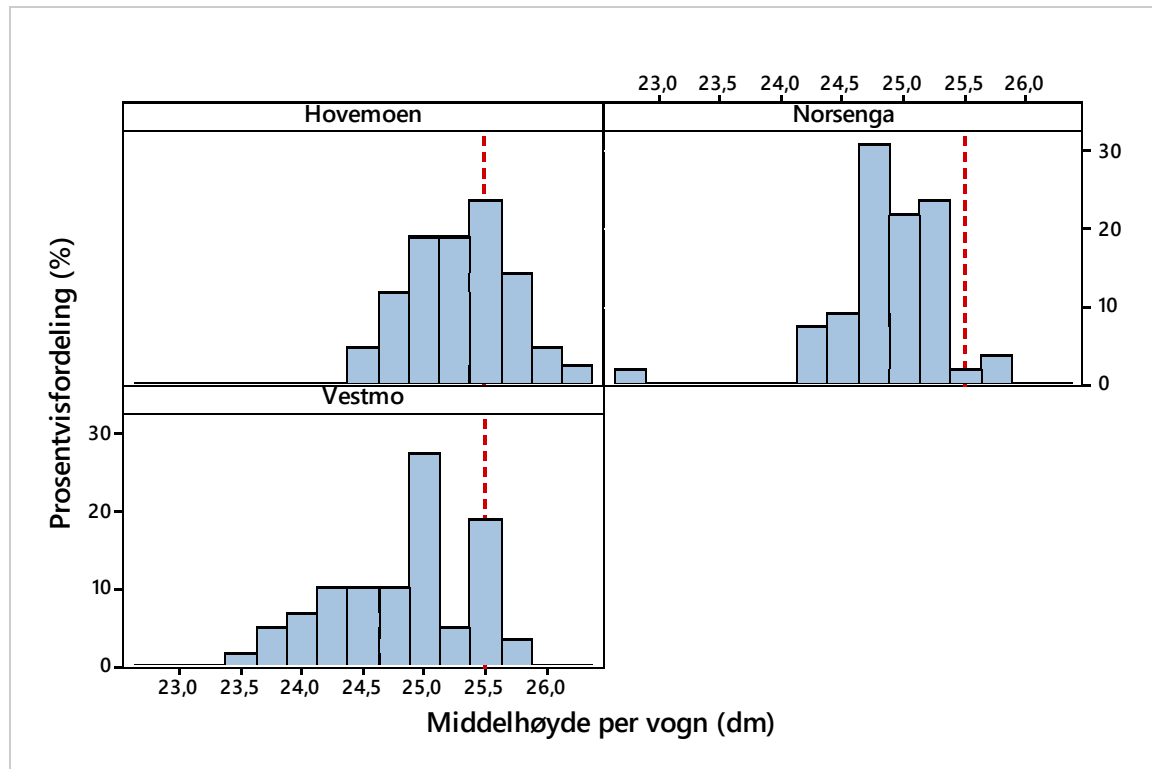


Figur 6. Boxploter over sum stokklengde (dm) og antall lag per vogn. Referanselinja er satt til 156,0 dm.

Av alt det transporterte virke var fordelingen fallende lengder og kubb 59% og 41% fra Hovemoen, 60% og 40% fra Vestmo og 19% og 81% fra Norsenga. Den prosentvisfordelingen av vogner med 3, 4 og 5 lag fra de forskjellige terminalene var som følger; Norsenga: 84%, 11%, 5%, Hovemoen: 64%, 26%, 10%, Vestmo: 57%, 38%, 5%.

3.2.3. Forskjell i høyde mellom terminaler

Middelhøyde per vogn var den nest viktigste faktoren for volumvariasjon, og forklarte 12,8% av variasjonen. I figur 7 er referanselinja er satt til 25,5 dm, som tilsvarer full stakehøyde på 26 dm minus bunnbreddekompensasjonen på 0,5 dm. Det ble registrert vogner lastet over stakehøyde på alle terminalene, men andelen var størst på Hovemoen.



Figur 7. Histogrammer av middelhøyde per vogn og terminal i desimeter (dm). Referanselinja er satt til 25,5 dm.

Tabell 7 viser at Hovemoen var den terminalen med høyest middelhøyde per vogn og det minste standardavviket. Fra figur 7 ser man at variasjonsbredden for middelhøyde per vogn var på 1,9 dm på Hovemoen. Her var den laveste middelhøyden per vogn på 24,4 dm og den høyeste på 26,3 dm. Middelhøyde per vogn på Norsenga var på 24,86 dm med et standardavvik på 0,45 dm. Norsenga hadde den største variasjonsbredden i middelhøyde per vogn på 3 dm. Her ble det målt en vogn med en lav middelhøyde på 22,7 dm. Foruten denne varierte middelhøyden mellom 24,2-25,7 dm, altså en variasjonsbredde på 1,5 dm. Vestmo hadde en middelhøyde per vogn på 24,81 dm, det høyeste standardavviket på 0,57 dm og en variasjonsbredde på 2,4 dm. Her var den laveste middelhøyden per vogn på 23,4 dm og den høyeste på 25,8 dm.

Den drivende faktoren for variasjon i middelhøyde var lastningspraksis, men også dimensjon var av betydning. Det måtte dermed skilles mellom fallende lengder og kubb. Som tabell 7 viser, hadde Hovemoen en lik middelhøyde for både fallende lengder og kubb på 25,3 dm. På Norsenga hadde de

fallende lengdene en høyere middelhøyde enn kubb 24,90 dm mot 24,59 dm. For Vestmo var det motsatt, med en middelhøyde for de fallende lengdene på 24,65 dm og 25,16 dm for kubb.

