

KRAV TIL VEIBREDDER OG SNUPLASSER FOR 19,5 METERS TØMMERVOGNTOG FOR VEIKLASSE 3 OG 4 PÅ VESTLANDET.

REQUIREMENTS FOR ROAD WIDTH AND TURNAROUND LOCATIONS FOR 19.5
METER TIMBER TRUCKS FOR ROAD-CLASS 3 AND 4 IN THE WEST OF NORWAY.

ERIK TRØSEID GJERSTADBERGET

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP

INSTITUTT FOR NATURFORVALTNING
MASTEROPPGAVE 30 SEP. 2013



Forord

Dette arbeidet markerer slutten på min studenttilværelse ved Universitet for miljø- og biovitenskap (UMB). Oppgaven er en del av masterstudiet i Skogfag ved Institutt for naturforvaltning.

Oppgaven ble til etter et sommerprosjekt i samarbeid med Dag Skjølaas fra Norges Skogeierforbund. Sommerprosjektet, som omhandlet krav til snuplasser og breddeutvidelser i kurver på skogsbilveier, ble etter hvert et naturlig utgangspunkt for en masteroppgave.

I forbindelse med gjennomføringen av oppgaven, har jeg flere som fortjener en takk. Først og fremst vil jeg takke Dag Skjølaas og Norges Skogeierforbund for god støtte gjennom arbeidet med oppgaven. Jeg vil rette en ytterligere takk til Norges Skogeierforbund for masterarbeidsplass i deres kontorlokaler. Takk til Tommy Bergsjøbrenden ved PTO Teknikk for opplæring i bruk av TrailerWIN og CornerWIN, og Erik Larm som stilte et tømmervogntog med sjåfør til disposisjon for sporingsforsøket. Samtidig vil jeg takke Jørn Lileng fra Statens landbruksforvaltning og Rune Damm fra Norges Lastebileierforbund for gode innspill til prosjektrapporten. Veileder Jan Bjerketvedt, førsteamanuensis ved UMB, fortjener en stor takk da han har vært en viktig person i studiene. Til slutt vil jeg takke min samboer Stine for korrekturlesing og gode tips for utforming av oppgaven.

Ås, desember 2013

Erik Gjerstadberget

Sammendrag

Denne masteroppgaven er gjennomført for å undersøke forskjellen mellom krav til veibredde for 19,5 og 24 meters vogntog. På Vestlandet er mye av det offentlige veinettet kun godkjent for 19,5 meters vogntog og veinormalen er dimensjonert for 24 meter vogntog for veiklasse 3 og 4. Det har derfor vært behov for å undersøke om det kan være en aktuell løsning å dimensjonere veiklasse 3 og 4 i veinormalen for 19,5 meters vogntog. Dette kan gjøres ved å redusere krav til veibredde.

Det er definert dimensjonerende kjøretøy for 19,5 og 24 meters vogntog i samspill med lastebileiere, PTO teknikk AS og Norges Lastebileierforbund. Dimensjonerende kjøretøy er bevisst konstruert med dårligere sporingsegenskaper enn hva som er vanlig for at veien ikke skal bli ekskluderende.

For å beregne krav til veibredde for 19,5 meters vogntog er simuleringsprogrammet TrailerWIN sammen med tilleggsmodulen CornerWIN benyttet for å simulere sporing av vogntog i forskjellige kurvelengder og kurveradier. Det er i tillegg for 19,5 meters vogntog definert et styretillegg som er et slingringsmonn som øker ved minkende kurveradius og økende kurvelengde.

Et 19,5 meters vogntog sporer bedre enn et 24 meters vogntog og det er beregnet nye krav til utforming av rundkjøringer og vendehammer for 19,5 meters vogntog. Det ble utført et sporingforsøk med et 22 meters vogntog som viste at det var god sammenheng mellom sporingforsøkene i CornerWIN og hvordan et vogntog sporer i virkeligheten.

Ved å bygge skogsbilvei for 19,5 meters vogntog vil man få redusert breddeutvidelse i kurver og besparelsen i veibredde øker med økende kurvelengde og minkende kurveradius.

Besparelse i veibredde betyr også mindre behov for masser til veien. Dette gir mindre behov for å sprengning i skjæringer og mindre behov for masser i fyllinger. Besparelse av byggekostnader for å bygge skogsbilvei for 19,5 i stedet for 24 meters vogntog vil avhenge mye av kurvatur og fyllingshøyde på veien.

En smalere skogsbilvei vil redusere framkommeligheten til maskinvogntog som frakter skogsmaskiner inn og ut av skogen. Ved å bygge skogsbilvei for 19,5 meters vogntog kan man risikere at maskinvogntogene ikke kommer seg fram og skogsmaskinene må kjøre for egen maskin inn i skogen. Dette kan føre til skade på veien og høyere transportkostnader.

Skogeiere med tilknytning til offentlig veinett for 19,5 meter tillat totallengde bør få anledning til å søke dispensasjon fra veinormalen da de ikke har behov for å bygge skogsbilveier for 24 meters vogntog.

Summary

This thesis is conducted to examine the difference between the requirements for road width of 19.5 and 24 meters trucks. In the west of Norway a lot of the public roads are low capacity roads and they are only approved for 19.5 meter trucks and the forest road standard is constructed for 24 meter trucks for road-class 3 and 4. In that case there has been necessary to examine whether there might be relevant to dimension the road-class 3 and 4 in the forest road standard for 19.5 meter truck in the areas with low capacity roads. This can be solved by reducing the requirements for road width.

The defined standard vehicle is developed for 19.5 and 24 meters trucks interacting with truck owners, PTO teknikk AS and Norges Lastebileierforbund.

To calculate the requirements for road width of 19.5 meter trucks the simulation program TrailerWIN with the sub-program CornerWIN is used to simulate the tracking of trucks in different curve lengths and curve radiuses.

A 19.5 meter truck has better tracking performance than a 24 meter truck. There is also estimated requirements for the design of roundabouts and turning intersection for 19.5 meter trucks. It was performed a tracking experiment with a 22 meter truck which showed that there was good correlation between tracking experiments in CornerWIN and the tracking performance of a truck in reality.

By building forest roads for 19.5 meter trucks the widening in curves will be reduced and the difference between the 19.5 and 24 meter trucks increases with increasing curve length and decreasing curve radius.

The decrease in road width also means less need for materials. This reduces the need for explosives for blasting through the ground and less need for material in landfills. Savings in construction costs to build forest roads for 19.5 instead of 24 meter road train depends of the curvature and the filling height of the road.

A forest road for 19.5 meter trucks will be more difficult to drive for trucks carrying forestry machines in to the woods. There is a risk that the carriage trucks will be excluded from driving on roads constructed for 19.5 meter trucks. This means that harwesters and forwarders must drive on the road to access the forest. This can cause damage to the road and higher transportation costs.

It is fair that forest owner can apply for exemption from the forest road standard in areas of low capacity roads for maximum length of 19.5 meter. It is reasonable that the forest roads match the public roads.

Innhold

Forord.....	2
Sammendrag	3
Summary	4
Definisjoner og ordforklaringer:.....	7
1 Innledning.....	8
2 Teori.....	10
2.1 Tidligere studier.....	10
2.2 Veibredde, kjørebane og skulder	11
2.3 Terrengets betydning for byggekostnader.....	13
2.3.1 Fyllingshøyde og breddeutvidelse.....	13
2.4 Tillatt total lengde og lengde på ett tomt kjøretøy – to forskjellige mål	14
3 Metode og forutsetninger.....	17
3.1 Sporingsegenskaper	18
3.1.1 Boggiløft og avlastning	19
3.2 Dimensjonerende kjøretøy.....	21
3.3 Kurveradius og kurvelengde.....	23
3.4 Snuplass rundkjøring	24
3.5 Sporingforsøk.....	25
3.6 Følsomhetsanalyse	27
3.6.1 EU's krav til sporing	27
3.7 Maskintransport.....	28
3.7.1 Medsporende og tvangsstyrte aksler.....	30
3.8 Masseberegning for breddeutvidelse for 19,5 og 24 meters vogntog.....	32
4 Resultat.....	33
4.1 Forskjellig fotavtrykk for 19,5 og 24 meters vogntog	33
4.2 Styretillegg i veinormalen.....	34
4.3 Forslag til styretillegg for 19,5 meters vogntog	35
4.4 Forslag til krav til veibredde	36
4.5 Snuplass - rundkjøring uten lass.....	38
4.6 Snuplass - rundkjøring med lass	39
4.7 Vendehammer.....	41
4.8 Sporingforsøk.....	42

4.9	Følsomhetsanalyse	43
4.10	Maskintransport	46
4.11	Masseberegning av breddeutvidelse for 19,5 og 24 meters vogntog.....	47
5	Diskusjon	49
5.1	Forskjellig fotavtrykk for 19,5 og 24 meters vogntog	49
5.2	Styretilllegg i veinormalen.....	49
5.3	Styretilllegg for 19,5 meters vogntog.....	49
5.4	Reduserte krav til veibredde	50
5.5	Snuplass - rundkjøring uten lass.....	50
5.6	Snuplass - rundkjøring med lass	50
5.7	Vendehammer.....	51
5.8	Sporingsforsøk.....	51
5.8.1	Forskjell på teori og praksis.....	51
5.8.2	Snuplass med 10 meter ytre radius.....	51
5.8.3	Bedre sporing med lass	52
5.9	Følsomhetsanalyse	52
5.10	Maskintransport	53
5.11	Masseberegning	53
5.12	Bruk av TrailerWIN og CornerWIN	54
6	Konklusjon	55
7	Referanseliste	57
7.1	Bilder:	58
8	Vedlegg 1.....	59

Definisjoner og ordforklaringer:

Vogntog	Lastebil med tilhenger.
Lastebil	Lastebil alene, det vil si uten tilhenger.
Korthenger	3-akslet tilhenger for 19,5 meters vogntog med en aksling foran og boggi bak.
Langhenger	4-akslet tilhenger for 24 meters vogntog med boggi foran og bak.
Trekkvogn	Trekkvogna som trekker semitraileren.
Dreiepunkt	Punktene på vogntoget som står vinkelrett mot sentrum i kurver. Dreiepunktet på en boggi med jevnt akseltrykk vil være midt mellom akslingene. I en trippelboggi vil dreiepunktet være ved akslingen i midten.
Kurver	I denne hovedoppgaven er alle kurver som nevnes horisontale.
Kurveradius	Ved kurveradius i svinger er det ment fra sentrum til <i>senterlinjen</i> for 4 meter veibredde, det vil si 2 meter mindre enn ytre diameter på veien.
Veinormal	Med veinormal menes "Normaler for landbruksveier – med byggebeskrivelse, 2013».
Skjæring	Vei anlagt på ei sprengt hylle i fjellet.
Sentraløy	Øya i sentrum av ei rundkjøring som ikke trenger å bygges.
Halvskjæring	Samme som skjæring, men deler av veien er fylt opp på utsiden av fjellsiden. Benyttes ofte for å oppnå massebalanse ved bruk av stedege masser, da de sprengte massene brukes i fyllinga.
Fyllingsfot	Der fyllingen ender mot utplanert eller opprinnelig terreng.
Fyllingshøyde	Vertikal høydeforskjell mellom veikanten og fyllingsfot.
Fotavtrykk	Med fotavtrykk menes den veibredden vogntoget beslaglegger fra ytterste hjørne på lastebilen til innerste aksling på tilhengeren, det vil si ytterpunktene på vogntoget i en kurve. I kurver vil fotavtrykket være bredden på vogntoget + sporbreddeøkning.

1 Innledning

Sommeren 2013 arbeidet jeg med prosjektet «Krav til snuplasser og breddeutvidelser i kurver på skogsbilveger» i samarbeid med Dag Skjølaas for Norges Skogeierforbund. Prosjektet hadde som hensikt å beskrive differansen i krav til veibredde mellom 19,5 meters vogntog og 24 meters vogntog. Prosjektet ble finansiert av Statens Landbruksforvaltning, og prosjektet hadde en varighet på fire uker. Rapporten fra prosjektet ble et naturlig utgangspunkt for en masteroppgave da det var behov for å undersøke flere aspekter knyttet til reduksjon av breddeutvidelsen. Denne masteroppgaven har med hensikt å supplere prosjektrapporten fra Norges Skogeierforbund ved å gi et bredere og mer utfyllende beslutningsgrunnlag ved å bygge vei for 19,5 meters vogntog i stedet for 24 meters vogntog.

I 2013 vedtok Samferdselsdepartementet at tømmervogntog i Norge kan kjøre med opptil 24 meter total lengde og 60 tonn totalvekt (Samferdselsdepartementet 2013c). Dette har vært etterlenget av skognæringa, og vedtaket medfører økt nyttelast på tømmervogntogene som er med på å senke transportkostnadene samt redusere slitasjen på veinettet. Færre vogntog på veien betyr også mindre trafikk og økt trafiksikkerhet.

Det er ikke bare lovverket som setter begrensinger for hvor store vogntog som kan kjøre på de forskjellige veiene. For alle fylker og kommuner foreligger det ei veiliste over alle offentlige veier som angir tillatt total lengde og totalvekt for den enkelte veistrekning.

Det er langt fra alle veier som kan kjøres med 24 meter vogntog og 60 tonn totalvekt i Norge. Dette gjelder særlig deler av Rogaland, Hordaland, Sogn og Fjordane, og Møre og Romsdal. Dagens veistandard på mange av fylkesveiene og kommunale veier i disse fylkene gjør at det ikke er realistisk å se for seg utstrakt bruk av 24 meters vogntog i nærmeste framtid. Tømmertransporten i disse områdene foregår hovedsakelig med vogntog på 19,5 meter og 50 tonn totalvekt (Statens Vegvesen 2013a, Statens Vegvesen 2013b, Statens Vegvesen 2013c, Statens Vegvesen 2013d). Dermed kan man anta at det verken vil være nødvendig eller riktig å dimensjonere nye skogsbilveier eller opprustning av skogsbilveier for 24 meters vogntog.

Veinormalen er dimensjonert for 24 meter lange vogntog med en totalvekt på 60 tonn for veiklasse 3, 4 og 6 (Landbruks- og matdepartementet 2013). For å motta tilskudd og benytte seg av skogfond med skattefordel, må skogsbilveiene som bygges eller rustes opp, tilfredsstillende veinormalens krav. Dette vil føre til at skogsbilveiene blir overdimensjonert og unødig kostbare da veinormalen ikke tar hensyn til offentlige veinett med tillatt total lengde 19,5 meter og 50 tonn totalvekt.

For å tilrettelegge for bruk av 19,5 meters vogntog er det dermed mulig å redusere krav til breddeutvidelse i kurver og krav til utforming av snuplasser i forhold til veinormalens krav. Ved å

beholde krav til stigning for de forskjellige veiklassene legger man samtidig til rette for at veien kan utvides med krav til 24 meters vogntog ved et senere tidspunkt dersom det skulle være aktuelt.

Dette er beregningene som er utført i masteroppgaven:

- Tallfeste krav til breddeutvidelse for 19,5 meters vogntog og differansen i veibredde for 19,5 og 24 meters vogntog.
- Krav til utforming av snuplasser for 19,5 meters vogntog i forhold til 24 meters vogntog
- Framkommelighet for maskinvogntog på veier for 19,5 meters vogntog.
- Sammenligning av sporing i simuleringsprogrammet CornerWIN og et sporingsforsøk med et 22 meters vogntog.
- Grovt overslag av massebesparelse for å bygge skogsbilvei for 19,5 meters vogntog i stedet for 24 meters vogntog med 1 og 5 meters fyllingshøyde.

Formålet med masteroppgaven og prosjektet fra Norges Skogeierforbund er å legge til rette for en løsning som gir skogeiere mulighet for å søke dispensasjon fra veinormalen for å bygge skogsbilveier med redusert breddeutvidelse for 19,5 meters vogntog. På denne måten vil skogeiere på Vestlandet med tilknytning til et dårlig offentlig veinett få bygge skogsbilveier som er riktig dimensjonert i forhold til det offentlige veinettet. Denne løsningen gir samtidig mulighet for å oppgradere skogsbilveien for 24 meters vogntog på en forholdsvis enkel måte i ettetid da veien kun trenger å breddeutvides i kurver i henhold til veinormalen.

2 Teori

2.1 Tidligere studier

Stener (1989) "Biltransport av tømmer" er en hovedoppgave fra Norges Landbrukshøgskole. Målet med oppgaven er å bestemme transportutstyrets krav til kjørebanebredde som en tilpasning av datidens veinormal til de økende vogntoglengdene som kom på 70 og 80-tallet. Hovedoppgaven tar for seg sporing av forskjellige typer vogntog samt stigningsevne. På 70-tallet var det vanlig med vogntog for stammetransport og vogntogene hadde da en total lengde på 10,5 meter og en totalvekt på 22 tonn. Utover 70 og 80-tallet økte vogntogene i lengde og vekt samtidig som man gikk bort fra helstammemetoden til fordel for sortimentsmetoden. Vogntogene som er simulert i oppgaven er 18, 22 og 24 meter lange.

Walseth (1993) "Forslag til endringer av normaler for skogsbilveger klasse III og IV" er også en hovedoppgave fra Norges Landbrukshøgskole. Hovedoppgaven foreslår krav til breddeutvidelse for 18 og 22 meters vogntog, stigning i lass og returretning, møteplasser, snuplasser og stigning i kurver.

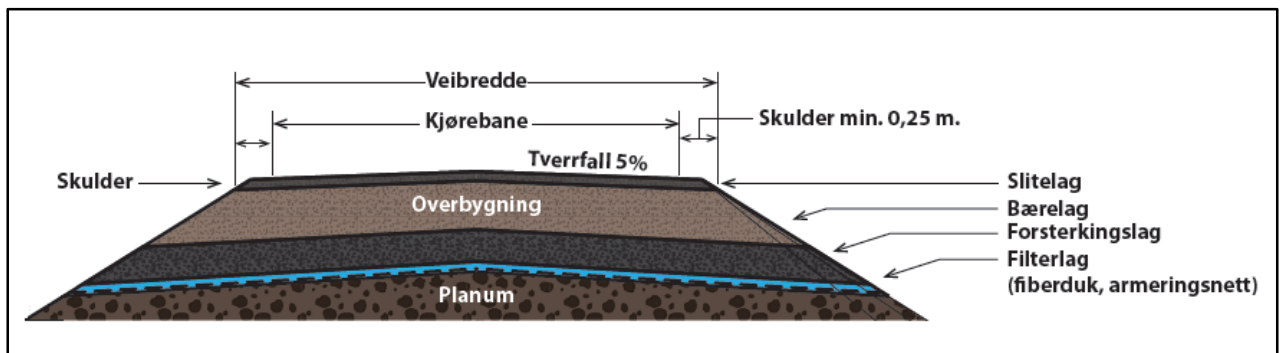
Skotte (1992) "Typeutstyrets krav til linjeføring" er et delprosjekt for Transportbrukernes Fellesorgan som inngår i prosjektet "Optimal skogsbilveistandard". Det er blant annet beregnet krav til horisontal kurvatur ved hjelp av det amerikanske programmet "Offtrack" for 18 og 22 meters tømmervogntog.