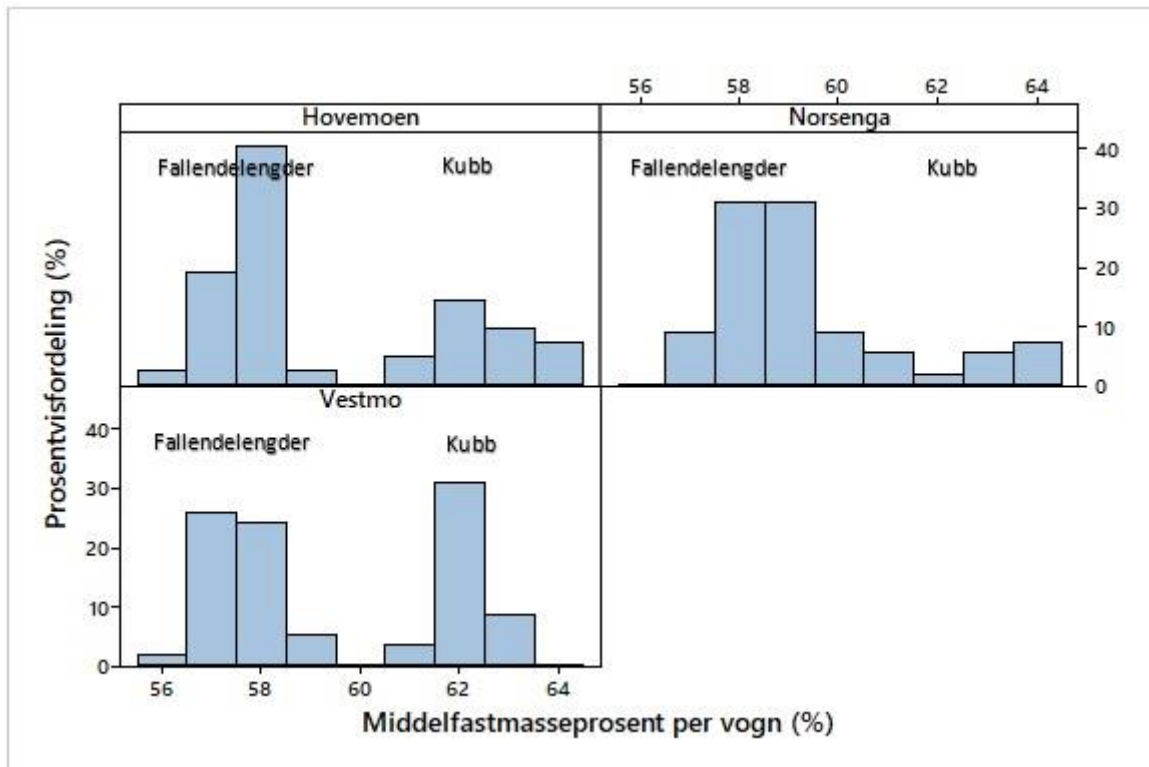
Tabell 7. Middelhøyder per vogn og terminal i dm. For fallende lengder og kubb er middelhøyde per lag og terminal. Standardavviket står i parentes.

Middelhøyder			
	Per vogn	Per lag	
	Middelhøyde (StDev)	Fallende lengder (StDev)	Kubb (StDev)
Hovemoen	25,30 dm (0,43)	25,30 dm (0,59)	25,31 dm (0,80)
Norsenga	24,86 dm (0,45)	24,90 dm (0,46)	24,59 dm (1,04)
Vestmo	24,81 dm (0,57)	24,65 dm (0,84)	25,16 dm (0,73)

Ut fra beskrivelsene av lagene fra Hovemoen og Vestmo, kom det fram at det var størst avvik i høyde for smått virke, mindre enn 10 cm i toppmålt diameter. Innad i denne kategorien hadde en ujevn topp på laget det største avviket, ca. 10 cm større avvik enn for jevn topp på laget. For mellom grovt, 10-20 cm i toppmålt diameter, og grovt virke, over 20 cm i toppmålt diameter, lå avviket på henholdsvis 5,6 cm og 3,4 cm for jevn topp på laget. En ujevn topp på laget ga et litt større avvik i begge klassene på ca. 1,5 cm for begge. Hovemoen var den terminalen med prosentvis grøvt virke, med 59% grovt virke mot 48% på Vestmo. Jevnheten av toppen på lagene var også best på Hovemoen, med 78% jevn mot 71% jevn topp på laget på Vestmo.

3.2.4. Forskjell i fastmasseprosent mellom terminaler

Middelfastmasseprosenten var også en viktig faktor for å forklare variasjon i volum, og forklarte 12,1% av variasjonen. Figur 8 viser at den laveste middelfastmassen per vogn som ble målt var på 56% og den høyeste på 64%. Figuren viser også forskjeller i middelfastmasse mellom fallende lengder og kubb.



Figur 8. Histogrammer av middelfastmasseprosent per vogn og terminal i %, for fallende lengder og kubb.

Tabell 8 viser at middelfastmasseprosenten per vogn var tilnærmet lik mellom terminalene. Standardavviket var lavest for Norsenga med 1,9%. Vestmo og Hovemoen hadde et standardavvik på henholdsvis 2,4% og 2,5%.

De drivende faktorene for fastmasseprosent var dimensjonen på virke og lastningspraksis. Det måtte derfor skilles mellom fallende lengder og kubb. For dette ble det brukt middelfastmasseprosent per lag. Totalt sett var middelfastmasseprosenten for fallende lengder på 58,1% og for kubb på 63% uavhengig av terminal. Innad på terminalene var Norsenga den terminalen med høyest middelfastmasseprosent for fallende lengder med 58,6% og 63,7% for kubb. På Hovemoen var den på 57,6% for fallende lengder og 62,8% for kubb, Vestmo hadde henholdsvis 57,8% og 62,7%.

Middelfastmasseprosent for antall lag per vogn var som følger: Vogner med 5 lag: 62,9%, vogner med 4 lag: 62,3% og vogner med 3 lag: 58,1%.

Tabell 8. Middelfastmasseprosent per vogn og terminal i prosent (%). For fallende lengder og kubb er det middelfastmasseprosent per lag. Standardavviket står i parentes.

Middelfastmasseprosent			
		Per lag	
	Per vogn (StDev)	Fallende lengder (StDev)	Kubb (StDev)
Norsenga	59,4% (1,9%)	58,6% (1,1%)	63,7% (0,7%)
Vestmo	59,5% (2,4%)	57,8% (1,2%)	62,7% (0,6%)
Hovemoen	59,4% (2,5%)	57,6% (0,8%)	62,8% (0,9%)

Ut fra beskrivelsen av lagene som ble gjort hadde Hovemoen som nevnt mer grovt virke enn Vestmo. I jevnhet av langsiden til laget, som delvis forklarer fastmasseprosenten, hadde Hovemoen en mer ujevn langside på laget enn Vestmo. Prosentvis hadde 28,1% av lagene med fallendelengde på Hovemoen en ujevn langside, mot 4% på Vestmo. For lag med kubb hadde 15% en ujevn langside på Hovemoen og 18,2% på Vestmo.

3.2.5. Sammenstilling av trender for vognvolum, lastningstid og lastningspraksis

Selv om en kort statistisk test ikke kunne påvise statistisk signifikante forskjeller i volum per vogn mellom terminaler, ble det observert variasjoner. Dette finnes det logiske årsaker til, der volumvariasjonen henger sammen med andre faktorer. Tabell 9 viser at Hovemoen hadde høyest middelvolum per vogn, som følge av lengst middel sumstokk lengde per vogn og høyest middelhøyde per vogn. Vestmo hadde et middelvolum per vogn som var 1,5 m³fub mindre enn på Hovemoen. Dette forårsakes av en noe kortere middel sum stokklengde per vogn og en lavere middelhøyde per vogn. Middelfastmasseprosenten per vogn var tilnærmet lik mellom begge terminalene, for både de fallende lengde lagene og for kubb lagene. Selv om Norsenga hadde høyest middelfastmasseprosent per vogn for både lag med fallende lengder og kubb, hadde denne terminalen det minste middelvolumet per vogn, ca. 3 m³fub mindre enn Hovemoen og ca. 1,5 m³fub mindre enn Vestmo. Årsaken til dette var at middel sum stokklengde per vogn var hele 40 cm kortere enn for Hovemoen og 35 cm kortere enn for Vestmo. Norsenga hadde også en lavere middelhøyde per vogn enn Hovemoen, men tilnærmet lik som Vestmo.

Tabell 9. Middelvolum, resultat for de viktigste faktorene for volumvariasjon, gjennomsnittlig tilgjengelig lastetid, maskintype, plassering av tømmeranker, avstand mellom ranke og spor, og gripe areal for maskin for de respektive terminalene. For Follum er middelvolum basert på det registrerte volumet på mottaker terminalene. For middelfastmasseprosenten (FM%) er det oppgitt for fallende lengder (FL) og kubb (KU). Gjennomsnittlig tilgjengelig lastetid er hentet fra lastningsplan for uke 38 i 2017.

	Middel volum	Middel Sum stokk lengde	Middel høyde	Middel FM% (FL/KU)	m ³ fub per lengde (dm)	Tilgj. lastetid	Maskin type	Plassering av tømmer ranker	Avstand fra ranke til lastespor	Maskin gripe areal
Hovemoen	67,44 m³fub	14,08 m	25,30 dm	57,6% / 62,8%	0,492 m ³ fub / dm	0,23 t/vogn	GrHh	Parallelt med sporet	< 10 m	< 2 m ²
Vestmo	65,97 m ³ fub	14,03 m	24,81 dm	57,8% / 62,7%	0,483 m³fub / dm	0,50 t/vogn	Hj og HjHl	Vinkelrett fra sporet	>10 m	>2 m ²
Norsenga	64,50 m ³ fub	13,68 m	24,86 dm	58,6% / 63,7%	0,486 m ³ fub / dm	0,87 t/vogn	GrHh	Parallelt med sporet	< 10 m	< 2 m ²
Follum	58,54 m³fub	-	-	-	-	0,11 t/vogn	GrHh	Parallelt med sporet	< 10 m	< 2 m ²

Norsenga hadde den høyeste middelfastmasseprosenten. Dette kan være forårsaket av at Norsenga hadde lengst gjennomsnittlig tilgjengelig lastningstid per vogn. På Norsenga ble det også benyttet GrHh under lastning av vognene, mens tømmerankene lå parallelt med lastningssporet. Maskinen trengte dermed oftest bare å snu krana fra tømmerranken og til vognene under lastning. Dette var tidsbesparende, og i sammenheng med lang tilgjengelig lastningstid per vogn, hadde opplasterne dermed mulighet til å laste vognene bedre. Hovemoen og Vestmo hadde tilnærmet lik middelfastmasseprosent, men Vestmo hadde lengre tilgjengelig lastningstid per vogn til rådighet enn Hovemoen. På Vestmo ble det benyttet Hj og HjHl til å laste med og tømmerankene lå vinkelrett fra lastningssporet. Dette gjorde at opplasterne måtte kjøre frem og tilbake for å laste vognene. På Hovemoen ble det brukt GrHh, mens rankene lå parallelt med lastningssporet som på Norsenga.