Det har i arbeidet med oppgaven blitt benyttet 3 notater av Truls Andersen (konsulent v/ Norsk Institutt for skogforskning, Seksjon driftsteknikk) som ble brukt i veinormalen fra 1994:

- | | |
|------------------|---|
| Andersen (1994a) | "Nye normaler for skogsveger med byggebeskrivelser" |
| Andersen (1994b) | "Vegbredde og stigning i kurver. Grensekurver og krav til bære- og slitelag. Bærelagstykkelser." |
| Andersen (1994c) | "Samspillet mellom vegbredde, horisontal- og vertikalkurvatur for typiske vogntogs-konfigurasjoner for norske skogsbilveger." |

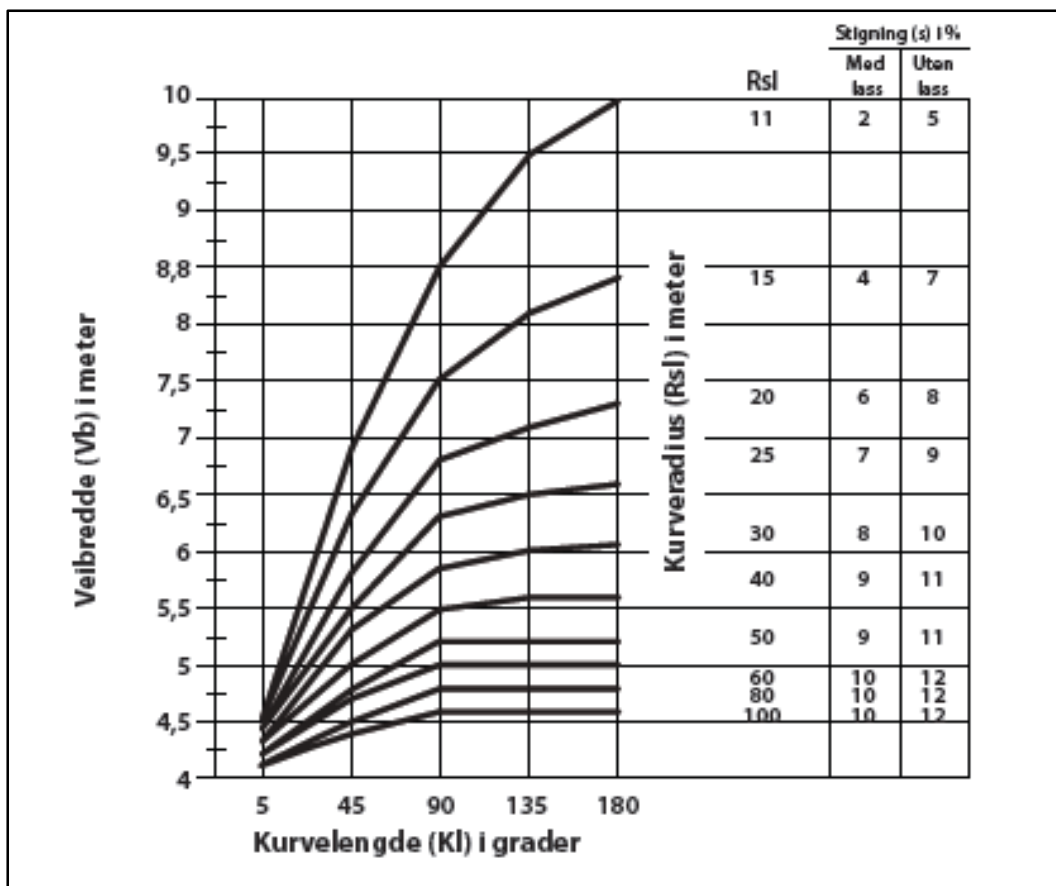
2.2 Veibredde, kjørebane og skulder

Veibredden for en skogsbilvei defineres i veinormalen som kjørebane og skulder (Landbruks- og matdepartementet 2013). Veibredden skal være minimum 4 meter fra skulder til skulder for veiklasse 3, 4 og 5. Kjørebane er den midtre delen av veien hvor vogntoget skal kunne kjøre og skulderen er der hvor kjørebane og grøftekant møtes. Kjørebane skal være minimum 3,5 meter og skulderbredden skal være minimum 0,5 meter, det vil si 0,25 meter på hver side av kjørebane. Et vogntog har en sporvidde på 2,5 meter og med en kjørebanebredde på 3,5 meter gir dette et styretilllegg på minimum 1 meter. Dette er en sikkerhetsmargin eller et "slingringsmonn" (Stener 1989) som er nødvendig for at vogntoget skal holde seg innenfor kjørebane og for at veien kan kjøres med en effektiv hastighet. Figur 1 viser veiens oppbygging som forklart ovenfor.



Figur 1: Bilde fra veinormalen som viser et tverrsnitt med kjørebane, skulder og veibredde samt oppbygging av veikroppen. (Landbruks og matdepartementet 2013)

Den totale breddeutvidelsen i kurver er summen av sporviddeøkning av vogntoget, og styretillaget. Sporviddeøkningen varierer i forhold til kurvelenge og kurveradius og styretillaget varierer etter kurvelengden. Veinormalen fra 2013 bygger på veinormalen fra 1997 og 1994. Krav til breddeutvidelse i 1997, den gang 22 meters vogntog, tilfredsstillers også dagens krav for 24 meters vogntog. Krav til veibredde for veiklasse 3 og 4 er vist i Figur 2. Dagens moderne vogntog har bedre springsegenskaper som kompenserer for økningen av total lengden. (Landbruksdepartementet 1997)



Figur 2: Breddeutvidelse og stigningskrav for veiklasse 3 hentet fra veinormalen (Landbruks- og matdepartementet 2013).

Krav til veibredde er uendret i veinormalen fra 1997 til 2013, men styretillegget har endret seg som følge av bedre sporingsegenskaper. Dagens moderne vogntog bruker mindre plass i kurver og dette gir nødvendigvis ett større styretillegg da krav til veibredde er uendret i den nye veinormalen.

Styretillegget som ligger til grunn for veinormalen fra 1994 og fram til i dag er vist i Tabell 1. Disse tallene er beregnet ut ifra eldre vogntog med dårligere sporingsegenskaper.

Tabell 1: Styretillegg som ligger til grunn for veinormalen. Tallene er hentet fra Andersen (1994b).

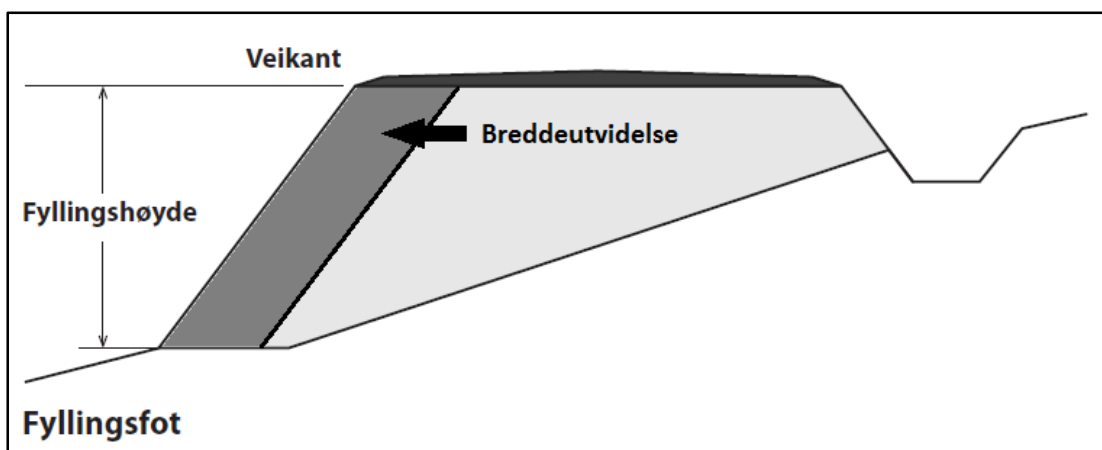
Styretillegg				
Kurve lengde, grader	0	5	45	>45
Styretillegg, meter	1,0	0,5	0,7-0,8	1,0

2.3 Terrengets betydning for byggekostnader

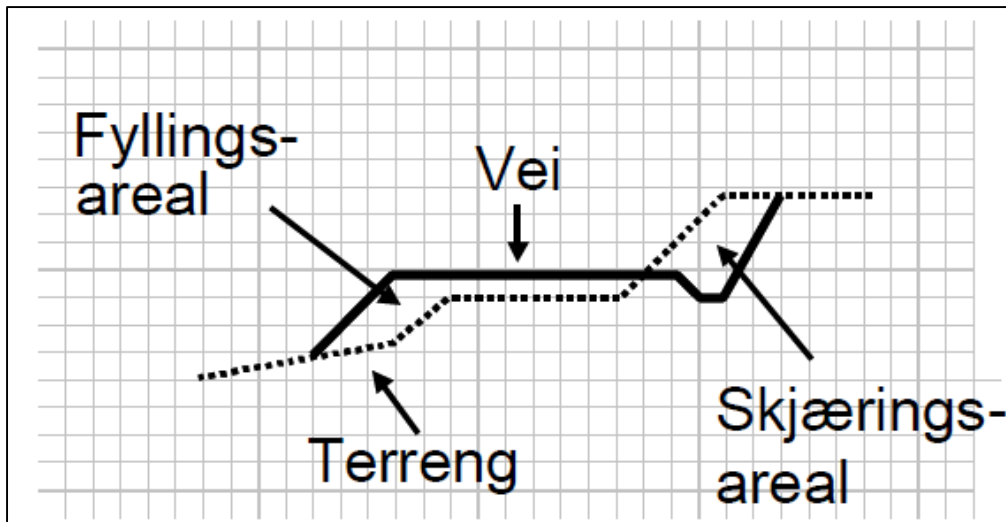
Siden ingen veistrekninger er like vil besparelsen for å bygge vei for 19,5 meters vogntog i stedet for 24 meters vogntog variere fra veianlegg til veianlegg. Det er i hovedsak terrenget som bestemmer hvordan kurvaturen til en vei bør utformes og dette har direkte innvirkning på byggekostnadene. Høye skjæringer som må sprenges i bratt terreng er kostnadskrevende. Sprenging kan føre til mye transport av masser, for eksempel i en skjæring hvor man ikke har mulighet til å bruke de sprengte massene til fylling for å oppnå bedre massebalanse, som vist i Figur 4. Et veianlegg med skjev massebalanse vil ofte fordyre et veianlegg hvis masser må transporteres inn eller ut av veianlegget. En smalere vei vil redusere behovet for sprenging, fylling og transport av masser.

2.3.1 Fyllingshøyde og breddeutvidelse

På en vei i terreng med en stor fyllingshøyde, se Figur 3, kreves det betydelig mer masser for å breddeutvide veien med 1 meter i forhold til flatt terreng, det vil si med en lavere fyllingshøyde. Hvis fyllingshøyden for eksempel er 10 meter høy må man fylle 10 m^3 masse per meter vei for å breddeutvide veien med 1 meter. Hvis fyllingshøyden er 1 meter høy (flatt terrenget) trenger man bare 1 m^3 for samme breddeutvidelse. Desto brattere terrenget er, det vil si større andel av veien må legges i skjæring eller halvskjæring, jo mer vil man spare i byggekostnader da det kreves mindre masser for veier for 19,5 meters vogntog i forhold til veinormalens krav for 24 meters vogntog. På rette strekninger vil man ikke få noen besparelse da veibredden skal være minimum 4 meter uavhengig av lengden på vogntoget. Breddeutvidelse skal alltid være i innersving. Breddeutvidelsen kan likevel være i yttersving i ei utkurve hvis det er naturlig å fylle på utsiden av veien i stedet for å sprengne i innersvingen hvis kurven går rundt en rygg.



Figur 3: Redigert bilde fra veinormalen som viser breddeutvidelse i tillegg til fyllingshøyde. (Landbruks- og matdepartementet 2013)



Figur 4: Illustrasjon av skjæring og fylling i relativt flatt terreng, (Bjerketvedt 2003).

2.4 Tillatt totallengde og lengde på ett tomt kjøretøy – to forskjellige mål

Det er viktig å merke seg forskjellen mellom tillatt totallengde og lengden på et vanlig tomt tømmervogntog. Etter Forskrift om nærmere bestemmelser om tillatte vekter og dimensjoner for offentlig veg nr. 136/2013 gjelder tillatt totallengde avstanden fra fremste punkt på lastebilen til bakerste punkt på tilhengeren eller lasset (Vegdirektoratet 2013a). Hvis det stikker ut tømmer bak ramma på tilhengeren, er det avstanden til enden på den stokken som stikker lengst ut bak på lasset som skal måles. Derfor er vogntoglengden slik den skal måles etter regelverket, lik lengden på det tomme vogntoget pluss lengden av utstikkende last.

Etter Forskrift om bruk av kjøretøy nr. 92/1990 skal gods som stikker ut mer enn 1 m bak på et kjøretøy merkes på anvist måte (Samferdselsdepartementet 1990). Hvis lasta stikker ut mindre enn 1 meter, er det ingen krav til merking. På et vogntog som er kortere enn 23 meter uten lass, vil det dermed være anledning til å la tømmeret stikke ut 1 meter uten at det behøver å merkes. Hvis vogntoget er lengre enn 23 meter uten lass, må utstikkende last begrenses slik at vogntoglenden holdes innenfor 24 meter. Figur 5 viser et vogntog med overheng langt over 1 meter.

I 2013 vedtok samferdselsdepartementet å øke tillatt totallengde for tømmervogntog fra 22 til 24 meter (Samferdselsdepartementet 2013c). Det forventes at lengden på vogntogene vil øke, men ikke mye utover 23 meter. Totallengden på vogntog vil derfor variere avhengig av overhengen, det vil si hvilken lengde tømmeret har og hvordan sjåføren lesser vogntoget.



Figur 5: Semitrailer fra Sibir i Russland med langt overheng bak boggien på tilhengeren. Lasten stikker ut bak og øker lengden på kjøretøyet betydelig. (pixabay.com)

Siden det er lite sannsynlig at tømmertransportørene vil kjøre med vogntog som har en kjøretøylengde over 23 meter, er kjøretøylengden på dimensjonerende kjøretøy for 24 meter totallengde satt til 23 meter.

Et 24 meter langt vogntog med langhenger har normalt plass til én bunt tømmer på lastebilen og to bunter med tømmer på tilhengeren. Det må da nødvendigvis bli et lite mellomrom mellom buntene fordi de ikke er rette i endene, som vist i Figur 6. Stokklengden i Norge variere fra ca 3 til ca 6 meter og hvis det er mye langt tømmer vil man få mer overheng enn om det er kort tømmer. Hvis ei tømmerdrift bare har langt tømmer vil det derfor være utfordrende for sjåføren å få et ideelt lass innenfor en totallengde på 22 meter da det blir for trangt på tilhengeren. For at overhengen ikke skal bli for langt har man også overheng foran på tilhengeren så lenge det er klaring mellom tilhengeren og krana på lastebilen i svinger og lågbrekk.

For tømmertransportørene er det vesentlig å ha ideelle lass i forhold til tømmer Sortimentene, samt vekt og høyde på vogntoget. For et 19,5 meters vogntog er det som oftest bare aktuelt å kjøre én bunt på lastebilen og én bunt på tilhengeren, men med en stokklengde på 3 meter er det muligheter for å ha to bunter på både lastebil og to bunter på tilhengeren. Et 24 meters vogntog kan ha to bunter på bilen og tre bunter på tilhengeren hvis stokklengden er 3 meter.



Figur 6: Et 22 meters vogntog som lesser ett lass med massevirke. Sjøføren har ikke problemer med å lesse da han har plass nok på tilhengeren da stokklengden er under 5 meter. Når sjåføren er ferdig med å lesse kan han trekke den bakre buntene fremover på tilhengeren og “stenge igjen” lysåpningen som blir mellom buntene og de bakerste stokkene kommer innenfor ramma på tilhengeren. Dette er for å unngå overheng da bilen skal kjøre på vei for 22 meter tillat total lengde. Foto: Erik Gjerstadberget

3 Metode og forutsetninger

For å beregne krav til breddeutvidelse i kurver er dataprogrammet TrailerWIN (2013-01) benyttet for å simulere sporing for ulike vogntog. TrailerWIN er et avansert simuleringsprogram som tar for seg oppsett, konstruksjon og beregning av blant annet sporing, vekter, hjelperammer, bremses, drivlinje og stabilitet. For å simulere kjøring i kurver må man ha tilleggsmodulen CornerWIN (2013-01). Ved hjelp av den kan man simulere kjøring i kurver med forskjellige kurveradier og -lengder.

Først må man konstruere det aktuelle kjøretøyet i TrailerWIN der man kan konstruerer kjøretøy etter egne forutsetninger for deretter å simulere kjøring i CornerWIN. Det har blitt konstruert vogntog med forskjellige konfigurasjoner og deretter sammenlignet sporingsegenskapene til 19,5 og 24 meters vogntog. Simuleringene viser størrelsen på "fotavtrykket" til vogntoget i de forskjellige kurveradiene og -lengdene. Med fotavtrykk menes den bredden vogntoget beslaglegger av veibredden i en kurve.

TrailerWIN brukes i dag i ulike fagmiljøer for å beskrive krav til bredde i kurver og rundkjøringer. Programmet er til nå ikke benyttet i skognæringen. Sammenlignet med feltmålinger forenkler denne metoden arbeidet med bestemmelse av krav til breddeutvidelse.

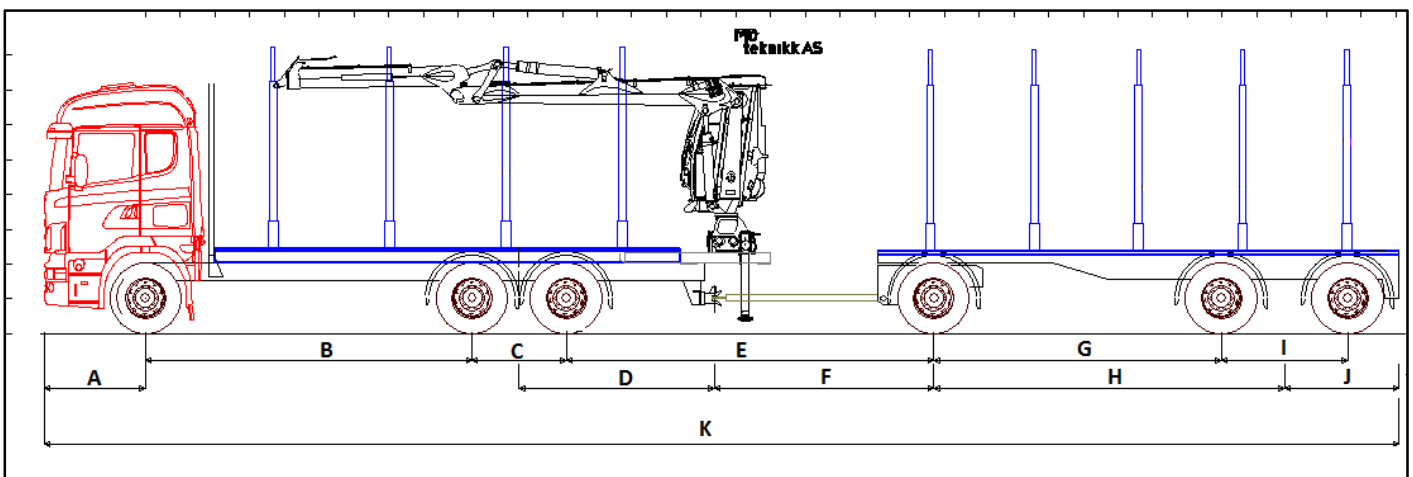
3.1 Sporingsegenskaper

Det er 5 faktorer ved et vogntog som påvirker sporingsegenskapene, disse er listet opp nedenfor.

Bokstavene refererer til Figur 7 og de 5 faktorene vises også i Figur 8.