Det at Norsenga hadde høyest middelfastmasseprosent for både lag med fallende lengder og kubb kan indikere at både tilgjengelig lastningstid og lastningspraksis påvirker fastmasseprosenten. Dette bekreftes videre av at Vestmo og Hovemoen hadde tilnærmet lik middelfastmasseprosent per vogn, selv om Vestmo hadde lengre tilgjengelig lastningstid per vogn og Hovemoen hadde en mer effektiv lastningspraksis.

3.2.6. Eksempler på vogner lastet med høyt og lavt volum.

Tabell 10 viser eksempler på vogner med et høyt volum, både med 3, 4 og 5 lag per vogn. Det første eksempelet er av en vogn lastet med 3 lag. Denne kunne vært lastet noe høyere på lag 1 og 2, men som følge av lange lengder hadde den et høyt volum. Eksempel to er av en vogn lastet med 4 lag. Her var alle lagene høyt lastet og hadde en høy gjennomsnittlig fastmasseprosent. For laget med fallende lengde er lengden lang. Eksempel tre er av en vogn lastet med 5 lag. De fire første lagene var høyt lastet, noen også for høyt. Det femte laget skulle optimalt ha vært 15-20 cm høyere lastet, men det totale volumet på vognen var høyt.

Tabell 10. Eksempler på vogner lastet med høyt volum.

Terminal	Dato	Vogn	Lag	Lengde dm	Bredde dm	Høyde dm	FM%	Volum m ³ fub
Norsenga	22.sep	4552 625-8	1	50,5	32	24,8	58%	23,24
			2	50	32	24,5	58%	22,74
			3	45	32	25,5	59%	21,66
								67,65
Vestmo	19.okt	4552 627-4	1	48,5	32	26,1	58%	23,49
			2	30,5	32	26,2	62%	15,85
			3	30,5	32	25,2	63%	15,49
			4	30,5	32	25,3	63%	15,56
								70,40
Hovemoen	8.nov	4575 959-4	1	30,5	32	26,1	62%	15,79
			2	30,5	32	25,5	63%	15,68
			3	30,5	32	26,5	62%	16,04
			4	30,5	32	26,5	62%	16,04
			5	30,5	32	23,5	60%	13,76
								77,31

Tabell 11 viser eksempler på vogner med et lavt volum. Det første eksemplet er av en vogn lastet med 3 lag. Her hadde alle lagene en veldig kort lengde. Denne vogna var lastet med gjerdevirke som naturlig er kort. Lag en og to kunne vært lastet noe høyere. Eksempel to er også av en vogn lastet med 3 lag. Her var alle tre lagene for lavt lastet, samtidig som et par av lagene hadde en lav fastmasseprosent. Eksempel tre er av en feillastet vogn. Her var det bare fire lag med kubb. Optimalt skulle det ha vært fem lag med kubb, som kunne ha gitt omtrent 15 m³fub mer på vogna, eventuelt skulle det ene laget med kubb ha vært erstattet av et lag med fallende lengder som ville gitt over 5 m³fub mer.

Tabell 11. Eksempler på vogner med lavt volum.

Terminal	Dato	Vogn	Lag	Lengde dm	Bredde dm	Høyde dm	FM%	Volum m³fub
Norsenga	13.sep	4566 363-0	1	36	32	24,5	58%	16,37
			2	36	32	24,5	58%	16,37
			3	40	32	25	60%	19,20
								51,94
Vestmo	20.sep	4566 365-5	1	46,5	32	23,4	57%	21,49
			2	45	32	23,8	56%	19,19
			3	44	32	23	58%	18,78
								59,46
Hovemoen	8.nov	4566 380-4	1	30,5	32	23,8	63%	14,63
			2	30,5	32	23,5	64%	14,68
			3	30,5	32	25	64%	15,62
			4	30,5	32	25,2	64%	15,74
								60,67



Figur 9. Bilde av vogner med høyt og lavt volum. Bilde øverst til venstre er av et lag med kubb med høyt volum. Bilde øverst til høyre er av et lag med kubb med lite volum. Dette laget har lav fastmasseprosent (uryddig) og har litt lav høyde. Bilde nede til venstre er av et lag med fallende lengder med høyt volum. Bilde nede til høyre er av et lag med fallende lengder med lavt volum. Dette laget har ujevn topp som medfører en lav høyde.

4. Diskusjon

Resultatene bekrefter at det var en volumvariasjon mellom vognene. For barmassevirke var det minste registrerte volumet per vogn på 51,9 m³fub, mens det høyeste var på 78,9 m³fub per vogn. Fra regresjonsanalysen (tabell 6) ser man at sum stokklengde forklarte 57,6 % av volumvariasjonen. Antall lag forklarte 35,7% av volumvariasjonen, og var den drivende faktoren for sum stokklengde. Bruk av GLM testene viste at effekten av antall lag på sum stokklengde var statistisk signifikant ($p < 0,001$). Videre viste regresjonsanalysen at middelhøyde per vogn og middelfastmasseprosent per vogn forklarte henholdsvis 12,8 og 12,1% av volumvariasjonen. Det ble brukt m³fub per stokklengde for å forklare hvor godt vognene var lastet. Dette tilsvarte omtrent det samme som høyde og fastmasseprosent. Effekten av antall lag på m³fub per stokklengde var statistisk signifikant ($p < 0,001$). Innad her hadde vogner med 3 lag en signifikant lavere m³fub per stokklengde enn vogner med 4 og 5 lag. Resultatene viste ingen signifikant forskjell mellom vogner med 4 og 5 lag. Dette kan komme av at det er små forskjeller og at det ble benyttet et bredt konfidensintervallet, for i praksis ble det observert en litt høyere m³fub per stokklengde for vogner med 5 lag. Lag med kubb med en fast lengde på 3 meter, og lag med fallende lengder på over 5 meter utnyttet volumet og lastevekten på vognene best. Dette er stemmer overens med resultatene på 76 tonns lastebiler (Palander & Kärhä, 2017). Lasteevnen på vognene som ble brukt i denne oppgaven var 67 tonn. En tidligere studie har det blitt benyttet en lastevekt på 57 tonn på vognene til Stora Enso som går i Norgespendelen (Larsson, 2016). Med en 4 akslet boogie-vogn med tillatt lastekapasitet på 90 tonn og en egenvekt på 23 tonn, vil maksimal lastevekt være på 67 tonn (VTG Rail).