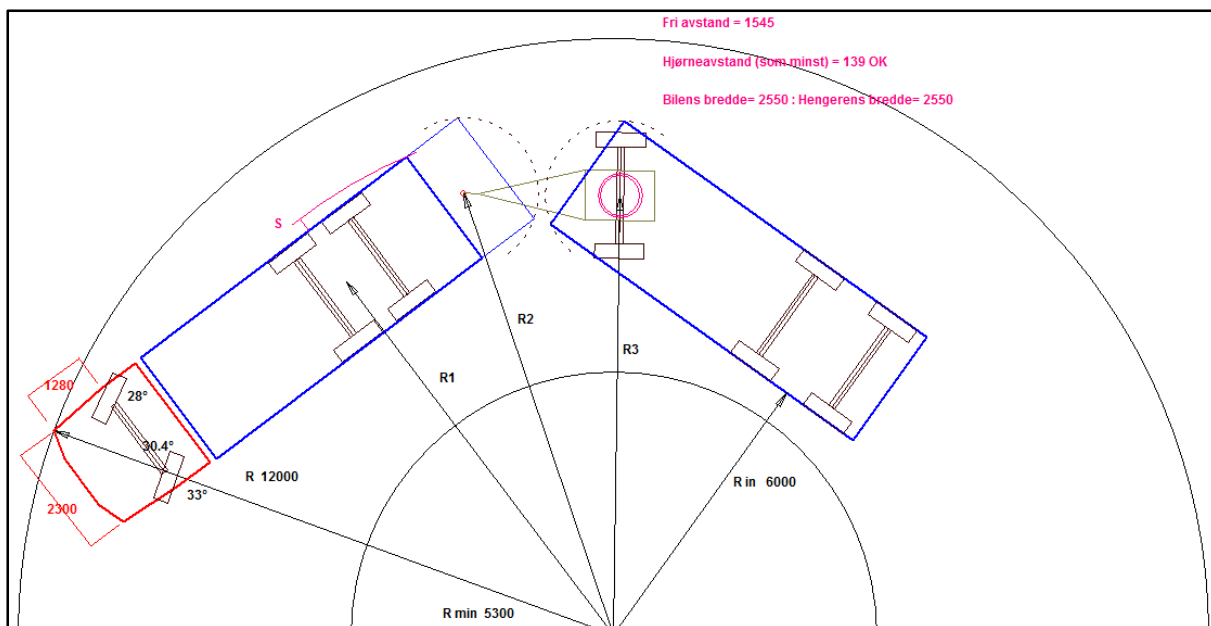
- A+B+1/2C: Avstand fra støtfanger foran til dreiepunkt på boggi til lastebil
- B + 1/2C: Akselavstand fra framaksel til dreiepunkt på boggi til lastebil
- D: Avstand fra dreiepunkt på boggi til tilhengerfeste på lastebil
- F: Lengden på draget, fra "trekk-øye" til dreiepunkt til framaksel eller boggi på tilhenger
- H: Avstand fra dreiepunkt foran på tilhenger til dreiepunkt på boggi bak på tilhenger

Med dreiepunktet til boggi menes avstanden til eller fra midten av boggien. Tømmervogntog har boggi bak på lastebilen, foran på langhengeren og bak på både lang- og korthenger.



Figur 7: Illustrasjon fra TrailerWIN. Et 19,5 meter langt vogntog med målepunkter. A: Overheng fra støtfanger til framaksel, lastebil.

B: Akselavstand, lastebil. C: Boggjavstand, lastebil. D: Avstand fra dreiepunkt (midten av boggi) til hengerfeste. E: Avstand fra 3. aksel på lastebil til 1. aksel på tilhenger. F: Lengde på drag, fra trekkøye til dreiepunkt på svingskive på tilhenger. G: Akselavstand, tilhenger. H: Avstand fra dreiepunkt foran på tilhenger til dreiepunkt på boggi bak på tilhenger. I: Boggjavstand tilhenger. J: Avstand fra senterboggi til støtfanger bak på tilhenger. K: Kjøretøylengde



Figur 8: Illustrasjon fra CornerWIN som beskriver springegenskaper for et 19,5 meters vogntog. "R1" peker på dreiepunktet på boggien på lastebilen og "R in" viser vogntogets indre svingradius ved dreiepunktet på tilhengeren. Alle mål i TrailerWIN og CornerWIN er oppgitt i millimeter.

3.1.1 Boggiløft og avlastning

Noen vogntog kan forandre springsegenskapene ved å avlaste aksler helt (boggiløft), eller delvis (avlaste). De aller fleste lastebiler i et tømmervogntog har drift på begge akslingene på boggien, det vil si aksling nr. 2 og 3 på lastebilen, dette kalles 6x4 eller tandemdrift. 6-tallet betyr at lastebilen har seks hjul, det vil si når hver aksel har ett par hjul på hver aksel. Alle akslinger på de fleste tømmervogntog, unntatt framakslingen på lastebilen, har tvillinghjul, det vil si to hjul på hver side av akslingen. 4-tallet angir hvor mange hjul som har drift. En lastebil med bare én drivaksling kalles 6x2 og det er som regel aksel nr. 2 som er drivakselen som vist i Figur 9.



Figur 9: En 6x2 lastebil med boggiløft og tvillinghjul på boggien. (www.berglitruckstop.no)

Det er unødvendig å ha alle akslene på bakken for et tomt vogntog da dette fører til unødig drivstofforbruk, mer dekkslitasje og det gir som regel de dårligste sporingsegenskapene. Det er derfor vanlig å løfte eller avlaste den eller de akslingene man ikke har bruk for når vogntog kjører uten lass. Akslingen som skal løftes kan normalt ikke være en drivaksel, det vil si at dette er som regel bare aktuelt på 6x2-lastebiler. Langhengeren har som oftest boggiløft på den 4. akselen og dette er for å oppnå bedre sporingsegenskaper når vogntoget er tomt. Korthengeren kan ha boggiløft på enten 2. eller 3. aksling, men dette kan avhenge litt av boggiavstand og lastebileierens egne ønsker og behov.

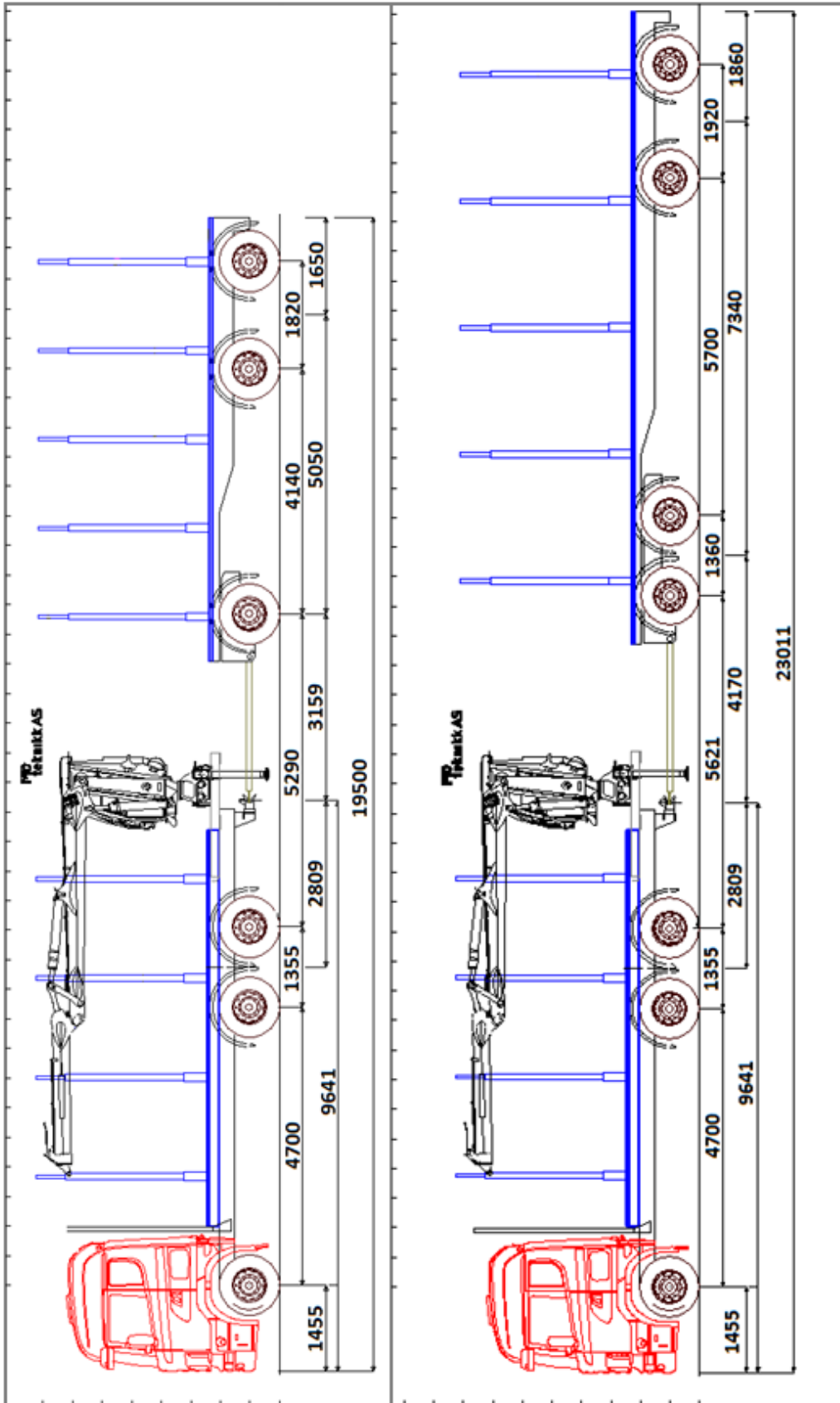
På moderne vogntog for tømmertransport er det vanlig med luftfjæring der hver aksel har luftputer i stedet for bladfjærer av stål som man finner på eldre og nyere "enkle" lastebiler. For lastebiler med tandemdrift eller 6x4 er det vanlig med avlastning på boggien i stedet for boggiløft. Når man avlaster blir all vekta fra den 3. akselen overført til den 2. akslingen. Dette gjøres ved at man slipper ut en del luft i luftputene som ligger mellom den akslingen man vil avlaste og ramma på kjøretøyet. En del av vekta overføres da til den andre akslingen, avhengig av hvor mye luft man velger å slippe ut. Den 3. akslingen vil nå ikke ha annen belastning mot underlaget enn sin egen vekt (vekta av selve akslingen) og dette gjør at dreiepunktet på boggien på lastebilen kommer lenger frem på bilen og dette gir bedre sporingsegenskaper. Avlastning eller boggiløft styres enkelt fra førerhytta.

3.2 Dimensjonerende kjøretøy

Dimensjonerende kjøretøy må ta høyde for vogntog som har dårligere sporingsegenskaper enn hva som er optimalt slik at veinettet ikke blir ekskluderende. De spesialiserte tømmertransportørene har som regel vogntog med optimal konfigurasjon i forhold til sporingsegenskaper, vektfordeling og stabilitet. I veinormalen er dimensjonerende kjøretøy vogntog med 24 meter total lengde og 60 tonn totalvekt. Dette gjelder for veiklasse 2, 3, 4, og 6. Veiklasse 5 er sommerbilvei for lastebil *uten* tilhenger.

Ulike kjøretøy kan ha svært ulike sporingsegenskaper selv om de har samme total lengde. De ulike lastebilprodusentene leverer også biler med forskjellig oppsett og lastebileiere kan også velge utforming på tømmervogntogene etter ulike behov. For at veinormalene skal fungere i praksis er det viktig å ha oversikt over ulike typer vogntog og sporingsegenskapene til disse slik at skogsbilveiene kan utformes på en rasjonell måte. Det er valgt et oppsett på dimensjonerende kjøretøy som gir noe dårligere sporingsegenskaper enn det som er vanlig ut ifra opplysninger fra lastebileiere, PTO teknikk AS og Norges Lastebileierforbund. Dette er gjort bevist for å dekke sporingsegenskapene for hva som er rimelig å forvente av eksisterende tømmervogntog. Dimensjonerende kjøretøy for 19,5 og 24 meter total lengde er vist i Figur 10.

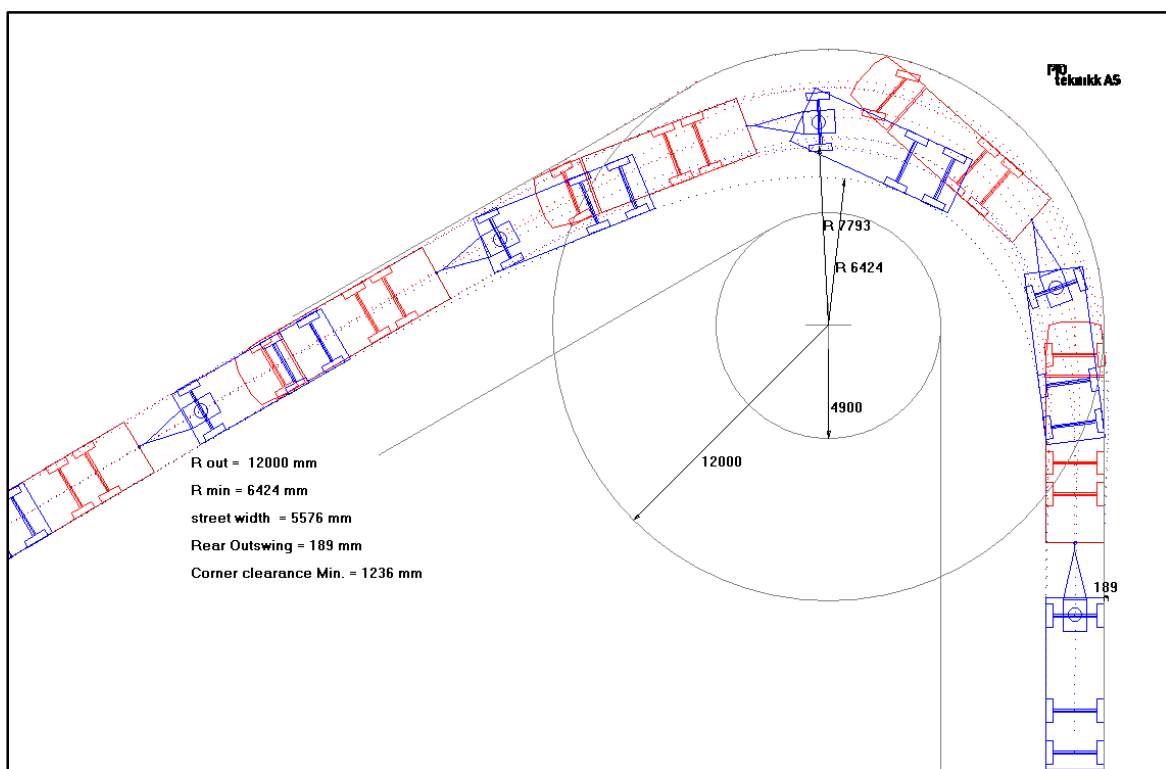
I simuleringer forutsettes det at alle boggier til enhver tid har likt fordelt akseltrykk slik at dreiepunktet for boggien alltid er på midten, det vil si at dimensjonerende kjøretøy alltid kjører med lass.



Figur 10: Illustrasjon fra TrailerWIN. Dimensjonerende kjøretøy med mål, 19,5 og 24 meter vogntog.

3.3 Kurveradius og kurvelengde

I denne mastergradsoppgaven har det vært ønskelig å gjøre sammenligninger av behov for breddeutvidelse for de kurveradier og –lengder som er oppgitt i veinormalen fra 2013, det vil si kurvelengder på 5, 45, 90, 135 og 180 grader. I CornerWIN kan man simulere 90, 120, 180 og 360 grader og kurvelengden kan dessverre ikke forandres utover dette. Sporing for 45 og 135 grader kurvelengde er derfor skjønnsmessig antatt ut ifra illustrasjonene i CornerWIN, andre kurvelengder og kurvelengder fra veinormalen. Utslagene for krav til breddeutvidelse er relativt små for 5 og 135 (i forhold til 120) graders kurvelengde. Kurveradien derimot kan velges fritt i CornerWIN. Figur 11 viser et 19,5 meters vogntog i en 120 graders kurve.

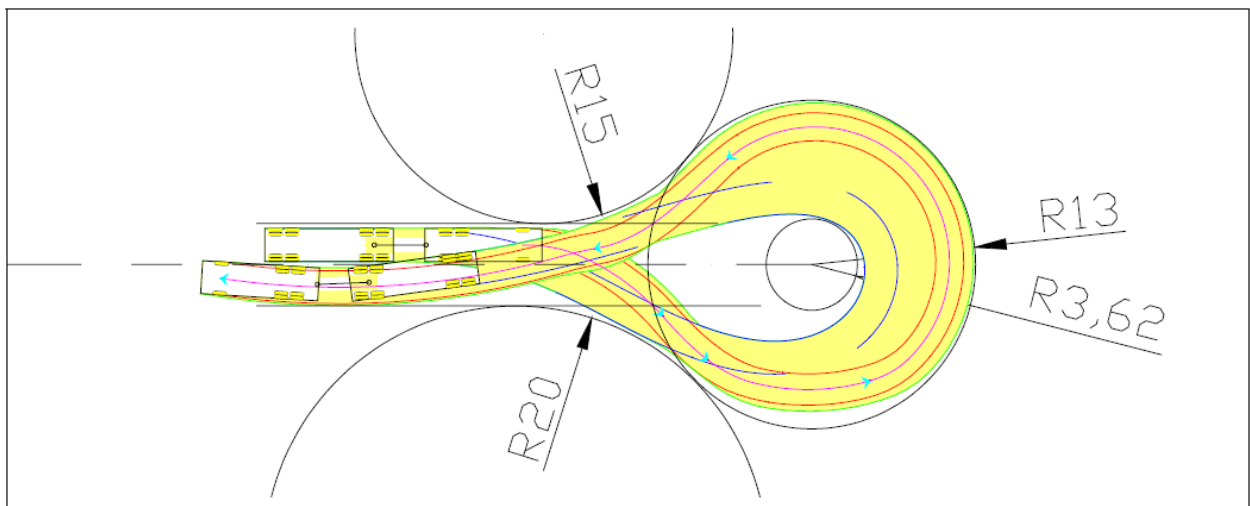


Figur 11: Simulert sporing av et 19,5 meters vogntog i en kurve med 120 graders kurvelengde og 12 meter ytre radius. Veibredden er 7,1 meter.

I Skotte (1992) er ytre radius i sporingforsøkene lik kurveradius + halve vogntogbredden. Dette er mest sannsynlig gjort fordi det er framhjulene til vogntoget som definerer den ytre radien til kurven. Eksempelvis er ytre radius for 15 meter senterlinje satt til 16,25 meter. I CornerWIN har er det brukt kurveradius + halve veibredden på grunn av at CornerWIN definerer den ytre radien med det ytterste hjørnet på lastebilen. Den ytre radien for 15 meter senterlinje er da lik 17 meter. Dette innebærer at veiskuldra er definert som kjørebane i inn- og utgang av svingen (vogntoget ligger helt på ytterkanten av veikanten før og etter kurven), men når vogntoget er midt i svingen vil overhenget på lastebilen “sveve” over veiskuldra og framhjulet vil følge kjørebanen noenlunde riktig midt i svingen.

3.4 Snuplass rundkjøring

Det er valgt å simulere rundkjøringer med 360 graders kurvelengde i CornerWIN da det ikke er mulig å simulere den type rundkjøring som er vanlig å bruke for skogsbilveier som vist i Figur 12. En kurve på 360 grader er likevel et godt alternativ. Ei rundkjøring i skogsbilvegssammenheng har samme inngang og utgang, det vil si at du kjører inn samme vei som du kjører ut av rundkjøringa. Dette gir en kurvelengde på ca 300 grader selv om vogntoget bare har snudd 180 grader. Dette er fordi når vogntoget starter å kjøre i en "venstrerundkjøring" så svinger vogntoget først mot høyre for å legge seg så nære høyrekanten i rundkjøringa som mulig. Deretter vil vogntoget følge langs kanten til rundkjøringa i en så stor venstresving som mulig. I utgangen vil vogntoget svinge litt forbi utgangen av rundkjøringa før man svinger mot høyre og tilbake mot utgangen av rundkjøringa for at ikke tilhengeren skal spore ut på skulderen.