Den høyeste fastmasseprosenten ble registrert på Norsenga, for både lag med kubb og fallende lengder (tabell 8). Dette kan indikere at terminalutforming kombinert med type lastemaskin var av betydning for fastmasseprosenten. På Norsenga ble det benyttet hjulgående gravemaskin med hevende hytte, mens tømmerankene lå parallelt med lastesporet. På Vestmo lå tømmerankene vinkelrett fra lastesporet, og det ble brukt hjullaster og hjullaster med høyløfter til lasting. Hjullasterne hadde fastmontert hytte, noe som kan medføre at oversikten ble dårligere enn med en hevende hytte. Føreren hadde ikke mulighet til å se hvordan toppen og motsatt side av laget så ut under lasting. Enström et al. (2009) bekreftet denne mistanken i sin studie om systemtransporter av skogsbrensel. Der var det problematisk å laste vogner med høye karmen fordi føreren ikke fikk sett ned i vognen under lasting (Enström & Winberg, 2009). Mens opplasterne på Norsenga og Hovemoen kunne stå rolig og laste vognene, medførte det at tømmerankene lå vinkelrett fra lastesporet på Vestmo, at hjullasteren måtte kjøre frem og tilbake for å kunne laste vognene. Dette antas å være en mer tidskrevende arbeidssituasjon, som også bekreftes av Enström et al. (2009).

Tilgjengelig lastningstid per vogn kan også ha vært en viktig faktor for volumvariasjon, med tanke på lastingsutnyttelsen av vognene. Hvis det forutsettes at en maskin trenger 0,25 time for å laste en vogn, ser man fra tabell 9 at terminalene Norsenga og Vestmo lå over dette. Hovemoen lå rett under denne forutsatte lastningstiden. Selv om terminalene hadde tilgang på flere lastemaskiner, viser lastningstiden i tabell 9 at Hovemoen kan ha vært følsom for forsinkelser, som kan resulterer i dårligere lasting. Det er viktig å påpeke at den registrerte lastningstiden ble hentet fra lastningsplanen for uke 38 i 2017, og at lastningstidene kunne variere noe utover denne uken. Likevel ga den en indikasjon på tilgjengelig lastningstid per terminal. Den laveste tilgjengelige lastningstiden ble for uke 38 i 2017 beregnet å være for Follum. I tabell 9 ser man at tilgjengelig lastningstid bare var på 0,11 timer per vogn. Med forutsetningen om at en maskin trengte 0,25 time for å laste en vogn, holdt det dermed ikke med to maskiner på Follum.

Fra volumregistreringen på mottaker terminalene i perioden 1. januar til 4. oktober 2017, så man at Follum var den terminalen med lavest middelvolum per vogn (figur 4). Denne terminalen ble ikke registrert i volumregistreringen på avsender terminalene. For den tidligere registreringsmetoden på mottaker terminalene, som ble avsluttet før september 2017, var middelvolum per vogn en del lavere enn det var for registreringen på avsender terminalene. Den nye registreringsmetoden på mottaker terminalene som ble innført i september 2017, fikk et høyere middelvolum per vogn enn den tidligere metoden, men det var fortsatt ikke samsvar med registreringen på avsender terminalene. I registreringsmetoden på avsender terminalene hadde Hovemoen det høyeste middelvolumet per vogn, mens Norsenga det laveste (tabell 5). I den nye registreringen på mottaker terminalene var det motsatt, der hadde Norsenga det høyeste middelvolumet per vogn og Hovemoen det laveste av de terminalene som ble undersøkt i registreringen på avsender terminalen. De to ulike materialene samsvarte altså ikke, og for eksempel tilgjengelig lastningstid per vogn og terminal samsvarte bedre med resultatene fra den nye registreringen på mottaker terminalene. Registreringen på mottaker terminalene hadde en lavere presisjon i registreringene, men et større utvalg, og kan dermed speile middelvolum per terminal bedre enn registreringen på avsender terminalene. For registreringen på avsender terminalene var det et mindre utvalg, men en høyere presisjon på registreringene. Denne registreringen var derfor bedre egnet til å undersøke underliggende faktorer for volumvariasjon. I den nye registreringen på mottaker terminalene registrerte opplasterne i Norge antall vogner de hadde lastet med 3, 4 og 5 lag. Videre hadde disse vogntypene et beregnet middelvolum som ble brukt og et omregningstall per terminal for å håndtere terminalvariasjoner. Resultatet av volumregistreringen til denne oppgaven (registrering på avsender terminalene) vil i fremtiden bidra til et mer presist volumestimat for disse vogntypene.

Ved beregning av økt lønnsomhet for jernbanetransport av tømmer, er det mest å hente på økt volum per vogn (Fjeld & Skjølaas, 2016). For å kunne se på den potensielle innsparingen av eventuelle forbedringer av jernbanetransporten, ble det gjennomført enkle beregninger for effekter av økt vognprofil, innføring av standardlengder, endring av terminalutformingen på Vestmo og en systematisering vognene (tabell 12).

- Vognprofilen på tømmervognene i Norge er i dag (2018) på 32x26 dm med en lastelengde på 18,4 meter. Med en middel sum stokklengde på 14 meter og en middelfastmasse på 60 %, kan en vogn potensielt lastes med 69,9 m³fub, tilsvarende 63,5 tonn. Hvis vognprofilen økes til å dekke maksimal tillatt lastevikt på 67 tonn m³fub (90 tonn – egenvekt på 23 tonn), kan vognen lastes med 73,8 m³fub. Et økt volum med 3,9 m³fub per vogn kan potensielt gi en innsparing opp til 5,5 %. En eventuell vognprofilutvidelse kan dermed raskt medføre overvekt på vognene. Det ble brukt en egenvekt på 908 kg/m³fub (Vegvesenet, u.å.).
- For standardlengder ble det sett på faste lengder på 3 og 5 meter. En eventuell innføring av standardlengder vil gi vogner med 3 og 4 lag en lengre middel sum stokklengde. Dette tiltaket kan potensielt gi en innsparing på opp til 7,5 % for vogner med 3 lag og 4 % for vogner med 4 lag. Tiltaket vil ikke gi noen effekt på vogner med 5 lag.
- I beregningen for en endring i terminalutforming på Vestmo, ble det tenkt at tømmerankene lå parallelt med lastningssporet og at maskinene ble byttet til hjulgående gravemaskin med tømmerklo og hevende hytte (GrHh). Det ble anslått at fastmasseprosenten ville øke med 1% ved disse tiltakene. Innsparingene på Vestmo med disse tiltakene, kunne potensielt blitt opp til 1,7 %. Det antas at det er flere utfordringer ved et slik tiltak. Blant annet ble det transportert mange forskjellige sortimenter for flere aktører fra denne terminalen. Det var også bare et lastespor der, og plasseringen av dette hindret lasting fra to sider.
- Det siste tiltaket det ble sett på var en systematisering av vognsystemet. Ved en eventuell systematisering av vognene ble det antatt at det ikke kom til å forekomme feillastinger, og den totale innsparingen ble beregnet til å være opptil 0,5 %. Den eventuelle innsparingen var relativt liten, noe som kan medføre at kostnaden av å systematisere vognene kan være større enn gevinsten.

Tabell 12. Oversikt over eventuelle innsparingsmuligheter ved endring i vognprofil, innføring av standardlengder, terminalutføringen på Vestmo og systematisere vognsystemet. Beregningene er enkle og eventuell innsparing er usikkert.

Tema	I dag	Tiltak	Grunnlag	Innsparing	Utfordring
Vognprofil	32 x 26 dm = 69,9 m ³ fub	Øke vognprofil til lastevolum på 73,8 m ³ fub	0 – 3,9 m ³ fub	0 – 5,5%	Større økning i profilen begrenses raskt av tillatt aksellast
Standardlengder	Fallende	Standardlengde på 3 og 5 meter		0-7,5% for vogner med 3 og 4 lag	
Terminalutføring Vestmo	Hjullaster og ranker vinkelrett fra lastningssporet	Innføre GrHh maskiner og ranker parallelt med lastningssporet	1% bedre fastmasse%	1,7% + arbeidskostnader	Problemer med så mange sortiment og bare et lastningsspor
Vognsystemet	Vogner kommer fritt	Systematisere vognene etter stakemønster	7 av 155 vogner feillastet. 7,5 m ³ fub mer per vogn	0,5%	Større kostnad enn gevinst?

Utviklingen innen jernbanetransport har vært stor de siste tiårene. I 1984 hadde tømmervognene i Norge en lastevikt på 35 tonn, mens vognene i dag har en lastevikt på 90 tonn (NSB & Borregaard, 1984). Transportert volum har også steget kraftig, og det bare de siste årene. I Sverige satser de for fullt på jernbane transport av tømmer, og i 2017 bestilte SCA Skog over 100 tømmervogner med større lastningskapasitet. Denne kapasitetsøkningen er 25-30% høyere enn tidligere vogner, og vil bidra til å senke transportkostnadene betydelig. Dette viser at jernbanen blir satset på (Rail Freight, 2017).

Det finnes feilkilder i oppgaven. Det første er eventuelle feil ved registrering av vognvolum. Da middellengde og middelhøyde per lag ble anslått, kan målingene ha vært noe overestimert eller underestimert for enkelte lag. Det antas at over- og underestimeringen kompenserer for hverandre, og at middelmålene per terminal er representativt. Fastmasseprosenten ble bestemt ut i fra skjønn og faktortabellen for FMB-måling av massevirke (Norsk Virkesmåling, 2014). Under målingene var Jan Sørnum, en erfaren tømmermåler svært behjelpelig, så det antas at registreringene er relativt korrekte. En annen feilkilde kan være at opplasterne var klar over at det kom til å bli gjennomført volumregistrering av vogner i løpet av høsten. Om dette medførte høyere lastningspresisjon er usikkert. I oppgaven ble det ved beregninger fra volum til tonn benyttet en egenvekt på 908 kg/m³fub (Vegvesenet, u.å.). Egenvekten kan sannsynligvis være høyere og lavere enn dette ettersom det transporteres fuktig eller tørt virke.