Figur 12: Illustrasjon av vogntog i rundkjøring. (Børnes 2006)

3.5 Spøringsforsøk

For å se om simuleringene i CornerWIN stemmer med virkeligheten ble det utført et spøringsforsøk med et tømmervogntog på ei grusbane. Spøringsforsøket ble utført etter samme prinsipp som i CornerWIN for at sammenligningen skulle bli så lik som mulig, målene på vogntoget står i Tabell 2 og dette vogntoget ble konstruert i TrailerWIN.

Sjåføren av vogntoget ble bedt om å la hjørnet på lastebilen følge den oppmerkede linja, se Figur 13. Det ble valgt å kjøre forsøk med 10 og 20 meter radius i senterlinje (12 og 22 meter ytre radius) og med 90 og 360 grader kurvelengde, alle kurvene ble kjørt mot venstre, det vil si mot klokka. Forsøket ble utført både med og uten lass.

Det ble også gjort et forsøk for snuplass med 10 meter ytre radius for lastebil uten lass for å se hvordan lastebilen oppførte seg med fullt rattutslag. I CornerWIN er den teoretiske svingradien for en lastebil ca 9,3 meter med 4,7 meter i akselavstand. I veinormalen er den ytre radien i rundkjøring for tomt vogntog lik 11 meter og det var derfor interessant å undersøke om det er behov for dette i praksis i tillegg til krav til breddeutvidelse.



Figur 13: Spøringsforsøk med 22 meters vogntog. Vogntoget kjørte langs den oppmerkede linja som her har en radius på 12 meter. Vogntoget tilhører Erik Larm AS. Foto: Erik Gjerstadberget

Tabell 2: Mål av vogntog benyttet i sporingsforsøket.

Tømmervogntog brukt i sporingsforsøk	
Lastebil: Scania R620 6x4 2013 modell	
Lengde vogntog, støtfanger til støtfanger	22200 mm
Lengde bil, fra støtfanger til påbygg (eks kran)	9600 mm
Framaksel til framlem	1100 mm
Diameter dekk	1040 mm
Overheng framaksel bil	1350 mm
Akselavstand bil 1. til 2.	4500 mm
Boggiavstand bil	1350 mm
Avstand framaksel til dreiepunkt bil	5200 mm
Avstand fra dreiepunkt på bil til hengerfeste	3050 mm
Tilhenger: Kilafors med flyttbar boggi 2010 modell	
Lengde tilhenger, ramme	10100 mm
Lengde drag, fra trekkøye til senter boggi tilhenger	3650 mm
Diameter dekk	850 mm
Akselavstand tilhenger (fra 2. til 3.)	5460 mm
Avstand dreiepunkt tilhenger	7000 mm
Boggiavstand tilhenger foran	1350 mm
Boggiavstand tilhenger bak	1820 mm

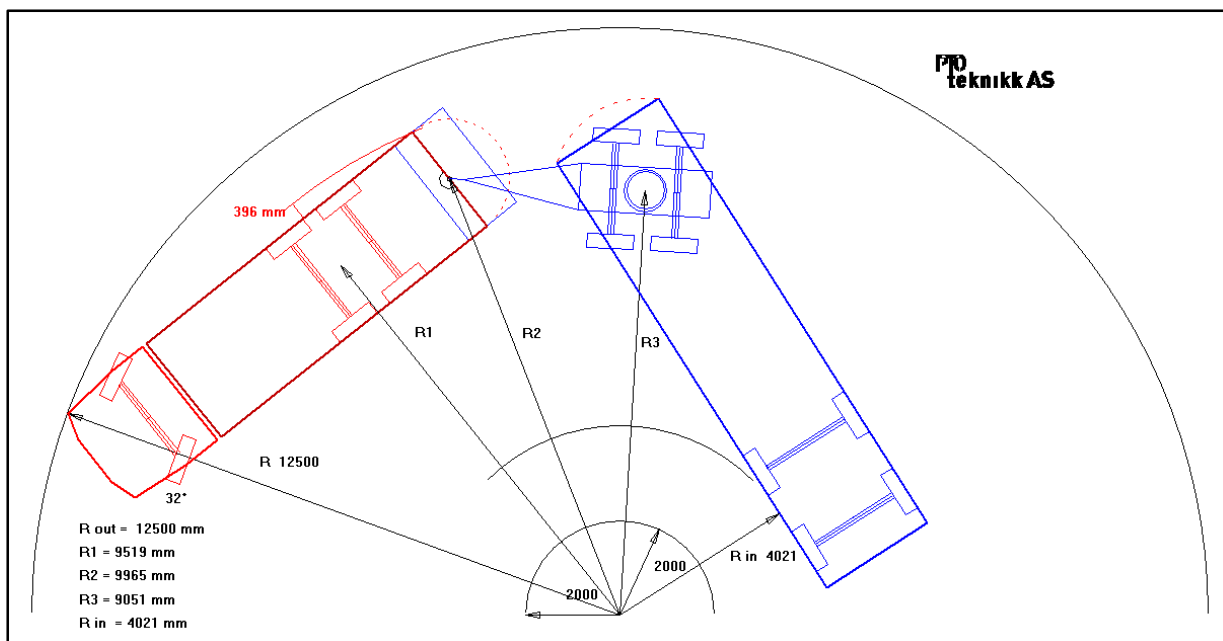
3.6 Følsomhetsanalyse

Det ble utført en følsomhetsanalyse for å studere hvordan vogntog med ulike sporingsegenskaper oppfører seg i forhold til hverandre og hvor mye de forskjellige sporingsegenskapene varierer. Det ble i tillegg til dimensjonerende kjøretøy konstruert 8 forskjellige vogntog med forskjellig konfigurasjon for både 19,5 og 24 meter vogntog i TrailerWIN. De fem faktorene som påvirker sporing (som er nevnt i kapittel 3.1) ble endret +/- 200 millimeter med dimensjonerende kjøretøy som utgangspunkt. Ved endret plassering av hengerfestet ble også draget forlenget eller forkortet for at akselavstander mellom lastebil og tilhenger, og total lengde på vogntoget skulle bli det samme som dimensjonerende kjøretøy. For eksempel hvis hengerfestet ble flyttet 200 millimeter fram på bilen ble draget også forlenget 200 millimeter.

Alle de forskjellige vogntogene ble kjørt i en 360 graders kurve med 10 meter radius i senterlinje og en 90 graders kurve med 20 meter senterlinje.

3.6.1 EU's krav til sporing

Det er verdt å merke seg at sporingskravet til EU blir definert ut ifra vogntogets sporingsegenskaper i en sirkel med 12,5 meter ytre radius (Vegdirektoratet 2013a). Det er valgt å bruke 12 meter ytre radius som "minstekrav" i denne masteroppgaven siden dette er den minste tillatte kurveradien i veinormalen, det vil si 10 meter radius i senterlinje (med kurveradiene som er oppgitt i veinormalen menes alltid radien i senterlinje av veien hvis ikke annet er oppgitt). Med en veibredde på 4 meter i veiklasse 3, 4, og 5 blir den ytre radien dermed 12 meter med senterlinje 10 meter. Vinterbilvei, veiklasse 6, har 4,5 meter som minste tillatte veibredde og 20 meter som minste tillatte radius. Kravet til EU er at vogntog 24 meters tømmervogntog skal klare å kjøre i en sirkel med 12,5 meter ytre radius og en indre radius på 2 meter. Dimensjonerende kjøretøy for 24 meter sporingskravet til EU med en margin på over 1 meter med 12 meter ytre radius i stedet for 12,5 meter som vist i Figur 14.



Figur 14: Illustrasjon fra CornerWIN. 24 meters tømmervogntog er godt innenfor kravet til sponingskravet til EU på 2000 millimeter. Fotavtrykket har en indre radius på 4021 millimeter.

3.7 Maskintransport

Maskintransport av skogsmaskiner og andre store maskiner foregår nesten utelukkende på semitrailere. Tillatt total lengde for semitrailer er 17,5 meter. Selv om det er mulig å transportere skogsmaskiner på 17,5 meters semitrailer er det likevel en del maskinvogntog som kjører på dispensasjon på grunn av at de ofte blir tyngre, bredere, lengre, høyere eller har dårligere sponingsegenskaper enn hva som er i henhold med gjeldene regelverk og hva som er tillatt på den aktuelle veistrekningen. De største utfordringene med transport av skogsmaskiner er fortrinnsvis høyde, på grunn av broer og tunneller, og bredde. Tilhengere for transport av skogsmaskiner og andre høye maskiner foregår derfor ofte med brønnhenger som vist i Figur 15. Dette er en type tilhenger som er svært lav og akselavstanden er ofte veldig lang for å få en så lang "brønn" som mulig mellom trekkvogna og akslene på tilhengeren. Mange vogntog som brukes til transport av skogsmaskiner

brukes også gjerne til transport av andre typer maskiner slik at variasjonen av ulike vogntog for maskintransport vil være mye større enn for tømmertransport.



Figur 15: Transport av lassbærer med brønnhenger. Vogntoget er 20 meter langt og eies av Torkil Næsbø. (www.nesboskog.no)

3.7.1 Medsporende og tvangsstyrte aksler

Transportbransjen og kjøretøyene blir stadig mer spesialisert og avansert. Dette gjør at det finnes mange forskjellige typer og oppsett av ulike lastebiler og tilhengere med og uten styrende aksler.

Når dreiepunktet på et vogntog har mer enn én fast aksel (det vil si uten styring), vil det oppstå friksjonskrefter mellom akslene når kjøretøyet svinger. Desto flere faste aksler vogntoget har pr dreiepunkt og jo større akselavstanden er, desto større blir belastningene. Tilhenger for tradisjonelle semitrailere har ofte 3 aksler og for å redusere friksjonskreftene og samtidig forbedre sporingsegenskapene til vogntoget har det de siste årene blitt mer vanlig at den bakerste akselen er medsporende, det vil si at den svinger.

Medsporende aksler fungerer nærmest som hjulene på en kontorstol eller handlevogn, de forandrer retning og "følger etter" i den retningen som er naturlig. Maksinvogntog nr 2 i Tabell 3 er av denne typen og har styring på den bakerste akselen. Dreiepunktet vil da komme mellom aksel nr 1 og 2 (for en tilhenger med tre aksler) og dette gir bedre sporingsegenskaper, mindre dekkslitasje og redusert drivstofforbruk, dette er vist i Figur 16 og Figur 17. Medsporende aksler kan ha hydraulisk eller mekanisk hjelpestyring, men mange er også helt passive. Styringen kan også låses, noe som er en stor fordel ved rygging og for stabiliteten ved kjøring i hastigheter over 40 km/t.

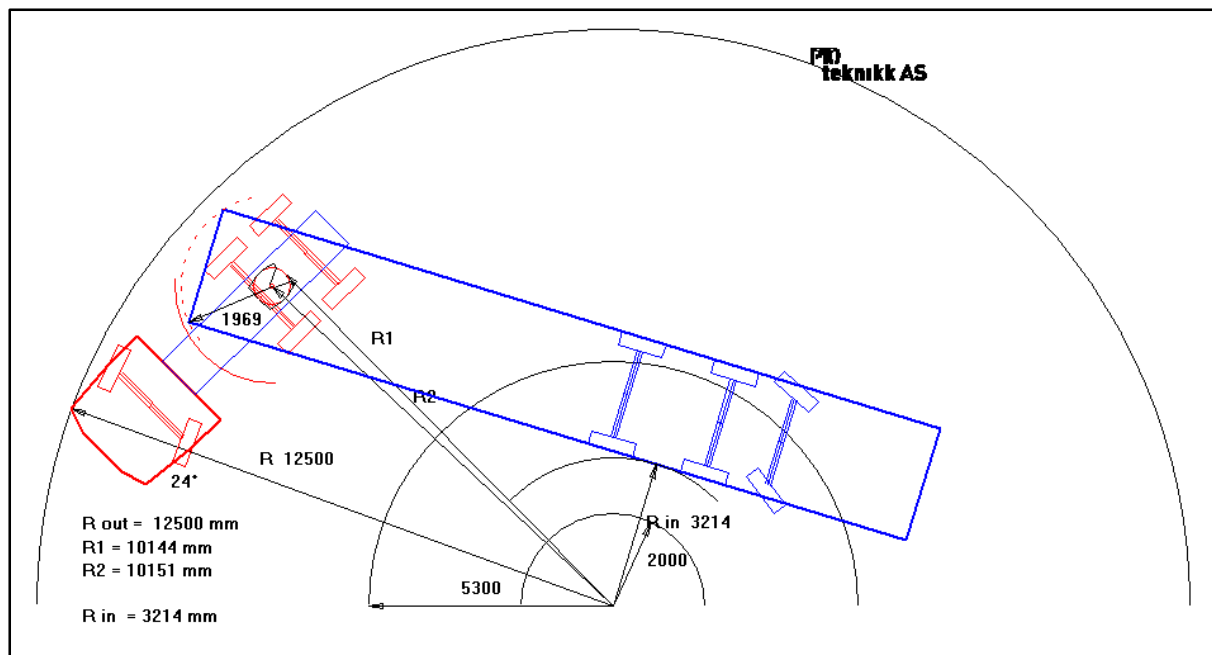


Figur 16: En tilhenger fra Vang hvor den bakerste akselen er medsporende. (www.vangs.no)

Tabell 3: Tre ulike maskinvogntog med mål i millimeter.

Nr	Eier	Lengde vogntog	Overheng bil	Akselavstand bil	Avstand framaksel til dreiepunkt bil	Avstand fra dreiepunkt på bil til kingbolt	Avstand kingbolt til dreiepunkt tilhenger	Akselavstand henger	Ant. aksler tilhenger fast/styrende
1	Ole Bertil Reistad	17500	1455	3100	3778	-352	9390	1350/1350	3/0
2	Erik Nesheim	20000	1455	3400	4078	-388	9105	2110/1390	3/1
3	Torkel Næsbo	20000	1455	3400	4078	-388	12183	1810/1810	0/3

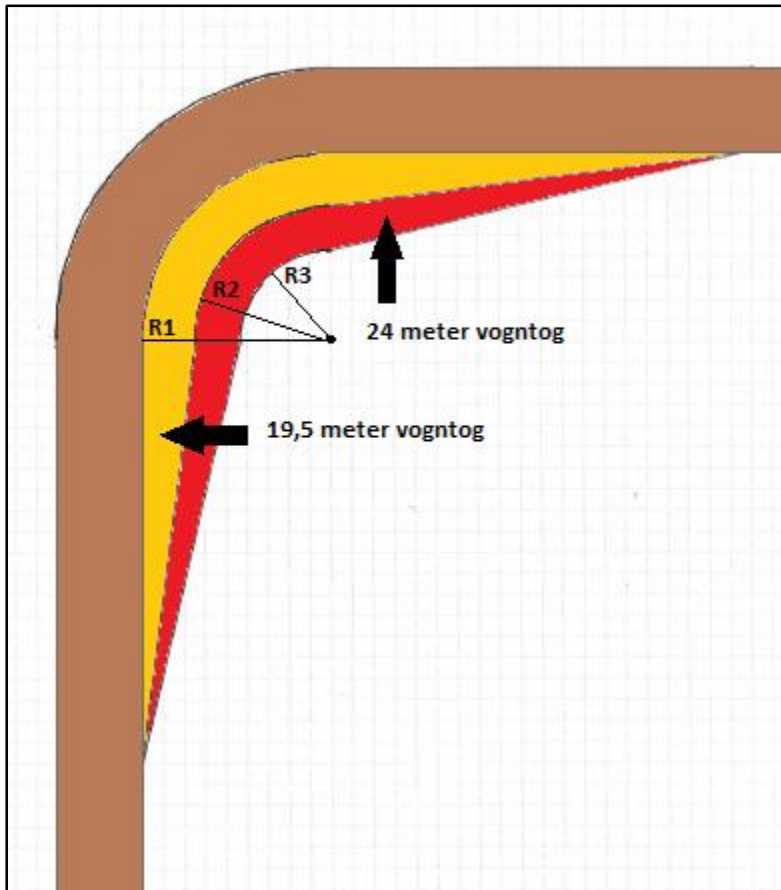
Noen vogntog kan også ha tvangsstyrte aksler. Disse blir enten styrt mekanisk eller hydraulisk når vinkelen mellom trekkvogna og tilhengeren endres. Den hydrauliske typen har også gjerne mulighet for å styres manuelt slik at tilhengeren kan styres uavhengig av lastebilen/trekkvogna og dette gjør vogntoget svært smidig, spesielt ved rygging. Maskinvogntog nr. 3 i Tabell 3 er av denne typen og har styring på alle akslene på tilhengeren. Kjøretøy nr. 1 har kun faste akslinger og oppfører seg på samme måte som en tradisjonell semitrailer.



Figur 17: Illustrasjon fra CornerWIN. Maskinvogntog 2 simulert i CornerWIN. Legg merke til at den bakerste akslingen på tilhengeren ikke påvirker dreiepunktet på tilhengeren.

3.8 Masseberegning for breddeutvidelse for 19,5 og 24 meters vogntog

For å tallfeste besparelsen av reduserte krav til breddeutvidelse i volum ble det utført en enkel beregning av massebehov for kurver for 19,5 og 24 meters vogntog. Differansen av beregningene vil være massebesparelsen av å bygge vei for 19,5 kontra 24 meters vogntog.



Figur 18: En 90 graders kurve med 11 meter radius som viser breddeutvidelse for 19,5 (gult) og 24 (gult+rødt) meter vogntog. Utjevningen av breddeutvidelsen skal være minst 20 meter fra tangentpunktet. Laget av Erik Gjerstadberget.

For å beregne massebehovet på en enkel måte ble det ikke tatt hensyn til at breddeutvidelsen vil “overlappe” ved fyllingsfoten når man får store fyllingshøyder og små kurveradier. Radien for breddeutvidelsen ved fyllingsfoten vil også bli mindre enn radien til skulderen ved økende fyllingshøyde og dette er ikke tatt hensyn til i beregningene. Volumet for breddeutvidelsen ble derfor beregnet med utgangspunkt i arealet av breddeutvidelsen som vist i

Figur 18 og fyllingshøyden som vist i Figur 3. Det ble også forutsatt at terrenget var flatt ved fyllingsfoten slik at geometrien i tverrsnittet av breddeutvidelsen skal være så enkel som mulig. Denne beregningsmetoden vil dermed gi større verdier for begge utvidelsene enn hva som ville vært realiteten på grunn av overlapp, gitt at terrenget er flatt ved fyllingsfoten. Regnearket for beregningene er vedlagt, Tabell 12, Tabell 13, Tabell 14 og Tabell 15 i vedlegg 1.

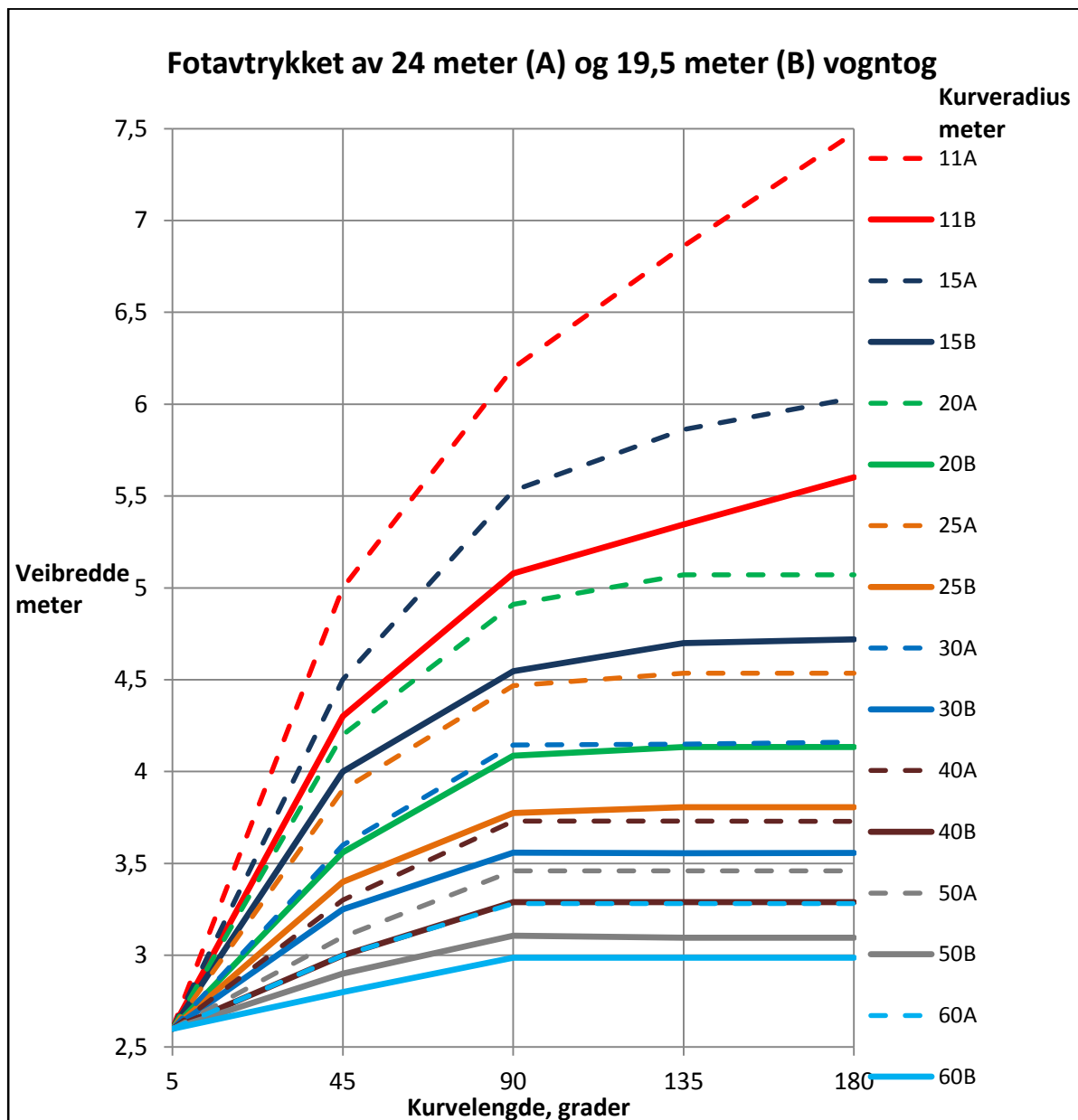
4 Resultat

4.1 Forskjellig fotavtrykk for 19,5 og 24 meters vogntog

I Figur 19 ser man forskjellen på fotavtrykket for 19,5 og 24 meters vogntog. Dette diagrammet er resultatet fra alle simuleringene gjort i CornerWIN med forskjellige kurveradier og lengder.

Diagrammet viser fotavtrykket til vogntogene, det vil si kjøretøybredde + sporbreddeøkning.

Forskjellene mellom fotavtrykket til vogntogene er størst over 45 grader kurvelengde og under 30 meter kurveradius. Økt kurvelengde eller redusert kurveradius viser tydelig en økende forskjell mellom 19,5 og 24 meters vogntog. Kortere vogntog har et mindre fotavtrykk og sporer bedre.



Figur 19: Sammenligning av sporing av 24 og 19,5 meter vogntog vist med henholdsvis stiple og heltrukken linje. Fotavtrykket for 5 og 45 grader er beregnet og ikke simulert.

4.2 Styretillegg i veinormalen

Styretillegget i Tabell 4 varierer uproposjonalt med kurvelengde for 11 meter kurveradius og veibredde. Ved kurveradius på 15 meter eller mer øker styretillegget med økende kurvelengde. 11 meter 20 og 25 meters kurveradius har minst styretillegg ved 45 graders kurvelengde. Styretillegget er størst ved 11 meter kurveradius og kurvelengde 90 og 135 grader. Den største «unaturlige» forskjellen i styretillegget er mellom 11 og 15 meters kurveradius og 90 graders kurvelengde. Forskjellen er 60 centimeter og utslaget kommer av at styretillegget er unaturlig stort for 11 meters kurveradius.

Tabell 4: Styretillegg i veinormalen med dimensjonerende kjøretøy på 24 meter.

Styretillegg i veinormalen					
Kurveradius senterlinje, m	Kurvelengde grader				
	45	90	135	180	
					2,1 meter
					2,0 meter
11	1,5	2,1	2,1	2,0	1,9 meter
15	1,3	1,5	1,7	1,9	1,7 meter
20	1,1	1,3	1,5	1,7	1,6 meter
25	1,1	1,3	1,5	1,6	1,5 meter
30	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4 meter
40	1,2	1,3	1,4	1,4	1,3 meter
50	1,2	1,3	1,3	1,3	1,2 meter
60	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1 meter

4.3 Forslag til styretillegg for 19,5 meters vogntog

Det er foreslått et styretillegg i Tabell 5 for 19,5 meters vogntog med et maksimum på 1,5 meter i de trangeste kurvene og minimum 1 meter fra 50 graders kurveradius og 90 grader kurvelengde.

Tabell 5: Forslag til styretillegg for 19,5 meters vogntog.

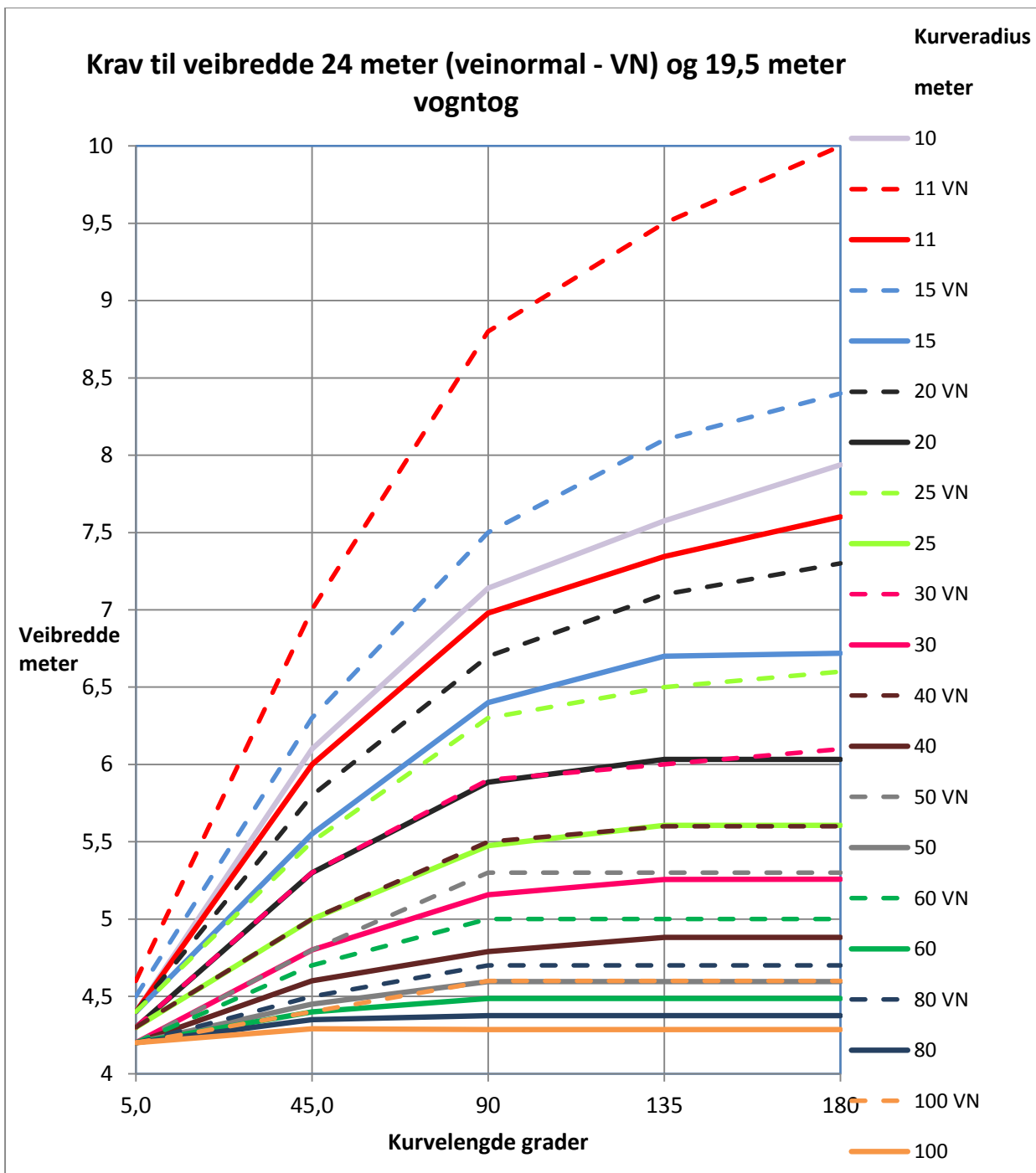
Styretillegg, meter				
Kurveradius senterlinje	Kurvelengde grader			
	90	135	180	
10	1,4	1,5	1,5	
11	1,4	1,5	1,5	
15	1,4	1,5	1,5	
20	1,3	1,4	1,4	
25	1,2	1,3	1,3	
30	1,1	1,2	1,2	1,5 meter
40	1,0	1,1	1,1	1,4 meter
50	1,0	1,0	1,0	1,3 meter
60	1,0	1,0	1,0	1,2 meter
80	1,0	1,0	1,0	1,1 meter
100	1,0	1,0	1,0	1,0 meter

4.4 Forslag til krav til veibredde

Forslaget til krav til breddeutvidelser for 19,5 meters vogntog er basert på fotavtrykket som er simulert i CornerWIN og det er lagt til skulder på 0,5 meter og styretilllegg fra Tabell 5. Tabell 6 viser forslag til veibredde for 19,5 meters vogntog, nåværende krav til veibredde for 24 meters vogntog fra veinormalen og differansen mellom krav til veibredde for de to vogntogene. Ved kurvelengder over 90 grader og kurveradius under 25 meter sparer man en meter eller mer i breddeutvidelse. Besparelsen er hele 2,4 meter ved 180 graders kurvelengde og 11 meter kurveradius. Ved kortere kurvelengder og større kurveradius vil besparelsen avta. Figur 20 viser Tabell 6 grafisk slik man er vant til å se i veinormalen.

Tabell 6: Forslag til krav til veibredde for 19,5 meters vogntog og krav til veibredde for 24 meters vogntog (fra veinormalen), samt differansen mellom disse.

Forslag til veibredde 19,5 meters vogntog						Veibredde i veinormal 24 meters vogntog				
Kurveradius meter	Kurvelengde grader					Kurvelengde grader				
	5	45	90	135	180	5	45	90	135	180
10	4,4	6,1	7,1	7,6	7,9	-	-	-	-	-
11	4,4	6,0	7,0	7,3	7,6	4,6	7,0	8,8	9,5	10,0
15	4,4	5,6	6,4	6,7	6,7	4,5	6,3	7,5	8,1	8,4
20	4,3	5,3	5,9	6,0	6,0	4,4	5,8	6,7	7,1	7,3
25	4,3	5,0	5,5	5,6	5,6	4,4	5,5	6,3	6,5	6,6
30	4,2	4,8	5,2	5,3	5,3	4,3	5,3	5,9	6,0	6,1
40	4,2	4,6	4,8	4,9	4,9	4,3	5,0	5,5	5,6	5,6
50	4,2	4,5	4,6	4,6	4,6	4,2	4,8	5,3	5,3	5,3
60	4,2	4,4	4,5	4,5	4,5	4,2	4,7	5,0	5,0	5,0
80	4,2	4,4	4,4	4,4	4,4	4,2	4,5	4,7	4,7	4,7
100	4,2	4,3	4,3	4,3	4,3	4,2	4,4	4,6	4,6	4,6
Differanse i veibredde										
Kurveradius meter	Kurvelengde grader									
	5	45	90	135	180					
11	0,2	1,0	1,8	2,2	2,4					
15	0,1	0,8	1,1	1,4	1,7					
20	0,1	0,5	0,8	1,1	1,3					
25	0,1	0,5	0,8	0,9	1,0					
30	0,1	0,5	0,7	0,7	0,8					
40	0,1	0,4	0,7	0,7	0,7					
50	0,0	0,4	0,7	0,7	0,7	>2 meter besparelse				
60	0,0	0,3	0,5	0,5	0,5	1-1,9 meter besparelse				
80	0,0	0,2	0,3	0,3	0,3	0,5-0,9 meter besparelse				
100	0,0	0,1	0,3	0,3	0,3	0-0,4 meter besparelse				



Figur 20: Forslag til krav til veibredde for 19,5 meters vogntog og krav til veibredde for 24 meters vogntog fra veinormalen, vist med henholdsvis heltrukken og stiplet linje. Det er i tillegg lagt inn 10 meter kurveradius for 19,5 meters vogntog.

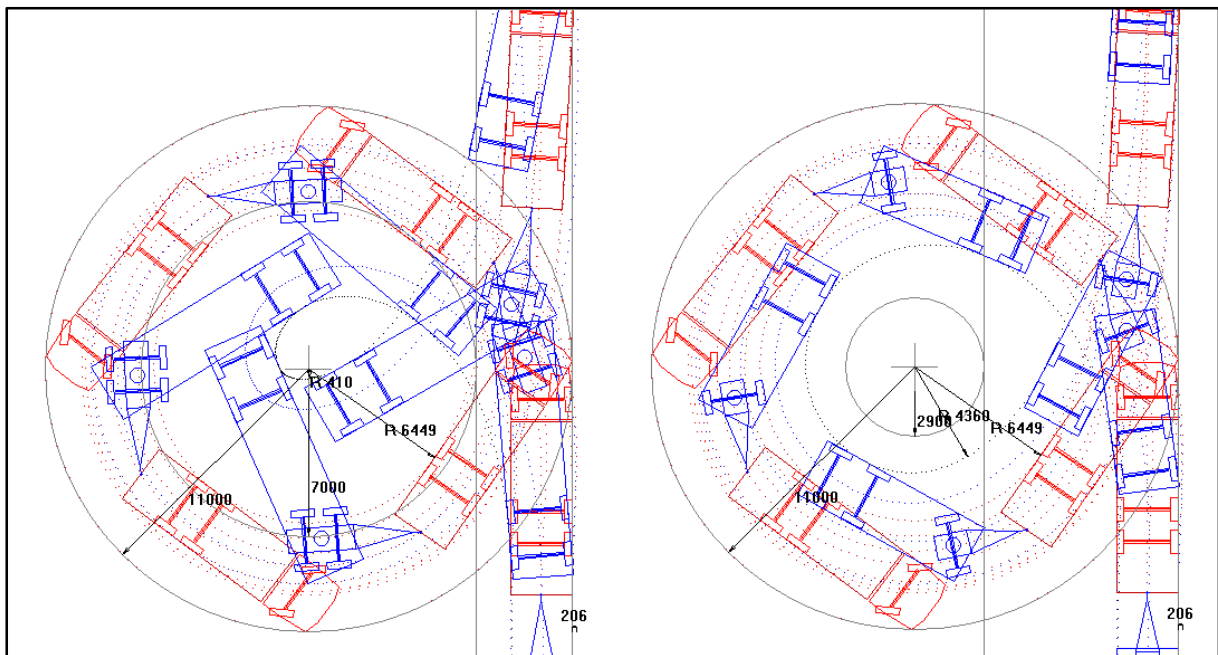
4.5 Snuplass - rundkjøring uten lass

Med en rundkjøring på 11 meter i radius kan man for 19,5 meters vogntog lage en sentraløy da vogntoget ikke krever hele plassen slik som et 24 meters vogntog gjør, se Tabell 7 og Figur 21.

Sentraløya bør ikke være mer enn 2,9 meter i radius. Dette gir en veibredde i rundkjøringa på 8,1 meter. Styretillegget er 1 meter.

Tabell 7: Forslag til utforming av snuplass uten lass for 19,5 meters vogntog.

<u>Forslag for 19,5 meter vogntog</u>	
Ytre radius:	11,0 meter
Sentraløy, radius:	2,9 meter
Veibredde:	8,1 meter
<u>Veinormalen</u>	
Ytre radius:	11,0 meter
Ikke sentraløy	



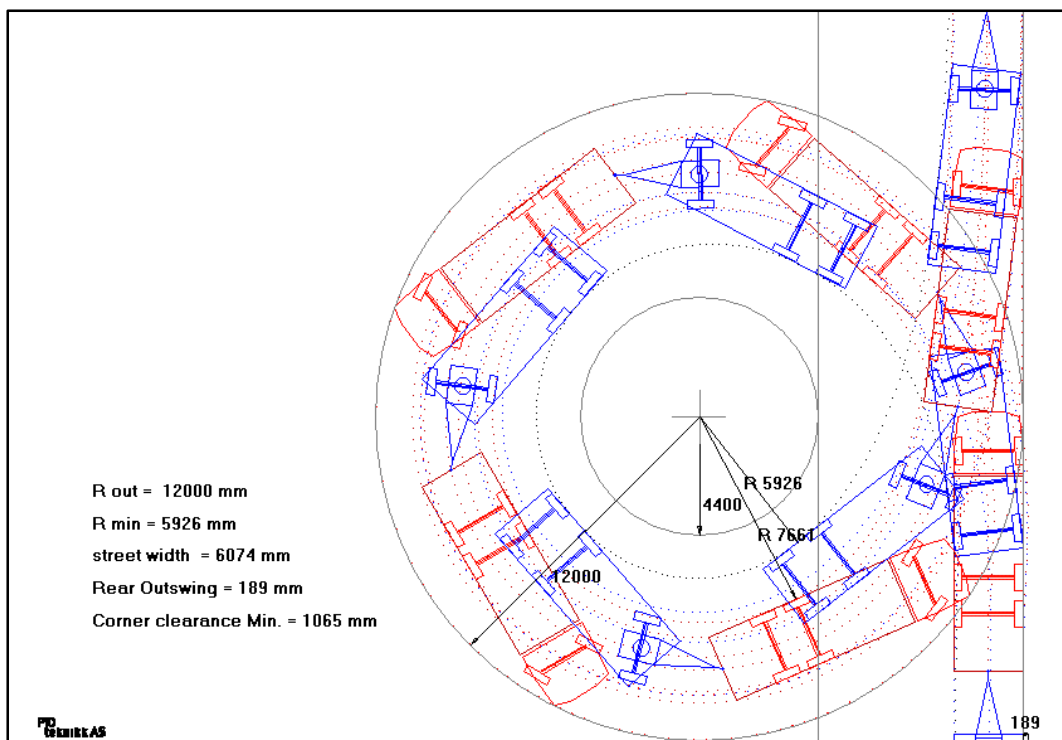
Figur 21: Illustrasjon fra CornerWIN. Et 24 meters vogntog bruker hele rundkjøringa ved 11 meter ytre radius. Et 19,5 meters vogntog sporer vesentlig bedre og man kan spare byggekostnader ved å lage en sentraløy på 2,9 meter i radius. Veibredden blir da 8,1 meter i rundkjøringa.

4.6 Snuplass - rundkjøring med lass

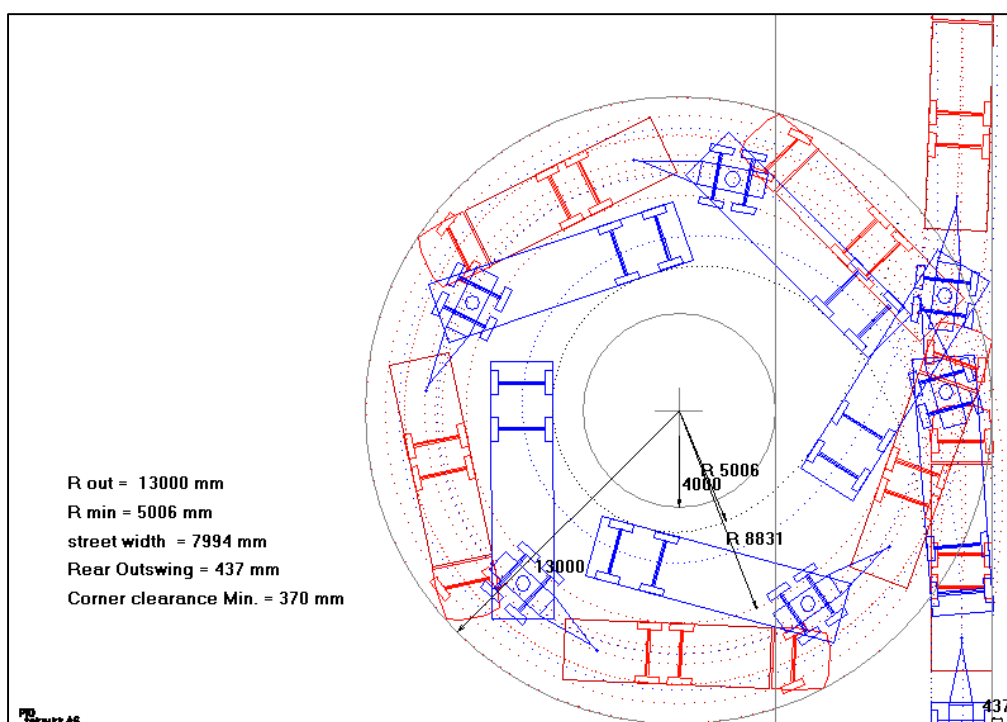
Ved å redusere diameteren fra veinormalens krav om 13 til 12 meter som i Tabell 8, sporer 19,5 meters vogntoget bedre enn hva 24 meters vogntoget gjør etter kravene i veinormalen, se Figur 22 og Figur 23. Veibredden kan i tillegg reduseres fra 9 til 7,6 meter, det vil si 1,4 meter smalere vei og 1 meter reduksjon i ytre diameter. Med disse målene vil alle hjulene være i bevegelse når vogntoget snur og lastebilen vil dra tilhengeren rundt uten at rundkjøringa blir unødig oppskrapet. Styretillegget er 1 meter i rundkjøringa.

Tabell 8: Forslag til utforming av snuplass med lass for 19,5 meters vogntog.

Forslag for 19,5 meter vogntog	
Ytre radius:	12,0 meter
Sentraløy, radius:	4,4 meter
Veibredde:	7,6 meter
Veinormalen	
Ytre radius:	13,0 meter
Sentraløy, radius	4,0 meter
Veibredde:	9,0 meter



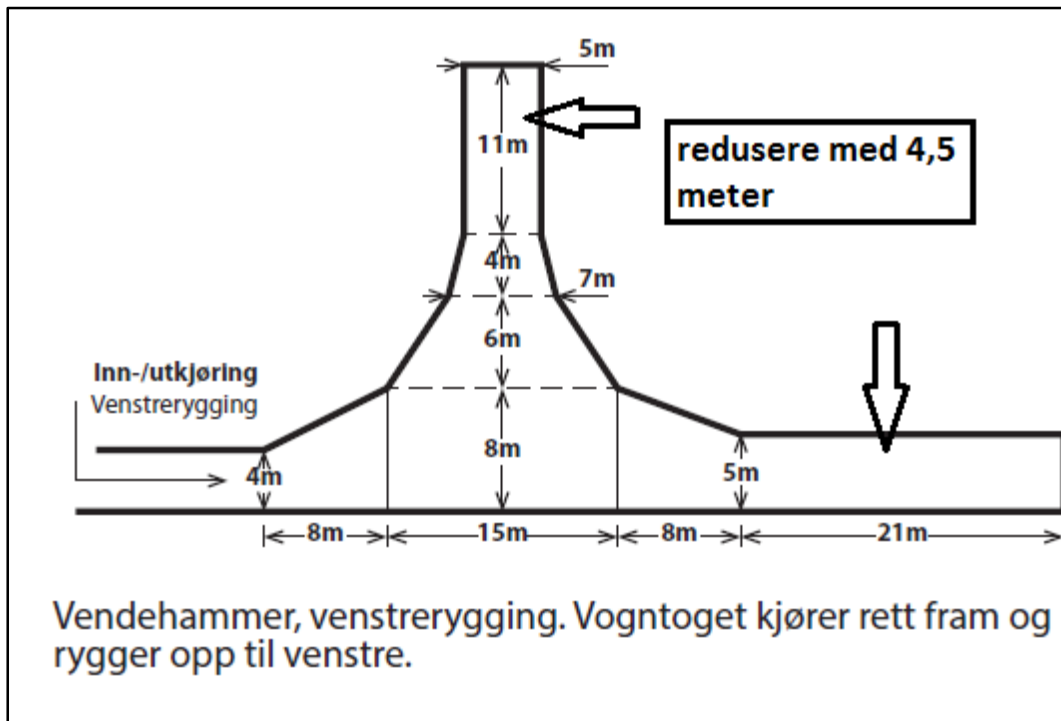
Figur 22: Illustrasjon fra CornerWIN. For 19,5 meters vogntog er springa 1 meter bedre med 12 meter ytre radius sammenlignet med et 24 meters vogntog og 13 meter ytre radius. Veibredden er også redusert fra 9 til 7,6 meter som tilsvarer en øy på 4,4 meter i radius.



Figur 23: Illustrasjon fra CornerWIN. For 24 meters vogntog er det krav om 13 meter ytre radius og en veibredde på 9 meter for rundkjøring med lass, som tilsvarer en sentraløy med 8 meter i diameter. Et 24 meters vogntog sporer her med ca 5 meter (innersving).

4.7 Vendehammer

Det foreslås at vendehammer reduseres i lengde tilsvarende differansen i lengden på 24 og 19,4 meters vogntog, det vil si $24 - 19,5 = 4,5$ meter. Dette er vist i Figur 24.



Figur 24: Redigert bilde fra veinormalen med forslag til redusering av lengde. (Landbruks- og matdepartementet 2013)

4.8 Sporingforsøk

Det er liten forskjell mellom sporingforsøket og simuleringene fra CornerWIN. Sammenligner man tallene i Tabell 9 fra vogntog med lass under "felt" med vogntog med lass under "CornerWIN", merket med grått, ser man simuleringene stemmer godt overens med tallene fra sporingforsøket.

Lastebilen har en teoretisk minste svingradius på 9,247 meter ytre radius. I rundkjøring med 10 meter ytre radius klarte ikke bilen å kjøre innenfor den oppmerkede linjen. Beregnet ytre radius med maks sving er 10,2-10,4 meter, det vil si at lastebilen trenger ca én meter større radius i felt enn i teorien.

Tabell 9: Resultater fra sporingforsøk og sammenligning av sporingforsøket med simuleringer i CornerWIN.

Ytre kurveradius millimeter	Kurve lengde grader	Indre radius millimeter						
		Felt				CornerWIN		
		Vogntog uten lass	Vogntog med lass	Vogntog med avlastning og boggiløft	Lastebil uten lass	Vogntog med boggiløft	Vogntog med lass	
10000	360	!	-	-	-	-	-	9247
10200-10400	360	-	-	-	5450-5700	-	-	-
12200	360	4270	4300	5250	-	5989	4280	
12200	90	6000	6200	-	-	-	6136	
22200	360	17400	17500	-	-	-	17435	
22200	90	17640	17500	-	-	-	17522	
		!= Klarte ikke kjøre innenfor oppmerket radius Rødt felt sammenligner sporingforsøk og simuleringer i CornerWIN Blått felt er sammenligning av boggiløft og avlastning						

Det er små forskjeller for vogntog med og uten lass, forskjellene varierer maks 200 millimeter.

Tallene viser at vogntoget alltid sporer bedre med lass i dette forsøket.

Det var større forskjell mellom vogntog med avlastning på lastebilen og boggiløft på tilhengeren enn med boggiløft på hele vogntoget i CornerWIN merket blått, vogntoget i felt hadde 739 millimeter større radius. Dette forsøket viser dermed at avlastning gir 739 millimeter dårligere sporing enn boggiløft på lastebilen.

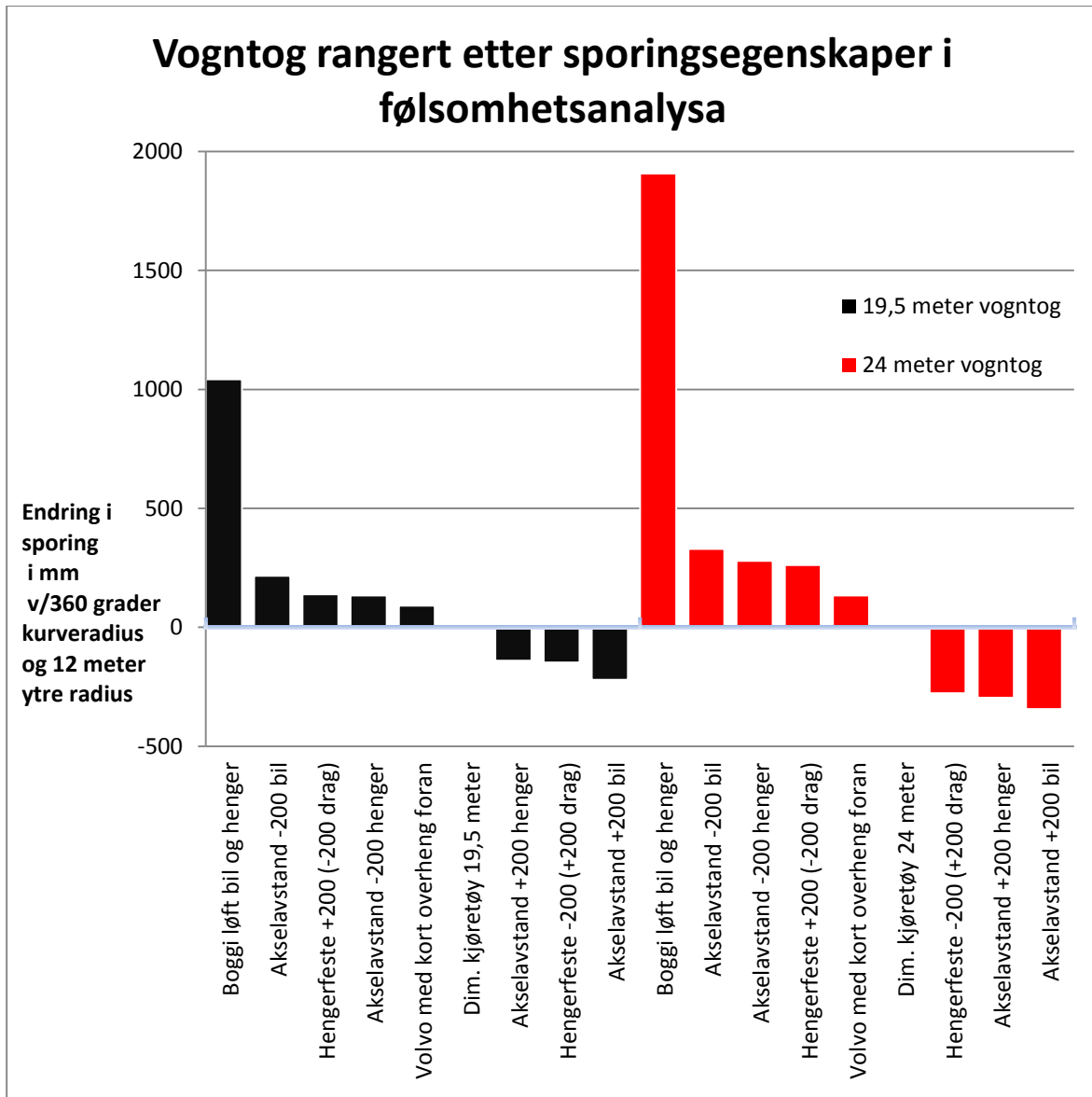
4.9 Følsomhetsanalyse

Vogntogene som sporer best i følsomhetsanalysa er dimensjonerende kjøretøy, men med boggiløft på lastebil og tilhenger, se Figur 26 og Tabell 10. For 19,5 meters vogntog utgjør boggiløft over 1 meter eller 17 % bedre sporing (smalere fotavtrykk) for 360 graders kurvelengde og 10 meter radius i senterlinje. For 24 meters vogntog blir sporingen hele 1,9 meter eller 21 % bedre med boggiløft. Figur 25 viser et vogntog med langhenger med boggiløft.

En lastebil med 20 centimeter kortere akselavstand enn dimensjonerende kjøretøy på 19,5 meter sporer 21 centimeter bedre i en 360 graders kurve med 10 meter radius i senterlinje. Dette tilsvarer en reduksjon i fotavtrykket til vogntoget på 3,5 % i forhold til dimensjonerende kjøretøy. Er akselavstanden på bilen 20 centimeter lenger vil den spore 22 centimeter dårligere, 3,6 % dårligere enn dimensjonerende kjøretøy. Ut ifra følsomhetsanalysa ser man at akselavstanden på lastebilen er den viktigste faktoren som påvirker sporinga (bortsett fra boggiløft). Ved å flytte hengerfestet 20 centimeter bak på bilen får man en forbedret sporing på nesten 14 centimeter eller 2,3 %. Flytter man hengerfestet fram på bilen utgjør dette 15 centimeter dårligere sporing eller en reduksjon på 2,4 %.



Figur 25: Et 22 meters tømmervogntog med boggiløft på tilhengeren. Vogntoget får betydelig bedre sporingsegenskaper samtidig som boggien bak på tilhengeren ikke skraper opp rundkjøringa. (www.berglitruckstop.no)



Figur 26: De ulike vogntogene fra følsomhetsanalanysa rangert etter sporingsegenskaper. 19,5 meter vogntog i svart og 24 meters vogntog i rødt.

Tabell 10: Regneark for følsomhetsanalyse som beskriver endring i sporing ved å endre faktorer som påvirker sporing med +/- 200

Nr	Kjøretøy	Lengde vogntog	Overhengen bil	Akselavstand bil	Avstand framakse til dreiepunkt	Avstand fra dreiepunkt på bil til hengerfest	Lengde drag (senter boggi)	Akselavstand and henger	Avstand dreiepunkt henger	R1 360 grader 12 meter/yr	Endring i sporing mm	Utslag i %	R1 90 grader 22 meter/yr	Endring i sporing mm	Utslag i %
1	Dimensjonerende kjøretøy 19,5 meter	19500	1455	4700	5378	2809	3159	4140	5050	5926	0	100,00	17914	0	100,00
2	Boggi løft bil og henger	19500	1455	4700	4700	3486	3159	4140	4140	6968	1042	117,58	18316	402	102,24
3	Akselavstand +200 bil	19500	1455	4900	5578	2609	3159	4140	5050	5705	-221	96,27	17835	-79	99,56
4	Akselavstand -200 bil	19500	1455	4500	5178	3009	3159	4140	5050	6142	216	103,64	17992	78	100,44
5	Hengerfeste +200 (-200 drag)	19500	1455	4700	5378	3009	2959	4140	5050	6065	139	102,35	17963	49	100,27
6	Hengerfeste -200 (+200 drag)	19500	1455	4700	5378	2609	3359	4140	5050	5779	-147	97,52	17864	-50	99,72
7	Akselavstand +200 henger	19500	1455	4700	5378	2809	3159	4340	5250	5786	-140	97,64	17865	-49	99,73
8	Akselavstand -200 henger	19500	1455	4700	5378	2809	3159	3940	4850	6059	133	102,24	17961	47	100,26
9	Volvo med kort overheng foran	19410	1365	4700	5378	2809	3159	4140	5050	6017	91	101,54	17947	33	100,18
1	Dimensjonerende kjøretøy 24 meter	23011	1455	4700	5378	2809	4170	5700	7340	3017	0	100,00	17089	0	100,00
2	Boggi løft bil og henger	23011	1455	4700	4700	3486	4170	5700	6380	4924	1907	163,21	17592	503	102,94
3	Akselavstand +200 bil	23011	1455	4900	5578	2609	4170	5700	7340	2673	-344	88,60	17012	-77	99,55
4	Akselavstand -200 bil	23011	1455	4500	5178	3009	4170	5700	7340	3346	329	110,90	17166	77	100,45
5	Hengerfeste +200 (-200 drag)	23011	1455	4700	5378	3009	3970	5700	7340	3278	261	108,65	17148	59	100,35
6	Hengerfeste -200 (+200 drag)	23011	1455	4700	5378	2608	4370	5700	7340	2740	-277	90,82	17030	-59	99,65
7	Akselavstand +200 henger	23011	1455	4700	5378	2809	4170	5900	7540	2721	-296	90,19	17024	-65	99,62
8	Akselavstand -200 henger	23011	1455	4700	5378	2809	4170	5500	7140	3296	279	109,25	17154	65	100,38
9	Volvo med kort overheng foran	22921	1365	4700	5378	2809	4170	5700	7340	3150	133	104,41	17121	32	100,19

Røde tall: forskjellig fra dimensjonerende kjøretøy

4.10 Maskintransport

De tre maskinvogntogene i Tabell 11 har ulike sporingsegenskaper. Maskinvogntog 3 sporer best av de tre forskjellige maskinvogntogene og er smidig nok til å kjøre på vei for 19,5 meters vogntog med kurver ned til 15 meter i radius, men ikke mye over 135 graders kurvelengde. Ser man på de større radiene, over 60 meter, ser man at vogntog 3 sporer bedre enn dimensjonerende vogntog for 19,5 meter.

Vogntog 2 har middels sporingsegenskaper, men er bedre enn vogntog 3 ved 10 meter kurveradius og 360 grader kurvelengde. Vogntog 1 har de dårligste sporingsegenskapene.

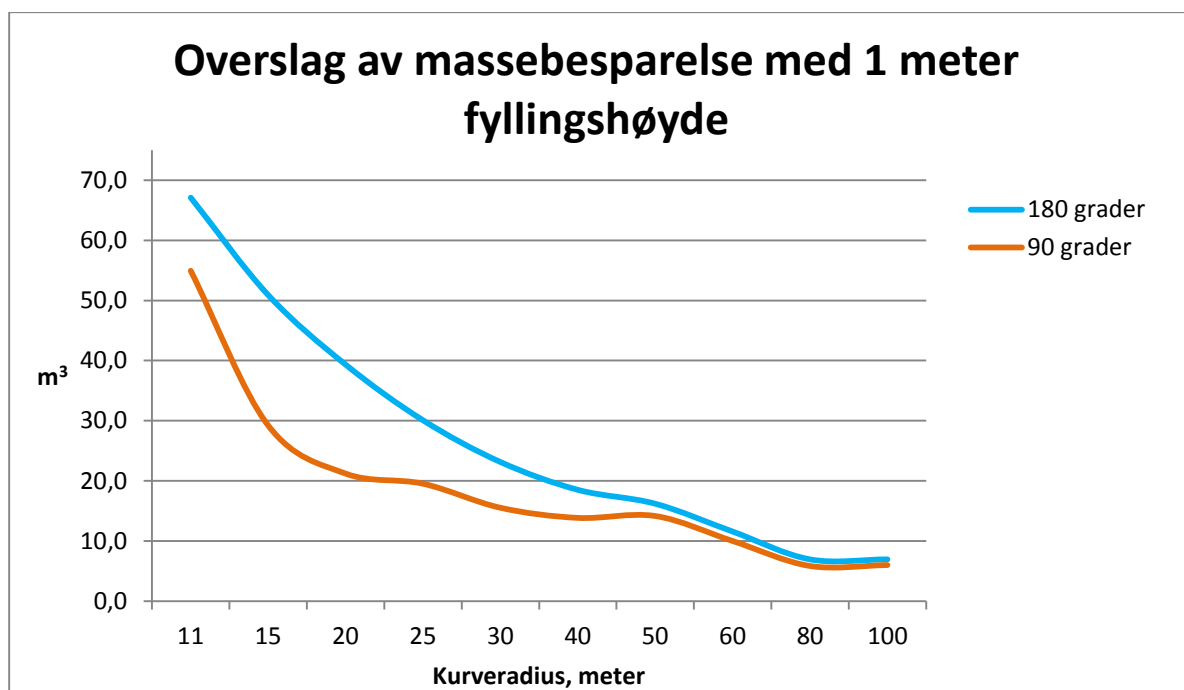
Tabell 11: De grønne feltene viser hvilke kurvelengder og -radier de forskjellige maskinvogntogene holder seg innenfor kjørebanelen. I de orange feltene må maskinvogntogene kjøre på skuldra for å klare å kjøre gjennom svingen og de røde feltene viser når maskinvogntogene er utenfor skuldra.

Styretilllegg for maskinvogntog, millimeter												
Senterlinje meter	Maskinvogntog 1				Maskinvogntog 2				Maskinvogntog 3			
	Kurvelengde grader				Kurvelengde grader				Kurvelengde grader			
	90	135	180	360	90	135	180	360	90	135	180	360
10	106	-255	-929	-2261	160	-170	-810	-2029	479	136	-712	-4099
12	170	-108	-537	-1021	223	-51	-434	-871	552	299	-118	-742
15	222	25	-103	-370	272	121	-19	-180	604	495	379	230
20	320	?	246	196	375	?	308	261	688	?	675	635
25	370	?	407	377	410	?	454	423	695	?	786	757
30	391	?	462	459	424	?	505	502	677	?	768	765
40	454	?	533	533	500	?	591	591	701	?	793	793
50	568	?	556	556	589	?	577	577	753	?	741	741
60	635	?	635	635	650	?	650	650	1436	?	1436	1436
? = Feil i simulering	Grønt: Vogntoget holder seg innenfor kjørebanelen				Orange: Vogntoget kjører på skulder 0- (-)500 mm				Rødt: Vogntoget kjører utenfor skulder <-500 mm			

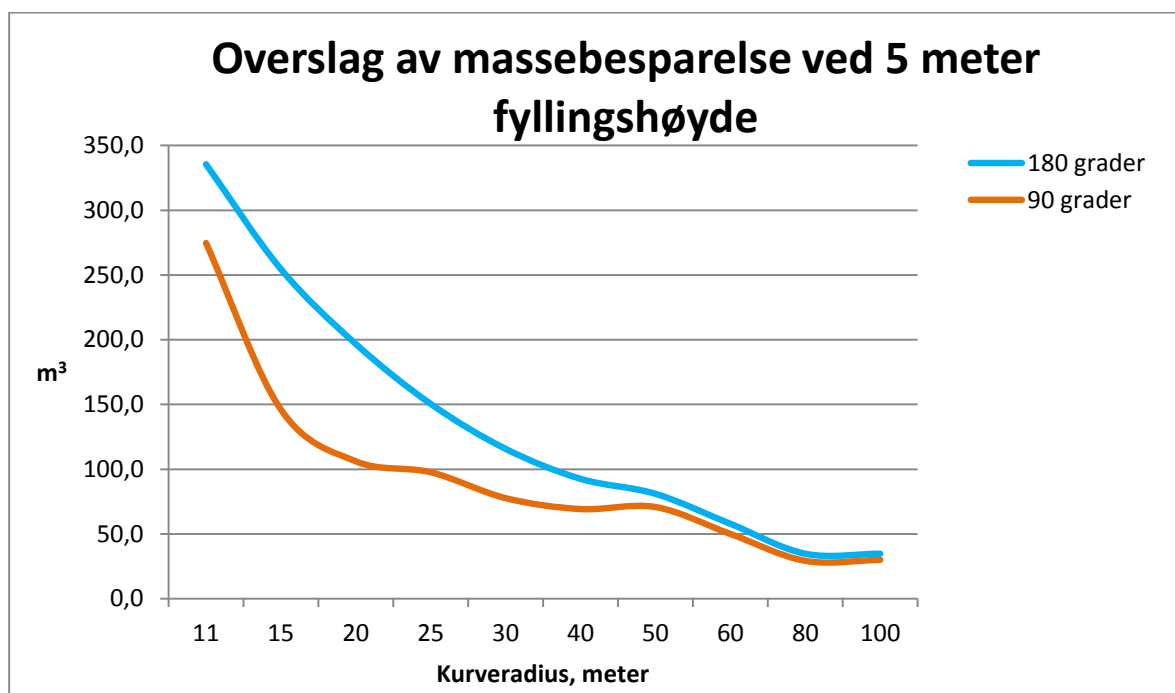
4.11 Masseberegning av breddeutvidelse for 19,5 og 24 meters vogntog

Resultatene fra masseberegningene i Figur 27 viser en massebesparelsen opp mot 67 m³ masse per kurve ved kurvelengder på 180 grader og 11 meter kurveradius med 1 meter fyllingshøyde på veien. Besparelsen for 180 graders kurvelengde avtar tilnærmet lineært til ca 35 meter i radius før den flater ut. Besparelsen for 90 graders kurvelengde er relativt stor fra 11 til 20 meter i radius før den flater ut.

Besparelsen blir en god del større med økende fyllingshøyde og ved 5 meter fyllingshøyde sparer man opptil 335 m³ masse per kurve med 180 graders kurvelengde og 11 meter kurveradius som vist i Figur 28. Ved 90 grader kurvelengde sparer man opptil 274 m³ masse per kurve. Besparelse med 5 meter fyllingshøyde utvikler seg på med samme form som for 1 meter fyllingshøyde. Man trenger kun 10-11 % av massene i en kurve med 100 meter i kurveradius i forhold til 11 meter kurveradius for både 90 og 180 graders kurvelengde med 1 eller 5 meter fyllingshøyde.



Figur 27: Den blå kurven viser hvor mye masser man sparer i 180-graders kurver ved å bygge vei for 19,5 meters vogntog i stedet for 24 meters vogntog med 1 meter fyllingshøyde. Den orange kurven viser den samme besparelsen for 90-graders kurver.



Figur 28: Den blå kurven viser hvor mye masser man sparer i 180-graders kurver ved å bygge vei for 19,5 meters vogntog i stedet for 24 meters vogntog med 5 meter fyllingshøyde. Den orange kurven viser den samme besparelsen for 90-graders kurver.

5 Diskusjon

5.1 Forskjellig fotavtrykk for 19,5 og 24 meters vogntog

Forskjellene i fotavtrykket i Figur 19 er simulert med 90, 120 og 180 graders kurvelengde i CornerWIN. Dette viser den direkte forskjellen mellom de to dimensjonerende kjøretøyene for 19,5 og 24 meters lengde. Forskjellene mellom 120 og 135 grader (som benyttes i veinormalen) er så små at simuleringen for 120 grader er antatt å være dekkende for 135 graders kurvelengde. Fotavtrykket kan ikke simuleres for 5 og 45 graders kurvelengde i CornerWIN og hvordan dette ble løst er omtalt i kapittel 5.12.

5.2 Styretillegg i veinormalen

Styretillegget i veinormalen stemmer i dag ikke overens med Andersen (1994) i kurver på grunn av at vogntogene har utviklet seg og fått bedre sporingsegenskaper. Lastebilene som ble benyttet før hadde større akselavstand både på lastebilen og tilhengeren som nødvendigvis gir dårligere sporingsegenskaper (Skotte 1992). Styretillegget har derfor økt som følge av bedre sporing da veibredden i veinormalen er uendret og tilpasset eldre vogntog. Dette ville i utgangspunktet vært en grunn til å argumentere for en reduksjon i veibredden for 24 meters vogntog i dagens veinormal, men det økende styretillegget har i denne oppgaven blitt betraktet som en nødvendighet. Det økende styretillegget kan vurderes som et økende behov for plass og sikkerhet ved økende kurvelengde og minkende kurveradius. Det kan derfor være rimelig at styretillegget er større enn én meter i de trangeste kurvene og at det øker ettersom kurvelengden øker og kurveradien minker.

5.3 Styretillegg for 19,5 meters vogntog

Styretillegg for 19,5 meters vogntog er beregnet med utgangspunkt i Tabell 1 og det er valgt å øke styretillegget for de trangeste kurvene som vist i

Tabell 5 opptil maks 1,5 meter. Styretillegget er beregnet for 90, 135 og 180 graders kurvelengde. For 5 og 45 graders kurvelengde er veibredden og styretillegget vurdert skjønnsmessig da denne kurvelengden ikke lar seg simulere i CornerWIN. Det er valgt et noe mindre styretillegg for 19,5 meters vogntog enn det som er beregnet for 24 meters vogntog. Begrunnelsen for å gjøre dette er at de krefter som virker på tvers av bilens kjøreretning i bratte kurver er større på et tømmervogntog med langhenger enn på et vogntog med korthenger.

5.4 Reduserte krav til veibredde

Ved å bygge vei for 19,5 meters vogntog i stedet for 24 meters vogntog vil besparelse av veibredde avhenge av veiens kurvatur. Har veien mange krappe svinger vil besparelsen være størst da det er mest å spare i breddeutvidelse i de krappe kurvene jmf Tabell 6 og Figur 20.

5.5 Snuplass - rundkjøring uten lass

Med en radius på 11 meter sporer 19,5 meters vogntog mye bedre enn 24 meters vogntog slik at man har mulighet for å lage en sentraløy. Sentraløy kan være aktuelt for rundkjøringer som kommer i enden av veien (hvor veien ikke fortsetter rett fram gjennom rundkjøringa), eller underveis på veistrekningen hvor rundkjøringa blir liggende på siden av veien. Hvorvidt denne sentraløya er med på å senke byggekostnadene skal ikke vurderes i denne masteroppgaven, men det er rimelig å anta at besparelsen vil være liten. I verste fall kan sentraløya føre til økte byggekostnader da sentraløya gjør snuplassen mer komplisert enn om man skulle planere hele rundkjøringa. Om veien skal brukes til maskintransport blir man nødt til å bygge rundkjøringa uten sentraløy da maskinvogntogene krever større plass. Terrenget og tilgangen på masser ved det enkelte veianlegget er også helt avgjørende for besparelsen av byggekostnadene.

Det anbefales å beholde kravet for ytre radius på 11 meter da sporingforsøket på grus viser at et tomt vogntog ikke klarer å snu innenfor en sirkel på 10 meter uten å rygge (i likhet med Lileng (2011)). Den minste teoretiske svingradien på et tømmervogntog er 9,3 meter i CornerWIN, men sporingforsøkene viser at med full rattutslag vil et tomt vogntog i praksis understyre på grunn av underlaget (som vil være grus eller gras på skogsbilveier) og relativt lite trykk på framakslingen. Tømmerkrana fungerer som et lodd bak på bilen som gjør lastebilen lett i "nesa" når bilen er tom. Dette forsterkes hvis man har "kort" akselsavstand på lastebilen, som i denne sammenhengen vil være under 4700 millimeter. Ulikt underlag og føre vil også sannsynligvis påvirke sporingsegenskapene en del.

5.6 Snuplass - rundkjøring med lass

For rundkjøring med lass står det i veinormalen at den ytre diameteren på rundkjøringa skal være minimum 13 meter. Dette er for å unngå at den bakre boggien på tilhengeren til et 24 meters vogntog blir stående nesten rolig i sentrum ved kjøring, som for rundkjøringer med 11 meter radius som vist i Figur 21. Det er en fordel for både vogntoget og veien at alle hjulene på vogntoget ruller når vogntoget snur i stedet for at den bakre boggien på tilhengeren blir stående nesten rolig og hjulene blir dratt sidelengs. Dette "bryter" unødvendig på bilen, og boggien som står rolig, vil grave

opp veien. Denne gravingen er sjeldent et problem for snuplass uten lass da tømmervogntog vanligvis har boggiløft på tilhengeren.

5.7 Vendehammer

Vendehammerer kan i prinsippet reduseres både i lengde på vendehammeren og i bredden, men dette kan ikke simuleres i TrailerWIN. Det er samtidig ingen grunn til å argumentere for en trangere vendehammer da det forutsettes at det er like vanskelig å rygge en korthenger som en langhenger slik at man har fortsatt god nytte av den samme bredden. Det anbefales derfor at vendehammerens ender reduseres tilsvarende lengdeforskjellen på vogntogene, det vil si $24 - 19,5 = 4,5$ meter.

5.8 Spøringsforsøk

Det ble målt opp sirkler for 10, 12 og 22 meter ytre radius for feltforsøket, men da forsøket ble utført i CornerWIN ble det lagt til 20 centimeter radius som kompenserte for at hjørnet på lastebilen ikke fulgte den oppmerkede sirkelen. På denne måten fikk spøringsforsøket et akseptabelt resultat.

5.8.1 Forskjell på teori og praksis

Spøringsforsøket ble som ventet ikke like nøyaktig som simuleringene i CornerWIN. Oppmerkingen av sirklene kunne vært mer nøyaktig da det ble litt slakk på målebåndet, spesielt under oppmerking av den største sirkelen på 22 meter. Dette gjorde at sirklene ikke ble 100 % sirkelformede.

Sjåføren hadde også litt problemer med å holde lastebilen nøyaktig på streken under kjøring. Når lastebilen kjørte langs de oppmerkede linjene var det utfordrende å bruke hjørnet som ytterste punkt og man kunne se at sporet av det høyre forhjulet lå nesten på streken i stedet for å ligge godt innenfor streken. På lastebilen er det både et speil og et lite kamera som filmer høyresiden av førerhytta som hjelper sjåføren å få oversikt, men forsøket hadde sannsynligvis blitt mer nøyaktig om vogntoget hadde kjørt i en høyresving. Da hadde sjåføren fått streken på sin side av hytta og han ville trolig "siktet" bedre på de oppmerkede sirklene. Om man kunne endret ytterpunktet i CornerWIN fra å være hjørnet på hytta til å være det ytterste hjulet ville sannsynligvis en sammenligning av teori og praksis blitt mer nøyaktig.

5.8.2 Snuplass med 10 meter ytre radius

Grunnen til at lastebilen ikke greide å kjøre innenfor den oppmerkede linja for 10 meters ytre radius er at lastebilen får problemer med veigrepet når lastebilen er tom. Når lastebilen kjører uten lass har den relativt lite trykk på framakslingen som fører til at lastebilen vil understyre i trange svinger hvor

retningsforandringen for kjøretøyet er stor. Den relativt korte akselavstanden forsterker understyringen da krana bak på lastebilen gjør framakseltrykket mindre. Krana virker som en motvekt og jo mindre akselavstand man har på lastebilen jo mindre blir forakseltrykket. Ei kran veier mellom 2 og 3 tonn og noen få centimeter i endret akselavstand vil endre framakseltrykket en god del. Norske tømmervogntog har vanligvis mindre akselavstand på lastebilen enn hva som er vanlig i Sverige, det vil si under 4700 millimeter. Dette er for å få mer smidige vogntog da mange av veiene i Norge krever bedre sporingsegenskaper. Det er ikke gjort forsøk med tomt vogntog.

5.8.3 Bedre sporing med lass

En forklaring på at vogntoget sporet bedre under kjøring med lass kan være at lastebilen har større trykk på framakselen som gir bedre veigrep og dermed gir sjåføren større kontroll over vogntoget og mer nøyaktig styring. Ved kjøring med tomt vogntog kan ujevn hastighet føre til understyring da lastebilen kan "vugge" frem og tilbake hvis sjåføren er ujevn med gasspedalen. Vektfordelingen er helt på grensa for hva som er lovlig for tømmerbiler med kran. Hvis sjåføren brått gir gass vil lastebilen bli lettere i nesa fordi lastebilen vil "steile" litt. Den korte tiden nesa på bilen løfter seg litt, vil den ha dårligere veigrep en ved et jevnt gasspådrag slik at bilen vil gå mer eller mindre rett fram akkurat da sjåføren gir gass. Dette er med på å øke den ytre sving radiusen til lastebilen.

5.9 Følsomhetsanalyse

Det ble valgt å bruke +/- 200 millimeter i følsomhetsanalysa da de ulike avstandene til de fem faktorene fra kapittel 3.1 er relativt forskjellig størrelsesmessig. Ved å endre på konfigurasjonen til vogntoget med for eksempel 10 % i stedet for 200 millimeter vil man også i noen tilfeller få konfigurasjoner av vogntoget som er urealistisk. Ved å forkorte akselavstanden med 10 % som ville dette gitt en akselavstand på 4250 som ikke ville vært aktuelt for en tømmerbil med kran. Ved å endre målene i prosent ville også endringene av de forskjellige faktorene variert og dette var også et argument for å velge ett fast mål som utgangspunkt i følsomhetsanalysa.

Ut ifra følsomhetsanalanysa ser man at akselavstanden på bilen er den viktigste faktoren. Årsaken er at når akselavstanden endres vil dette samtidig påvirker sporingsegenskapene til tilhengeren på grunn av at avstanden fra dreiepunktet på lastebilen til tilhengerfestet også endres. Dette gjør at tilhengeren vil få en større svingradius når akselavstanden på lastebil blir mindre og overhenget bak på lastebilen blir lenger. Selv om man oppnår bedre sporingsegenskaper med kortere akselavstand blir vogntoget samtidig mer ustabil. Et vogntog med kort akselavstand vil også ha større mulighet for

å bli utsatt for sidekrefter fra tilhengeren, spesielt i bratte kurver på dårlig føre. Ved kjøring i bratte kurver vil krefter fra tilhengeren virke sideveis på lastebilen. Kortere akselavstand og lenger overheng vil også føre til at tilhengeren vil "danse" mer bak bilen.

Når hengerfestet er flyttet i følsomhetsanalyse er også draget forlenget eller forkortet for at lengden på vogntoget skal forbli uendret. Dette fører til at man ikke får like stort utslag da flytting av hengerfestet vil flytte hele tilhengeren (uten å kompensere med å forlenge/forkorte draget) og samtidig tilhengerens dreiepunktavstand i forhold til lastebilen.

5.10 Maskintransport

Det var forventet at maskinvogntog 3 hadde de beste sporingsegenskapene siden dette vogntoget har styring på alle tre aksler på tilhengeren, til tross for at dette vogntoget også har lengst akselavstand. Den lange akselavstanden kommer imidlertid "til syne" i de aller krappeste svingene ved 12 meter ytterradius og 360 grader kurvelengde i Tabell 11. Maskinvogntog nr. 3 sporer forøvrig bedre enn dimensjonerende kjøretøy for 19,5 meter vogn ved kurveradius over 60 meter.

Forskjellige vogntog for maskintransport har store variasjoner i oppsett av vogntogene og dette gir svært forskjellige sporingsegenskaper. Akselavstandene kan variere mye de kan ha styring på en, flere eller alle aksler på tilhengeren.

Ved å bygge skogsbilvei for 19,5 meters vogntog kan man risikere å ekskludere maskinvogntog fra å kjøre på veien. Konsekvensen av å bygge en billigere og smalere vei for 19,5 meters vogntog kan være høyere flyttekostnader hvis veien har en kurvatur tilsvarende det som er merket rødt i Tabell 11. Der maskinvogntogene ikke kommer fram blir skogsmaskinene nødt til å kjøre for egen maskin inn i skogen i stedet for å bli transportert på vogntog. Dette kan føre til skade og økt slitasje på skogsbilveien.

5.11 Masseberegning

Formålet med masseberegningen var å gi et veiledende svar på massebesparelsen og en enkel beskrivelse av hvilke størrelser man har med å gjøre for ulike kurveradier, kurvelengder og fyllingshøyder.

Terrenget vil ha stor betydning for massebehovet og massebalansen for bygging av skogsbilvei. Massebalansen kan reguleres ved å legge veien «tungt» eller «lett» i terrenget, det vil si om det skal fjernes eller tilføres masser for å få lagt veien i terrenget. Andel løsmasser og kvaliteten på disse i et veianlegg er svært viktig for massebehov da dette bestemmer hvor mye som må sprenges og hvor

mye masser som eventuelt må produseres eller transporteres. Hvis det er store nok forekomster av stedeagne masser med tilfredsstillende kvalitet vil man som regel få lave byggekostnader da man vil få lite transport og minimalt med sprenging. De dyreste veianleggene har ofte mye sprenging og masser må produseres eller transporteres over store avstander.

I likhet med breddeutvidelse er den største besparelsen av masser i de trange kurvene. Veianlegg med underskudd av masser og mange trange kurver som har stor fyllingshøyde vil være de veianleggene som vil kunne spare mest ved å bygge vei for 19,5 i stedet for 24 meters vogntog.

5.12 Bruk av TrailerWIN og CornerWIN

TrailerWIN og CornerWIN er et stort og avansert verktøy som egner seg svært godt for å beregne breddeutvidelser. Det har dog noen svakheter. I CornerWIN kan man ikke simulere med andre kurvelengder enn det som er lagt inn i programmet. Kurvelengdene man kan bruke er 90, 120, 180 og 360 grader. I veinormalen er det brukt flere kurvelengder. For å få en helt korrekt breddeutvidelse ville det vært nødvendig å ha 5, 45 og 135 graders kurvelengde i CornerWIN for å kunne gjøre en direkte sammenligning med veinormalen. Det anbefales derfor å undersøke dette nærmere enten ved å oppdatere CornerWIN eller ved å bruke et annet program. Problemet ble løst ved å studere sporingsillustrasjoner i CornerWIN og ved å sammenligne med grafene i veinormalen.

Styringstillegget for 5 og 45 grader kurvelengde ble større enn hva som er definert i Andersen 1994, men dette er gjort for å være på den sikre siden da sporinga ikke kunne simuleres nøyaktig for disse kurvelengdene.

En annen svakhet jeg fant i programmet er at ved 120 graders kurvelengde og kurveradius >20 meter retter ikke vogntoget opp i utgangen av svingen på en optimal måte. Vogntoget legger seg flere meter fra den ytre veikanten slik at sporinga blir dårligere enn om vogntoget hadde utnyttet hele veibredde i utgangen av svingen. Jeg løste problemet ved å korrigere tallene skjønnsmessig slik at formen på grafen ble noenlunde lik som for de andre kurvelengdene.

6 Konklusjon

Et vogntog på 19,5 meter har et mindre fotavtrykk enn et vogntog på 24 meter og dette gir mulighet for å redusere krav til veibredde for 19,5 meters vogntog. Ved å regne ut det faktiske styretillegget i veinormalen og definere ett nytt styretillegg for 19,5 meters vogntog ble det beregnet krav til veibredde for 19,5 meters vogntog for alle kurveradier og kurvelengder som står i veinormalen. Besparelsen i veibredde er 2,4 meter ved 11 meters kurveradius og 180 graders kurvelengde. Ved økende kurveradius og minkende kurvelengde avtar besparelsen.

For rundkjøring uten lass må den ytre radien fortsatt være 11 meter da snuplassen begrenses av lastebilen og ikke lengden på vogntoget. Samtidig sporer vogntoget bedre og dette gir mulighet til å lage en sentraløy med 2,9 meter i radius.

Rundkjøring med lass kan reduseres fra 13 til 12 meter i radius samtidig som radien til sentraløya kan økes fra 4 til 4,4 meter. Dette reduserer behovet for areal til rundkjøringa i terrenget og veibredden reduseres med 1,4 meter.

For vendehammerne anbefales det å redusere endene i vendehammeren med 4,5 meter. Dette er lengdeforskjellen mellom 24 og 19,5 meters vogntog.

Sporingsforsøket viser at det er bra samsvar mellom sporing i CornerWIN og virkeligheten. Sporingsforsøket viser også tydelig at lastebilen får problemer med å utnytte minste svingradius da lastebilen understyrer med fullt rattutslag når den er tom. Dette er årsaken til at kravet til utforming av rundkjøring uten lass beholdes, det vil si at rundkjøringen bør være 11 meter i radius selv om den teoretiske svingradien til lastebilen er ca 9,3 meter. Lileng (2011) kom også frem til samme resultat for snuplass med lastebil.

Faktoren som påvirker sporingsegenskapene mest til et vogntog er akselavstanden på lastebilen. Følsomhetsanalysa viser at en lastebil med 20 centimeter kortere akselavstand enn dimensjonerende kjøretøy for 19,5 meter vogntog sporer 21 centimeter bedre, det vil si at fotavtrykket reduseres med 3,5 %. Dette gjelder for 360 graders kurvelengde og 10 meter radius i senterlinje. Økes akselavstanden med 20 centimeter sporer vogntoget 22 centimeter dårligere, dette utgjør 3,6 % økning av fotavtrykket i forhold til dimensjonerende kjøretøy.

Transport av skogsmaskiner inn i skogen er viktig for en effektiv forflytning av maskinene og framkommeligheten for maskinvogntogene vil bli redusert på veier for 19,5 meters vogntog. På veier med kurvelengder over 135 grader og under 15 meter i kurveradius vil de fleste maskinvogntogene få lite plass på veien da de nesten er ute på skuldra av veien. Om en skogsbilvei får kurvatur som er

trangere enn dette blir skogsmaskinene nødt til å kjøre for egen maskin inn i skogen og dette kan skade veien og gi økte transportkostnader for skogeier.

En skogeier på Vestlandet som har skog i tilknytning til offentlig veinett med 19,5 meter tillatt totallengde vil kunne redusere byggekostnadene ved å bygge eller ruste opp en skogsbilvei for 19,5 meters i stedet for å bygge i henhold med veinormalen som er dimensjonert for 24 meters vogntog. Besparelsen vil være stor dersom skogsbilveien har mange kurver med lange kurvelengder og korte kurveradier. Er det et stort behov for masser eller veianlegget har store massekostnader vil besparelsen være betydelig stor ved å bygge en smalere skogsbilvei. Besparelsen vil øke med antall kurver for veianlegget, fyllingshøyden til kurvene og sprengningsbehovet. På rette strekninger vil besparelsen være lik 0 da 19,5 og 24 meters vogntog krever minimum 4 meter veibredde.

På Vestlandet er store deler av det offentlige veinettet kun godkjent for kjøretøy med tillatt totallengde opptil 19,5 meter. Det vil være svært usannsynlig at hele dette veinettet blir oppgradert til 24 meters vogntog i nær framtid. Å bygge skogsbilveier for 24 meters vogntog i disse områdene vil derfor være unødvendig bruk av ressurser. Ved å bygge skogsbilveier for 19,5 meters vogntog kan veiene oppgraderes til 24 meters vogntog ved å breddeutvide veien. Forutsetning for dette er at skogsbilveier for 19,5 meters vogntog bygges med samme krav til stigning som vogntog på 24 meter.

7 Referanseliste

- Andersen, T. (1994a). "Nye normaler for skogsveger med byggeskrivelser." s.6.
- Andersen, T. (1994b). "Vegbredde og stigning i kurver. Grensekurver og krav til bære- og slitelag. Bærelagstykkelser." Notat: s.18.
- Andersen, T. (1994c). "Samspillet mellom vegbredde, horisontak- og vertikalkurvatur for typiske vogntogs-konfigurasjoner for norske skogsbilveger." Notat: s.34.
- Bjerketvedt, G. o. (2003). Driftsteknikk, GAN Forlag AS.
- Børnes, V. o. M., Torunn (2006). Sporingberegning - Grunnlag for revisjon av Håndbok 017, SINTEF, Teknologi og samfunn, Veg- og transportplanlegging.
- Landbruks- og matdepartementet (2013). Normaler for landbruksveier med byggeskrivelse.: s.82.
- Landbruksdepartementet (1997). "Normaler for landbruksveier med byggeskrivelse." s.42.
- Lileng, J. o. S., Dag (2011). Snuplassforsøk i Nøssemark. Notat, Statens landbruksforvaltning og Norges Skogeierforbund: s.2.
- Samferdselsdepartementet (1990). Forskrift om bruk av kjøretøy.
- Samferdselsdepartementet (2013c). Prop. 1 S: 230.
- Skotte, S. (1992). Typeutstyrets krav til linjeføring: 21.
- Statens Vegvesen (2013a). "Vegsliste 2013. Fylkes- og kommunale vegar. Sogn og Fjordane."
- Statens Vegvesen (2013b). "Vegsliste 2013. Fylkes- og kommunale vegar. Møre og Romsdal.
- Statens Vegvesen (2013c). "Vegsliste 2013. Fylkes- og kommunale vegar. Hordaland.
- Statens Vegvesen (2013d). "Vegsliste 2013. Fylkes- og kommunale vegar. Rogaland.
- Stener, S. O. (1989). Biltransport av tømmer. Institutt for skogbrukets driftsteknikk, Norges Landbrukshøgskole. Hovedoppgave: s.51.
- Vegdirektoratet (2013a). FOR 2013-02-01 nr 136: Forskrift om nærmere bestemmelser om tillatte vekter og dimensjoner for offentlig veg.

Walseth, J. (1993). Forslag til endringer av normaler for skogsbilveger klasse III og IV. Institutt for skogfag, seksjon driftsteknikk. Norges Landbrukshøgskole. Hovedoppgave: 44.

7.1 Bilder:

Figur 5: Sett 06.11.2013 <http://pixabay.com/no/yurty-sibir-lastebil-logging-123841/>

Figur 2: Landbruks- og matdepartementet (2013)

Figur 9: Sett 06.11.2013 <http://www.berglitruckstop.no/viewtopic.php?p=786222>

Tema: «VBK Vestfold Bil og Karosseri»

Figur 15: Sett 06.11.2013 <http://www.nesboskog.no>

Figur 16: Sett 06.11.2013 <http://www.vangs.no/>

Figur 25: Sett 06.11.2013

<http://www.berglitruckstop.no/viewtopic.php?t=1787&postdays=0&postorder=desc&start=0>

Tema: «Tømmerbiler»

8 Vedlegg 1

Tabell 12: Masseberegning og besparelse av masser for veier for 19,5 meters vogn med 180-graders lurvelengde og 1 meter fyllingshøyde.

		Besparelse av masser for 19,5 meter vogn tog.															
		* R1	R2	R3	Fra sentrum til indre veikant uten breddeutvidelse, dvs 4 meter fra ytre radius	Fra sentrum til indre veikant for breddeutvidelse 19,5	Fra sentrum til indre veikant for breddeutvidelse 24	Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk				
180 grader kurvelengde																	
Kurveradius, senter	11	15	20	25	30	40	50	60	80	100							
Veibredde 19,5	7,1	6,2	5,6	5,3	5,1	4,8	4,6	4,5	4,4	4,3							
Veibredde 24	10,0	8,4	7,3	6,6	6,1	5,6	5,3	5,0	4,7	4,6							
Kurveradius, ytre	13,0	17,0	22,0	27,0	32,0	42,0	52,0	62,0	82,0	102,0							
Veibredde, rett fram	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0							
R1*	9,0	13,0	18,0	23,0	28,0	38,0	48,0	58,0	78,0	98,0							
R2*	5,9	10,8	16,4	21,7	26,9	37,2	47,4	57,5	77,6	97,7							
R3*	3,0	8,6	14,7	20,4	25,9	36,4	46,7	57,0	77,3	97,4							
Bredde utjevning 19,5	3,1	2,2	1,6	1,3	1,1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3							
Bredde utjevning 24	6,0	4,4	3,3	2,6	2,1	1,6	1,3	1,0	0,7	0,6							
Lengde utjevning	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0							
Høyde vei	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0							
		Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk	Areal m3	Kubikk	Areal m4	Kubikk
Breddeutvidelse 24	138,8	101,8	76,4	60,2	48,6	37,0	30,1	23,1	16,2	13,9							
Breddeutvidelse 19,5	71,7	50,9	37,0	30,1	25,5	18,5	13,9	11,6	9,3	6,9							
Besparelse	67,1	50,9	39,3	30,1	23,1	18,5	16,2	11,6	6,9	6,9							

Tabell 13: Masseberegning og besparelse av masser for veier for 19,5 meters vogn med 90-graders lurvelengde og 1 meter fyllingshøyde

Besparelse av masser for 19,5 meter vogntog.		* R1		* R2		* R3		Fra sentrum til indre veikant uten breddeutvidelse, dvs 4 meter fra ytre radius		Fra sentrum til indre veikant for breddeutvidelse 19,5		Fra sentrum til indre veikant for breddeutvidelse 24				
90 grader kurvelengde																
Kurveradius, senter	11	15	20	25	30	40	50	60	80	100						
Veibredde 19,5	6,1	6,0	5,6	5,3	5,1	4,8	4,6	4,5	4,4	4,3						
Veibredde 24	8,8	7,5	6,7	6,3	5,9	5,5	5,3	5,0	4,7	4,6						
Kurvelende	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90						
Kurveradius, ytre	13,0	17,0	22,0	27,0	32,0	42,0	52,0	62,0	82,0	102,0						
Veibredde, rett fram	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0						
R1*	9,0	13,0	18,0	23,0	28,0	38,0	48,0	58,0	78,0	98,0						
R2*	6,9	11,0	16,4	21,7	26,9	37,2	47,4	57,5	77,6	97,7						
R3*	4,2	9,5	15,3	20,7	26,1	36,5	46,7	57,0	77,3	97,4						
Bredde utjevning 19,5	2,1	2,0	1,6	1,3	1,1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3						
Bredde utjevning 24	4,8	3,5	2,7	2,3	1,9	1,5	1,3	1,0	0,7	0,6						
Lengde utjevning	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0						
Høyde vei	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0						
	Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk	Areal m3	Kubikk	Areal m4	Kubikk
Breddeutvidelse 24	103,5	103,5	75,5	58,2	49,6	49,6	41,0	32,4	32,4	28,0	28,0	21,6	15,1	15,1	12,9	12,9
Breddeutvidelse 19,5	48,6	48,6	46,3	46,3	37,0	30,1	30,1	25,5	18,5	18,5	13,9	11,6	9,3	9,3	6,9	6,9
Besparelse	54,9	54,9	29,2	29,2	21,2	19,5	19,5	15,5	13,8	13,8	14,2	14,2	10,0	5,8	5,8	6,0

Tabell 14: Masseberegning og besparelse av masser for veier for 19,5 meters vogn med 180-graders lurvelengde

Besparelse av masser for 19,5 meter vogntog.																				
	* R1	Fra sentrum til indre veikant uten breddeutvidelse, dvs 4 meter fra ytre radius																		
	R2	Fra sentrum til indre veikant for breddeutvidelse 19,5																		
	R3	Fra sentrum til indre veikant for breddeutvidelse 24																		
180 grader kurvelengde																				
Kurveradius, senter	11	15	20	25	30	40	50	60	80	100										
Veibredde 19,5	7,1	6,2	5,6	5,3	5,1	4,8	4,6	4,5	4,4	4,3										
Veibredde 24	10,0	8,4	7,3	6,6	6,1	5,6	5,3	5,0	4,7	4,6										
Kurveradius, ytre	13,0	17,0	22,0	27,0	32,0	42,0	52,0	62,0	82,0	102,0										
Veibredde, rett fram	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0										
R1*	9,0	13,0	18,0	23,0	28,0	38,0	48,0	58,0	78,0	98,0										
R2*	5,9	10,8	16,4	21,7	26,9	37,2	47,4	57,5	77,6	97,7										
R3*	3,0	8,6	14,7	20,4	25,9	36,4	46,7	57,0	77,3	97,4										
Bredde utjevning 19	3,1	2,2	1,6	1,3	1,1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3										
Bredde utjevning 24	6,0	4,4	3,3	2,6	2,1	1,6	1,3	1,0	0,7	0,6										
Lengde utjevning	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0										
Høyde vei	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0										
Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk	Areal m4	Kubikk							
Breddeuti	138,8	694,2	101,8	509,1	76,4	381,8	60,2	300,8	48,6	243,0	37,0	185,1	30,1	150,4	23,1	115,7	16,2	81,0	13,9	69,4
Breddeuti	71,7	358,7	50,9	254,5	37,0	185,1	30,1	150,4	25,5	127,3	18,5	92,6	13,9	69,4	11,6	57,9	9,3	46,3	6,9	34,7
Besparels	67,1	335,5	50,9	254,5	39,3	196,7	30,1	150,4	23,1	115,7	18,5	92,6	16,2	81,0	11,6	57,9	6,9	34,7	6,9	34,7

Tabell 15: Masseberegning og besparelse av masser for veier for 19,5 meters vogn med 90-graders lurvelengde og 5 meter fyllingshøyde

Besparelse av masser for 19,5 meter vogntog.																
		* R1	Fra sentrum til indre veikant uten breddeutvidelse, dvs 4 meter fra ytre radius													
		R2	Fra sentrum til indre veikant for breddeutvidelse 19,5													
		R3	Fra sentrum til indre veikant for breddeutvidelse 24													
90 grader kurvelengde																
Kurveradius, senter	11	15	20	25	30	40	50	60	80	100						
Veibredde 19,5	6,1	6,0	5,6	5,3	5,1	4,8	4,6	4,5	4,4	4,3						
Veibredde 24	8,8	7,5	6,7	6,3	5,9	5,5	5,3	5,0	4,7	4,6						
Kurvelende	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90						
Kurveradius, ytre	13,0	17,0	22,0	27,0	32,0	42,0	52,0	62,0	82,0	102,0						
Veibredde, rettt fra	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0						
R1*	9,0	13,0	18,0	23,0	28,0	38,0	48,0	58,0	78,0	98,0						
R2*	6,9	11,0	16,4	21,7	26,9	37,2	47,4	57,5	77,6	97,7						
R3*	4,2	9,5	15,3	20,7	26,1	36,5	46,7	57,0	77,3	97,4						
Bredde utjevning 19	2,1	2,0	1,6	1,3	1,1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3						
Bredde utjevning 24	4,8	3,5	2,7	2,3	1,9	1,5	1,3	1,0	0,7	0,6						
Lengde utjevning	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0						
Høyde vei	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0						
Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk	Areal m2	Kubikk	Areal m4	Kubikk			
Bredde ut	103,5	75,5	517,7	58,2	291,2	49,6	248,1	41,0	204,9	32,4	161,8	15,1	75,5	12,9	64,7	
Bredde ut	48,6	46,3	243,0	37,0	185,1	30,1	150,4	25,5	127,3	18,5	92,6	13,9	69,4	46,3	34,7	
Besparels	54,9	29,2	274,7	21,2	106,1	19,5	97,6	15,5	77,6	13,8	69,2	14,2	70,8	5,8	29,2	6,0