5. Konklusjon

Den drivende faktoren for volumvariasjon var sum stokklengde per vogn, altså totalt virkeslengde per vogn. Lengden var fast for lag med kubb, men varierende for lag med fallende lengder. Denne faktoren var gitt, ut i fra tømmeret som var på terminalene. Lengder på 3 og 5 meter ga den beste utnyttelsen av vognvolum, noe Palander og Kärhä også bekreftet for biltransport (Palander & Kärhä, 2017). Antall lag var drivende for sumstokk lengde, og justeringer i antall lag kan gjøres på terminalene for optimal utnyttelse av vognene. Høyde og fastmasseprosenten ble påvirket av lastningspraksisen. Tilgjengelig lastningstid kan ha vært en årsak til variasjonen i disse faktorene, sammen med lastningsmaskin og terminalutforming. Uavhengig av antall lag var Norsenga den terminalen med høyest fastmasseprosent. Denne terminalen hadde lengst tilgjengelig lastningstid, ranker parallelt med lastningssporet og brukte hjulgående gravemaskin med tømmerklo og hevende hytte til lastning.

Den nye registreringsmetoden på mottaker terminalene hadde et høyere middelvolum per vogn enn den tidligere metoden, og den er også nærmere resultatet til registreringen på avsender terminalene i denne oppgaven. Den nye registreringsmetoden er derfor mer korrekt enn den tidligere.

For en økt lønnsomhet av tømmertransport på jernbane, gir større vognprofil det største innsparingspotensialet. Potensialet er en økning på 3,5 tonn per vogn, som kan gi en innsparing opp til 5,5 %. Tyngre vogner enn dette strider mot tillatt aksellast for vognene. Med en transport over 2.500.000 millioner m³ tømmer årlig på jernbane og betydelige transportkostnader, anbefales det videre studier på optimal utnyttelse av vogner, innsparing og lønnsomhet ved jernbanetransport av tømmer.

6. Referanser

- Bane Nor. (2008). *Historisk oversikt*. Tilgjengelig fra: <http://www.banenor.no/Jernbanen/Historie1/Historisk-oversikt-jernbanen-i-Norge/> (lest 26.04.2018).
- Bane Nor. (2017). *Teknisk regelverk. Underbygning/Projektering og bygging/Profiler og minste tverrsnitt/Vedlegg/Profiler*. Tilgjengelig fra: https://trv.jbv.no/wiki/Underbygning/Projektering_og_bygging/Profiler_og_minste_tverrsnitt/Vedlegg/Profiler (lest 30.04.18).
- Bane Nor. (u.å.-a). *Bane Nor - Teknisk regelverk*. Tilgjengelig fra: <https://trv.banenor.no/wiki/Forside> (lest 01.05.18).
- Bane Nor. (u.å.-b). *Tømmerterminaler*. Tilgjengelig fra: <http://www.banenor.no/kundeportal/jernbanen-i-norge/infrastruktur/tommerterminaler/> (lest 23.04.18).
- Enström, J. & Winberg, P. (2009). *Systemtransporter av skogsbränsle på järnväg*. Arbetsrapport från Skogforsk nr. 678 2009. Tilgjengelig fra: <https://www.skogforsk.se/contentassets/eb4fafa65aa4450f800612131e1d3df6/arbetsrapport-678-2009.pdf> (lest 02.05.18).
- Etlinger, K., Rauch, P. & Gronalt, M. (2014). IMPROVING RAIL ROAD TERMINAL OPERATIONS IN THE FOREST WOOD SUPPLY CHAIN - A SIMULATION BASED APPROACH. *University of Natural Resources and Life Sciences, Institute of Production Economics and Logistics*.
- Fjeld, D. & Skjølaas, D. (2016). *Mulighetsstudie: Utviklingstiltak og implementeringsscenarioer for reduserte transportkostnader*. Tilgjengelig fra: http://www.skogtiltaksfondet.no/userfiles/files/Prosjektrapporter/2017/2015-42_Utviklingstiltak%20og%20implementeringsscenarioer%20for%20%C3%A5%20redusere%20kostnader%20innen%20videretransport.pdf (lest 04.05.18).
- Forsberg, M., Frisk, M. & Rönnqvist, M. (2005). FlowOpt – A Decision Support Tool for Strategic and Tactical Transportation Planning in Forestry. *International Journal of Forest Engineering*, 16 (2): 101-114. doi: 10.1080/14942119.2005.10702519.
- Föreskrift om lastning av rundvirke. (2009). *Lastning av rundvirke. Dokumentnummer HRF 1.11.02*.
- Heljanko, E. (2017). *EVALUATION OF A NOVEL LOGISTICS SOLUTION FOR ROUNDWOOD IMPORT*. Masteroppgave. Kouvola: Lappeenranta University of Technology. Tilgjengelig fra: http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/135166/progradu_heljanko_ekku.pdf?sequence=2&isAllowed=y (lest 29.04.2018).
- Larsson, K. (2016). *Wheel damage and maintenance of SCA Skog wagons*. Masteroppgave. Stockholm: KTH Royal institute of technology school of engineering sciences. Tilgjengelig fra: <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1057256/FULLTEXT01.pdf> (lest 30.04.18).
- Liebherr. (u.å.-a). *LH 30 M Industry Litronic*. Tilgjengelig fra: <https://www.liebherr.com/en/rou/products/material-handling-equipment/mobile-material-handling-machines/details/68004.html> (lest 02.05.18).
- Liebherr. (u.å.-b). *LH 35 M Industry Litronic*. Tilgjengelig fra: <https://www.liebherr.com/en/rou/products/material-handling-equipment/mobile-material-handling-machines/details/68024.html> (lest 02.05.18).
- Løvås, G. G. (2013). *Statistikk for universiteter og høyskoler*. 3. utg. Oslo: Universitetsforlaget.
- Lööf, M. (2015). *En systemanalys av tyngre lastbilers påverkan på tågtransporter*. Tilgjengelig fra: https://stud.epsilon.slu.se/8380/7/loof_m_150812.pdf (lest 28.04.18).
- Meld. St. 6 (2016-2017). *Verdier i vekst. Konkurransedyktig skog- og trenæring*. Oslo: Landbruks- og matdepartementet. Tilgjengelig fra: https://www.regjeringen.no/contentassets/ddf3f9c3c3644672baa26d5d46daf543/no/pdfs/s_tm201620170006000dddpdfs.pdf (lest 26.04.2018).

- Meld. St. 33 (2016-2017). *Nasjonal transportplan 2018-2029*. Oslo: Samferdselsdepartementet.
Tilgjengelig fra:
<https://www.regjeringen.no/contentassets/7c52fd2938ca42209e4286fe86bb28bd/no/pdfs/stm201620170033000dddpdfs.pdf> (lest 26.04.2018).
- Minitab Inc. (2017). *Minitab 17 Support*. Tilgjengelig fra: <http://support.minitab.com/en-us/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/graphs/graphs-that-compare-groups/boxplots/boxplot/> (lest 26.04.18).
- Net, E., Bajric, F., Vötter, D., Berg, S., Anderson, G. & Roux, S. (2011). *Identification of existing transport methods and alternative methods or new approaches with data about costs, labour input and energy consumption*. EFI Technical Report 76, 2011. Tilgjengelig fra:
http://www.fefr.org/files/attachments/publications/eforwood/efi_tr_76.pdf (lest 29.04.2018).
- Norsk Virkesmåling. (2014). *Faktortabell-FMB-måling*. Tilgjengelig fra: <http://www.m3n.no/wp-content/uploads/2017/09/29-Faktortabeller-FMB-m%C3%A5ling.pdf> (lest 30.04.18).
- Norsk Virkesmåling. (2015). *Målereglement massevirke*: Norsk Virkesmåling. Tilgjengelig fra:
http://www.m3n.no/wp-content/uploads/2017/09/B2_Maalereglement_massevirke.pdf
(lest 30.04.18).
- Norsk Virkesmåling. (2017). *FMB-måling*: Norsk Virkesmåling. Tilgjengelig fra:
<http://www.m3n.no/wp-content/uploads/2017/07/FMB-m%C3%A5ling.pdf> (lest 30.04.18).
- NSB & Borregaard. (1984). *Transport av massevirke fra Glommadistriktet til Borregaard, Sarpsborg*. .
- Nurminen, T. & Heinonen, J. (2007). Characteristics and time consumption of timber trucking in Finland. *Silva Fennica*, 41 (3). doi: 10.14214/sf.284.
- Palander, T. (2017). The environmental emission efficiency of larger and heavier vehicles – A case study of road transportation in Finnish forest industry. *Journal of Cleaner Production*, 155: 57-62. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.09.095.
- Palander, T. & Kärhä, K. (2017). Potential Traffic Levels after Increasing the Maximum Vehicle Weight in Environmentally Efficient Transportation System: The Case of Finland. *Journal of Sustainable Development of Energy Water and Environment Systems-Isdewes*, 5 (3): 417-429. doi: 10.13044/j.sdewes.d5.0154.
- Rail Freight. (2017). *VTG and Innofreight team up to provide log-carrying wagons*. Tilgjengelig fra:
<https://www.railfreight.com/business/2017/05/19/vtg-and-innofreight-team-up-to-provide-log-carrying-wagons/> (lest 29.04.2018).
- Skjølaas, D. (2016). *Effektiv virkestransport på jernbane, Delrapport om terminalstruktur i området Lillestrøm-Kongsvinger-Elverum-Lillehammer*. Tilgjengelig fra:
http://www.skogtiltaksfondet.no/userfiles/files/Prosjektrapporter/2017/2014-37_Effektiv%20virkestransport%20p%C3%A5%20jernbane_mai%202017.pdf (lest 26.04.18).
- Statens landbruksforvaltning & Jernbaneverket. (2010). *Økt virkestransport på jernbane : utredning til Landbruks- og Samferdselsdepartementet*: Statens landbruksforvaltning. Tilgjengelig fra:
https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/155829/12TU00124_ocr_red.pdf?sequence=1&isAllowed=y (lest 26.04.18).
- Statistisk sentralbyrå. (2001). *Siste slep for "Axel"*. Tilgjengelig fra:
<https://www.ssb.no/a/histstat/artikler/art-2000-09-27-01.html> (lest 26.04.2018).
- Tahvanainen, T. & Anttila, P. (2011). Supply chain cost analysis of long-distance transportation of energy wood in Finland. *Biomass & Bioenergy*, 35 (8): 3360-3375. doi: 10.1016/j.biombioe.2010.11.014.
- Vegvesenet. (u.å.). *Tabell av vektorer ved tømmerbiltransport*. Tilgjengelig fra:
https://www.vegvesen.no/attachment/490274/binary/797544?fast_title=Korrigerende+skriv+fra+Norges+Skogeierforbund+tabell.pdf (lest 08.05.18).
- Volvo Maskin AS. (u.å.-a). *Tekniske spesifikasjoner for L150H*. Tilgjengelig fra:
<https://www.volvoce.com/norge/nb-no/volvo-maskin-as/products/wheel-loaders/large/l150h/specifications/> (lest 02.05.18).

Volvo Maskin AS. (u.å.-b). *Tekniske spesifikasjoner for L180H high-lift*. Tilgjengelig fra:

<https://www.volvoce.com/norge/nb-no/volvo-maskin-as/products/wheel-loaders/large/l180hhl/specifications/> (lest 02.05.18).

VTG Rail. *Contailner Carrier - Sgns(s) 60'* Tilgjengelig fra: <https://www.vtg.com/wagon-hire/our-fleet/i41060d/> (lest 01.05.18).



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway