



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2016, 30 stp.

Instituttet for Matematiske realfag og Teknologi

Bremseteknologi og antispinn anordninger for tyngre kjøretøy på vinterveier

Brake technology and anti-spin devices for
commercial vehicles on winter roads

Svein Harald Lindtjørn

Maskin, prosess og produktutvikling

FORORD

Denne masteroppgaven er skrevet av Svein Harald Lindtjørn og er gjennomført som en del av masterprogrammet i Maskin-prosess og produktutvikling ved Institutt for Matematiske realfag og Teknologi (IMT) ved NMBU. Prosjektet har et omfang på 30 studiepoeng og er gjennomført våren 2016.

Det er en kjent problemstilling at tyngre kjøretøy kjører seg fast og blokkerer trafikken på Norske vinterveier. Kjøretøyfabrikanter og andre bedrifter har utviklet teknologi som søker å forebygge slike hendelser og myndighetene har bestemmelser og ansvaret for veivedlikehold. Institutt IMT ved NMBU ønsker å øke kunnskapen om kjøretøyteknologi og miljøpåvirkninger og har derfor initiert denne oppgaven. Jeg har lenge hatt en interesse for kjøretøy og tekniske løsninger, og det har vært veldig kjekt å kombinere disse interessene i en masteroppgave.

Oppgaven er utformet i samarbeid med veileder og belyser problematikken bak tyngre kjøretøys fremkommelighet på norsk vinterføre og hvilke tekniske løsninger som eksisterer for å forbedre fremkommeligheten. Myndighetenes bestemmelser og veiens beskaffenhet er også omtalt. Videre er det fokus på moderne bremseteknologi, komponentene i disse systemene og noen beregninger er gjort for å belyse teorien. Det er lagt vekt på å gi en oversiktlig og lettfattelig prinsipiell forklaring på hvilke løsninger og tiltak som finnes og hvordan de fungerer.

Rapporten innleder med grunnlagsteori og noen viktige spesifikasjoner og definisjoner som man må kjenne til for å forstå problematikken. Her blir det blant annet gitt en innføring i grunnleggende friksjonsteori som forklarer noe av fremkommelighets problematikken.

Deretter presenteres moderne bremsesystem med de tilleggssystemer disse er utstyrt med og hvilke bestemmelser som ligger bak. Videre gis det en oversikt over kjøretøyfabrikantenes antispinn systemer og andre bedrifters antispinn systemer. Deretter følger en diskusjon og noen konklusjoner. Til slutt er det gitt noen anbefalinger om videre arbeid i emnet.

Oppgaven gir en innføring i bremseteknologi og fremkommelighet for tyngre kjøretøy og kan dermed brukes som en veileder for de som ønsker å utvikle et nytt produkt innenfor emnet. Leseren bør ha kunnskaper på ingeniørnivå for å få fullt utbytte av beregningene som er gjort.

Jeg vil rette en stor takk til førsteamanuensis Geir Terjesen for hjelp med beregninger og god veiledning gjennom hele prosjektet. Videre vil jeg takke Roger Grimstad som er koordinator for teknisk opplæring og Geir Storbråten som er Instruktør i Scania, Lasse Sætre som er teknisk sjef hos MoRek AS, Espen Haftun som er fagkonsulent for tunge kjøretøy fra OBOA og siv.ing. Terje Moen som er spesialist innenfor bremsebestemmelser for god hjelp og innspill gjennom prosjektet. Til slutt vil jeg takke venner og familie som har hjulpet til underveis.

Svein Harald Lindtjørn

Ås, 15-mai 2016

SAMMENDRAG

I de siste 20 årene har det vært en enorm teknisk utvikling på tyngre kjøretøy. I tillegg til komfort har blant annet sikkerhet og miljø vært drivende for utviklingen. Men fortsatt ser vi at flere lastebiler kjører seg fast på Norske vinterveier. Kjøreforholdene i Norge er krevende og det er utviklet en rekke tekniske løsninger som øker fremkommeligheten på vinterføre. Instituttet for Matematiske realfag og teknologi ved NMBU vil med denne oppgaven øke kunnskapen om hvilke antispinn system som brukes i dag og også øke kompetansen om moderne bremsesystemer på tyngre kjøretøy.

Målet med oppgaven er å studere eksisterende løsninger som er utviklet for å motvirke spinn på tyngre kjøretøy på vinterveier og ellers ved vanskelige kjøreforhold. Det skal også kartlegges hvilke fordeler og ulemper disse systemene har. Oppgaven skal også ha fokus på myndighetenes bestemmelser og veivedlikehold. Videre skal oppgaven gi en innføring i oppbygging og virkemåte på moderne elektroniske bremsesystemer til tyngre kjøretøy.

Metoden som er brukt er litteraturstudie på bremseteknologi, forskjellige antispinn-systemer, samt friksjonsteori og bestemmelser. Noen sammenliknende beregninger er også gjort. Samtaler med noen leverandører og fabrikanter er gjort for å høste erfaringer og teknisk informasjon.

Under litteraturstudien var det tre bøker som utmerket seg:

1. Oddvar Fossmark [12]. En grundig bok om bremses på Norsk, men noe foreldet 1996.
2. Bosch Automotive handbook [13]. En omfattende bok på engelsk, omtaler bremses relativt knapt.
3. Tunge kjøretøy, Bremses (Byåsen) [1]. Flotte illustrasjoner og gode forklaringer av EBS systemet. Faglig på mekanikernivå.

I tabellen under ser man de forskjellige tiltakene/systemene som er funnet for å bedre fremkommeligheten på Norske vinterveier.

Myndigheter	Kjøretøyfabrikanter	Andre fabrikanter
Strøing/måking	ASR	Autoline
Dekk	Boggiløft	Slirej
Kjetting	Hydraulisk drift	Onspot
	Differensialsperre	Robsondrive

En kombinasjon av systemene i tabellen vil gi den beste fremkommeligheten. Faktorer som tilstrekkelig hastighet, akseltyngde og å unngå stopp i bakker er også svært viktige faktorer for fremkommeligheten. Norge har særskilte regler når det gjelder boggiløft og dette gir fordeler til kjøretøy registrert i Norge. Fordeler og ulemper med systemene er diskutert i kap. 4 og 5.

Moderne elektroniske lastebilbremses benevnes *Elektronisk Bremse System* (EBS). EBS benytter såkalt CAN-bus datanettverk og har altså ikke de klassiske ledningstilkoplingene. EBS har liten reaksjonstid i forhold til de gamle trykkluftmekaniske bremsesystemene. Hjulbremsene er nå nesten utelukkende skivebremses, bortsett fra noen offroad/anleggs-kjøretøy. Videre har EBS i tillegg en rekke tilleggsfunksjoner, blant annet antispinn innretninger. EBS er omtalt i kap.3.4.

ABSTRACT

The past 20 years the commercial vehicle industry has seen an enormous technical development. This is due to factors like comfort, safety and environmental concern. Even with all this development there still is a problem with traction on Norwegian winter roads. The Institute of Mathematical Sciences and technology at NMBU wants to initiate this thesis to increase the knowledge about traction control systems used to day and how a modern brake system works.

The main goal of this thesis is to study the existing traction enhancing solutions that prevent wheel slip on slippery road conditions. Pros and cons with the different solutions will also be discussed. There will also be a focus on governmental regulations and road maintenance. Furthermore, the thesis gives an introduction to the structure and function of a modern electronic pneumatic braking system for commercial vehicles.

The method used is literature study on braking technology, different traction control systems, friction theory and regulations. Some comparative calculations are also made. To gather technical information and experience from suppliers and manufactures several meetings and conversations have taken place.

There were especially three books that excelled:

1. Oddvar Fossmark, *Bremser* [12]. A well explained book in Norwegian, but a bit outdated (1999)
2. Bosch Automotive handbook [13]. A thorough book in English, with general explanations of brakes.
3. *Tunge kjøretøy, Bremser (Byåsen)* [1]. Good illustrations and explanations of a EBS brake system. Academic on a mechanic level

The table below shows the various measures/systems that are found to improve traction on Norwegian winter roads.

Solutions		
Authorities	Car manufacturers	Other companies
Gritting/Shoveling	ASR	Autoline
Tires	Axle lift	Slirej
Snow chains	Hydraulic drive	Onspot
	Diff-lock	Robsondrive

A combination of the systems in table will provide the best maneuverability. Factors like speed, axle weight and avoiding stopping on hills are also important to increase maneuverability. The regulations concerning axle lift are different in Norway, and offer an advantage for vehicles registered in Norway. The pros and cons of the different systems are discussed in chapter 4 and 5.

Modern commercial vehicle brakes are often referred to as *Electronic Braking System (EBS)*. With the EBS the traditional wire system has been replaced with a CAN-bus system. With the new system the brake activation time has decreased. For the most part drum brakes have been replaced by disc brakes, but drum brakes are still used on off-road/construction vehicles. There are several other functions within the EBS, such as traction control systems. EBS is featured in chapter 3.4.

Innholdsfortegnelse

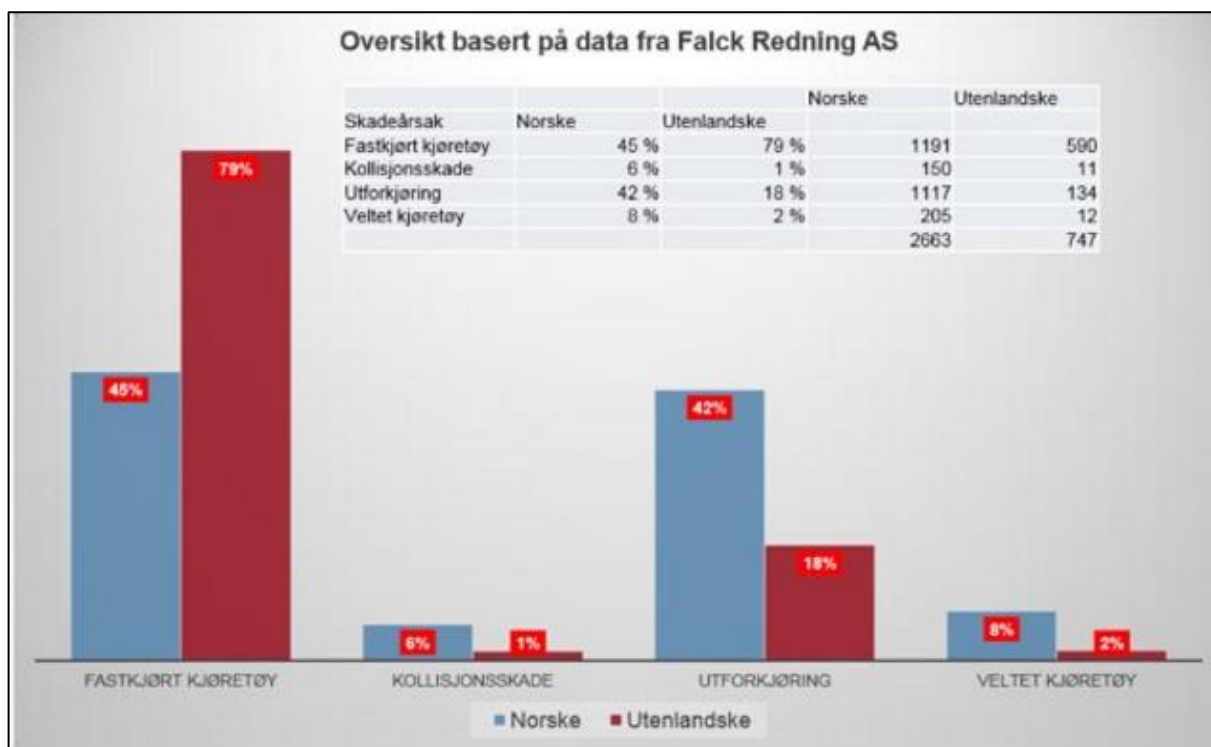
FORORD.....	I
SAMMENDRAG.....	II
ABSTRACT.....	III
1. INNLEDNING.....	3
1.1 Bakgrunn.....	3
1.2 Problemstilling.....	3
1.3 Hovedmål.....	4
1.3.1 Delmål.....	4
1.4 Begrensninger.....	4
1.5 Kvalitetssikring.....	4
1.6 Terminologi.....	5
1.7 Symboler og enheter.....	6
1.8 Formeloversikt.....	8
2. GRUNNLAGSTEORI OG VIKTIGE SPESIFIKASJONER.....	10
2.1 Grunnleggende friksjonsteori.....	10
2.2 Friksjon på norske veier.....	17
2.3 Lastebilspesifikasjoner.....	23
2.4 Dekk og kjetting bestemmelser.....	26
3. MODERNE BREMSESYSTEM.....	27
3.1 Bremseinnretninger.....	30
3.2 Bremskraft formel.....	35
3.3 Betjening og overføringsenheter.....	39
3.3.1 Materkrets.....	40
3.3.2 Viktige komponenter i bremsesystemet.....	42
3.3.4 Fremre bremsekrets.....	47
3.3.5 Bakre bremsekrets:.....	48
3.2.6 Parkbrems.....	49
3.4 ABS - Bremses.....	50
3.5 Elektronisk Bremsesystem (EBS).....	56
3.5.1 CAN-bus.....	57

3.5.2	Tilleggsfunksjoner i EBS	59
3.4.3	Komponenter i EBS	60
3.4.4	Bremseforløp EBS.....	61
3.6	Tilleggsbremseser	68
4.	KJØRETØYETS ANTISPINNS SYSTEMER	70
4.1	Antispinn regulering	70
4.2	Tandemdrift og boggiløft.....	75
4.3	Differensial sperre	96
4.4	Hydraulisk drift av framhjul	99
4.	ANSTISPINN SYSTEMER FRA EKSTERNE LEVERANDØRER	102
5.1	Autoline	102
5.2	Slirej.....	104
5.3	Onspot.....	105
5.4	Robsondrive.....	106
5.4.1	Tenkt Scenario.....	107
5.	DISKUSJON	111
6.1	Myndighetene	112
6.2	kjøretøyfabrikantene	112
6.3	Andre fabrikanter.....	112
6.4	Fremkommelighet.....	112
6.5	Moderne bremsesystem	113
7	KONKLUSJON OG ANBEFALINGER	114
7.1	Konklusjon.....	114
7.2	Anbefalinger og videre arbeid	115
8.	LITTERATURREFEREANSER	116
9.	VEDLEGG	120

1. INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

I Norge er kjøreforholdene, vinterstid, preget av store mengder snø og isbelagte veier og dette fører til at fremkommeligheten reduseres. Fenomenet er ikke nytt i Norge, men fortsatt setter lastebiler seg fast på vinterføre. Det er et samfunnsproblem som både medfører økonomiske tap, kan være årsak til trafikkuhell og kan i verste fall forhindre utrykningskjøretøy i å komme fram. Dette er et problem som både myndigheter, bilfabrikanten og eksterne bedrifter har prøvd å løse i flere år. Det finnes en rekke løsninger ute på markedet, men det ser ut til at problemet fortsatt er tilstede.



Figur 1 Oversikt over ulykker i Norge [14].

Institutt for Matematiske realfag og Teknologi ved NMBU ønsker med denne oppgaven å få bredere kunnskap om hvilke antispinn anordninger som finnes for tyngre kjøretøy i dag og hvordan systemene prinsipielt fungerer. Videre skal det også legges frem en grunnleggende beskrivelse av hvordan et nyere pneumatisk bremsesystem fungerer.

1.2 Problemstilling

Det er et kjent problem at tyngre kjøretøy setter seg fast og blokkerer veien på norske vinterveier. Flere antispinn systemer har vært utprøvd, men vi ser at problemet fortsatt eksisterer. På hvilken måte er det myndigheter, bilfabrikanter og eksterne bedrifter prøver å løse problemet med fremkommelighet? Hvilke produkter er tilgjengelige og har det vært en utvikling de siste 20 årene?

1.3 Hovedmål

Kartlegge antispinnverktøyene som blir brukt for å øke fremkommeligheten på vinterføre, i bakker og ellers ved vanskelige kjøreforhold. Dette innebærer myndighetenes, kjøretøyfabrikantens og eksterne bedrifters tiltak. Det skal også kartlegges hvilke fordeler og ulemper systemene har, samt utviklingen innenfor bremseteknologi og hvordan et nyere pneumatisk bremsesystem fungerer.

1.3.1 Delmål

For å nå hovedmålet må følgende delmål nås:

- Gi en grunnleggende innføring i friksjonsteori.
- Få en oversikt over hvilke krav det er til friksjon på norske veier, og hvordan dette blir opprettholdt.
- Gi en grunnleggende oversikt over hvilke bestemmelser som gjelder for kjøretøy over 3500 kg.
- Innsamling av informasjon og få en oversikt over hvordan et nyere bremsesystem fungerer og hvordan ventilene opererer.
- Innsamling av informasjon om hvilke antispinn anordninger som brukes og se på fordeler og ulemper.
- Samle informasjonen i en oversiktlig rapport.

1.4 Begrensninger

- På grunn av tidsmangel er det ikke foretatt en spørreundersøkelse blant sjåførere for å se hvilke systemer de bruker og hvordan systemene brukes.
- Informasjonen om systemene er på et prinsipielt nivå, da det har vært vanskelig å få tak i mer inngående informasjon.
- På grunn av tidsmangel har det blitt fokusert på kjøretøyet og ikke tilhenger.
- Har fokusert på kjøretøy med pneumatiske bremsesystem med en tillatt totalvekt over 3500 kg.
- Det ligger mye teori og beregninger bak ventilene i et bremsesystem. I denne oppgaven går vi kun inn på den prinsipielle virkemåten av ventilen.
- Det blir ikke lagt vekt på elektronikken og kodingen av ventiler og styringssystem, da dette er utenfor maskin fagfeltet og er av lite interesse i denne oppgaven.
- Det kommer ikke til å bli sett på kjøretøy med drift på alle hjulene, da det ikke er så vanlig på norske veier.

1.5 Kvalitetssikring

Rapporten er lest gjennom flere ganger og skrivefeil, samt referanser er kontrollert og eventuelle feil er rettet opp i. Tabeller, figurer og beregninger er også blitt sjekket flere ganger og eventuelle feil har blitt rettet opp. Videre er det også brukt flere uavhengige kilder for å sikre at innholdet er så korrekt som mulig.

1.6 Terminologi

Tabell 1 Terminologi

Utrykk	Beskrivelse
ABS	Anti blokkerings system
ALB-ventil	Automatisk lastavhengig bremseregulator
ARB	Anti roll brake (Anti skrens system)
ASR	Antispinn regulering
Bk10	Bruksklasse 10. maksimal aksellast 10 tonn
Bk8	Bruksklasse 8. Maksimal aksellast 8 tonn.
Bk6	Bruksklasse 6. Maksimal aksellast 6 tonn.
Boggi	Minimum to aksler med maksimal avstand på 1,79 m
Boggiløft	Bakre aksel er løftbar
EBS	Electronic brake system (Elektronisk bremsesystem)
EDC	Elektronisk motorstyring
IR	Individuell regulering
MIR	Modifisert individuell regulering
SOF	Start of frame
RTR	Remote transmission request
IDE	Identifier extension bit
R+	Reserved bit
DLC	Data length code
CRC	Cycle redundancy check
ACK	acknowledge slot
EOF	End of frame
Pusherløft	Midtre aksel er løftbar
PTO	Power take off (kraftuttak)
SL	Select low regulering (lavfriksjonsregulering)
Tandemdrift	To av de bakre akslene er drivende
M	Motorvogner med minst 4 hjul og forbehold persontransport
M2	Maksimalt 8 sitteplasser og tillatt vekt på 5 tonn.
M3	Over åtte sitteplasser og tillatt vekt over 5 tonn.
N	Kjøretøy med minst fire hjul og forbeholdt godstransport
N2	Tillatt totalmasse mellom 3,5-12 tonn
N3	Tillatt totalmasse over 12 tonn

1.7 Symboler og enheter

Tabell 2 Symboler og enheter

Symbol	Betydning	SI-enhet
F_r	Friksjonskraften	N
μ	Friksjonskoeffisient	-
N	Normalkraften	N
m	Masse	kg
F_{Total}	Total friksjonskraft	N
F_x	Krefter i x-retning	N
F_y	Krefter i y-retning	N
λ	Slippverdi	-
$v_{kj\ddot{o}ret\ddot{o}y}$	Kjøretøyets hastighet	m/s
v_{hjul}	Hjulets periferihastighet	m/s
g	Tyngdeakselerasjonen	m/s^2
s	Strekning	m
t	Tid	<i>Sekund</i>
$^{\circ}C$	Temperatur	<i>Celsius</i>
F_{Brems}	Bremsekraft, stillestående	N
F_{Brot}	Bremsekraft, roterende	N
p_1	Trykk i bremsesystem	MPa
p_2	Mottrykk	MPa
A	Areal	mm^2
η_m	Mekanisk virkningsgrad	-
ρ	Hevarmsfaktor	-
f_a	Støtstangs-justeringsfaktor	-
f_F	Temperaturfaktor	-
l_s	Effektiv lengde på selvjusteringsmekanisme	mm
l_c	Effektiv Kam-radius	mm
T	Temperatur	<i>Kelvin</i>
$\mu_{underlag}$	Friksjonskoeffisient mellom dekk og underlag	-
R_{Hjul}	Radius-hjul	m
r_{skive}	Effektiv skivebremsradius	m
N_{hjul}	Normalkraften på hjulet	N
F_{dekk}	Kraften som virker på dekket	N
$F_{tillatt}$	Tillatte bremskraften på dekket	N
$F_{brot-henregnet}$	Kraft på skivebrems fra dekk	N
F_s	Bremsekraft, sekundær sko	N
F_p	Bremsekraft, primær sko	N
a	Avstand, trommel	mm
b	Avstand, trommel	mm

Tabell 2 fortsettelse:

Symbol	Betydning	SI-enhet
C^*	Bremsefaktor	-
F_{tot}	Totale bremskraft	N
$F_{stempel}$	Presskraft, stempel	N
$p_{Bremsetrykk}$	Bremsetrykk, skivebrens	MPa
V_{maks}	Maksimal hastighet	m/s
ε	Friksjonsutnyttelsen	-
μ_H	Høyfriksjon	-
μ_L	Lavfriksjon	-
z	Bremsevirkning	-
R_0	Skrubbradius	mm
q	Jevntfordelt last	N/mm
V_V	Hjulhastighet venstre hjul	m/s
V_H	Hjulhastighet høyre hjul	m/s
F_G	Bremsetrykk venstre	MPa
T_G	Bremsetrykk høyre	MPa
A	Min innsprøytningmengde	-
B	Maks innsprøytningmengde	-
P_V	Maks drivstoffinnsprøytning	-
P_H	Min drivstoffinnsprøytning	-
E	Elastisitetsmodul	MPa
I	Annet arealmoment	mm^4
M	Moment	Nm
y''	Krumming	-
y'	Vinkel	-
y	Nedbøyning	-
F_{AE}	Summen av F_A og F_E	N
C_1	Ukjent	-
C_2	Ukjent	-
f_n	Nedbøyning	mm
c	Lengde	mm
c_1	Lengde	mm
l	Lengde	mm
P	Kraft	N
f	rullemotstandskoeffisient	-
F_R	Rullemotstand	N
G	Tyngdekraften	N
C_w	Luftmotstand koeffisienten	-
A	Tverrsnittsarealet av kjøretøyet	mm^2
ρ_1	Lufttettheten	kg/m^3
v_0	Hastigheten av vinden	m/s
F_L	Luftmotstand	N
$F_{motstand}$	Total motstandskraft	N

Tabell 2 fortsettelse:

Symbol	Betydning	SI-enhet
M_A	Moment om punkt A	Nm
F_{BC}	Opplagerkraft mellom aksler	N
M_A	Moment om A	Nm
ω_1	Omdreiningshastighet	rad/s
ω_2	Omdreiningshastighet	rad/s
μ_{robson}	Friksjonskoeffisient	-
$\mu_{underlag}$	Friksjonskoeffisient	-
M_1	Moment	Nm
I	Massetreghetsmoment	kgm ²
l	Lengde	m
D	Diameter	m
d	Diameter	m
θ	Vinkel	Grader (°)
t_s	Sluretid	s
F_N	Kraften fra friksjonshjulet normalt på drivhjulet	N
F_f	Friksjonskraft mellom drivhjul og underlag	N
F_F	Friksjonskraft mellom friksjonshjul og drivhjul	N
$F_{hj\ddot{u}l}$	Kraft fra friksjonsrullen	N
F_{last}	Kraften fra lasten	N
α	Vinkelakselerasjon	rad/s ²
R	Radius	m
t	Sekund	s

1.8 Formeloversikt

Tabell 3 Formeloversikt

Betydning	Formel	Nr.
Friksjonskraft	$F_r = \mu \cdot N$	2.1
Summen av friksjonskraft	$F_{Total}^2 = F_x^2 + F_y^2$	2.2
Hjulslipp ved akselerasjon	$\lambda(\%) = \frac{(v_{hj\ddot{u}l} - v_{kj\ddot{o}ret\ddot{o}y}) \cdot 100}{v_{hj\ddot{u}l}}$	2.3
Hjulslipp ved bremsing	$\lambda(\%) = \frac{(v_{kj\ddot{o}ret\ddot{o}y} - v_{hj\ddot{u}l}) \cdot 100}{v_{kj\ddot{o}ret\ddot{o}y}}$	2.4
Måling av bremselengde	$\mu = \frac{v^2}{25,92 \cdot g \cdot s}$	2.5
Gjennomsnittlig friksjonsverdi	$\mu = \frac{\Delta v}{g \cdot t}$	2.6

Formel oversikt fortsettelse:

Betydning	Formel	Nr.
Beregning av bremsekraft, sekundær sko	$F_s = \frac{F \cdot a}{\frac{a}{2} + \mu \cdot b}$	3.1
Beregning av bremsekraft, primær sko	$F_p = \frac{F \cdot a}{\frac{a}{2} - \mu \cdot b}$	3.2
Beregning av bremsefaktoren	$C^* = \frac{F_{tot}}{F_{stempel}}$	3.3
Bremsekraft, stillestående	$F_{Brems} = (p_1 - p_2) \cdot A \cdot \eta_m \cdot \rho \cdot f_a$	3.4
Bremsekraften, rotasjon	$F_{Brot} = (p_1 - p_2) \cdot A \cdot C^* \cdot \eta_m \cdot \rho \cdot f_a \cdot f_F$	3.5
Beregning av hevarmsfaktor for S-kam brems	$\rho = \frac{l_s}{2 \cdot l_c}$	3.6
Beregning av hevarmsfaktor for kilebrems	$\rho = \frac{1}{2 \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$	3.7
Temperaturfaktor (over 366 K)	$f_F = 1 - 0.00058 \cdot T$	3.8
Hevarmsfaktor for skivebrems	$\rho = \frac{l_h}{l_j}$	3.9
Lavfriksjons definisjon	$\frac{\mu_H}{\mu_L} \geq 2$	3.10
Bremsevirkning	$z \geq 0,75 \left(\frac{4 \cdot \mu_L + \mu_H}{5} \right)$	3.11
Momentberegning om punkt A	$\Sigma M_A = 0$	4.1
Macauley funksjon, krumning	$EIy'' = -M(x)$	4.2
Macauley funksjon, vinkel	$EIy' = -M(x)$	4.3
Macauley funksjon, nedbøyning	$EIy = -M(x)$	4.4
Nedbøyning	$f = \frac{P}{EI} \cdot \frac{l^3 \cdot c^2 \cdot c_1^2}{3 \cdot l^2 \cdot l^2}$	4.5
Stigningsmotstand	$F_s = G \cdot \sin \alpha$	4.6
Rullemotstand	$F_R = G \cdot f$	4.7
Luftmotstand	$F_L = 0,5 \cdot C_w \cdot A \cdot \rho_1 \cdot (v - v_0)^2$	4.8
Total motstand	$F_{motstand} = F_s + F_R + F_L$	4.9
Beregning av vinkel	$\sin(\theta) = \frac{\text{motstående}}{\text{Hypotenus}}$	5.1
Rotasjonsbevegelse	$M = I \cdot \alpha$	5.2

2. GRUNNLAGSTEORI OG VIKTIGE SPESIFIKASJONER

2.1 Grunnleggende friksjonsteori

Friksjon er noe vi til daglig ikke tenker så mye over, men er en essensiell del av vår hverdag. Friksjon kan sees på som kraften som motvirker legemets bevegelse. Denne friksjonen kan også bli omtalt som tørr friksjon og kan bli delt inn i to kategorier, statisk og kinetisk friksjon. Før vi går inn på hva de to friksjonsformene, er det viktig å vite hvilke lover som gjelder for dem. Fysikerne Amontons og Coulomb, henholdsvis født i år 1699 og 1735, var tidlig ute og prøvde å definere hva friksjon var og hvordan vi kunne forholde oss til den. Etter mye empiriske forsøk kom de frem til at friksjon mellom to glatte overflater ikke er avhengig av arealet og er direkte proporsjonalt med normalkraften. Dette har munnet ut i to allmennaksepterte lover [15].

1. Friksjonskraften er direkte proporsjonal med normalkraften
2. Friksjonskraften er uavhengig av det nominelle kontaktarealet mellom to faste overflater som glir mot hverandre

Videre konkluderte Coulomb at friksjon skyldes sammenslåinger av ujevnheter i overflaten og at det hovedsakelig består av det arbeidet som kreves for å løfte belastningen over ujevnhetene i overflaten. Med andre ord, større ujevnheter gir høyere friksjon [15].

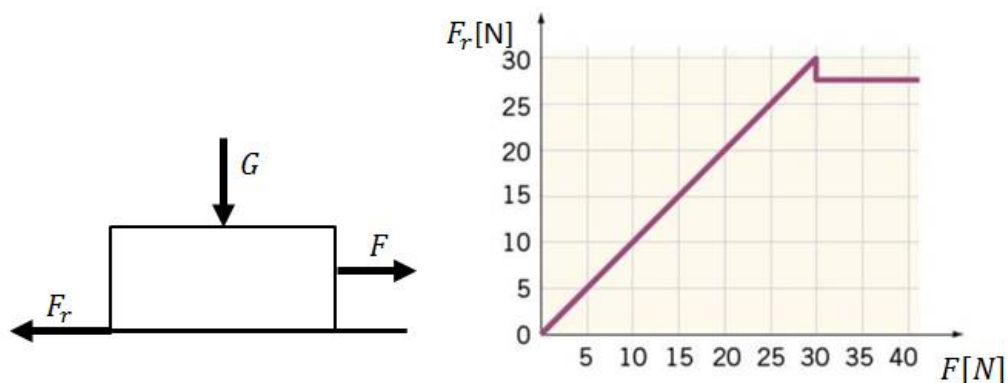
Friksjon kan settes opp i følgende likning:

$$F_r = \mu \cdot N \quad (2.1)$$

F_r : Friksjonskraften som virker mellom flatene og i motsatt retning av den ytre kraften

μ : Friksjonskonstanten. Forklarer forholdet mellom friksjonskraften og normalkraften. Friksjonskonstanten er materialavhengig.

N : Normalkraften. Kraften som virker normalt på friksjonsoverflaten og presser kontaktflatene sammen.



Figur 2 illustrasjon av statisk og kinetisk friksjon [16].

Statisk friksjon [17]

Statisk friksjon er friksjonen mellom to eller flere legemer som ikke er i relativ bevegelse til hverandre. Eksempler på dette vil være en eske som står i ro i en bakke. Den blir holdt igjen av den statiske friksjonskraften, men ved en økende belastning vil friksjonskraften øke proporsjonalt og til slutt, når belastningen er større enn $\mu \cdot N$ vil esken begynne å gli. Da har friksjonskraften gått fra statisk og over til kinetisk.

Kinetisk friksjon [17]

Kinetisk friksjon oppstår når to legemer er i direkte kontakt og beveger seg relativt til hverandre. Denne friksjonskraften er som regel noe lavere enn ved statisk friksjon, men ifølge Richard Feynman[18] vil forskjellen være liten mellom kinetisk og statisk friksjon når kontaktoverflatene er glatte.

Kan denne friksjonsteorien brukes om dekk?[15]

Friksjonslovene som nevnt tidligere påstår at friksjonskraften er uavhengig av arealet og direkteproporsjonalt med normalkraften. Dette er noe som kun gjelder for det vi kaller metallisk friksjon (friksjon mellom to glatte metalliske overflater). I kontaktflaten mellom metallene vil det kun være små ujevnheter i metallet som er i kontakt med hverandre. Dette medfører at det totale arealet ikke er det samme som det virkelige areal og man kan derfor se bort i fra arealet. Man kan derimot ikke se bort i fra arealet når man ser på gummi, da gummi vil forme seg etter omgivelsene i langt større grad enn metall og det virkelige arealet vil være mer likt det faktiske kontaktarealet. Friksjonskraft formelen vil være lik, da normalkraften fortsatt er proporsjonal med friksjonskraften, men friksjonskoeffisienten vil være sammensatt av flere komponenter som er arealavhengige.

Hva gjelder for dekk [19]

Dekket kan sees på som en av de viktigste komponentene på et kjøretøy da alle krefter og momenter som påvirker bilen går gjennom hjulene. Overføringen av krefter fra hjulet og over til underlaget skjer ved hjelp av friksjonskomponentene nevnt under og det er disse komponentene som utgjør den totale friksjonskoeffisienten for dekk.

Adhesjonskomponenten [19]

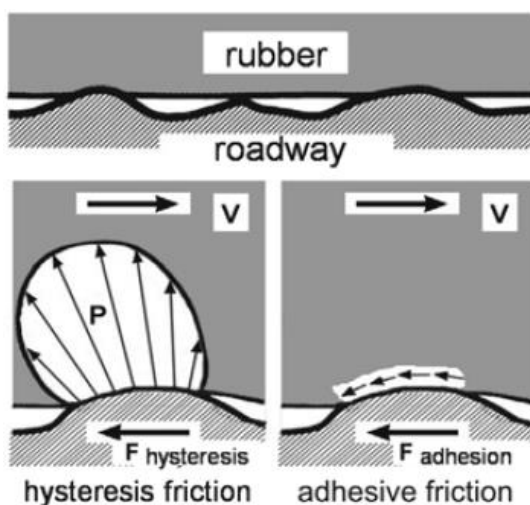
I kontaktpunktet mellom dekket og veibanen oppstår det en molekylær binding mellom molekylene i gummi og molekylene i underlaget. Disse bindingene brytes når dekket og underlaget er i relativ bevegelse og det er den motkraften som da oppstår som prøver å motvirke bevegelsen.

Kohesjonskomponenten [19, 20]

Den elektriske tiltrekningskraften holder molekylene i et legeme sammen ved hjelp av elektrisk tiltrekning. Molekyler av samme sort vil ha en tiltrekningsevne ovenfor hverandre, og for å løsrive disse molekylene fra hverandre må kohesjonskreftene overvinnes. Kraften som kreves for å overvinne dem vil være med på å motvirke bevegelsen og blir dermed en del av friksjonskraften,

Hysteresekomponenten [19, 20]

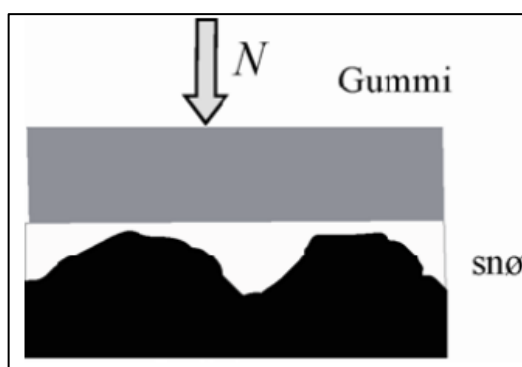
Når dekket presses mot underlaget vil dekket forme seg etter ujevnheter og denne deformasjonen kan vi kalle dekkets hysteres. Den vil ikke ha så mye å si når hjulet ruller fritt, men jo større forskjell på dekkets hastighet og underlaget jo mer vil hysterese ha å si på friksjonskraften. Dette skyldes at ved forskjellig relativ hastighet vil det bli økt trykk i kanten av ujevnheter og dette medfører at dekket vil bli holdt tilbake av underlaget. Denne motkraften vil virke i motsatt retning av fartsretningen og gi en friksjonskraft. På grunn av deformasjonen vil det også utvikles varme i dekkoverflaten som igjen overføres til underlaget.



Figur 3 Illustrasjon av hvordan hysteres og addisjon påvirker dekket [21, s 53].

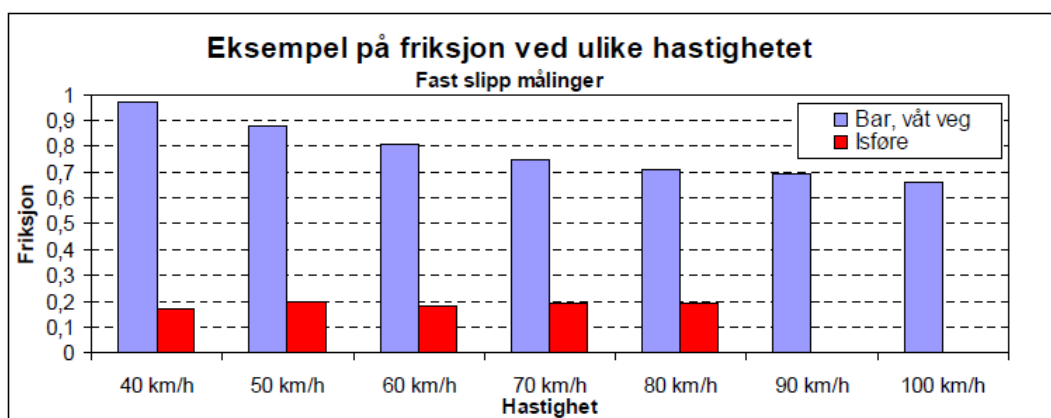
Dekkfriksjon på vinterføre [22]

I en undersøkelse gjort av Konrad J. Walus og Zbigniew Oleszewski [23] tar de for seg friksjonskoeffisienten til dekk og underlag på vinterføre. Som vi alle har opplevd vil man oppleve mindre veigrep på vinteren enn på sommeren og dette kommer av at miljøfaktorer som snø og is blir introdusert som dekkets underlag. Det viser seg at når disse faktorene introduseres får man redusert, eller total fjerning av friksjonskomponenten adhesjon og komponenten kohesjon vil bli den mest dominerende friksjonskomponenten. Når snø blir introdusert i veibanen vil den legge seg i alle ujevnhetene som finnes i asfalten og danne en «glatt» overflate. På grunn av snøens åpne struktur vil det fortsatt være mulighet for dekket å forme seg rundt snøkrystallene, men i mindre grad enn på tørr asfalt. Dette fører til at hysteresekomponenten reduseres. På grunn av varmen som blir generert når hjulet går rundt vil snøen som er i kontakt med dekket smelte og danne et tynt lag med vann mellom dekket og snøen og kan sees på som en slags «smøring». Dette er med på å redusere friksjonen mellom dekket og underlaget.



Figur 4 illustrasjon av hvordan snø påvirker kontaktflaten til dekket [6].

Studier viser at friksjonen avtar med økende hastighet, men dette viser seg ikke å stemme helt på vinterføre. En måling gjort på samme veistrekke viste at friksjonen holdt seg rimelig konstant på snø/is føre [6].



Figur 5 Illustrasjon av friksjonskoeffisientens endring med hensyn til hastigheten [6].

Friksjonssirkelen [19]

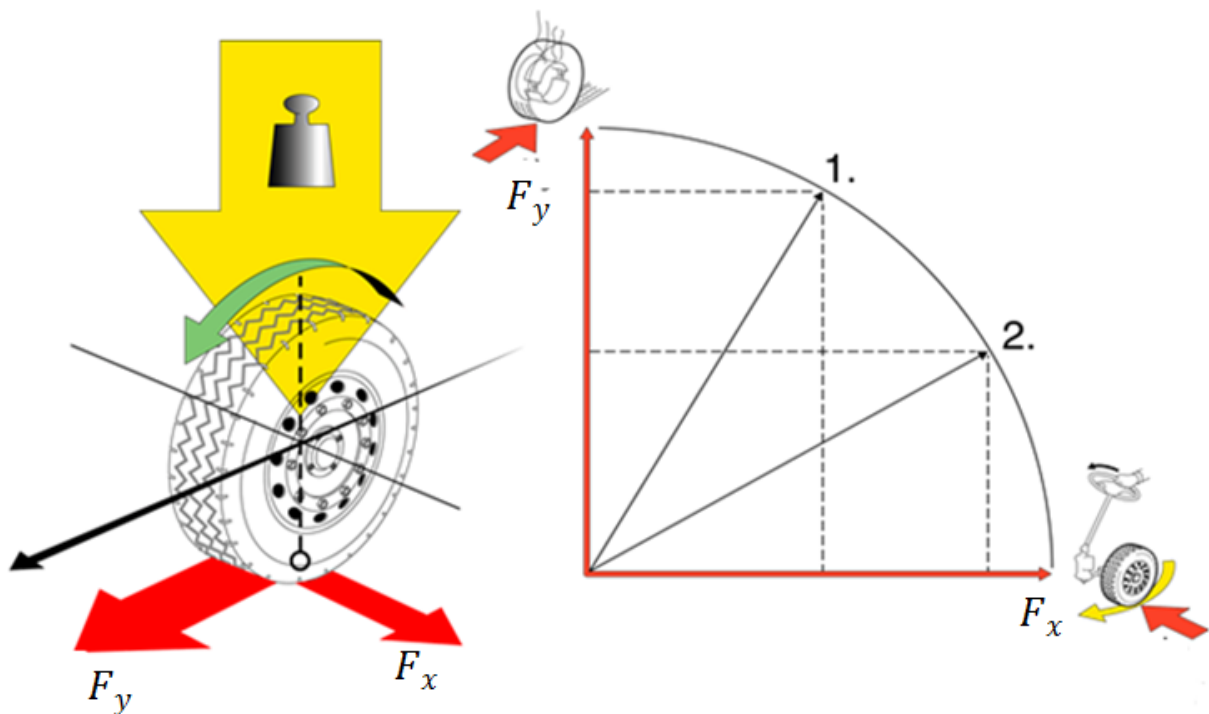
Hittil har vi kun sett på den totale friksjonskraften, men siden friksjonskraft er en vektor kan vi dekomponere den inn i en x-verdi og y-verdi. Vi kan si at den totale friksjonskraften, hypotenusen av x og y verdien, ikke kan overstige den maksimale friksjonskraften mellom dekk og underlag. Ved hjelp av friksjonssirkelen vist nedenfor kan en se hvor mye av den totale kraften som blir brukt i lengderetningen (bremsing/akselerering) og hvor mye som blir brukt til retningsendring (sving). Dette er et nyttig verktøy for å illustrere fordeler med å holde den resulterende kraften mindre enn den totale friksjonskraften.

$$F_{Total}^2 = F_x^2 + F_y^2 \quad (2.2)$$

F_{Total} : Totale friksjonskomponenten

F_y : Friksjonen som virket normalt på lengderetningen

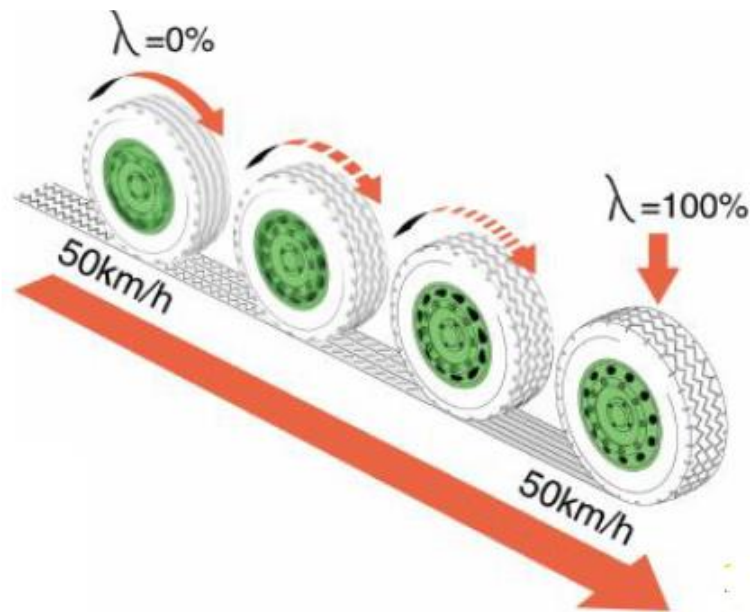
F_x : Friksjonen som virker i lengderetningen



Figur 6 illustrasjon av friksjonssirkelen[1, s 146]

Slipp [21, s 57]

Ved overføring av de horisontale kreftene fra dekket og ned i underlaget vil det alltid være en viss form for slipp. Dette er grunnet deformasjonen av dekket og den relative bevegelsen mellom dekket og underlaget, og er nødvendig for å overføre krefter fra dekket til underlaget. Dekkets maksimale overføringsevne er avhengig av den største tillatte friksjonskraften. Hvis trykket fra dekket i sammenheng med den lokale friksjonskoeffisienten overstiger den maksimale friksjonskraften vil det oppstå slipp. Når den totale bremsekraften overstiger den tillatte friksjonskraften vil dekket begynne å slippe. Ved en øking av slipp vil også den relative hastigheten mellom dekk og underlag øke helt til det er 100 % slipp, da vil periferihastigheten til dekket være null og det vil kun være glidefriksjon tilstede.



Figur 7 Viser hvordan dekket oppfører seg mot underlaget ved retardasjon [1].

For overføring av krefter i langsgående retning er det to former for slipp som er viktige, akselerasjonsslipp (1) og retardasjonsslipp (2):

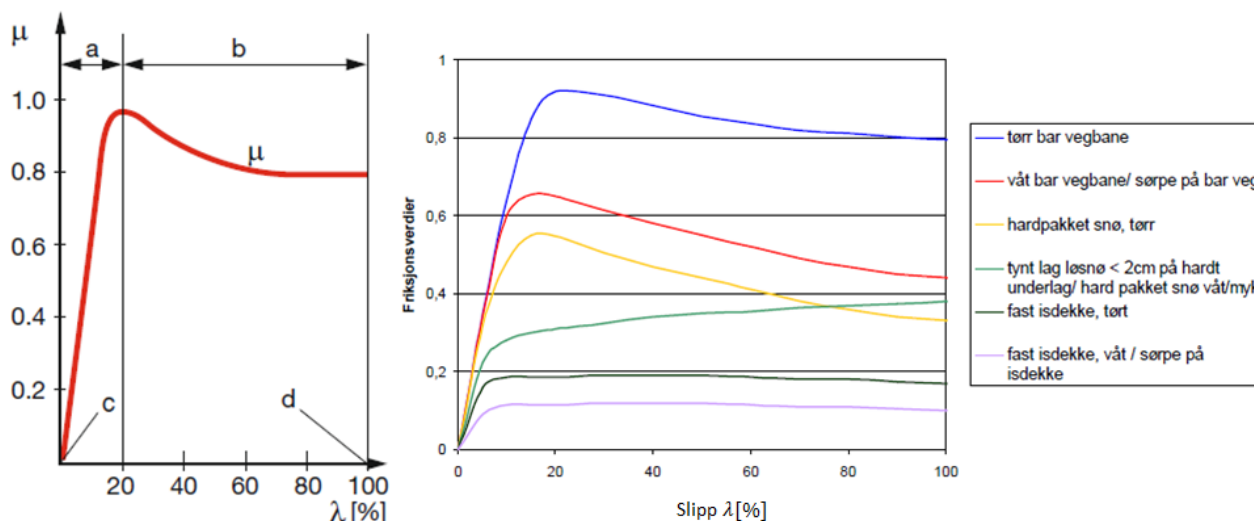
$$(1) \quad \lambda(\%) = \frac{(v_{hjul} - v_{kj\ddot{o}ret\ddot{o}y}) * 100}{v_{hjul}} \quad (2.3)$$

$$(2) \quad \lambda(\%) = \frac{(v_{kj\ddot{o}ret\ddot{o}y} - v_{hjul}) * 100}{v_{kj\ddot{o}ret\ddot{o}y}} \quad (2.4)$$

$v_{kj\ddot{o}ret\ddot{o}y}$: Hastigheten til kjøretøyet

v_{hjul} : Periferihastigheten til hjulet

Som illustrert i figur 8 vil man ha størst friksjons koeffisient ved en slipp på mellom 10-30 prosent på tørr asfalt.



Figur 8 Figur A[2, s.246] (venstre) viser hvordan friksjonskoeffisienten endres med slipp-prosenten. a = stabilt område b= ustabil område. I figur B[6, s.23] (høyre) viser friksjonen på forskjellig føre

Splitt friksjon [24]

Splitt friksjon er et fenomen hvor det er stor forskjell i friksjon fra venstre og høyre del av veibanen. Ved kjøring med konstant hastighet, eller ved rolig nedbremsing vil dette fenomenet foregå umerket, men ved kraftig nedbremsing eller akselerering vil man raskt legge merke til dette. Ved rask nedbremsing vil en oppleve at bilen blir dratt til den siden hvor friksjonen er høyest, dette kan føre til at man mister kontroll på lastebilen og opplever noe som kalles «jack knifing» og betyr at bil og henger «folder» seg som en foldekniv. Splittfriksjon er også et problem ved akselerering fra stillestående. På grunn av differensialen vil drivkraften alltid bli sendt til det hjulet som opplever minst motstand og man står derfor i fare for ikke å komme av flekken. Det er i slike tilfeller at et ATC system kommer til rette, da det sender krefter over til det hjulet som har best veigrep.



Figur 9 Lastebil som har "jack knifet" på underlag med splitt friksjon [1].

2.2 Friksjon på norske veier

Dette kapitlet er basert på en rapport fra Statens vegvesen [25] og friksjonskapitlet til Alex Klein Paste og Bård Bobstad [6].

Vinterdriften i Norge blir driftet av Statens Vegvesen som har ansvar for at veifriksjonen er innenfor regelverket. For å oppnå dette blir det hovedsakelig brukt virkemidler som brøyting, strøing, og salting. Hyppigheten av driften avhenger av hvor trafikkert veistrekke er. Til sammen i vinteren 2014/2015 ble det driftet et veistrekke på 54 000 km, brukt 239 000 tonn salt og 804 000 tonn sand [26]. Statens vegvesen gjennomførte i 2005 en statusrapport [25] om friksjonsforholdene på norske veier. I rapporten blir det nevnt at en av årsakene til en lavere friksjon på norske vinter og sommerveier er den stadige økningen av piggfrie vinterdekk. Dette fører blant annet til «polering» av vegbanen som er med på å senke friksjonen i vegbanen. I en undersøkelse gjort av Sintef ble det påvist at en økning i piggdekkbruk ga en vesentlig forbedring i friksjon. Med en økning fra 60-80 % andel biler med piggdekk ble det en økning i friksjonskoeffisienten fra 0,15-0,21 [27].

Friksjonsmåling

Friksjonsmåling er noe som er brukt i Norge for å kartlegge friksjonsforholdene og friksjonen måles ved hjelp av tre forskjellige prinsipper, måling av bremselengde, retardasjonsmåling og måling av relativ slipp. Det finnes to forskjellige slippmålingssystemer, konstant og variabel-slippmåling.

Måling av bremselengde

Dette er den enkleste formen for å måle veifriksjon på og den gir en god indikasjon på hva friksjonen er på den gitte strekningen. Prinsippet bak målingen er å bremse på en gitt veistrekning og måle startfarten og distansen kjøretøyet bruker for å stoppe. Med denne dataen kan en kalkulere en estimert friksjonsverdi ved hjelp av formelen:

$$\mu = \frac{v^2}{3,6^2 \cdot g \cdot 2 \cdot s} = \frac{v^2}{25,92 \cdot g \cdot s} \quad (2.5)$$

Hvor v er startfarten i km/t, g er tyngde akselerasjonen (m/s^2) og s er totale bremselengde i meter.

Denne friksjonsmålingen gir som sagt bare en indikasjon på hva friksjonsverdien vil være, da den vil variere ut ifra hva slags kjøretøy som blir brukt.

Retardasjonsmåling

Retardasjonsmåleren er en enkel innretning som kan monteres i alle personbiler og den kan brukes for å måle forskjellige parametere som temperatur, friksjon, avstand og tid. For å foreta en friksjonsmåling må man foreta en kraftig nedbremsing i et par sekunder. Inndataen man trenger fra denne nedbremsingen er differansen mellom start og slutt fart, samt bremsetiden. Denne informasjonen blir brukt ved hjelp av følgende formel til å beregne en gjennomsnittlig friksjonsverdi.

$$\mu = \frac{\Delta v}{g \cdot t} \quad (2.6)$$

Hvor Δv er hastighetsdifferansen (m/s), g er tyngdeakselerasjonen (m/s^2) og t er nedbremsingstiden i sekunder.



Figur 10 Den mest brukte retardasjonsmåleren i Norge, my C [6].

Slipp hastighetsmåling

Med slippmåling bruker man hastighetsdifferansen mellom et målehjul, som bremses, og den reelle hastigheten til bilen for å måle friksjonsverdiene i veioverflaten. Som tidligere nevnt i friksjonskapittelet kan vi definere slipp hastighet som relativ hastighet i forhold til den reelle hastigheten og denne hastigheten dividert på den reelle hastigheten, multiplisert med 100, gir slipp-prosenten. Ved å måle friksjonskraften som opptrer ved forskjellige slipp hastigheter kan friksjonskoeffisienten beregnes.

I dag opereres det med to forskjellige målingsmetoder, variabel slipp og fastslipp. Med variabel slipp måles friksjonen kontinuerlig gjennom hele bremseprosessen fra 0 -100 % slipp. På denne måten kan man måle den maksimale friksjonen til underlaget, samt friksjonen ved varierende slipp hastigheter, og dermed registrere hvordan maksimalfriksjonen vil forandre seg med varierende hastighet.

Med fastslipp metoden, opereres det vanligvis med en slipp-prosent på rundt 10-20 prosent slipp og det er den mest brukte metoden vinterstid, mens sommerstid brukes det både varierende og fastslipp.



Figur 11 Friksjonsmåleren Oscar i aksjon [6].

I Norge brukes det flere forskjellige friksjonsmålere, og den mest avanserte måleren er OSCAR. Den måler både variabel og fast slipp. Det finnes bare en slik maskin i Norge og den brukes kun som referanse for friksjonsmålinger i sammenheng med forskning og utvikling. På grunn av den høye kostnaden av OSCAR ble det utviklet mindre kostbare friksjonsmålere som Roar Mark III og pr. 2011 finnes det en i hver av de fem regionene i Norge. Og lik OSCAR måler den både variabel og fast slipp.

Med friksjonsmåleren «RoAR MARK III» blir variabel friksjonsmåling foretatt med en nedbremsing fra fritt rullende hjul til låste hjul på 0,8 sek, for så å slippe bremsen og hvile i 0,5 sekunder. Denne prosessen gjentar seg helt til målingene er fullført og en snittverdi over strekningen vil gi den komplette slipp kurven. På grunn av høy friksjon på sommerføre blir det vanligvis benyttet en vannfilm foran målerhjulet for å skape en mer kritisk situasjon.

Det er mange faktorer som påvirker målingene, det blir derfor gjort forsøk for å standardisere disse prosedyrene ved å sette krav til blant annet hastigheten målingene skal bli foretatt ved og slippprosenten.

Vinterfriksjon

I Norge er det satt krav til at veien skal være fremkommelig for kjøretøy som er normalt utrustet for vinterkjøring, det vil si godkjente vinterdekk. For at dette skal oppnås skal snømengde og is reduseres, samt sørge for tilstrekkelig veigrep. For å oppnå dette er det to tiltak som gjennomføres i Norge, og det er:

- Strategi vinterveg
- Strategi bar veg

Forskjellen på strategiene er hvorvidt det er akseptert med snødekke på veien eller ikke. Med strategi vinterveg, er det tillatt med snø og is dekke hele eller deler av vinteren, mens med Strategi bar veg skal veien under normale forhold være fri for snø og is hele vintersesongen. Med strategi vinterveg benyttes det som oftest sand eller saltblandet sand for å oppnå ønsket friksjon og med strategi bar veg benyttes det oftest salt eller andre kjemiske strømidler. Valg av de forskjellige metodene blir definert ut i fra hvor mange biler som ferdes på vegene. Tabell 4 og 5 gir en oversikt over definisjoner og de godkjente driftsforholdene på de forskjellige veiene. Dataen er tatt fra Vinterdriftsforskriftene 2010 [28].

Tabellen nedenfor gir en oversikt over de forskjellige veiklassene i Norge. Veiene blir klassifisert ut i fra hvor mange biler som ferdes på veiene i løpet av et år. Begrepet som brukes for å beskrive dette er ÅDT (Årsdøgntrafikk), som er totale antall biler i løpet av et år delt på 365.

Tabell 4 Oversikt over driftsklassene [28].

Driftsklasse	ÅDT							
	0	500	1500	3000	5000	10000	15000	20000
Dk A								
Dk B								
Dk C								
Dk D								
Dk E								

Tabell 5 Oversikt over når brøyting og måking skal foretas. Viser også friksjonskrav [28].

Driftsklasse	DkA	DkB	DkC	DkD	DkE
Godkjente kjøreforhold	Bar (våt/tørr) Veg-oppmerking inkl. kantlinje skal være synlig	Bar (våt/tørr) Hardt og jevnt snø- og isdekke med maks 1 cm løst snø tillatt utenom spor i begrenset tidsrom	Bar (våt/tørr) i mild periode med temperatur rundt 0 grader. Hardt og jevnt snø- og isdekke med maks 2 cm løst snø i kald periode	Hardt og jevnt snø- og isdekke med maks 2 cm løst snø	Hardt og jevnt snø- og isdekke med maks 2 cm løst snø
Metode	Salting*	Salting*	Sand**	Sand	Sand
Brøyting innen	1,5	2	2,5	3	3
Friksjonskrav	$\mu > 0,25$	$\mu > 0,25$	$\mu > 0,23$	$\mu > 0,20$	$\mu > 0,15$
Startstrøing	1,5 timer	2 timer	3 timer	4 timer	4 timer
Gjenoppretting	2 timer***	2,5 timer	3 timer	4 timer	4 timer

*I tilfeller hvor det er for kaldt til å bruke salt kan det brukes sand

** for å opprettholde bar veg er det tillatt å bruke salt, men skal ikke brukes ved temperaturer lavere enn -3 grader.

*** Gjelder kun for veier der ÅDT >8000. I tilfeller under dette skal det være bare veier innen 3,5 timer.

Friksjonstiltakene som blir foretatt vinterstid er brøyting, høvling, sanding og salting. Nedenfor kan en se en oversikt over de forskjellige metodene som blir brukt

Sand

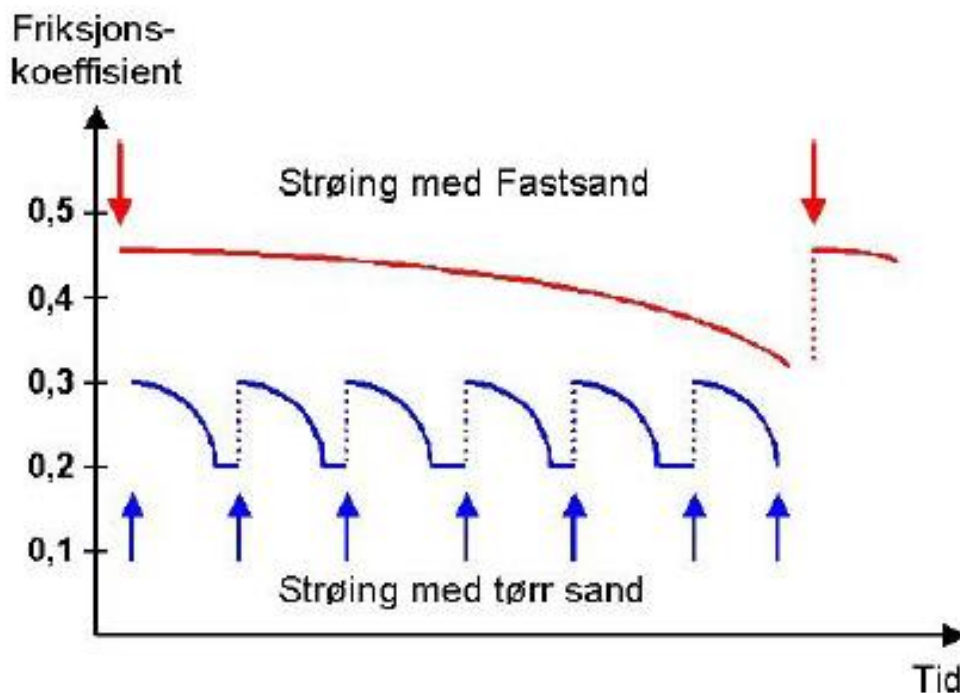
Ved bruk av sanding er det satt et minimumskrav til sandmengde på 200 g/m^2 uavhengig av hvilken metode som blir brukt. Det finnes tre forskjellige metoder som blir brukt i Norge, tørrsand, saltblandet og fastsands-metoden.

Tørrsandsmetoden

Sand uten tilsatt fuktighet blir strødd på veien. Har sine ulemper ved at sanden kan bli «blåst» bort av biler og har ikke godt feste til underlaget. Det stilles også strengere krav til oppbevaringen av sanden, da den kan fryse fast ved høy fuktighet. For å forhindre dette blir det noen ganger tilsatt salt i sanden, $30\text{-}50 \text{ kg sand/m}^3$, da kalles det saltblandet sand.

Fastsand

Fast sand er et effektivt tiltak for å øke friksjonen og det sies å øke friksjonen med om lag $0,2-0,3\mu$. Metoden går ut på å fukte strøsand med oppvarmet vann før den blir strødd ut på veien. På denne måten vil sanden fryse fast til bakken. Temperaturen på vannet skal være ca. $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ og andelen vann skal være 30 %. Varigheten til fastsand er betraktelig høyere enn for vanlig sand, som vist i figur 12.



Figur 12 Viser effekten av fastsand mot tørrsand [25].

Salting

Hovedoppgaven til saltet er å holde veien fri for is, det gjør den ved å senke frysetemperaturen til vannet slik at isen går tilbake til flytende form. I Norge brukes det noen forskjellige saltningsmetoder og det er satt krav til når de forskjellige metodene kan brukes. En oversikt kan sees i tabell 6.

- **Tørr-salt**
 - Natriumklorid uten tilsatt fuktighet. Er avhengig av å være i kontakt med vann for å ha virkning. Har samme problem som tørr-sand, blir gjerne blåst bort.
- **Saltslurry**
 - Sand blandet med en saltløsning. Raske og effektiv virkningsgrad.
- **Saltløsning**
 - Vann mettet med salt, noe som tilsvarer ca. 22-24 % salt. Den gir en umiddelbar effekt og har et mindre totalforbruk enn både saltslurry og tørr-salt. Løsningen er ikke optimal for våte flater og tykk is/snø da det kan være fare for tilfrysing.

- **Befuktet salt**

- Salt som blir befuktet med en saltløsning for å øke vedhefte mellom saltet og asfalten. Kan brukes i de fleste sammenhenger, men brukes for det meste for å forhindre isdannelse på veggen.

Tabellen nedenfor viser hvor de forskjellige metodene kan brukes

Tabell 6 Oversikt over saltingsprosedyrer [29].

	Vær- og føreforhold	Metode
Preventiv salting <i>før</i> : <ul style="list-style-type: none"> • rimfrost • underkjølt regn • regn på frossen vegbane • snøvær 	Tørr og fuktig, bar veg	Befuktet salt
		Saltslurry
		Saltløsning
	Våt/bar veg	Tørt salt
		Befuktet salt
		Saltslurry
Salting på is eller snø	Rimfrost/tynn is	Befuktet salt
		Saltslurry
		Saltløsning
	Tykk is	Befuktet salt
	Under snøvær	Tørt salt

2.3 Lastebilspesifikasjoner

Lastebil har i all hovedsak til formål å transportere varer, og i Norge kan vi klassifisere lastebilen inn i to forskjellige klasser, lett lastebil N2 og tunglastebil N3 [30], hvor lett lastebil har en maksimal totalvekt på mellom 3500-7500 kg og tung lastebil har en tillatt totalvekt på over 7500 kg. I tungbilklassen kan bilen klassifiseres i to hovedgrupper, vanlig lastebil som har eget lasteplan for oppbevaring av gods og trekk bil som brukes til å trekke annet kjøretøy, som for eksempel en semitrailer. Lastebilens totale tillatte vekt blir begrenset av den maksimale belastningen underlaget tåler. I Norge klassifiseres vegnettverket i antall tonn pr. aksel, en bruksklasse 10 (Bk10) vei vil kunne maksimalt ha en belastning på 10 tonn pr aksel, med en maksimal total last på 50 tonn på bk10 vei. Drivende aksel kan ha en belastning på 11.5 tonn. Tabell 7 gir en oversikt over de tillatte belastningene [31].

Ved bruk av boggi eller trippelboggi skal lasten fordeles slik at lasten pr. aksel ikke overskrider maksimalkravet, med unntak av kjøretøy med tvillingmonterte hjul, se tabell 7. Vinterstid, når telen har satt seg, er det noen Bk8 veier som blir oppgradert til Bk10 veier. Dette er som oftest fjelloverganger [32].

Tabell 7 oversikt over boggi avstand. Tabell og forklarende tekst er hentet fra [31].

Aksel/akselkombinasjon	Akselavstand i m	Tonn			
		Bk 10	BkT8	Bk 8	Bk 6
Aksellast (frirullende hjul)		10	8	8	6
Aksellast drivaksel		11,5 ¹⁾	8	8	6
Last fra to aksler	1,30 - 1,79 (boggi)	18 ^{1) 2)}	14	12	9
	1,20 - 1,29 (boggi)	16	12	12	9
	0,80 - 1,19	15	11,5	11,5	8,5
	Under 0,80	10	8	8	6
Trippelboggi	1,30 - 1,80 ³⁾	24	19	16	12
	1,00 - 1,29 ⁴⁾	22	18	16	12
	Under 1,00 ⁴⁾	16	12	12	9

- 1) 11,5 tonn bare på en drivaksel.
- 2) 19 tonn på motorvogn når drivakselen har tvillingmonterte hjul og luftfjæring eller tilsvarende fjæring i h.h.t R.dir 96/53/EF, eller når hver drivaksel har tvillingmonterte hjul og ingen av akslene overskrider 9,5 tonn.
- 3) Begge avstander.
- 4) En eller begge avstander.

Det er også satt krav til bredde og lengde på lastebilene som ferdes i Norge. Lengdekravet på kjøretøyet kommer fra kravet til svingradius ved de forskjellige akselavstandene. I Norge er det tillatt med modul vogntog og de har en maksimal lengde på 25,25 m og en tillatt totalvekt på inntil 60 tonn [31]. Tabellen nedenfor viser oversikten over tillatt akselavstand på de forskjellige veiene.

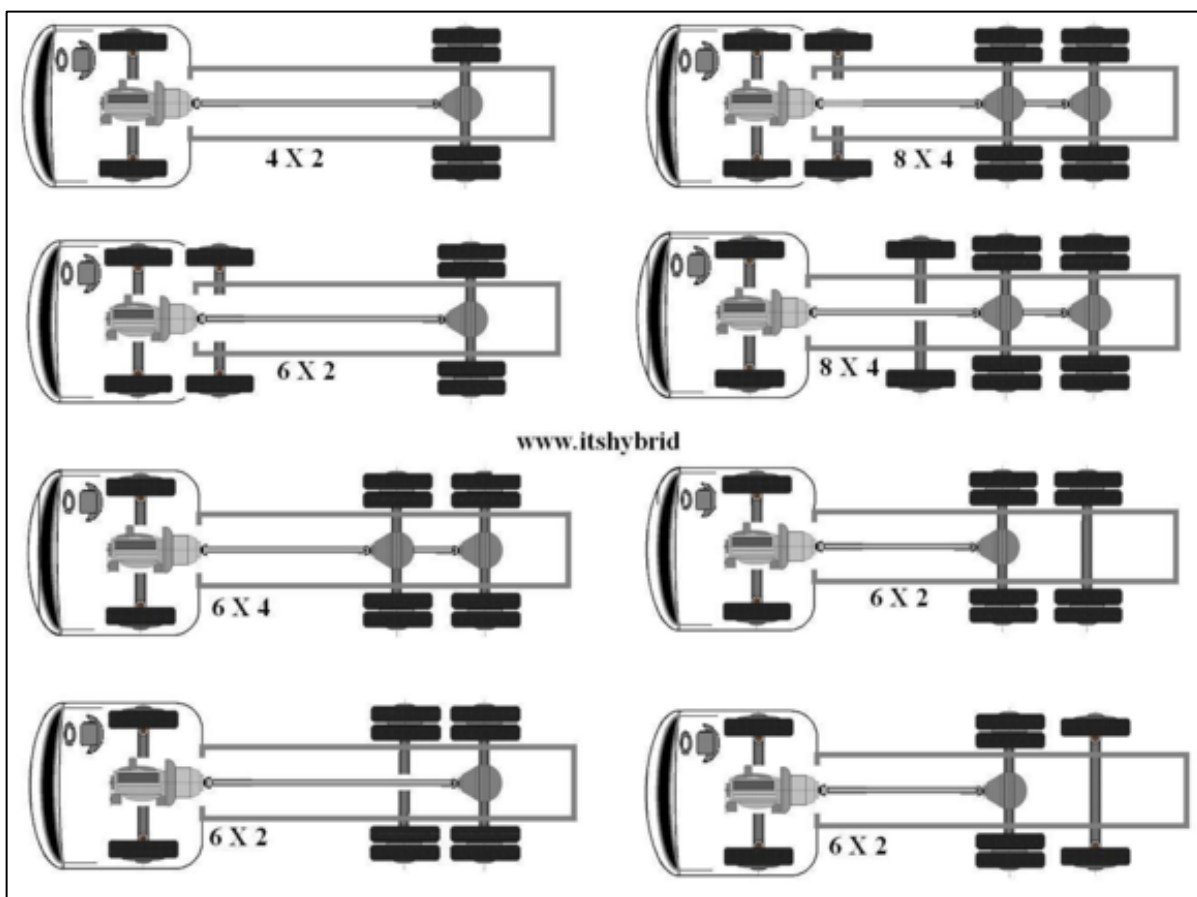
Tabell 8 Oversikt over akselavstander. tabell og forklarende tekst er hentet fra [31].

Kjøretøy-/ vogntogtype	Tillatt lengde i meter		
	19,50 m-veger	15 m-veger	12,40 m-veger
Motorvogn, unntatt buss	12	12	12
Tilhenger, unntatt semitrailer og slepvogn til bruk i 22 m tømmervogntog	12	12	12
Motorvogn med slepvogn eller påhengsvogn	19,50	15	12,40
Motorvogn med semitrailer	17,50	15	12,40
Buss med 2 aksler ³⁾	13,50 ^{1) 2)}	13,50 ^{1) 2)}	12,40
Buss med 3 aksler eller flere ³⁾	15 ¹⁾	15 ¹⁾	12,40
Leddbuss ³⁾	18,75	15	12,40
Buss med slepvogn eller påhengsvogn	18,75	15	12,40

- 1) 12,40 m for buss som er innrettet for kombinert transport av personer og gods ut over bagasje og som ikke innehar nasjonalt eller internasjonalt ruteløyve.
- 2) For buss registrert før 9. mars 2004 er tillatt lengde 15 m. Dette gjelder til 1. januar 2021.
- 3) Når buss registrert fra og med 9. mars 2004 står stille skal et vertikalt plan som tangerer kjøretøyet side (på den siden av kjøretøyet som vender ut fra sirkelen) og den ytterste sirkelradien, defineres ved å merke opp en linje på bakken. For leddbuss skal begge de to stive seksjonene plasseres parallelt med planet. Når kjøretøyet så kjører inn i sirkelen (nevnt nedenfor), må ingen del av kjøretøyet gå utenfor dette plan med mer enn 0,60 m.

For kjøretøy uten spesialtillatelse er det satt en maksimal kjøretøysbredde på 2,55 m med et unntak av lastebiler med skappåbygg og kjøretøy som automatisk temperaturregulering, da er det lov med en bredde på 2,6 m. Videre er det krav om en maksimal høyde på 4 m. For nøyere inspeksjon av tillatte aksellaster og lengder anbefales det å se nærmere på vegvesenets riksvegs oversikt og forskrifter om bruk av kjøretøy [31].

Lastebilen har mange bruksområder, alt fra tømmerbiler som skal komme seg frem på gjørmete skogsveier og til mindre lastebiler som benyttes til bykjøring, og av den grunn finnes det flere forskjellige drivverks alternativer for å optimalisere håndtering av bilen på gitte kjøreforhold. Biler blir ofte beskrevet etter hvor mange hjul og hvor mange drivende hjul de har og defineres på måten AxB, hvor A er total antall hjul og B er antall drivende hjul. Tvillinghjul sees på som et hjul. Nedenfor er en oversikt over noen drivverksalternativer. Alle drivverksalternativer har sine positive og negative sider, et 4x2 system har sine fordeler med lavere rullemotstand og mulig bedre svingradius, mens et 6x4 system gir en bedre fremkommelighet i dårligere kjøreforhold da det har flere drivende aksler.



Figur 13 Oversikt over noen drivverks-konfigurasjoner [33].

2.4 Dekk og kjetting bestemmelser

I forskriften for bruk av kjøretøy står det følgende [34]:

«Kjøretøy må ikke brukes uten at det er sikret tilstrekkelig veigrep i forhold til føret, om nødvendig ved bruk av vinterdekk med eller uten pigger, kjetting eller liknende»[34, paragraf 2]

I tillegg til dette det satt krav til bruk av vinterdekk i perioden 15. november og til og med 31. mars. Det skal være vinterdekk på alle aksler både på tilhenger og kjøretøy, og dekk skal være merket med M+S, MS, M&S, M-S (Mud and Snow) eller 3PMSF (3 peak mountain snow flake). Vinterdekkene skal også være særskilt fremstilt for vinterkjøring.

Mønsterdybde og kjettingbruk:

På kjøretøy med en tillatt totalvekt over 3500 kg er det også krav til mønsterdybde på minst 5 mm i visse perioder av året og i samme periode skal det medbringes kjettinger som er tilpasset kjøretøyets hjul. Kravet gjelder i perioden:

Midt og Sør-Norge: 15.november til mandag etter 2.påskedag.

Nordland, Troms og Finnmark: 16.oktober – 30.april.

Utenfor denne perioden skal det medbringes kjetting hvis det forventes kjøring på offentlig vei med snø eller is.

I perioden nevnt ovenfor skal det medbringes minst tre kjettinger. En for framaksel og to for drivende aksel.

På kjøretøy med tilhenger skal det medbringes minst syv kjettinger. En for framaksel, fire for kjøretøyets boggiaksel og to for tilhengerens hjul. I det tilfellet kjøretøyet har enkelthjul på drivaksel eller bruker dobbelkjetting er det tilstrekkelig med 5 kjettinger totalt.

Automatiske kjettingsystemer som Onspot vil kunne erstatte to kjettinger hvis drivhjulet er montert med tvillinghjul.

Krav til kjetting:

Materialet på kjettingen skal være metall/stål og kjettingen skal tåle de belastningene som kan forekomme på vinterføre. Når kjettingen er montert skal det alltid være kontakt mellom underlag og kjetting. Videre krav og prøvingsmetoder av kjetting er fastsatt i standard NS5960:2010 [35].

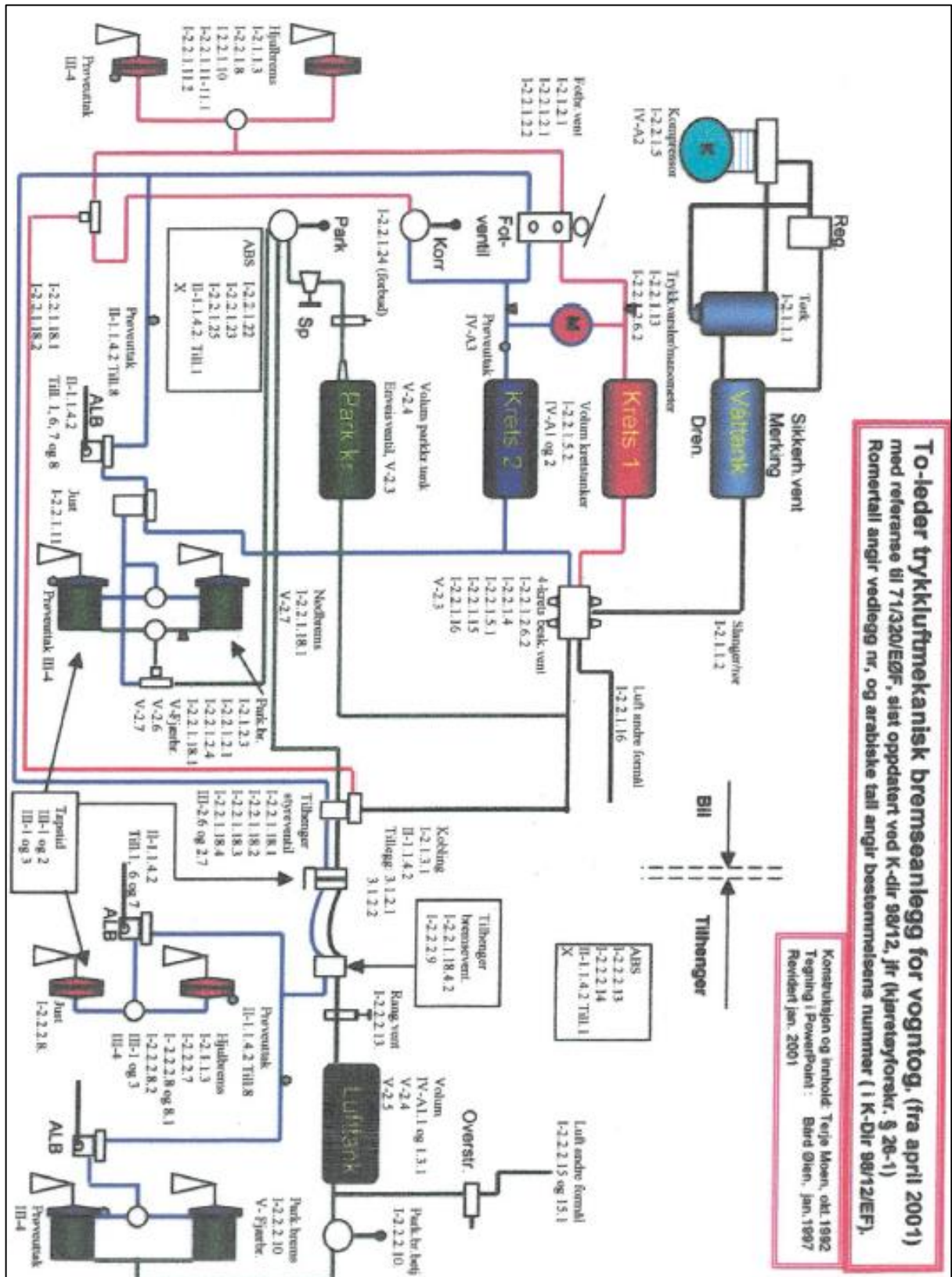
3. MODERNE BREMSYSTEM

I dette kapitlet skal vi ta for oss lastebilens bremsesystem, fra det grunnleggende systemet og helt frem til dagens moderne elektroniske bremsesystem (EBS). For å forstå et moderne EBS-system er det en forutsetning at man forstår det grunnleggende trykkluftmekaniske bremsesystemet.

Personbiler i dag bruker som oftest hydraulikk som kraftoverføringsmiddel for å aktivere bremsene, mens på tyngre kjøretøy er det vanlig å bruke pneumatikk som energikilde for å aktivere bremsene. Bremsesystemet blir ofte referert til som trykkluftbaserte systemer og bruker bremsepedalen til å «styre» riktig mengde trykkluft ut til bremsesynderene. Bremskraften er ikke avhengig av førerens muskelkraft, men heller posisjonen av bremsepedalen. Tidligere var systemene 100 % luftstyrte, alt fra bremseaktivering (mateluft) og til bremседosering (styreluft) ble regulert ved hjelp av trykkluft. På nyere lastebiler er det fortsatt luft som blir brukt for bremseaktivering, men reguleringen er blitt erstattet med elektronikk [12].

I noen tilfeller blir det brukt kombinasjoner av trykkluft og hydraulikk. Da er det en trykkluft-hydraulisk bremsekraftforsterker som skiller systemene, og det er selve bremsen som er hydraulisk, mens resten av systemet er trykkluftbasert. Disse systemene blir som oftest brukt på mindre varebiler og tunge anleggsmaskiner [1, s 47].

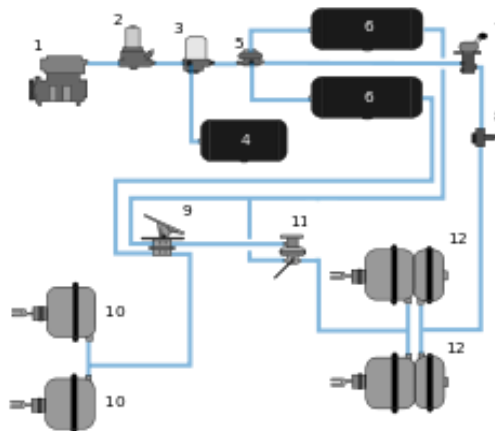
Det er satt krav fra EØS og myndighetene om hvordan et bremsesystem skal fungere, og hvilke verdier systemet skal holde seg innenfor, som for eksempel retardasjons krav. Kravene kom først i 1971 og det har kommet flere endringer siden da. I figur 14 kan en oversikt over bestemmelsene for de forskjellige komponentene i et bremseanlegg sees [30].



Figur 14 Oversikt over bestemmelser for de forskjellige komponenter [36].

Skjematisk fremstilling av bremsesystemet:

- 1 Kompressor
- 2 Trykkreduksjonsventil
- 3 Lufttørker
- 4 Lufttørker tank
- 5 Firekretsbeskyttelsesventil
- 6 Kretstanker
- 7 Parkbremsventil
- 8 Sperreventil
- 9 Fotbremsventil
- 10 Bremskløkke
- 11 Lastreguleringsventil
- 12 Bremskløkke m. fjærbrem



Figur 15 Oversikt over et forenklet bremsesystem [8].

Et luftbremssystem kan deles inn i 4 hovedkategorier, Betjeningsinnretninger, overføringssystemer, bremseinnretninger og tilleggs innretninger [1, s17].

Betjeningsinnretninger

Betjeningsinnretninger er de innretningene som brukes for å aktivere bremsesystemet manuelt, som for eksempel bremsepedalen og parkbremsspak.

Tidligere var det mulig å styre bremsetrykket på tilhengeren uavhengig av lastebilens bremses ved hjelp av en korrigeringsbrems. For å unngå overbremsing av hengeren ble det innført en trykkbegrensning på 40 % av maksimal bremsekraft. Etter reglement fra EU er det ikke tillatt å montere slike bremsesystemer på nyere lastebiler, men det finnes en tilsvarende tilhengerbrems som kan aktiveres i hastigheter under 5 km/t [37].

Overføringssystemer

Overføringssystemer er systemet som overfører trykket fra bremsepedalen og til bremseinnretningen på hjulet og det er satt sammen av rør, ventiler, slanger og elektroniske komponenter.

Bremseinnretninger

Bremseinnretninger er innretninger som aktivt sørger for retardasjon av hjulet og det finnes primært to forskjellige systemer.

- Trommelbrems
- Skivebrems

Tilleggsbremseinnretninger

I tillegg til bremseinnretningene som påvirker hjulet direkte, finnes det systemet som jobber passivt med å redusere hastigheten.

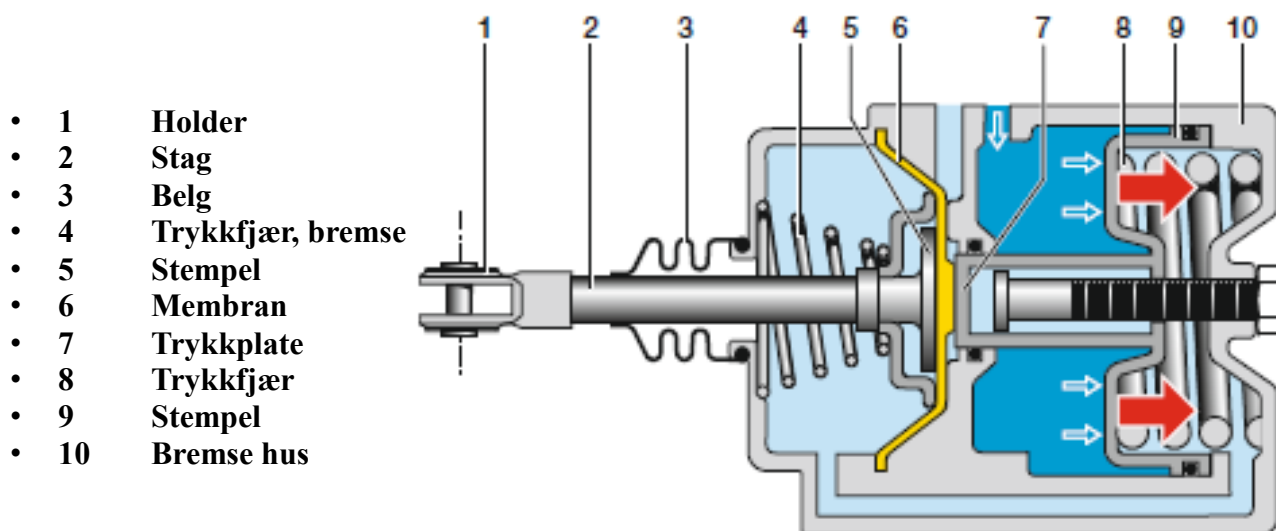
- Motorbrems
- Hydraulisk retarder
- Elektrisk retarder

3.1 Bremseinnretninger

Hjulbremsen kommer i hovedsak i to forskjellige versjoner, trommelbrems og skivebrems. Selv om skivebremsen har tatt over majoriteten av markedet vil det fortsatt være tilfeller hvor trommelbrems er å foretrekke, som for eksempel på anleggskjøretøy.

Aktivering [2, s239]

Bremser på tyngre kjøretøy blir aktivert ved hjelp av en bremtesynder (bremseklokke). Bremseklokkens oppgave er å omgjøre energien i trykkluften til mekanisk energi. Figur 16 viser oppbygningen av en bremseklokke med mekanisk fjærbrems (brukes til parkbrems).



Figur 16 Bremseklokkens oppbygning [2, s 239]

Trommelbrems [1, 19]

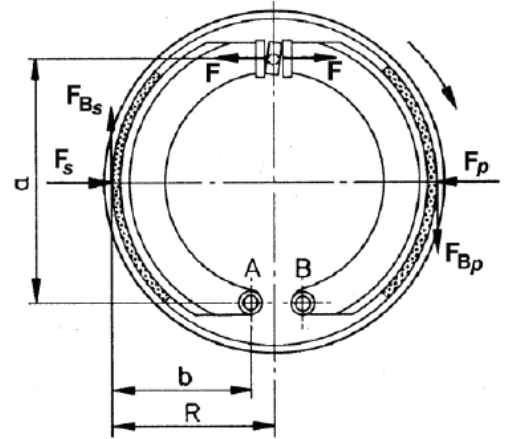
Det finnes flere forskjellige typer trommelbrems, men alle utnytter det samme prinsippet med ekspanderende bremsesko på innsiden av en trommel. Fordelen med trommelbremsen er at den har en selvpåtrekksmekanisme som gjør at den ene bremseskoen vil påføre en større kraft enn den andre. Dette kan forklares med en forenklet momentberegningen vist nedenfor:

Venstre sko (sekundær sko)

$$F_s \cdot \frac{a}{2} + \mu \cdot F_s \cdot b - F \cdot a = 0 \Rightarrow F_s = \frac{F \cdot a}{\frac{a}{2} + \mu \cdot b} \quad (3.1)$$

Høyre sko (primær sko)

$$F_p \cdot \frac{a}{2} - \mu \cdot F_p \cdot b - F \cdot a = 0 \Rightarrow F_p = \frac{F \cdot a}{\frac{a}{2} - \mu \cdot b} \quad (3.2)$$



Figur 17 Illustrasjon av trommelbrems [1].

Som en kan se så vil høyre bremsesko få en større bremskraft ved rotasjon mot høyre. Diagrammet nedenfor kan en se en oversikt over selvpådragsevnen til de forskjellige bremsevariasjonene

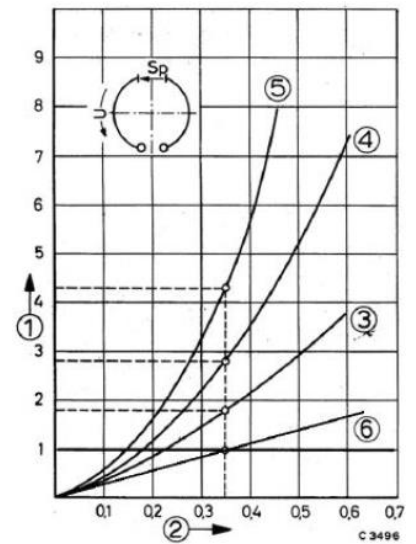
- 1 Bremsfaktor (C^*)
- 2 Friksjonskoeffisient
- 3 Simpleks brems
- 4 Dupleks brems
- 5 Servo dupleks brems
- 6 Skivebrems

Bremsefaktoren angir forholdet mellom den totale bremskraften og presskraften fra stempellet og kan settes opp slik:

$$C^* = \frac{F_{tot}}{F_{stempel}} \quad (3.3)$$

F_{tot} : Den totale bremskraften

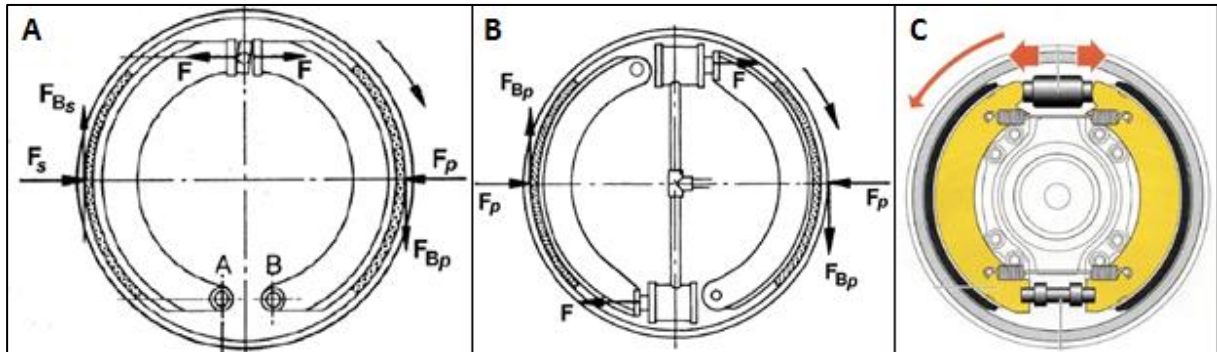
$F_{stempel}$: Presskraften fra stempellet.



Figur 18 Virkningsgrad av de forskjellige bremsene [1].

Trommelbremsen kan deles inn etter hvordan bremsekoene er opplagret og hvordan kraftoverføringen mellom bremseylinderen skjer.

Opplagring



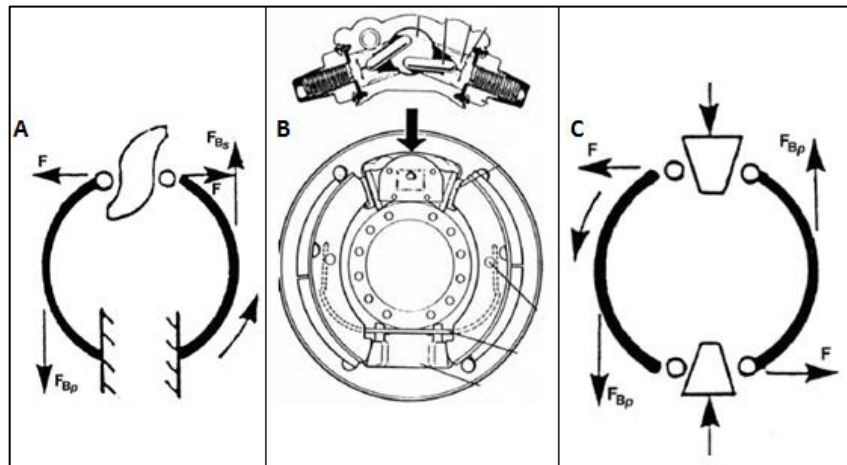
Figur 19 Viser tre forskjellig opplagringsmetoder. A simpleks, B Dupleks og C dupleks med servo [1].

- Simpleks (A)
 - Har et dobbeltvirkende stempel i topp som påfører likt trykk på begge bremsekoene og er opplagret nede.
 - Har liten selvpåtreksevne.
 - Fungerer like godt revers.

- Dupleks (B)
 - Har to stempler, en for hver bremseko og på grunn av opplagringen vil begge oppføre seg som primærsko og vil gi stor bremsekraft.
 - I revers blir begge sekundær sko.

- Dupleks med servo (C)
 - Har et dobbeltvirkende stempel i topp og flytende opplagring av bremsekoene nederst, noe som gir mulighet for bevegelse sidelengs.
 - Primærskoen vil overføre noe av selvpåtrekket over på sekundærskoen på grunn av opplagringen nederst.
 - Denne opplagringen brukes ikke på kjøretøy med trykkluftbremses [1, s 27].

Kraftoverføring



Figur 20 Illustrasjon forskjellige aktiveringsmetoder [1].

- S – kam brems (A)
 - Mest brukte kraftoverføringsmekanismen.
 - Bremsen blir aktivert ved å vri på S- kammen.
- Z – kam brems (B)
 - Likt prinsipp som med S-kammen.
 - Brukt av Volvo.
 - Gir en jevnere trykkfordeling.
- Kilebrens (C)
 - Bruker «kiler» til å presse bremseskoene fra hverandre.
 - Kan sees på som en dobbel dupleks brems og vil ha selvpåtrekk i begge retninger.

Fordeler

- Beskyttet mot søle og urenheter som kan redusere friksjonen og redusere levetiden på bremsene.
- Trommelbremsen vil alltid ha en viss grad av selvpådrag, noe som fører til at en trenger et lavere bremsetrykk fra bremseklokken.

Ulemper

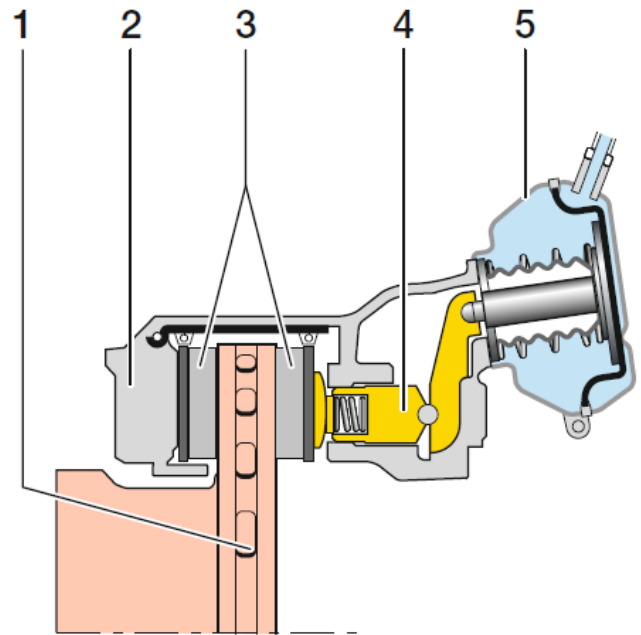
- På grunn av dårlig ventilasjon vil det ved lav fart ta lenger tid før bremsen kjøler seg ned. Dette medfører at bremsetrommelen utvider seg og avstanden mellom bremseskoene og trommelen øker, noe som betyr større pedalvandring og mindre bremsekraft.
- Vanskeligere å rengjøre og inspisere.

Skivebrems [1, s 47]

Skivebremssystemer er noe likt det på en vanlig person bil. Den store forskjellen er at bremsevæsken er erstattet med luft. Videre er det ikke selvpåtrekk (som på trommelbrems) og derfor vil bremsekraften være proporsjonal med bremsetrykket.

Ved aktivering av bremsepedalen vil bremsesylinderen (16) ekspandere og bevege hevarmen(6), noe som igjen fører til at bremseklossene (4) blir presset mot bremsekiven (3). Systemet utnytter arealforskjellen til stempellet og bremsesylinderen til å øke kraften.

- 1 **Bremsekive**
- 2 **Kaliper**
- 3 **Bremseklosser**
- 4 **Stempel**
- 5 **Bremseklokke**



Figur 21 Oversikt over skivebremmens komponenter [2, s.243].

Fordeler

- Åpen løsning med god ventilasjon, enkel å vedlikeholde og inspisere.
- Liten klaring mellom bremsekloss og bremsekive gir rask bremserespons.
- Utvidelse på grunn av varme har ingen påvirkning på bremsevandringen.
- Gunstig for ABS-system på grunn av liten vandring.
- Enkelt å bytte. Hele klossen byttes [38].

Ulemper

- Har ingen selvpåtrekk funksjon, noe som fører til at det kreves større ytre kraft for å oppnå samme bremsekraft. Dette fører også til høyere varmeutvikling som igjen kan føre til «fading»
- Systemet er mer utsatt for ytre elementer som søle. Dette kan føre til en reduksjon i bremsekraft.
- På grunn av kravet til høyt trykk er det nødvendig med større bremseklokker enn på trommelbrems.

3.2 Bremskraft formel

Ved beregning av den resulterende bremskraften ved et gitt bremsetrykk er det flere hensyn som må tas. Nedenfor er det gitt en generell formel som kan brukes for å beregne bremskraften fra både skive og trommelbrems. Det vil bli gitt en forklaring av de forskjellige komponentene og det vil bli gitt et regneeksempel med skivebrems. Formel og beskrivelse er hentet fra [39, s.190-193, 40]. Likning 3.4 viser bremskraften når hjulet står stille. Som en ser så vil C^* ikke ha en innvirkning når hjulet står stille.

Presskraften, stillestående:
$$F_{Brems} = (p_1 - p_2) \cdot A \cdot \eta_m \cdot \rho \cdot f_a \quad 3.4$$

Presskraften, rotasjon:
$$F_{Brot} = (p_1 - p_2) \cdot A \cdot C^* \cdot \eta_m \cdot \rho \cdot f_a \cdot f_F \quad 3.5$$

- F_{Brems} = Presskraft på bremseklossene
- F_{Brot} = Presskraft på bremseklossene
- p_1 = Bremsetrykk inn til bremseklokken
- p_2 = Mottrykk. Trykket som presser bremseklokken tilbake.
- A = Flatearealet i bremseklokken
- C^* = Bremsfaktor (relevant for trommelbrems)
- η_m = Mekanisk virkningsgrad
- ρ = Hevarmsfaktor
- f_a = Støtstands-justeringsfaktor
- f_F = Temperaturfaktor

Hevarmsfaktor (ρ)

Hevarmen vil gi en økning i kraften fra bremseklokken og ut til kaliperen. Hevarmsfaktoren på trommel og skivebrems vil variere mellom forskjellige brems og er gitt i formlene nedenfor:

For S-kam og kilebrems kan ratioen finnes ved hjelp av følgende formel:

S-kam brems:
$$\rho = \frac{l_s}{2 \cdot l_c} \quad 3.6$$

Kilebrems:
$$\rho = \frac{1}{2 \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad 3.7$$

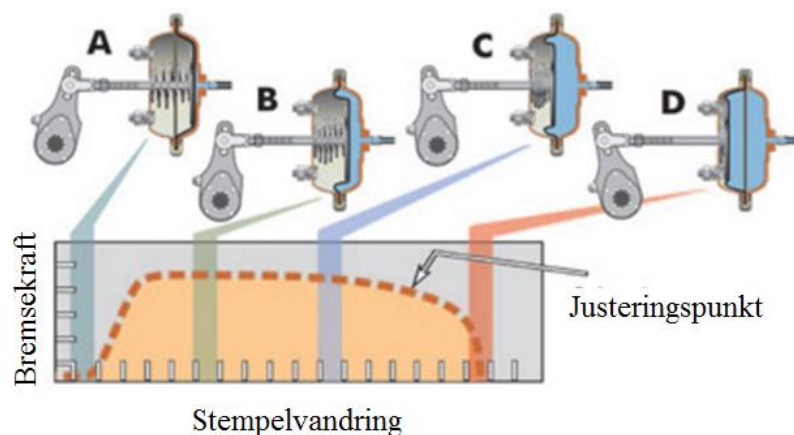
Hvor l_c er effektive kam-radius i cm (standard S-kam brems bruker 1,27cm radius) og l_s er den effektive lengden på hevarmen.

For kilebremsen er α gitt som vinkelen på kilen. Vinkelen varierer vanligvis mellom 10-18 grader med en stigning på 2 grader.

For skivebrems er faktoren gitt som en funksjon av den spesifikke bremsen (hevarmslengden) sammen med selvjusteringsmekanismen. For Haldex-bremsen HB 22, er faktoren 15,8 [41]. Faktoren vil nok variere mellom forskjellige bremsedesign. I eksempelet gis det en forklaring på hvordan faktoren antas beregnet.

Støtstangs-justeringsfaktor

Kraften fra bremsesklokken vil variere med posisjonen til selvjusteringsmekanismen. Hvor stor støtstangsvandring som er tillatt varierer fra bremsesklokke til bremsesklokke, men så lenge vandringen er innenfor gitte krav så vil faktoren ligge på rundt 0,9.



Figur 22 Illustrasjon av bremskraft endringen på grunn av selvjusteringsmekanismens posisjon [42]

Temperatur-faktor

Ved store temperaturøkninger i bremsebelegget vil friksjonskoeffisienten synke på grunn av «fading» og dette fører til en reduksjon i bremskraft. Faktoren tar hensyn til reduksjonen i friksjonskoeffisienten og derav bremsefaktoren. Faktoren er mer avgjørende på trommelbremses og kan ofte sees bort i fra på skivebremses ved bremsing over kortere distanser.

Temperaturfaktoren for S-kam bremses er gitt av formelen:

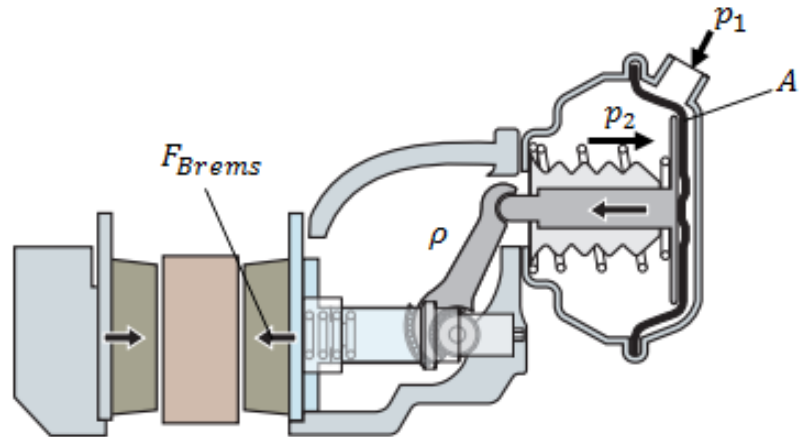
$$\begin{aligned} \text{For } T \leq 366 \text{ K} & \quad f_F = 1 \\ \text{For } T \geq 366 \text{ K} & \quad f_F = 1 - 0.00058 \cdot T \end{aligned} \quad 3.8$$

For å illustrere hvordan formelen kan brukes blir det satt opp et scenario som er beskrevet nedenfor:

En to akslet lastebil med et pneumatisk bremsesystem, uten ABS, bremses på et tørt underlag med $\mu_{\text{underlag}} = 0,6$. Kjøretøyet har en totalvekt på 15 tonn og det antas at vekten distribueres likt på begge aksler. Under kraftig bremsing vil 2/3 av lasten bli overført til framakselen. Bremsesystemet har et maksimalt bremsetrykk på $p_1 = 0,6 \text{ MPa}$. Bremsesklokken er utstyrt med en returfjær som gir et mottrykk på $p_2 = 0,06 \text{ MPa}$. Hjulet har en radius $R_{\text{Hjul}} = 0,5 \text{ m}$ og skivebremsen har en effektiv radius $r_{\text{skive}} = 0,173 \text{ m}$ og bremseklossene har en friksjonskoeffisient $\mu_{\text{brems}} = 0,4$. Det antas at temperaturen i bremsebelegget ikke overstiger $366 \text{ }^\circ\text{K}$ og vi kan derfor se bort ifra temperaturfaktoren.

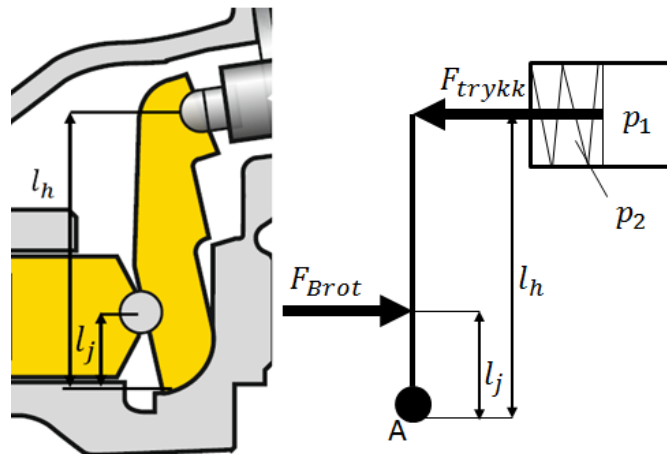
- Vil framhjulene låse seg ved kraftig nedbremsing?
- For å unngå at hjulene låser seg, hva vil det tillatte bremsetrykket være?

- $A = 20\,000\text{ mm}^2$
- $\eta_m = 0,8$
- $\rho = 15,8$
- $f_a = 0,9$



Figur 23 Viser oppbygningen av en skivebremse[41]

a)



- l_h : Effektiv hevarmslengde til et tenkt opplagerpunkt
- l_j : Effektiv arm for frakten som presser på bremseklossen

$$\rho = \frac{l_h}{l_j}$$

3.9

Beregner F_{Brot} :

$$\Sigma M_A = 0:$$

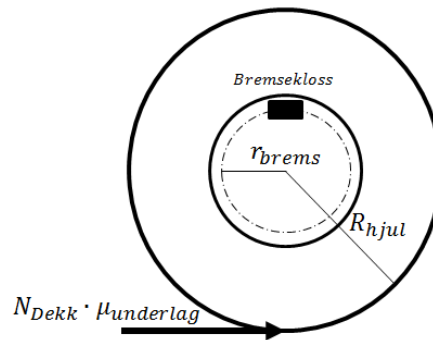
$$-F_{trykk} \cdot l_h - F_{Brot} \cdot l_j = 0$$

$$-(p_1 - p_2) \cdot A \cdot \eta_m \cdot f_a \cdot l_h - F_{Brot} \cdot l_j = 0$$

$$F_{Brot} = \frac{(p_1 - p_2) \cdot A \cdot \eta_m \cdot f_a \cdot l_h}{l_j} \Rightarrow F_{Brot} = (p_1 - p_2) \cdot A \cdot \eta_m \cdot \rho \cdot f_a$$

$$F_{Brot} = (0,6 - 0,1) \cdot 20000 \cdot 0,8 \cdot 15,8 \cdot 0,9 = 122860\text{ N}$$

Henregner bremsekraften ut til hjulet og finner minste tillatte friksjonskoeffisient. Momentlikningen er hentet fra Geir Terjesens bremsekompendiet [19]:



Figur 24 Rekonstruksjon av illustrasjon fra Bremsekompendiet [19].

$$M_{Dekk} = M_{brems}$$

$$N_{dekk} \cdot R_{Hjul} \cdot \mu_{undertag} = 2 \cdot F_{Brot} \cdot r_{brems} \cdot \mu_{brems}$$

$$N_{dekk} = 15\,000 \cdot \frac{2}{3 \cdot 2} \cdot 9,81 = 48050 \text{ N}$$

$$\mu_{undertag} = \frac{2 \cdot F_{Brot} \cdot r_{brems} \cdot \mu_{brems}}{R_{Hjul} \cdot N_{dekk}} = \frac{2 \cdot 122860 \cdot 0,173 \cdot 0,4}{0,5 \cdot 48050}$$

$$\mu_{undertag} = 0,885$$

Hjulet vil låse seg, $\mu_{undertag} > 0,6$

b) Beregner nødvendig bremsetrykk for at hjulet ikke skal låse seg.

$$N_{dekk} \cdot R_{Hjul} \cdot \mu_{undertag} = 2 \cdot F_{Brot} \cdot r_{brems} \cdot \mu_{brems}$$

$$F_{Brot} = \frac{N_{dekk} \cdot R_{Hjul} \cdot \mu_{undertag}}{2 \cdot r_{brems} \cdot \mu_{brems}} = \frac{48050 \cdot 0,5 \cdot 0,6}{2 \cdot 0,173 \cdot 0,4} = 104154,62 \text{ N}$$

Setter inn i formel 3.5 og løser for p_1 :

$$p_1 = \frac{104154,62}{20000 \cdot 0,8 \cdot 15,8 \cdot 0,9} + 0,06$$

$$p_1 = 0,518 \text{ MPa}$$

For å forhindre at bremsen låser seg, så kan ikke trykket overstige 0,518 MPa.

3.3 Betjening og overføringsenheter

Beskrivelsen av komponenter i bremseanlegget er basert på følgende bøker [1, 43, 44]. I det tilfellet hvor annen litteratur er brukt vil det blir referert til.

For at et bremseanlegg skal fungere er det avhengig av komponenter som kobler bremsepedalen og bremsen sammen. Som regel kan overføringsinnretningen deles inn i fire underkategorier:

- **Materkrets**
 - Materkretsen er den kretsen som sørger for at hele systemet har tilstrekkelig med luft til enhver tid.
- **Fram/bak krets**
 - Sørger for at bremsene på fremre og bakre aksel blir aktivert når bremsepedalen aktiveres.
- **Parkeringskrets**
 - Sørger for at bremsene aktiveres når kjøretøyet ikke er i bruk. Bremsen aktiviseres også i det tilfellet hvor systemet mister trykk.

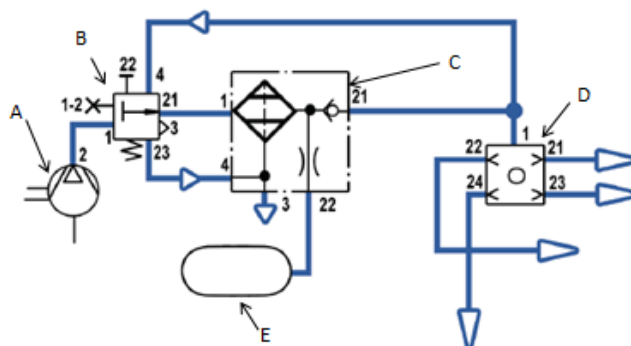
Systemene blir ofte presentert i prinsippkisser hvor det brukes funksjonssymboler for å vise virkemåten til de forskjellige ventilene. Ventilenes inn og utganger er markert med tall som beskriver hvor luften skal, eller har kommet fra.

Tabell 9 Oversikt over symboler [1].

Symbol	Betydning	Forklaring
1	Trykk inn	ved flere innganger merkes det med 1.1, 1.2
2	Trykk ut	ved flere utganger merkes det med 2.1, 2.2
3	Utlufting	ved flere utluftninger merkes det med 3.1, 3.2
4	Styretrykk	Regulering av ventiler
7	Alkohol	Tilførsel av alkohol, frostbeskyttelse
8	Smøring	
9	Kjølemiddel	Kjølevæske
0	Innsug	Innsug til kompressor
6 og 7		6 og 7 blir ikke brukt. Kan brukes til ekstra funksjoner

3.3.1 Materkrets

Materkretsen er bygget opp som vist nedenfor og består av en kompressor (A), trykkregulator (B), lufttørker (C), dreneringstank (E) og en firekrets beskyttelsesventil (D).



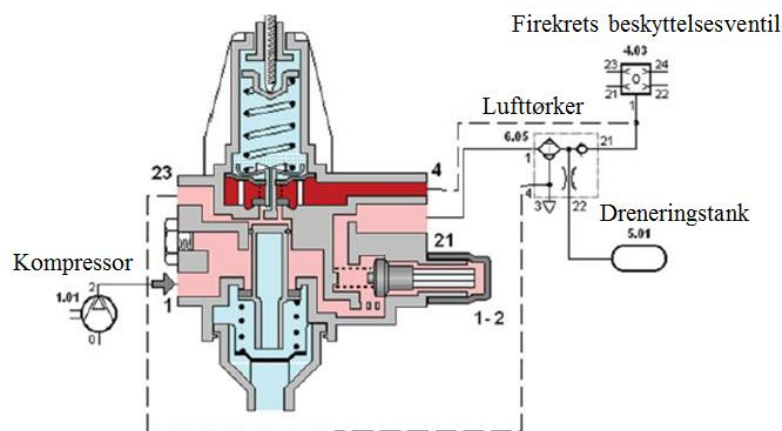
Figur 25 Materkrets i et luftbremsesystem [1].

Kompressor:

Kompressorens oppgave er å sørge for at systemet har tilstrekkelig med luft. Det blir vanligvis brukt en tosylindret kompressor som er tilkoblet motoren via en tannhjulskobling, eller en kilereim. Siden kompressoren er tilkoblet motoren vil den alltid være i drift, men ved hjelp av en avlastningsmekanisme innebygd i kompressoren vil den bare komprimere luft når det trengs.

Trykkregulatoren:

Opgaven til trykkregulatoren er å regulere trykket som kommer fra kompressoren og inn til lufttørkeren og sørger for at trykket ikke overstiger makstrykket for systemet. Trykkregulatoren regulerer avlastningsmekanismen i kompressoren slik at når det maksimale trykket er nådd, slutter kompressoren å komprimere luft. Trykkregulatoren sørger også for at lufttørkeren blir blåst tørr med jevne mellomrom.

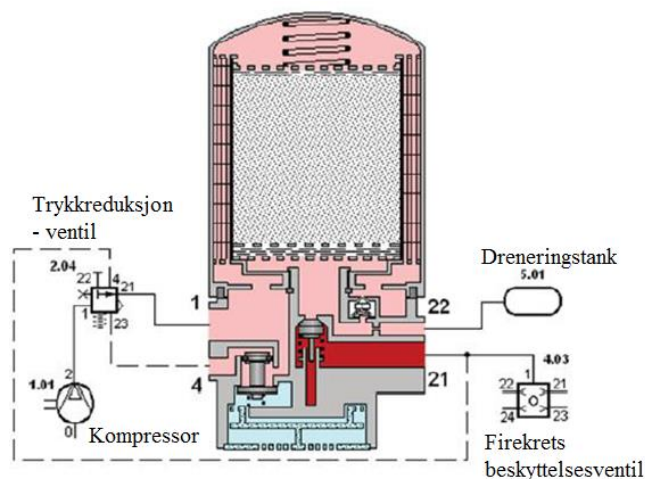


Figur 26 Trykkregulatorens oppbygning med henvisning til tilkoblede komponenter [1].

Lufttørker

Lufttørkerens oppgave er å trekke ut så mye fuktighet og olje fra luften som mulig, da det er lite gunstig å ha fuktighet og olje i luftsystemet. Dette er på grunn av faren for fryste ventiler vinterstid og rust. Pakninger vil også ha betraktelig lengre levetid uten denne eksponeringen.

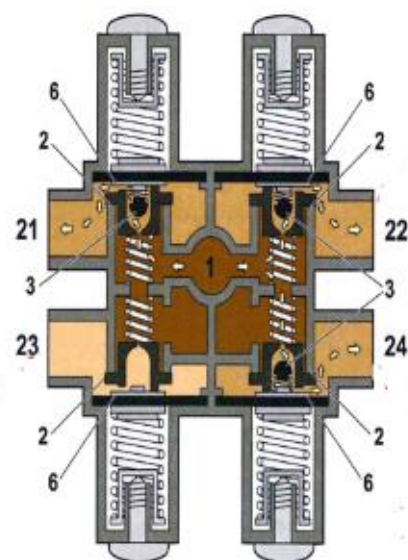
Lufttørkeren fungerer slik at den fører luften gjennom et kammer som er fylt av små porøse kuler som tar til seg fuktigheten i luften og slipper tørr luft ut på andre siden. Tidligere var det vanlig å sprøyte inn alkohol i luften for å senke frysepunktet til luften, men dette er blitt erstattet av lufttørkere. For å forhindre vannansamling i lufttørkeren blir tørr luft blåst motsatt vei gjennom lufttørkeren med jevne mellomrom.



Figur 27 Lufttørkerens oppbygning med henvisning til tilkoblede komponenter [1].

Firekrets beskyttelsesventil

Firekrets beskyttelsesventilen er plassert mellom lufttørkeren og reservoartankene til de forskjellige kretsene. Når luften har blitt tørket i lufttørkeren blir den sendt videre til beskyttelsesventilen som distribuerer luften ut til kretsene, først til fremre og bakre bremsekrets, for så å fylle parkeringskretsen og øvrige systemer som luftfjæring. Når alle kretsene er fylt vil sikkerhetsventilen være i åpen stilling og alle kretsene vil oppføre seg som en stor krets med likt trykk. Når en krets tappes for luft vil alle kretsene oppleve trykkfall. Ved et trykkfall på mer enn 60 % av driftstrykk vil fjæra(3) i driftsventilen til de fire kretsene sørge for at ventilene lukkes. Det er nå fire separate kretser. Ventilen er bygget slik for å beskytte kretsene mot hverandre. Skulle en miste trykk så vil de tre andre kretsene fortsatt være intakt.

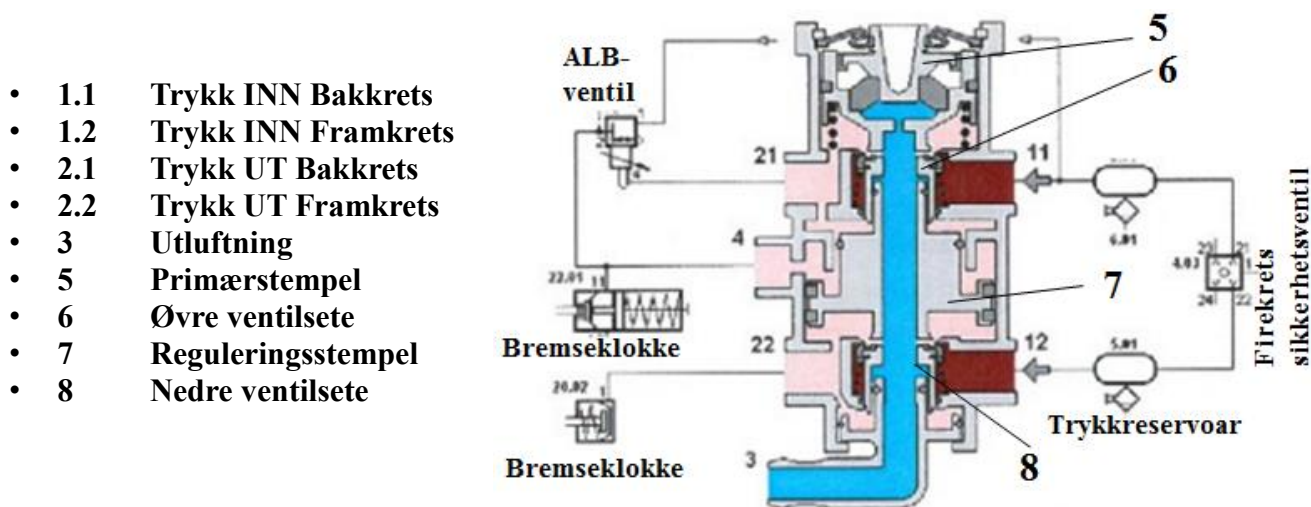


Figur 28 Firekrets beskyttelsesventil med prioritering [1].

3.3.2 Viktige komponenter i bremsesystemet

Fotbremesventilen

Fotbremesventilen har ansvaret for å regulere riktig mengde trykk ut til både fremre og bakre bremsekrets, uavhengig av lasten på kjøretøyet. Det er ønskelig at lik vandring på bremsepedalen gir lik retardasjon, uansett last. For å få til dette blir trykket ut på begge aksler påvirket av en lastregulerende ventil i bakre bremsekrets. Fotbremesen i dette tilfellet mottar et styretrykk fra den lastregulerende ventilen for å regulere trykket ut på framakselen.



Figur 29 Illustrasjon av forbremesventilen med tilhørende komponenter[1]

Virkemåte

Når bremsepedalen aktiveres blir primærstempelet (5) presset ned mot øvre ventilsete (6) som også blir presset ned. Trykkluft fra port 1.1 strømmet nå forbi ventilsete (6) og ut gjennom port 2.1 til relèventilen på ALB-ventilen. Relèventilen åpner for gjennomstrømning til bremseklokkene på bakakselen. Fra ALB-ventilen sendes det også et styretrykk tilbake til fotbremesventilen for å regulere trykket ut på framkretsen. Luften kommer inn gjennom port 4 og presser reguleringsstempelet (7) ned mot nedre ventilsete (8) som også blir presset ned. Luft strømmet nå forbi nedre ventilsete (8) og ut gjennom port 2.2 til bremseklokkene.

Automatisk lastavhengig bremsekraftregulator (ALB-ventil)

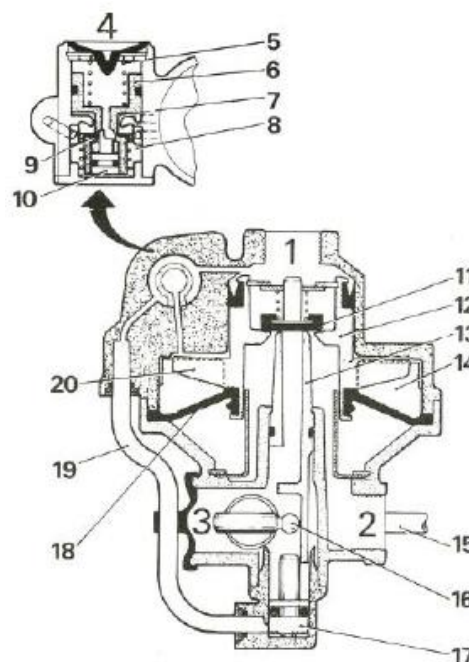
Bremsekraftregulatoren sin oppgave er å regulere trykket fra bremseventilen og ut til bremskløkkene, slik at det blir lik retardasjon, uavhengig av lasten.

Det finnes flere forskjellige varianter av ALB-ventilen, noen som er tilpasset lastebiler med bladfjærer og andre som er tilpasset lastebiler med luftfjæring. Prinsippet er likt for alle typer, men utformingen kan være noe annerledes.

Bremsekraftregulator for biler med bladfjæring

Bremsekraftregulatoren er ofte festet i rammen på lastebilen og er forbundet med fjæringen ved hjelp av en hevarm. Hevarmen registrerer hvor tungt lastet bilen er ut i fra vandringsen til fjæringen.

- 1 Bremsetrykk INN
- 2 Bremsetrykk UT
- 3 Returluft UT
- 4 Grunntrykksventil
- 5 Grunntrykksfjær
- 6 Stempel
- 7 Ventilhus
- 8 Luftkammer
- 9 Ventil
- 10 Stempel
- 11 Ventilsete
- 12/20 Reguleringsstempel 1
- 13 Ventilrør
- 14 Reguleringsstempel 2
- 15 Hevarm
- 16 Reguleringsarm/kule
- 17 Opplagerstempel
- 18 Membran
- 19 Trykklufttrør



Figur 30 Illustrasjon av hvordan en ALB-ventil for bladfjæring er bygget opp [1].

Virkemåte

I denne regulatoren er det montert en grunntrykksventil (4). Dens oppgave er å sørge for raskere aktivering av ALB-ventilen, samt sørge for at det ikke er trykkreduksjon ut på bremsene ved et bremsetrykk lavere enn 0,9 bar.

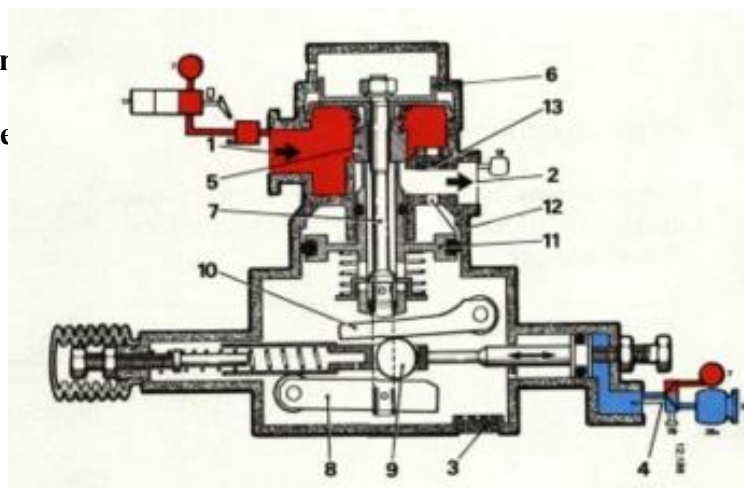
Når bremsepedalen aktiveres strømmes luft inn gjennom port 1 og stempel (12) presses nedover. Samtidig strømmes luft inn på undersiden av opplagerstempelet (17) som igjen presser reguleringskulen (16) oppover for å sikre hevarmen (15) opp mot bladfjæringen. Trykkluftens trykkløften presser så ventilrøret (13) ned på oversiden av reguleringskulen (16). På denne måten blir ventilåpningen ut til bremsene (2) regulert ut i fra hevarmens posisjon.

Bremsekraftregulator for biler med luftfjæring

Bremsekraftregulatorer som er brukt på lastebiler med luftfjæring er koblet opp til luftbelgene på bakre aksel. Det er trykket fra belgene som hjelper med å regulere trykket ut på bremsene, istedenfor en hevarm.

Virkemåte

- 1 **INN Port**
- 2 **UT-Port (Til relèver**
- 3 **Utluftning**
- 4 **Styretrykk fra belge**
- 5 **Ventilsete**
- 6 **Primærstempel**
- 7 **Reguleringsstang**
- 8 **Nedre hevarm**
- 9 **Reguleringsrull**
- 10 **Øvre hevarm**
- 11 **Sekundærstempel**
- 12 **Passasje**
- 13 **Tilbakeslagsventil**

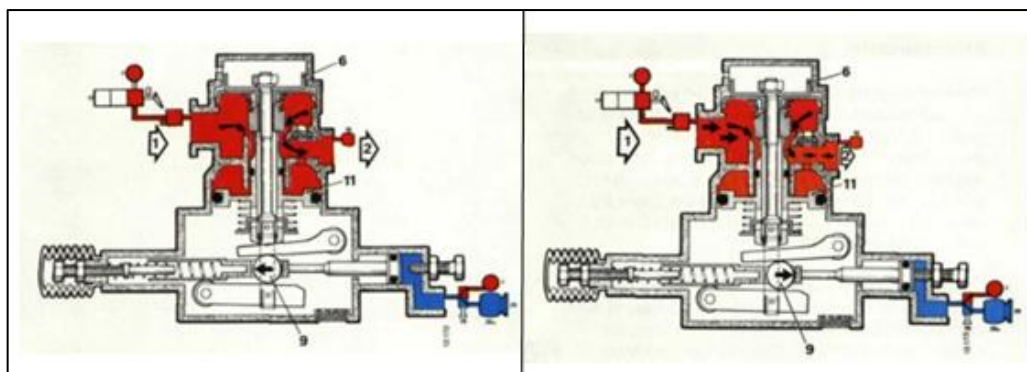


Figur 31 Bremsekraft regulator for biler med luftfjæring [7].

Luft fra belgene kommer inn gjennom port 4 og regulerer posisjonen til rullen (9). Luften fra bremsereservoaret kommer inn gjennom port 1 og ut via port 2 til relèventilen.

Når bremsepedalen aktiveres kommer luften inn via port (1) og presser primærstempelet (6) opp, som igjen åpner ventilsete (5). Luften strømmer nå fra port 1 og ut gjennom port 2 til relèventilen på bakakslingen. Primærstempelet (6) er tilkoblet hevarmen (8) via reguleringsstangen (7). Når primærstempelet (6) blir hevet, løftes hevarmen (8) opp mot reguleringsrullen (9), som igjen blir presset opp mot øvre hevarm (10). Noe av luften ved port 2 passerer passasjen (12) og trykker sekundærstempelet ned mot den øvre hevarmen.

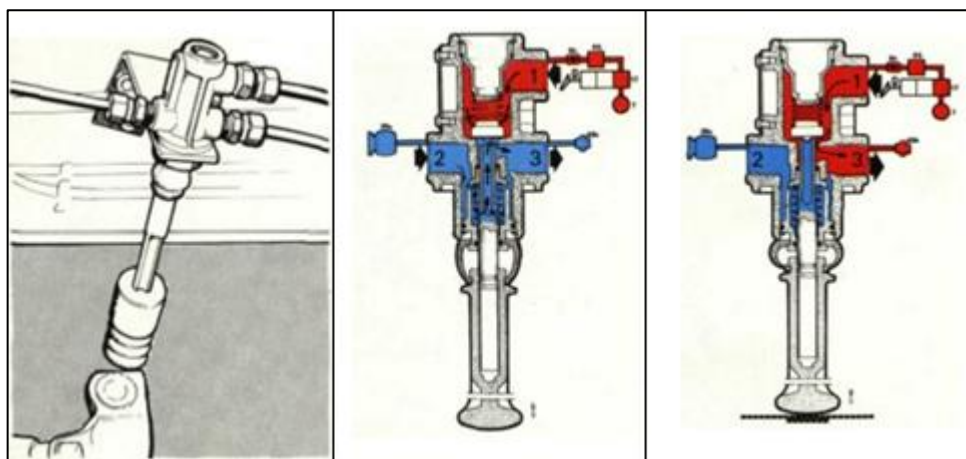
Hevarmene er konstruert slik at momentforholdet mellom de bestemmer hvor stort trykk som blir sendt ut til bremsene. Det er posisjonen til reguleringsrullen (9) som bestemmer dette forholdet og hvilken av armene som skal være dominerende.



Figur 32 Illustrasjon av hvordan kulen vil bevege seg [7].

Ved lavt belgtrykk vil reguleringsrullen (9) være plassert langt mot høyre og sekundærstempelet (11) vil overvinne kreftene fra primærstempelet (6), noe som fører til at passasjen mellom port 1 og 2 blir redusert. Ved høyt belgtrykk vil forholdet være motsatt og primærstempelet (6) vil overvinne sekundærstempelet (11) og føre til et høyere bremsetrykk.

Hvis belgene skulle miste trykk, vil bremsekraften ut på bakre aksel være redusert. For å forhindre at en mister bremsetrykket, er det montert en beskyttelses ventil som dirigerer trykk fra reservoartanken og inn til regulatoren ved et eventuelt trykkfall i belgene.



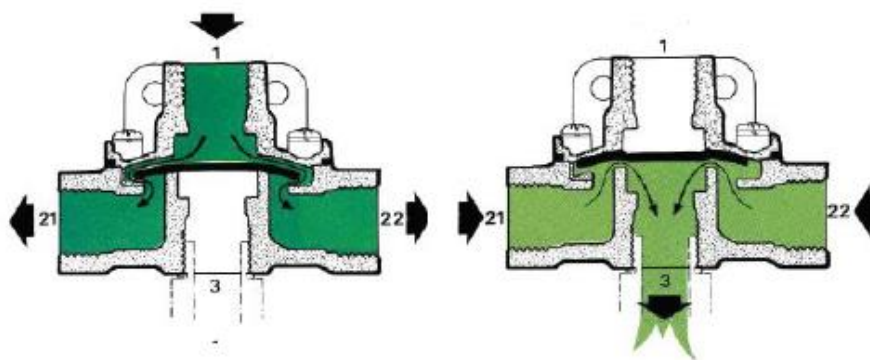
Figur 33 Trykkluft regulator som sikrer trykk i bakre bremsekrets [7].

Hurtigutløserventil

Hurtigutløserventilen sitter som oftest i nærheten av bremseklokkene og har til hensikt å fordele bremsetrykket på en aksel og raskest mulig redusere trykket i bremseklokkene etter endt bremsing. Det er som oftest brukt på framakselen og inkorporert i relèventilen i bakakslingen.

Virkemåte

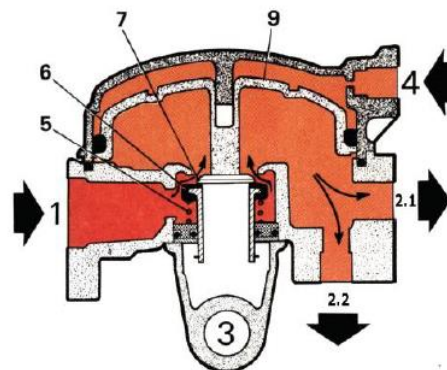
Når bremsen blir aktivert strømmet luft gjennom port 1 og presser membranen ned mot utløpssetet og tetter mot utløp 3. Luften blir sendt videre ut til port 21 og 22 og da videre til bremssylindrene. Når bremsingen opphører vil det være et høyere trykk fra utløp 21 og 22, enn fra innløp 1. Membranen presses opp mot innløp i og luften kan strømme ut port 3.



Figur 34 Funksjonsbile av hvordan hurtigutløserventilen fungerer [1].

Relèventilen

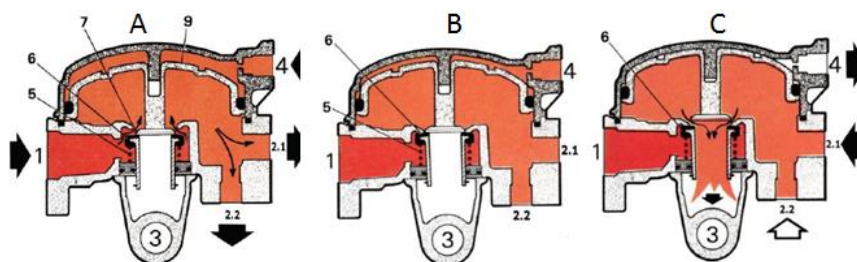
- 1 Trykk INN
- 2 Trykk UT
- 3 Utluftning
- 4 Styringstrykk
- 5 Trykkfjær
- 6 Pakning
- 7 Ventilsete
- 9 Arbeidsstempel



Figur 35 Funksjonsbilde av hvordan relèventilen fungerer [1].

Relèventilens hovedfunksjon er å redusere tiden det tar fra bremsepedalen blir aktivert og til bremsingen begynner, samt operere som en hurtigløsningsventil. Ventilen er ofte plassert så nærme bremseklokken som mulig. Det viser seg at avstanden fra ventilen og bremseklokken har mye å si på trykkoppbyggingen. Hvis en øker avstanden fra ventilen og til bremseklokken fra 1,98 m til 10,7 m vil tiden det tar å bygge opp samme trykk nesten doble seg, mens tiden det tar for luften å nå fram forandrer seg lite [39, s.200]. På lastebiler er det ofte lang avstand fra bremsepedalen og til bakbremsen. Det lønner seg derfor å ha en relèventil på bakre aksel.

Virkemåte

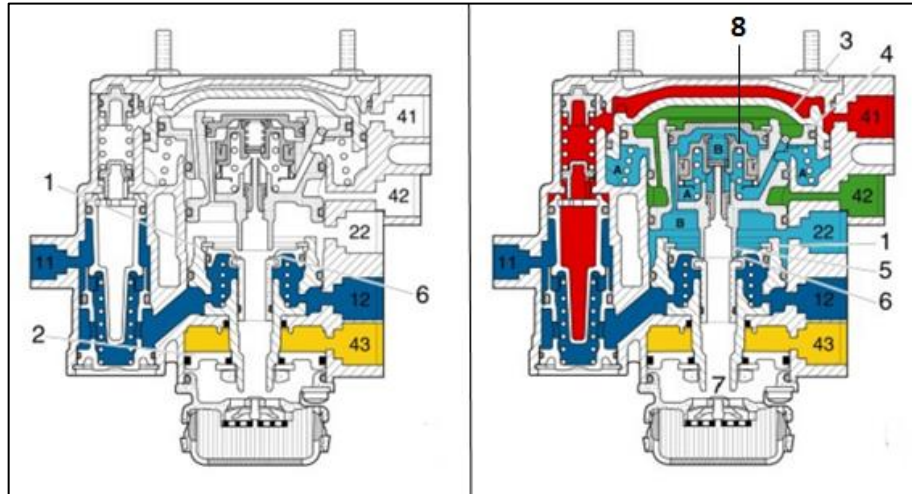


Figur 36 Virkemåten til relèventilen. A) Trykkøkning B) Trykkholding C) Trykkreduksjon [1].

Når bremsepedalen blir aktivert blir det sendt et styretrykk gjennom port 4 som presser arbeidsstempelen (9) ned slik at trykket fra bakkrets reservoaret strømmer inn via port 1. Trykket blir distribuert ut til bremsekretsene via port 2.1 og 2.2. Når bremsetrykket holdes konstant (B) er det like høyt trykk på begge sider av arbeidsstempelen (9) og åpningen til port 3 (utløpet) vil fortsatt være stengt. Når bremsingen er avsluttet vil arbeidsstempelen (9) trekke seg tilbake og luften kan strømme ut av port 3.

Tilhengerbremseventil (Europaventil)

Tilhengerbremseventilen sitt formål er å sørge for at tilhengeren bremses i takt med bremsene på kjøretøyet og er som oftest regulert av bakre krets, men skulle bakre krets falle ut så vil fremre krets ta over. Tilhengerbremseventilen fungerer som en relèventil for styreluften til tilhengeren og sørger for at tilhengeren har tilstrekkelig med trykkluft.

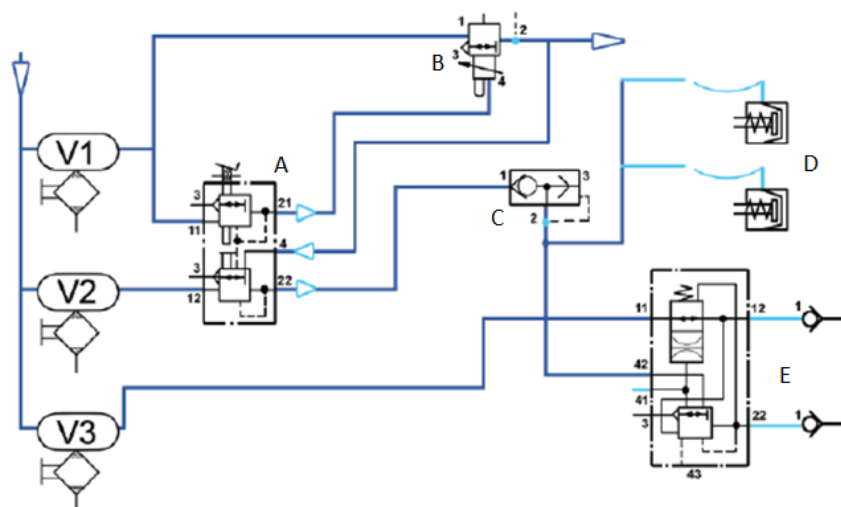


Figur 37 Illustrasjon av tilhengerbremseventilen [45].

Virkemåte

Styretrykket fra bakre bremsekrets kommer inn fra port 4.1 og presser stempel 3 og 4 ned. Ventil 5 stenges og ventil 6 åpner og styretrykk blir sendt ut til tilhengerbremsene gjennom port 2.2. Styretrykket i kammer B presser stempel (8) ned slik at det stenger for utluftning.

3.3.4 Fremre bremsekrets

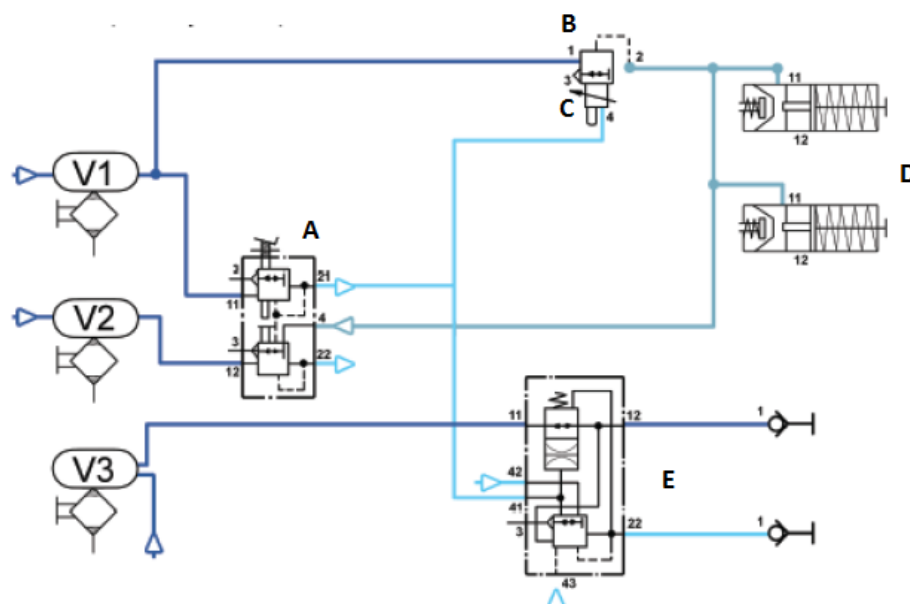


Figur 38 Fremre bremsekrets [1].

Virkemåte

Når føreren aktiverer bremsepedalen strømmes luften fra fotbromsventilen (A) og bort til bremsekraftregulatoren (B) som sender et styretrykk tilbake til fremre bremsekrets i forbromsventilen (A). Det reduserte trykket fra fotbromspedalen går så videre til hurtigutløserventilen (C), for så å bli distribuert ut til begge bremseklokkene i fremre bremsekrets. Når bremsen slippes, returnerer luften fra bremsene tilbake til hurtigutløseren og blir sluppet ut til omgivelsene. Den resterende luften (mellom fotbromsen og hurtigutløserventilen) returnerer til fotbromsventilen og blir sluppet ut der. Det blir også sendt et styretrykk til tilhengerbromsventilen (E).

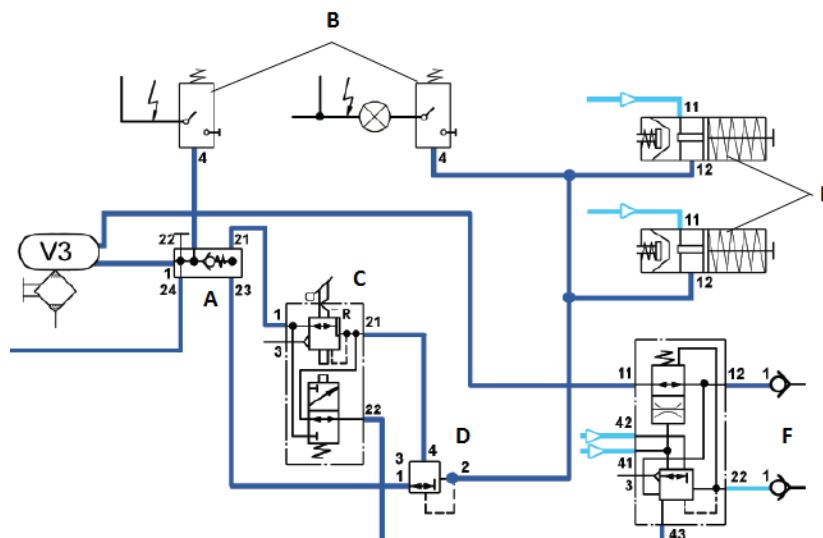
3.3.5 Bakre bremsekrets



Figur 39 Bakre bremsekrets [1].

Virkemåte

I den illustrerte bremsekretsen er relèventilen (C) integrert i bremsekraftregulatoren (B). Når bremsepedalen (A) blir aktivert blir det sendt et styretrykk til relèventilen (C) som igjen åpner for at trykkluft fra reservoaret (V1) kan strømme gjennom bremsekraftregulatoren (B). Trykket blir redusert gjennom regulatoren (B) og sendt videre til bremseklokkene (D) og til tilhengerbromsventilen. Når bremsepedalen slippes, blir luften fra bremseklokkene sluppet ut via relèventilen (C). Styreluften fra fotbromsen blir utluftet i fotbromsen.



Figur 40 Parkbremssystem[1]

3.2.6 Parkbrems [13, s 786]

Parkbremssystemet er et system som er uavhengig av resten av bremsesystemet, og blir ikke aktivert av bremsepedalen, men av parkbremsventilen. Parkbremsventilen har to funksjoner, aktivere og deaktivere parkbremsen. Parkeringskretsen er konstruert slik at den skal kunne holde en fullastet lastebil i ro i en bakke med 18 % helning, og 12 % bakke med henger uten brems. Systemet er designet slik at det skal virke når det ikke er trykk på systemet, så en kan se på det som et omvendt bremsesystem. Det er vanligvis utstyrt med fjærbelastede bremsere som gir likt bremsetrykk som de pneumatisk bremsene når det ikke er trykk på systemet.

Virkemåte

Når parkeringsbremsen er aktivert er det ikke trykk på kretsen og fjærbremsene er i inngrep.

Når trykket i reservoartankene bygges opp blir først trykket til fremre og bakre krets fylt, for så å fylle parkbremskretsen. Dette er for å sikre at det er tilstrekkelig luft i systemet for å kunne bremse kjøretøyet når parkbremsen blir deaktivert. Når det er trykk på systemet står det trykk på relèventilen(D) fra parkbremsreservoaret. For å deaktivere parkbremsen blir det sendt et stryetrykk fra parkbremsventilen (C) og til relèventilen(D) som åpner for trykkluften fra reservoaret og inn til fjærbremsene. Det vil stå konstant trykk inn på relèventilen så lenge parkbremsen er deaktivert. Fjærbremsene blir presset tilbake av trykkluften og forblir klemt sammen helt til parkbremsen blir aktivert. Når parkbremsen blir aktivert blir parkbremsventilen (C) slått av, noe som fører til at styretrykket på relèventilen(D) forsvinner og trykket fra fjærbremsene blir sluppet ut gjennom hurtigløsningsfunksjonen til relèventilen.

På bremsesystem med trommelbrems vil det være en ventil som forhindrer at fotbremsen og parkbremsen aktiveres samtidig, da dette vil forårsake dobbelt bremsetrykk og kan være skadelig for trommelen. Ventilen er ikke installert på lastebiler med skivebrems, da skivebremsen er konstruert for å tåle et slikt trykk [46].

3.4 ABS - Bremsler

Kapittelet er basert på følgende bøker [30, 47]. ABS-systemet er en bremseinnretning som ved hjelp av elektroniskstyrte ventiler regulerer hjulenes slipp prosent ved bremsing. Hensikten er å forhindre at hjulene på kjøretøyet låser seg ved nedbremsing, og på den måten beholde retningsstabiliteten og styringsegenskapene til kjøretøyet. Det vil også hjelpe til med å redusere bremselengden til kjøretøyet.

Klassifisering

ABS-systemet har etter hvert blitt en standard innretning på de fleste kjøretøy i Europa, etter påbud fra EU-direktiv 71/320/EØS. Det ble først pålagt å ha ABS på lastebiler over 16 tonn med tilhenger på over 10 tonn og busser over 12 tonn. Fra og med år 2000 ble det krav at alle kjøretøy med totalvekt over 3,5 tonn skulle ha ABS. Etter bestemmelsene kan ABS-systemet deles inn i tre kategorier.

ABS kategori 1

Kategori 1 skal i henhold til 71/320/EØS oppfylle alle relevante krav til vedlegg X (10, romertall) i forskriftene og anses som den strengeste (beste) ABS kategorien. Alle kjøretøy i gruppe M2, M3, N2, N3, henholdsvis busser tyngre enn 5 tonn og lastebiler tyngre enn 3,5 tonn skal ha ABS bremsler av kategori 1.

I vedlegg X er det satt noen særskilte krav for motorvogner som omfatter energibruk og friksjonsutnyttelsen til bremsesystemet.

Energibruk

Bremsesystem som er utstyrt med ABS skal beholde bremsevirkning, selv etter lengre bruk av ABS systemet. Dette kontrolleres ved å bremse et fullastet kjøretøy med utgangshastighet 50 km/t på et underlag med friksjonskoeffisient på 0,3. Bremsingen foregår i t sekund, der t defineres som $t = V_{maks}/7$. t kan ikke være mindre enn 15 s ved en maksimal hastighet på 160 km/t. Alle ABS kontrollerte hjul skal bremses kontrollert gjennom hele denne perioden. Lufttilførselen skal så stenges og kjøretøyet skal stå i ro. Bremspedalen skal nå aktiveres 5 fulle ganger og på den femte gangen skal bremsene oppfylle kravet om nødvendig bremsevirkning.

Friksjonsutnyttelse

Friksjonsutnyttelsen skal ta hensyn til den faktiske økningen av bremselengden, utover den teoretiske minimumsverdien. Og kravet er tilfredsstillt når

$$\varepsilon \geq 0,75$$

ε defineres som $\varepsilon = \frac{\text{retardasjonsutnyttelse med ABS i drift}}{\text{Friksjonskoeffisienten til underlaget}}$

Friksjonsutnyttelsen til ABS-systemet kan ses på som hvor mye av den totale friksjonen utnyttes ved bremsing. Når $\varepsilon = 1$ vil ABS systemet utnytte 100 % av underlagets friksjon.

Det skal gjøres forsøk med utgangshastighet på 50 km/t og friksjonskoeffisienter på mindre enn 0,3, og rundt 0,8. Systemet er godkjent når $\varepsilon \geq 0,75$.

Blokkering av hjul

Når et kjøretøy som bremses med fullkraft går fra høyfriksjon μ_H til et lavfriksjons μ_L veidekke skal hjulene som er kontrollert av ABS-systemet ikke blokkere og ved bremsing på lav til høyfriksjonsveidekke så er det krav til retardasjon innen rimelig tid.

Friksjonskoeffisientene er definert slik:

$$\begin{aligned}\mu_H &\geq 0,5 \\ \frac{\mu_H}{\mu_L} &\geq 2\end{aligned}\quad (3.10)$$

Ved kjøring på split- μ underlag, med samme friksjonskoeffisienter som nevnt ovenfor, skal hjulene som er kontrollert av ABS systemet ikke blokkere ved brå aktivering av bremsepedalen.

- Ved bremsing på split- μ underlag er styrekorreksjon tillatt i de to første sekundene etter bremseaktivering. Styrevinkelen skal ikke overstige 120° til hver side, totalt 240°

Bremsevirkning

Kravet til bremsevirkningen er gitt av formelen:

$$\begin{aligned}z &\geq 0,75 \left(\frac{4 \cdot \mu_L + \mu_H}{5} \right) \\ z &\geq \mu_2\end{aligned}\quad (3.11)$$

$z = \text{bremsevirkningen}$, definert som $= \frac{\text{Samlet bremsekraft}}{\text{kjøretøyets tyngde}}$ [48].

$\mu_L = \text{Lavfriksjon}$

$\mu_H = \text{Høyfriksjon}$

ABS-kategori 2

Kategori 2 skal tilfredsstille alle krav i vedlegg X, med unntak av minimumskravet for bremsevirkning.

ABS-kategori 3

Et Kategori 3 bremsesystem skal tilfredsstille kravene som gjelder for kategori 2, med unntak av blokkeringskravet ved bremsing på split- μ underlag.

Virkningsområdet og regulering [13, s 807-816, 47]

Friksjonskurvene kan deles opp i to områder, det stabile og det ustabile området. Kurven har ofte en bratt stigning før den faller gradvis. Området til høyre for toppen kalles for den stabile sonen. I denne sonen er det mulig å oppnå et stabilt bremsemoment, en økning i bremsetrykk vil gi økning i retardasjon. Mens på høyre siden av toppen vil dette være vanskeligere, da en økning av bremsetrykk i dette området ikke vil føre til en økning i retardasjon, men heller låsing av hjulet.

ABS-systemet vil jobbe for å holde slippverdien innenfor en verdi av 15-30 % slipp, da det er som oftest i dette området maksimalpunktet for kurven er.

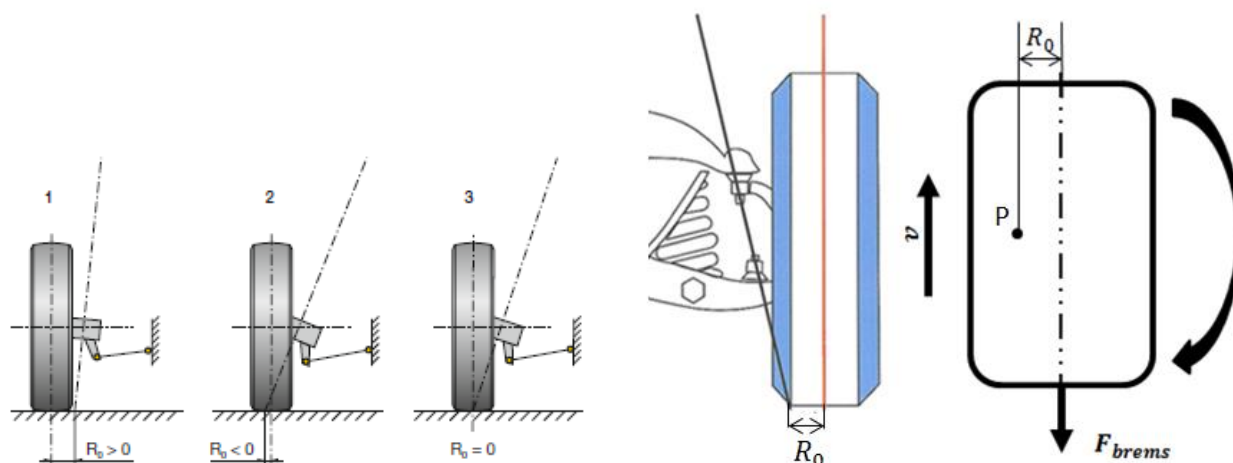
ABS-system på tyngre kjøretøy

For å begrense ABS bruken til hjulene som er i kontakt med bakken, blir ABS funksjonen til hjul som er hevet skrudd av. Når akslingen senkes ned igjen, vil ABS systemet aktiveres igjen.

For å regulere ABS-systemet brukes det tre forskjellige prinsipper, IR, SL og MIR.

Individuell regulering (IR)

Med individuell regulering reguleres bremsene på samme aksel individuelt i forhold til maksimalfriksjonsutnyttelse og vil dermed gi den korteste bremselengden. På tyngre kjøretøy egner det seg ikke med slik regulering på fremre aksel da det som regel er en positiv skrubbradius $R_0 > 0$ i forstillingen. Ved bremsing vil hjulet dreie om kontaktpunktet P mellom KPI vinkelen og bakken. Positiv skrubbradius fører til at hjulene dreier om punktet P, noe som gir toe out (hjulene dreier utover). Når det da bremses på *split* – μ underlag vil det føre til at lastebilen blir dratt ut til siden med høyest friksjon.



Figur 41 Figuren til venstre [2, s37] viser positiv og negativ skrubbradius. Bilde til høyre [11] viser virkningen av positiv skrubbradius. Hjulet er sett fra toppen

Select-low regulering (SL)

Systemet bremses begge hjulene på en aksel med likt trykk. Trykket er bestemt ut i fra det hjulet som opplever lavest friksjon. I noen tilfeller brukt på fremre aksel.

Modifisert individuell regulering (MIR)

MIR blir som oftest brukt på fremre aksel da det reduserer sidekastet og svingmomentet i stor nok grad, uten å øke bremselengden betraktelig. Systemet gjør dette ved å forsinke trykkoppbyggingen i hjulet med høyest friksjon.

ABS-systemets oppbygging

Systemet er bygget opp av følgende deler

- Hjulsensor
- Elektronisk styreenhet
- Reguleringsventil

Hjulsensor [21, s.180, 49, s.90-93]

Det finnes to forskjellige typer hjulsensorer, passive og aktive. Prinsippet til begge systemene er like, men utførelsen er noe annerledes. De fleste kjøretøy i dag bruker aktivehjulsensorer, da passive hjulsensorer er mindre nøyaktige og blir i større grad påvirket av ytre påkjenninger som kulde og varme. Andre faktorer som gjør at aktive sensorer blir brukt mest er:

- Fungerer ved lave hastigheter
- Bedre signalkvalitet
- Signalet er upåvirket av temperatur variasjoner og vibrasjon.
- Totalvekten på systemet er lavere
- Fungerer ved rygging

Oppbyggingen av en aktiv hjulsensor ligner oppbyggingen til en passiv sensor. Den har et ferrittisk tannhjul, eller en multipolring, som er en magnetisk ring der polene veksler mellom pluss og minus. Ringen er festet til hjulet og en sensor registrerer variasjonen i den magnetiske fluksen når hjulet går rundt. En aktiv hjulsensor er en form for transduser som omgjør magnetisk energi om til et elektrisk signal. Signalstyrken er proporsjonal med turtallet, så ved lave hastigheter vil signalet være lavt og det trengs derfor en forsterker for å forsterke signalet.

Sensoren er bygget opp av en transduser, en signalforsterker og en signalomformer som omgjør det analoge signalet fra transduseren om til et digitalt I/O system.

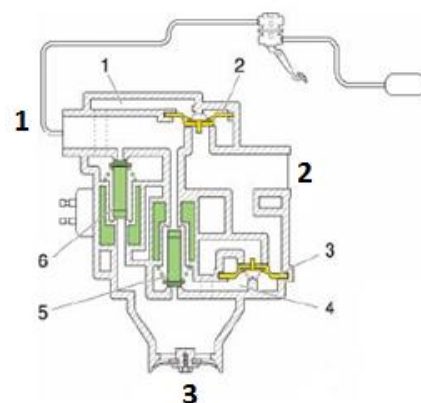
Elektronisk styreenhet [13, s 816]

Den elektroniske styreenheten tolker og sammenligner signalene fra hjulsensorene. Når styreenheten sammenligner signalene, sammenligner den alltid drivende hjul mot ikke-drivende hjul. Den sammenligner også vektfordelingen på hjulene og hvis kjøretøyet er i sving, så sammenligner den indre og ytre hjul mot hverandre. Ut i fra denne informasjonen bestemmer systemet seg for om det skal aktivere ABS-systemet. I senere tid har antispinns innretninger også blitt programmert inn i styreenheten.

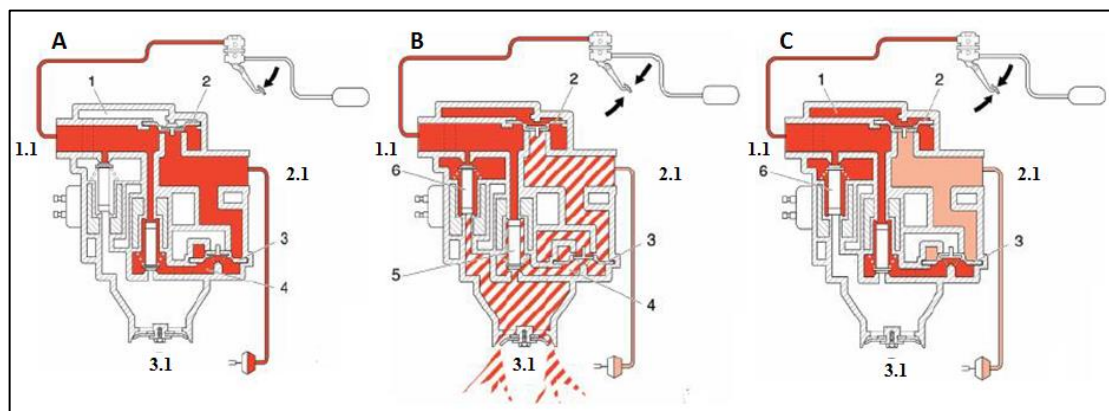
Reguleringsventilen [1, 44]

Reguleringsventilens oppgave er å regulere luften ut til bremseklokkene slik at det optimale veigrepet oppnås. Ventilen er plassert mellom bremsepedalen og bremseklokken og ved vanlig bremsing vil luften passere uhindret gjennom ventilen. Ventilen regulerer trykket ut på akslingen ved hjelp av to magnetventiler. Reguleringen kan deles inn i tre trinn:

- Trykkøkning (A)
 - Trykksenkning (B)
 - trykkholding (C)
-
- 1.1 Trykk INN
 - 2.1 Trykk UT
 - 3.1 Utluftning
 - 1 Øvre styrekammer
 - 2 Styreventil
 - 3 Dreneringsventil
 - 4 Nedre styrekammer
 - 5 Nedre magnetventil
 - 6 Øvre magnetventil



Figur 42 oversiktsbilde av ABS-reguleringsventil [1].



Figur 43 ABS-ventilens virkemåte. A) Trykkoppbygging B) Trykksenkning C) Trykkholding [1].

Trykkøkning (A)

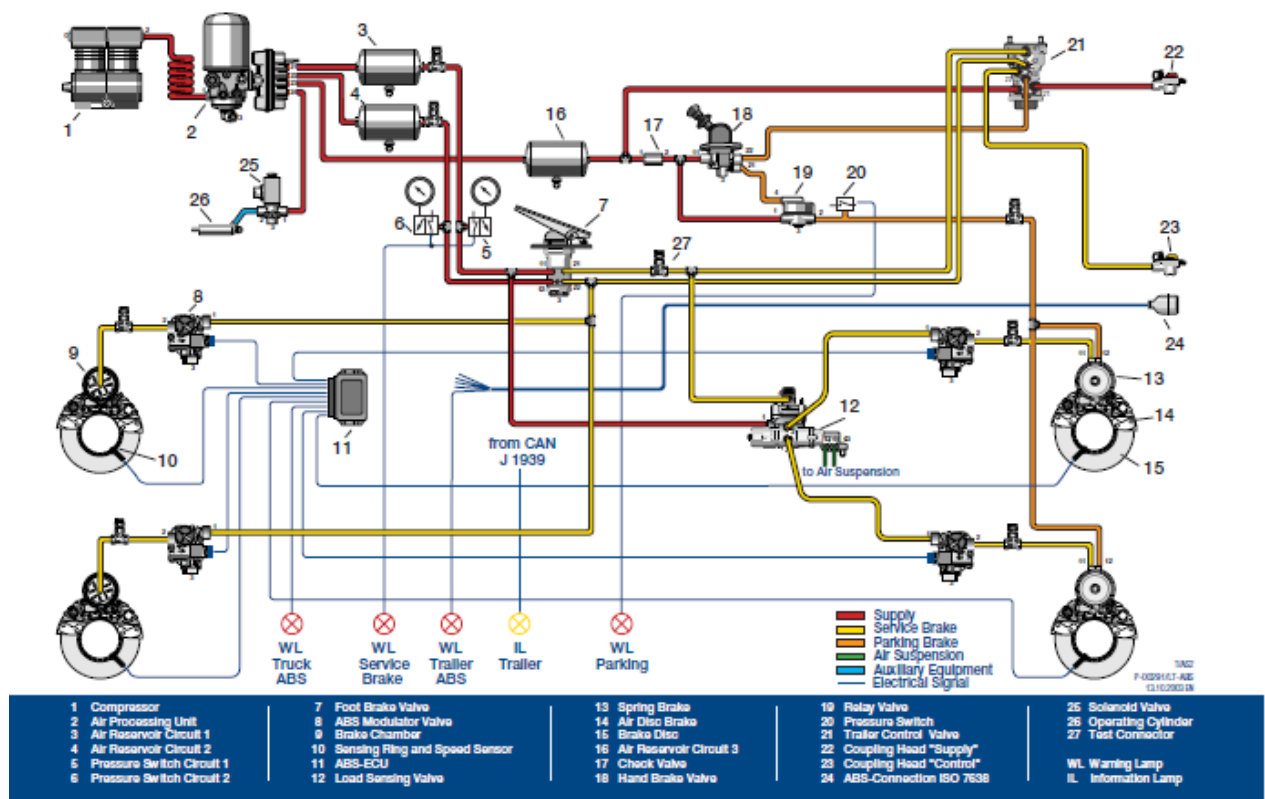
Bremsepedalen aktiveres og trykkluft strømmes inn gjennom port 1.1 og ut gjennom port 2.1 til bremseklokken. Luften strømmes også forbi nedre magnetventil (5) og lukker dreneringsventilen (3). Reguleringsventilen er på dette tidspunktet ikke aktivert.

Trykksenkning (B)

Styringsenheten får signal fra hjulsensoren om at hjulene blokkerer og sender signal til reguleringsventilen om å senke trykket. En spenning blir sendt til øvre magnetventil (6) som åpner for luftgjennomstrømming til øvre styrekammer (1). Trykket lukker styreventilen (2). Samtidig blir det sendt en spenning til nedre magnetventil (5). Magnetventilen (5) lukker tilførselen av trykkluft og åpner for utluftning gjennom port 3.1. Trykket i nedre styrekammer (4) synker og dreneringsventil(3) åpner seg. Luft strømmes nå fra bremseklokken og ut gjennom port 3.1.

Trykkholding (C)

Når hjulets hastighet begynner å øke igjen, sender styreenheten signal om å holde trykket. Nå er det bare øvre magnetventil er aktivert. Trykk blir sendt på oversiden av styreventil (2) og dreneringsventil (3). Ventilene er nå lukket og trykket ut til bremseklokkene er stabilt.



Figur 44 Bremsesystem med ABS-funksjon[50, s 3]

3.5 Elektronisk Bremsesystem (EBS)

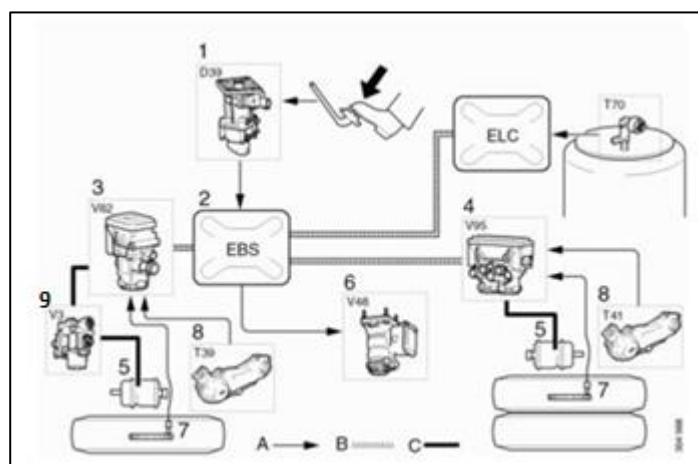
EBS er en samlebetegnelse for alle innretninger på kjøretøyet som har med fartsreduksjon eller stabilitet å gjøre. Noen av funksjonene som ligger under EBS er, ABS, ASR, ARB, slitasje overvåking og retarder. Systemet bruker fortsatt trykkluftaktiverte bremseser, men har erstattet den pneumatiske styring av ventilene (Styreluft) med elektronisk styring, og kan sees på som et elektropneumatisk bremsesystem. Systemet er en videreutvikling av et bremseanlegg med ABS.

Systemet er satt sammen av ventilt pakker, styreenhet, og sensorer som sammen kommuniserer ved hjelp av et CAN-bus nettverk for å optimalisere bremseeffekten. Formålet med et EBS system er å redusere aktiveringstiden av bremsen, øke komforten på nedbremsingen, optimalisere bremsing mellom kjøretøy og henger og øke levetiden på bremsesystemet.

Med EBS blir samtlige bremses aktivert samtidig og aktiveringstiden er blitt halvert til 0,25 sek [1, s.163].

Selv om ventilstyringen har blitt erstattet med elektronikk, så er det et «gammeldags» trykkluftmekanisk bremsesystem i bakhold, hvis EBS skulle slutte å virke. Den pneumatiske styreluften blir blokkert så lenge elektronikken fungerer [1, s.168].

- A Elektrisk ledning
- B CAN-Ledning
- C Trykkluft
- 1 Fotbremseventil
- 2 EBS-styreenhet
- 3 Enkel reguleringsmodulator
- 4 Dobbel reguleringsmodulator
- 5 Bremsesklokke
- 6 Tilhengerbremsventil
- 7 Hjulsensor
- 8 Slitasjeindikator
- 9 ABS-reguleringsventil



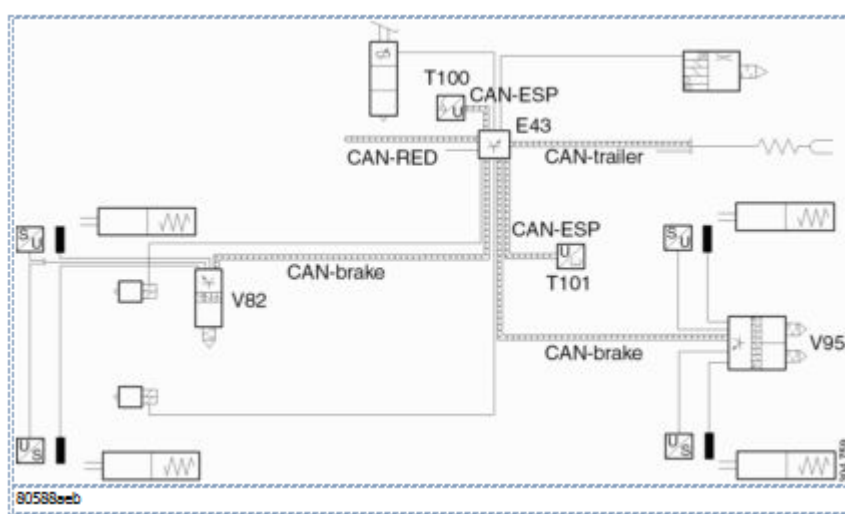
Figur 45 Forenklet illustrasjon av et EBS bremsesystem [51].

3.5.1 CAN-bus

Kapittelet er basert på [13, s. 1070-1078].

Controller Area Network (CAN-bus) er ledningsnettverket som kobler sensorer og elektroniske enheter sammen og CAN-bus gjør det mulig for dem å kommunisere med hverandre, uten å måtte gå via en ekstern kilde.

Systemet er bygget opp som et meldingsbasert system. Hver komponent sender kontinuerlig ut meldinger om sin tilstand, og så er det opp til hver enkelt komponent å bestemme hvilke meldinger som er relevante for dens operasjon. For eksempel hvis ABS-sensoren sender ut et signal om at hjulene er blokkert, vil vindusheisen velge bort denne informasjonen, mens ABS-lampen i dashbordet og bremsene vil reagere.

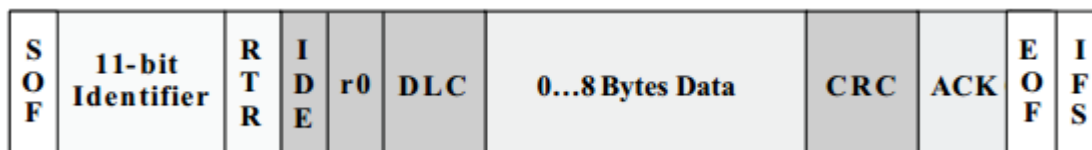


Figur 46 Forenklet CAN-BUS nettverk [51].

Meldingsoppbygging [52]

Det er fire forskjellige meldingstyper

- **Datamelding:** er den mest vanlige meldingen som sendes, og er av typen «dette skjer her» melding, som for eksempel at hjulsensoren gir beskjed om hva hjulhastigheten er.
- **Fjernmelding:** er meldinger som forespør informasjon fra en annen komponent.
- **Feilmelding:** er når en komponent oppdager feil på meldingen fra en komponent, sender den beskjed tilbake om at meldingen må sendes på nytt.
- **Overbelastningsmeldingen:** blir sendt ut fra en node som blir for opptatt, at den ikke klarer å ta opp all den informasjonen den blir tilsendt. Intensjonen med meldingen er å få en forsinkelse i de neste meldingene som kommer.

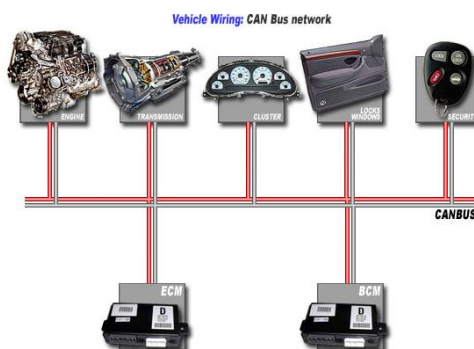


Figur 47 illustrasjon av en CAN-kode [52].

Meldingen kan deles inn i 9 deler, og begynner med en med en SOF (Start of frame) som indikerer starten på en ny melding og er der for å klargjøre komponentene for å ta imot ny informasjon. Etter denne kommer en identifiseringsmelding og RTR som gir beskjed om hvor meldingen kommer fra og hvor høy prioritet meldingen har, samt om det er en fjernmelding eller datamelding. Hvis to meldinger skulle bli sendt samtidig over nettverket vil den med høyest prioritering bli lest. Kontrollområdet, DLC, sier hvor stor meldingen er og datameldingen er den informasjonen som blir sendt. CRC har kontroll på hvor mange bits som ble sendt og hvis dette tallet ikke stemmer med mottatte bits vil komponenten sende ut feilmelding. ACK gir komponenten muligheten til å sende beskjed tilbake til sender om at meldingen er mottatt og uten feil. IFS signaliserer tiden det skal ta fra meldingen ble sendt til den blir mottatt.

Systemets oppbygging

Bus-topologi, også referert til som Lineær topologi, er bygget opp slik at det er en hovedkabel som alle komponentene er tilkoblet. Hovedkabelen består av to kabler som er tvinnet sammen og skulle en kabel ryke vil informasjonen fortsatt bli levert via den andre kabelen. Med dette systemet er det svært enkelt å koble inn flere komponenter og i det tilfellet en komponent skulle slutte å virke, så vil ikke det ha noe påvirkning på resten av systemet. Det som er negativt med en slik topologi er at hvis hovedkabelen (begge ledningene) skulle ta skade vil hele systemet kollapse.



Figur 48 CAN-BUS som kobler enheter sammen [53].

CAN-nettverket kan deles inn i to hoved kretser, CAN-High (CH) og CAN-Low (CL). Forskjellen på de to er hvor mye datakraft hver av dem kan ta imot og levere. CH er satt etter ISO standard 11898-2 og kan operere mellom 125-1 Mbits/s og blir vanligvis brukt på de komponentene hvor operasjonen skal være så tidseffektiv som mulig, som for eksempel drivstoffinnsprøytning eller ABS-systemet. CL er satt etter samme standard og kan operere mellom 5-125 kBits/s og blir vanligvis brukt i komfort delen av bilen som for eksempel setevvarmer.

3.5.2 Tilleggsfunksjoner i EBS

I tillegg til vanlig bremserregulering, ABS/ASR og stabilitetskontroll, har EBS-systemet flere tilleggsfunksjoner. Funksjonene er hentet fra [2, s.249], hvis ikke annet er oppgitt.

Slitasjekontroll

EBS prøver å øke levetiden på bremseklossene og sørge for at alle bremsene byttes samtidig. Systemet overvåker slitasjen på bremseklossene på hver aksel og ved normal bremsing justeres bremsetrykket slik at slitasjen mellom hver aksel utjevnes. Ved hard bremsing vil systemet bli utkoblet, og stabilitet og bremsekraft vil bli prioritert [51].

Tilhenger optimalisering

EBS sørger for at tilhengere med EBS bremses likt med kjøretøyet [1, s.168].

Offroad-ABS

På lastebiler registrert som terrenggående biler kan det installeres en offroad innstilling på ABS-systemet. Systemet tillater høyere hjulslipp i hastighetsområdet 15-40 km/t. I hastigheter mellom 15-40 km/t vil det være tillatt med midlertidig låsing av hjulene og ved hastigheter under 15 km/t vil total låsing være tillatt.

Systemet er å foretrekke på løse underlag, fordi låsing av hjulene vil føre til en oppsamling av materiale foran hjulene som vil føre til økt bremsevirkning.

Styringsbremsing

For å redusere svingradiusen på biler med tandem aksel, ligger det inne en funksjon som bremses et av de indre bakhjulene når kjøretøyet svinger. På denne måten blir kjøretøyet dratt om det bremsede hjulet. Det er spesielt en fordel på ikke-asfaltert vei.

Bakkebrems

Systemet skal hjelpe til med igangkjøring i bakker. Når en slipper bremsen vil bremsen holde igjen i 1 sek slik at bilen fortsatt er i ro når gasspedalen aktiveres. På denne måten spares drivverket for ekstra slitasje og forenkler sjåførens igangsetting.

Bremsoptimalisering ved igangkjøring

Lastebiler med høyt startmoment kan ha problemer med igangkjøring på glatte underlag, spesielt hvis de er ulastet. EBS oppdager dette ved et tidlig stadium og legger på bremses på drivhjulene slik at veigrepet optimaliseres. Dette omtales nærmere i kapittel 4.1.

3.4.3 Komponenter i EBS

Ventilene i EBS systemet er bygget opp på nesten samme måte som et gammeldags bremsesystem, men istedenfor å ha enkeltstående ventiler, er det valgt å gå for et mer modulbasert system, med ventilpakker.

Systemet kan være bygget opp av følgende deler [1, s.163]:

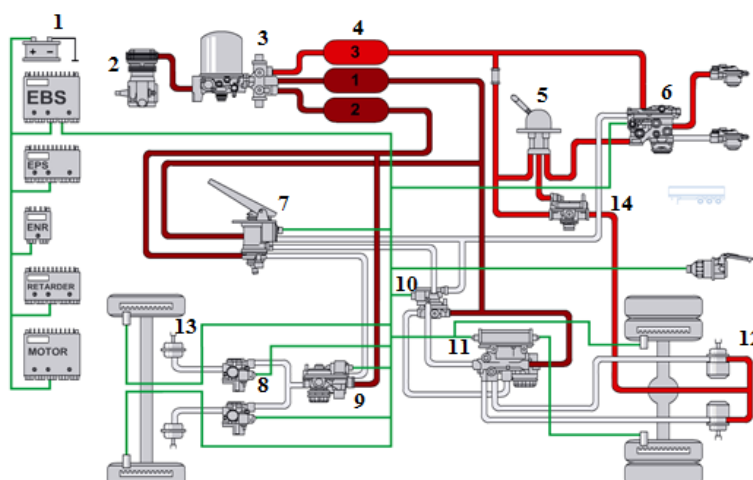
- Samlet mateenhet
- Elektronisk styreenhet
- Brems pedal
- Reguleringsmoduler
- Trykkreduseringsventil (Jobber som en forenklet ALB-ventil hvis EBS svikter)
- Tilhengerbremsventil.

Tidligere ble det brukt en ALB-ventil for å regulere trykket ut til bremseklokkene. I dag brukes stort sett tre forskjellige systemer og det beregnes en retardasjon, fremfor et bremsetrykk.

- EBS systemet bruker informasjon om trykket i luftfjæringen til å bestemme hvor tungt kjøretøyet er lastet og hvor mye bremsetrykk som trengs [51].
- EBS systemet bruker hastighetsforskjellen til fremre og bakre aksel for å bestemme trykket ut på begge akslene. Ved optimal nedbremsing vil slippet være likt på alle aksler [2, s.250].
- EBS systemet kommuniserer med motorstyringen for å beregne hvor tungt lastet kjøretøyet er. Den bruker informasjonen om hvor mye drivstoff som anvendes, samt hvilket gir bilen står i [1, s.167].

3.4.4 Bremsforløp EBS

- 1 EBS styreenhet
- 2 Kompressor
- 3 Mateenhet
- 4 Luftreservoar
- 5 Parkbremsventil
- 6 Tilhengerbrems ventil
- 7 Fotbremsventil
- 8 ABS-reguleringsventiler
- 9 Reguleringsmodulator
- 10 Trykkreduksjonsventil
- 11 Dobbel reguleringsmodulator
- 12 Bremsesklokke m/ fjærbremse
- 13 Bremsesklokke



Figur 49 Forenklet EBS-bremsesystem [54].

Bremseforløp med trykkoppbygging [54]

Kompressoren (2) komprimerer luft og sender det videre gjennom den samlede mateenheten (3) hvor både trykkredukeringsventilen, lufttørker og firekrets sikkerhetsventilen er plassert. Luften går fra mateenheten (3) og ut til fremre og bakre bremsekrets og til tilhengerkretsen. Når det er tilstrekkelig trykk på anlegget blir kompressoren slått av. Det står nå Matetrykk (rød ledning) inn på reguleringsmodulatorene (9, 11), samt fotbremsventil (7) og parkbremsventil (5). Deaktivering av parkbremsene fungerer som på et gammelt system. Ventilen (5) blir aktivert og det sendes et styretrykk inn på relèventil (14) og luft blir sendt ut til fjærbremse.

Reguleringsmodulatorene (9, 11) vil fungere som relèventiler og har matetrykk tilkoblet direkte fra trykklufttankene. Når bremsepedalen (7) aktiveres sendes det et elektrisk signal til EBS-enheten (1) som beregner ønsket retardasjon. EBS-enheten (1) sender så beskjed til reguleringsmodulene (9, 11), via CAN, om ønsket retardasjon og reguleringsmodulene beregner et trykk og sender luft ut til bremseklokkene. Når bremsepedalen slippes vil luften bli sluppet ut i reguleringsmodulene (9, 11). Hvis hjulene skulle låse seg, sendes det informasjon til styreenheten (1) som aktiverer ABS-modulatorene (8) som regulerer trykket ut til bremseklokkene. EBS-enheten vil få beskjed om hjulhastighet fra reguleringsmodulatorene, via CAN.

I det tilfellet EBS systemet skulle slutte å virke vil det være et tradisjonelt bremsesystem, uten ALB-ventil, som tar over. Reguleringsmodulene (9, 11) vil fortsatt fungere som relèventiler, men vil nå bli aktivert med styreluft fra fotbremspedalen.

Styreenhet [13, s.797]

Styreenheten er «hjernen» til bremsesystemet og det er styreenheten som styrer hvordan bremseforløpet skal foregå

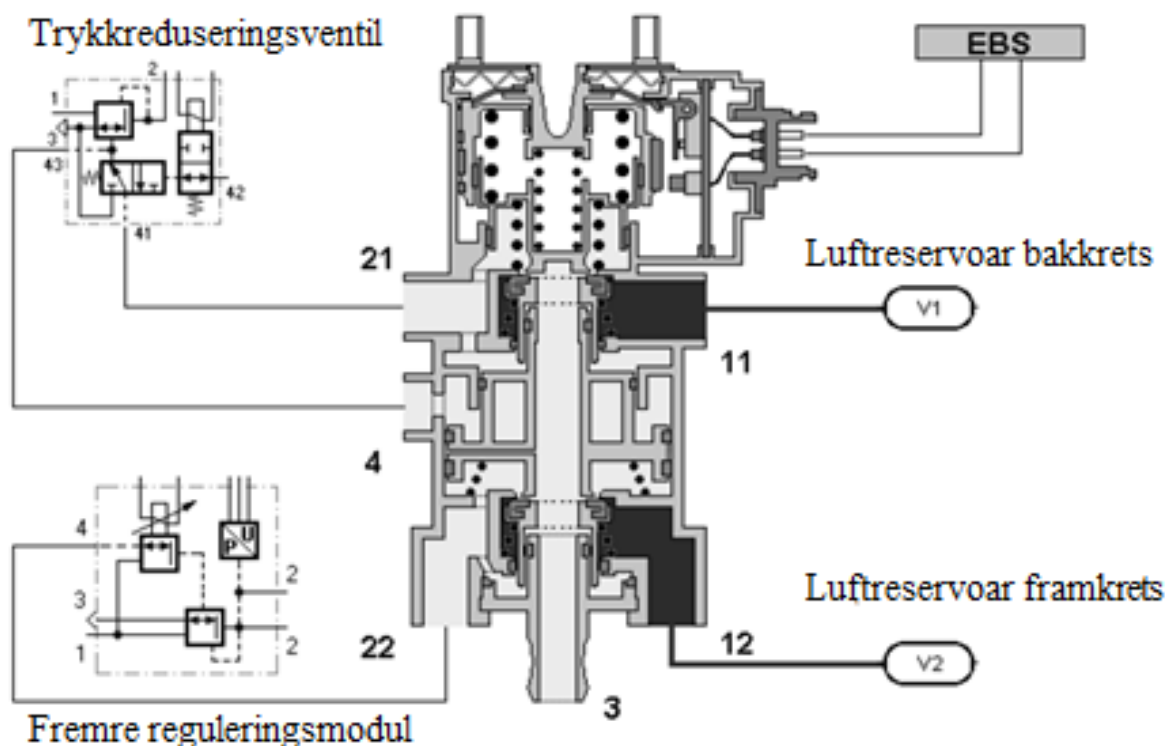
Samlet mateenhet [13, s.797]

På eldre system var lufttørker, trykkreguleringsventil og firekretssikkerhetsventil tre separate enheter. På nyere biler er det valgt å samle disse systemene inn til en enhet (EAC-electronic air control)

Bremsepedal [1, s.169]

Bremsepedalen har tilnærmet lik oppbygning som en tradisjonell fotbremseventil, men har fått en ekstra funksjon, kommunikasjon med EBS-styreenheten.

Så lenge EBS-systemet er operativt er det kommunikasjonen mellom pedalen og EBS-styreenheten som regulerer bremsingen, men hvis elektronikken skulle svikte vil pedalen fungere som en tradisjonell fotbremseventil.

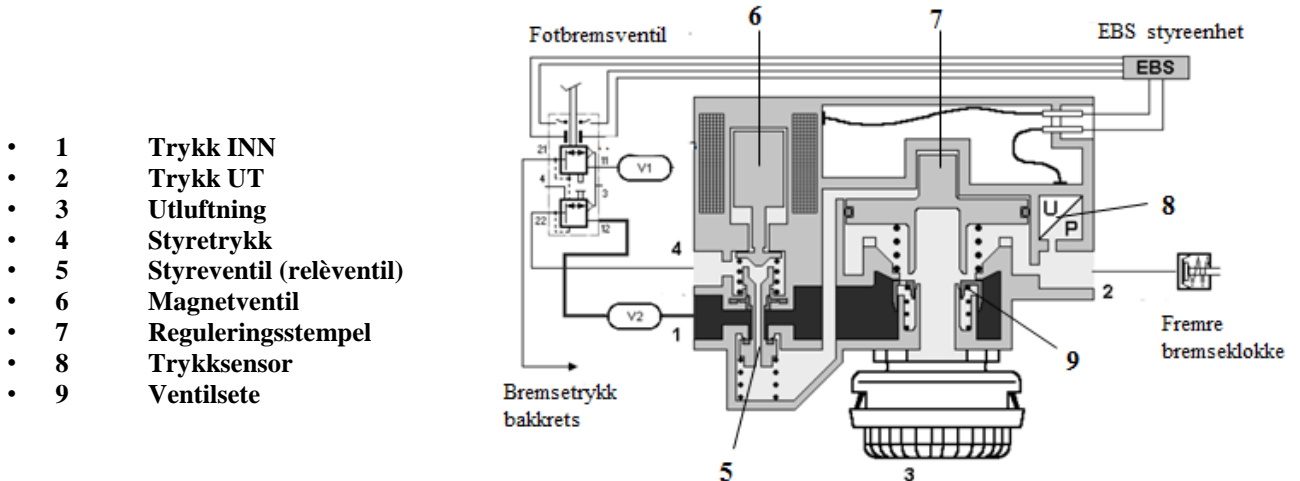


Figur 50 EBS fotbremseventil med tilhørende ventiler [55].

I pedalen er det to potensiometere med fortrinnsvis høy (H) og lav motstand (L). Ved aktivering av pedalen vil motstanden i H synke og motstanden i L øke. Forskjellen i motstand mellom potensiometerene vil bestemme retardasjonen.

Reguleringsmodulator

Reguleringsmodulatoren består av en relèventil, magnetventil og en trykksensor. Ventilen kan brukes til å fordele og styre trykket ut til framkretsen, og i noen tilfeller blir ventilen også brukt som ABS-reguleringsventil [56].

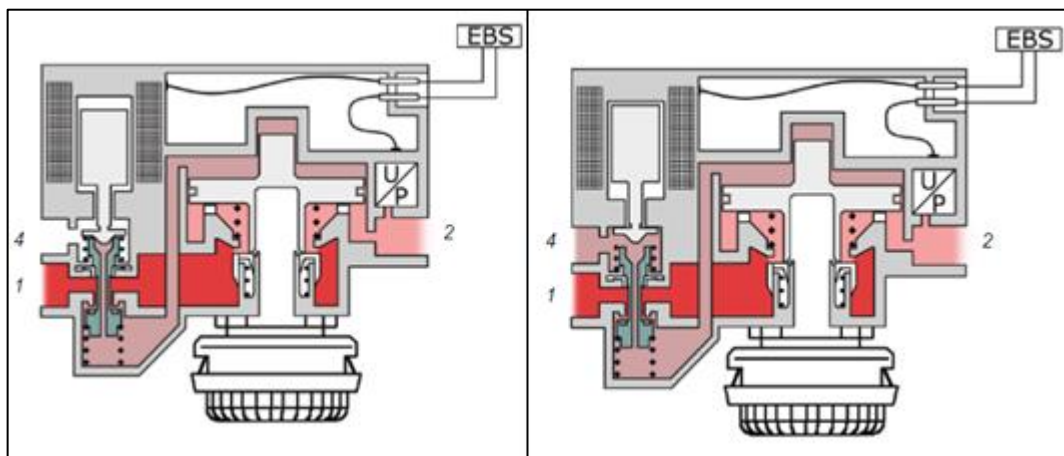


Figur 51 EBS reguleringsmodulator [55].

Virkemåte [1, s.171-173]

Det står mateluft direkte inn på reguleringsmodulatoren ved port 1. Når bremsen aktiveres sendes et elektronisk signal fra styringsenheten og til modulatoren. Det blir satt spenning på magnetventilen (6) som presser styreventilen (5) ned. Dette skjer så raskt at styreluften fra port 4 ikke rekker å strømme gjennom. Når styreventilen er presset ned strømmer styreluft inn på oversiden av reguleringsstempelet (7). Stempelet blir presset ned og lukker utluftningsporten (3) og åpner ventilsete (9) slik at mateluft fra port 1 strømmer ut gjennom port 2 og ut til bremseklokkene.

I det tilfellet at elektronikken skulle feile vil relèventilen (5) ta over reguleringen av trykkluften.

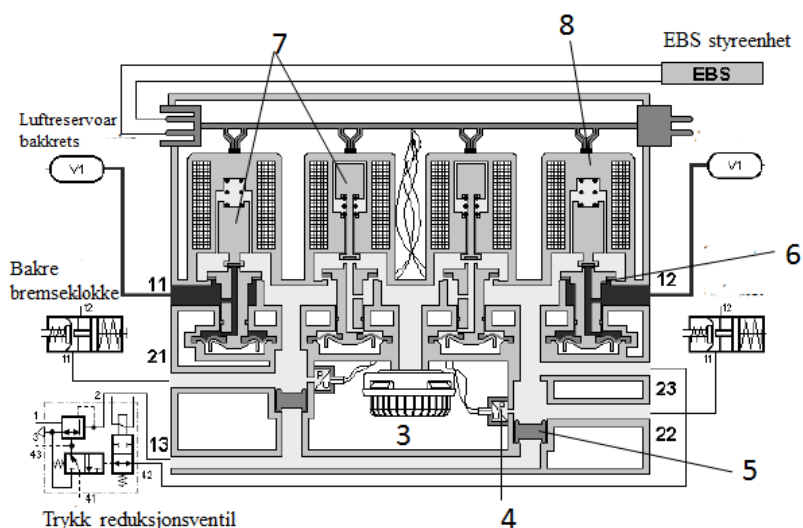


Figur 52 EBS reguleringsmodulator virkemåte [1].

Dobbel reguleringsmodulator [1, s.174-177]

Modulatoren er bygget opp av fire forskjellige ventiler, hvor de to til venstre kontrollerer venstre hjul og de to til høyre kontrollerer høyre hjul. Ventilene i midten regulerer utslippet av luften gjennom utluftningen (3). Ved vanlig bremsing vil utluftningen være lukket, men blir åpnet for å slippe ut luften når bremsen blir deaktivert. Integrert i modulatorene er ABS/ASR funksjonen, samt et tradisjonelt bremsesystem.

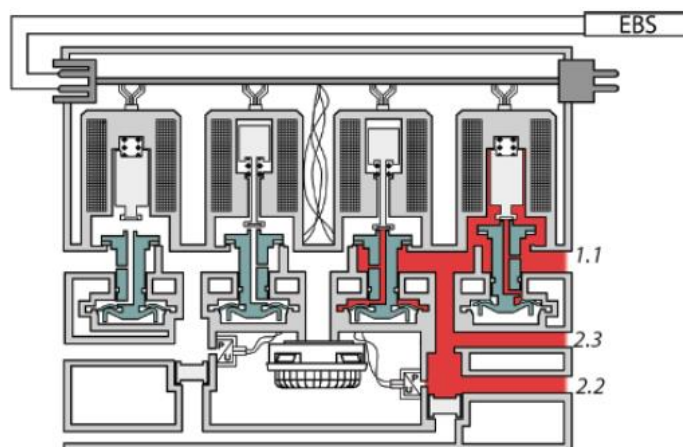
- 1 Trykk INN
- 2 Trykk UT
- 3 Utluftning
- 4 Trykkløler
- 5 Stopper
- 6 Ventil
- 7 Magnetstempler
- 8 Magnetventil



Figur 53 Dobbel reguleringsmodul [55].

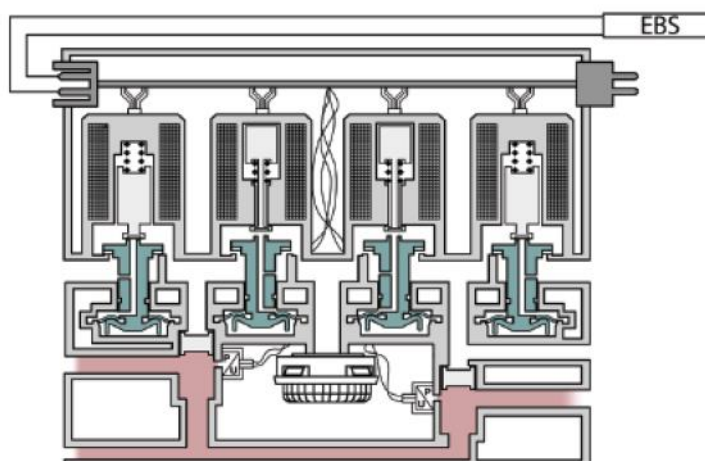
Virkemåte

For å forenkle forklaringen blir bare høyre side forklart. Når bremsepedalen blir aktivert blir det sendt et signal fra Styringsenheten som angir retardasjonen og bremsemodulatoren sender en spenning ut på magneten til magnetventilene (8) som danner et magnetfelt som stenger eller åpner ventilene (6), via magnetstempel (7). Trykket blir sendt til både bremseklokka, gjennom port 2.2, og til trykkreguleringsventilen gjennom port 2.3. Det er plassert en trykkløler (4) som sender signal til styringsenheten om hvilke trykk som er i klokka, og når riktig trykk er nådd blir magnetventil (8) aktivert slik at ventil (6) lukkes. I det tilfelle systemet oppdager stor hastighetsvariasjon mellom drivende hjul vil systemet regulere dette ved å variere trykket ut på bremseklokken. Systemet kan variere trykket ved hjelp av å variere hvilken av ventilene (indre eller ytre) som er åpne.



Figur 54 Dobbelt reguleringsmodul virkemåte [1].

I det tilfellet at elektronikken feiler vil det trykkluftmekaniske bremsesystemet overta bremserreguleringen. Når det ikke er spenning på magnetventilene (8) vil de ytterste ventilene (7) være stengt og det vil ikke bli sendt et styretrykk ut av port 2.3 til trykkreduksjonsventilen for å stenge for styretrykket (se beskrivelse av trykkreduksjonsventil). Det kan nå passere matetrykk gjennom toveis-ventilene (5) og ut til bremseklokkene gjennom port 2.2.



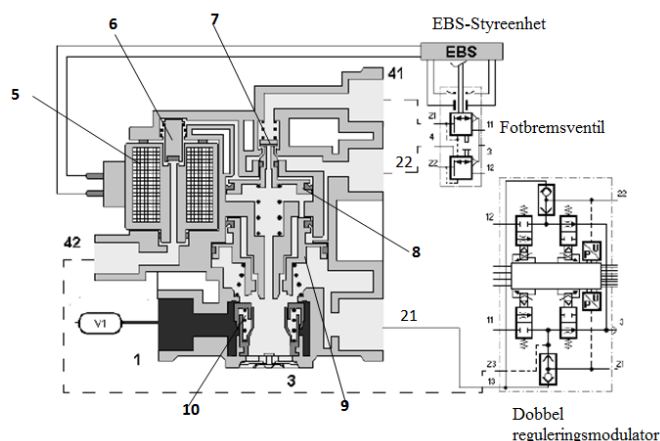
Figur 55 Dobbelt reguleringsmodul nødbremsefunksjon [1].

Trykkreduksjonsventil [1, s.178-179]

Trykkreduksjonsventilen er en avansert relèventil med noen ekstra funksjoner. Formålet til ventilen er å ta over bremsestyringen på bakakselen i det tilfellet EBS-systemet skulle slutte å virke. Ventilen har følgende funksjoner:

- Blokkering av styreluft fra fotbremspedalen når EBS-systemet er intakt.
- Fungere som en relèventil
- Trykksikringsventil. Sørger for lik trykkoppbygging på fremre og bakre aksel
- Trykkreduksjon. Leverer 75 % av maks bremsetrykk

- **1** **Luft INN**
- **2.1** **Luft UT**
- **2.2** **Styreluft-fotbremspedal**
- **3** **Utluftning**
- **4.1** **Styreluft fotbremsventil**
- **4.2** **Styreluft modulator**
- **5** **Magnetventil**
- **6** **Ventilsete**
- **7** **Øvre ventilsete**
- **8** **Øvre stempel**
- **9** **Nedre stempel**
- **10** **Nedre ventilsete**



Figur 56 Trykkreguleringsventil [55].

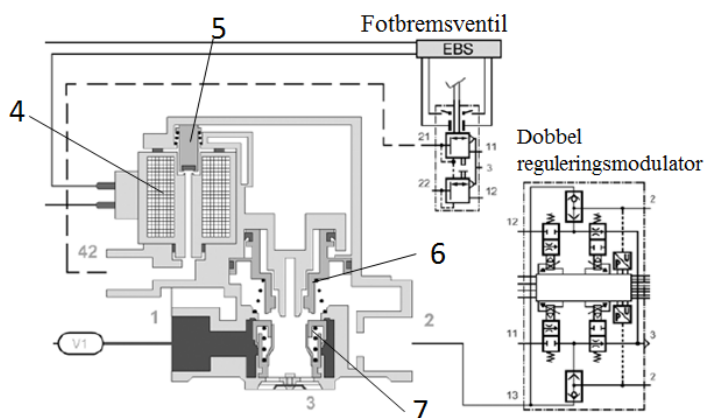
Virkemåte:

Ventilen vist i figur 56 er overkomplisert og for å forklare virkemåten til en trykkreguleringsventil blir det brukt ventilen fra figur 57. Forklaringen av ventilen fra figur 56 kan leses i [1, s.178-179]

Så lenge EBS-systemet er operativt vil det stå en konstant spenning på magnetventilen (4) slik at ventil (5) holdes nede. Når bremsen aktiveres blir styreluften fra fotbremsventilen stoppet av ventil (5) og trykket ut til bremsene blir styrt av dobbelreguleringsmodulatorene.

Hvis EBS-systemet skulle slutte å virke vil spenningen på magnetventilen (4) avta og ventil (5) vil bli åpnet. Styreluft fra fotbremspedalen kommer nå inn gjennom port 4.2 og strømmer forbi ventil (5) og ned på oversiden av stempel (6). Stempel (6) blir presset ned mot nedre ventil (7) slik at ventilen (7) åpner seg. Trykkluften kan nå passere ut gjennom port 2.1 og ut til bremseklokkene. Når bremsen slippes returnerer luften og blir sluppet ut gjennom utslippporten (3).

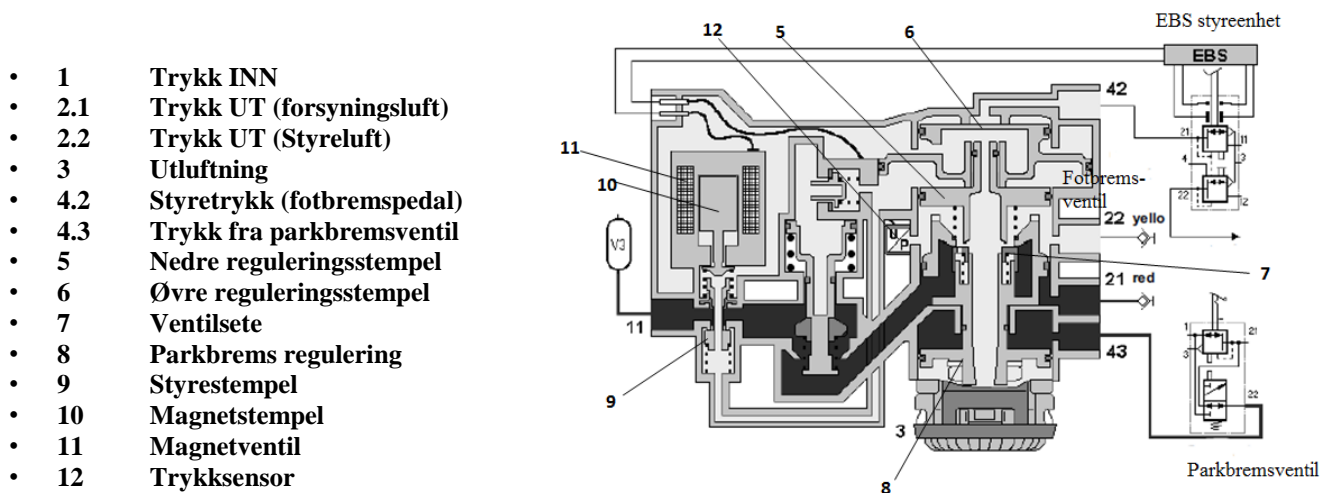
- **1** **Trykk INN**
- **2** **Trykk UT**
- **3** **Utluftning**
- **4** **Magnetventil**
- **5** **Øvre ventil**
- **6** **Stempel**
- **7** **Nedre ventil**



Figur 57 Alternativ trykkreguleringsventil [57].

Tilhengerbremssystem [1, s.182-183]

Tilhengerbremssystemets oppgave er å tilføre trykkluft til tilhengerkretsen, samt å regulere bremstrykket på tilhengere uten EBS styring. Bremsestyringen blir regulert ved hjelp av en magnetventil som får signaler via CAN. I det tilfellet hvor EBS-systemet slutter å virke vil ventilen fungere som en tradisjonell tilhengerbremssystem.



Figur 58 Tilhengerbremssystem [55].

Virkemåte

Tilhengerbremssystemet sørger for at tilhengeren er forsynt med trykkluft gjennom port 2.1.

Når bremsepedalen aktiveres sendes det et elektronisk signal til tilhengerbremssystemet og det settes en spenning på magnetventilen (11) slik at magnetstempelet (10) blir presset ned, som igjen presser ned styrestempelet (9). Luft fra matekretsen strømmer forbi styrestempelet (9) og opp på oversiden av det nedre reguleringsstempelet (5). Reguleringsstempelet (5) blir nå presset ned mot ventilsete (7). Ventilsete blir presset ned og luft strømmer forbi og ut gjennom port 2.2. Luften som strømmer ut av port 2.2 vil fungere som styreluft for ventilene på tilhengeren.

Luften på oversiden av nedre reguleringsstempel (5) vil også virke på nedre side av øvre reguleringsstempel (6) og sørger for at styretrykket fra fotbremseventilen holdes tilbake.

I det tilfellet hvor EBS-enheten skulle svikte vil styreluft fra fotbremseventilen strømme inn gjennom port 4.2 og presse øvre reguleringsstempel (6) ned. Dette fører til at ventilsete (7) åpner seg og luft strømmer ut port 2.2.

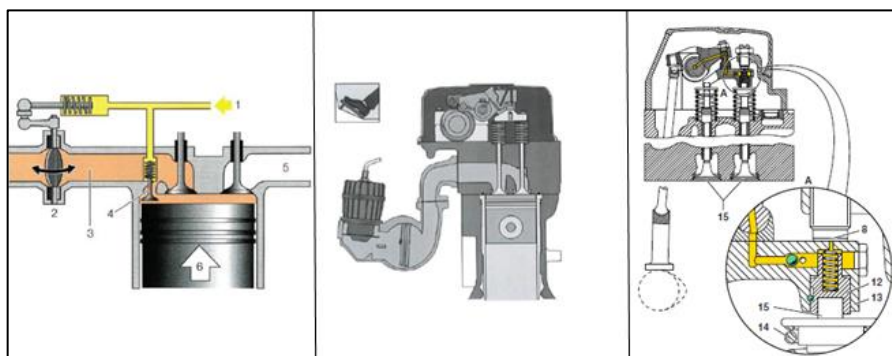
For å aktivere parkbremsen på tilhengeren slippes trykket ut fra port 4.3. Parkeringsventilen (8) blir presset opp mot nedre reguleringsstempel (5) slik at ventilsete (7) blir presset ned og luft strømmer ut port 2.2.

3.6 Tilleggsbremseser

Kapittelet er basert på Bosch Automobile handbook [13, s.798-801]. På tyngre kjøretøy er det vanlig med tilleggsbremseser for å øke levetiden på driftsbremsene og redusere sjansen for overoppheting av bremsene ved kjøring i lange nedoverbakker. Bremsen blir enten aktivert manuelt eller ved hjelp av bremsepedalen. Det blir vanligvis brukt to forskjellige typer reguleringsbremseser, eksosbremseser og retarder. Retardere kan igjen deles inn i to kategorier, elektrisk og hydrodynamisk retarder.

Eksosbremseser

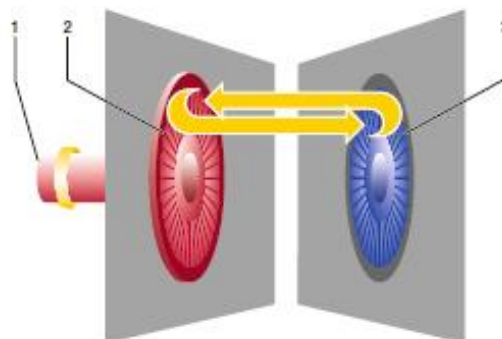
Eksosbremseser er en av de vanligste tilleggsbremseser på tyngre kjøretøy og gir en bremseeffekt på 14-20 kW pr. liter forflyttet luft. Prinsippet bak alle eksosbremsesesystemer er lik. En ventil i eksosløpet strupes inn, noe som medfører at det blir høyere trykk i eksosanlegget. Stemplene i motoren må jobbe hardere for å få ut eksosen, noe som gjør at turtallet blir tvunget ned. Dette forplanter seg i drivverket og gir en fartsreduksjon. De forskjellige lastebilfabrikantene har løst dette på forskjellige måter, men prinsippet er likt.



Figur 59 Oversikt over forskjellige eksosbremseser. Høyre: Mercedes. Midten: Volvo. Høyre: MAN [1].

Hydrodynamisk retarder

Hydrodynamisk retarder kan igjen deles inn i to kategorier ut i fra hvor retarderen er festet, primær og sekundær retarder. Prinsippet bak begge er likt, det brukes to skovlhjul et stasjonært og et roterende som begge ligger i et oljebad. Når retarderen aktiveres blir oljen «pisket» mellom skovlene. Oljen fører til en økt motstand og er med på å redusere hastigheten på akselen. Systemet er ofte koblet opp mot kjølesystemet til bilen, da mesteparten av den kinetiske energien går over til varme.



Figur 60 Hydrodynamisk retarder virkemåte[2, s.259]

Primær retarder

Montert mellom motoren og girkassen. Bremseseffekten er direkte påvirket av motorens turtall og er uavhengig av hastigheten på hjulene. På grunn av dette er primær retarderen gunstig i lavere hastigheter (25-30 km/t) og blir ofte brukt på kjøretøy hvor gjennomsnittshastigheten er lav.

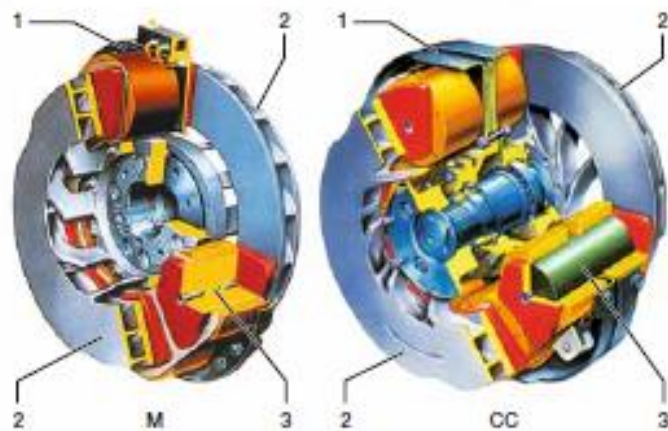
Sekundær retarderen

Montert etter girkassen og er derfor påvirket av hastigheten til drivaksel og hjulhastighet og er mest effektive i hastigheter over 40 km/t. Brukes som oftest på langdistansekjøretøy.

Elektrisk retarder (Telma brems)

Telma bremsen er bygget opp av en ferrittisk plate som er festet til drivakselen på kjøretøyet. Rundt platen er det en stator med enten 8 eller 16 elektromagneter. Statoren er festet til rammen på kjøretøyet. Når spenning settes på statoren (fra batteri eller dynamo) blir det generert et magnetisk felt og på grunn av magnetfeltene blir det induisert en virvelstrøms spenning i platen, som igjen genererer et magnetfelt i platen. Magnetfeltene fra statoren og platen jobber mot hverandre og gir en bremsende effekt.

- 1 Stator
- 2 Rotor
- 3 Elektromagneter



Figur 61 Elektronisk retarder, Telma brems [1].

4. KJØRETØYETS ANTISPINNS SYSTEMER

I dette kapittelet skal vi ta for oss de forskjellige antispinnløsningene som blir levert fra bilfabrikantene.

4.1 Antispinn regulering

Informasjonen om ASR er hentet fra: [1, s.157-159]

Antispinn regulering (ASR) er et reguleringsystem innunder EBS-systemet som blir brukt til å bedre veigrepet til roterende hjul. ASR-systemet regulerer hastigheten på drivhjulene i forhold til hverandre og i forhold til ikke drivende hjul for å oppnå maksimal friksjonsutnyttelse på det gitte føret, samt opprettholde stabiliteten til kjøretøyet. Systemet er en tilleggsfunksjon til ABS-systemet og blir styrt automatisk av EBS-styreenheten og trenger dermed ingen aktivering av fører. Et grunnleggende ASR system er bygget opp av følgende deler:

- ASR-CPU
 - Kontrollerer hele reguleringsprosessen
- EDC, Elektronisk motor styring.
 - Kontrollering av drivstoffet til motoren. Kan være mekanisk eller elektronisk løsning
- ASR-magnetventil
 - Blir styrt av ASR-CPUen og regulerer lufttilstrømningen til reguleringsventilen til det spinnende hjulet.
- Reguleringsventil
 - Blir også styrt av ASR-CPUen og regulerer trykket ut i bremseklokka. Blir også brukt for ABS-regulering.
- Vekselventil
 - Ventil som forhindrer at bremsen og ASR-systemet kan virke samtidig.
- Hjulsensor
 - Måler hastigheten til hjulene.

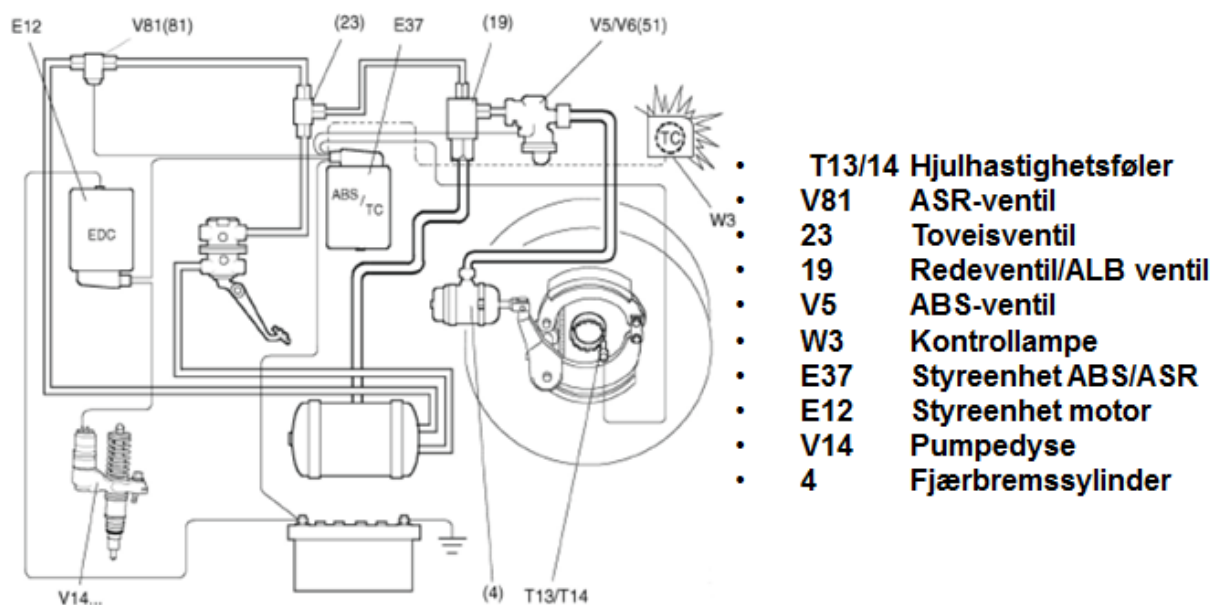
Systemet har to forskjellige virkemåter, bremserregulering og motoreffektregulering, som kan brukes samtidig eller hver for seg.

Bremserregulering i forbindelse med hjulspinn

Bremserreguleringsprinsippet blir normalt kun brukt ved lave hastigheter når et av drivhjulene roterer raskere enn de andre, på grunn av manglende veigrep. Bremsen tilhørende hjulet med høyest hastighet blir aktivert via reguleringsventilen og på den måten blir dreiemomentet fra det spinnende hjulet overført til motsatte hjul. Trykkoppbygningen skjer gradvis helt til begge hjulene har lik hastighet.

Bremserreguleringsforløpet

Under et bremserreguleringsforløp vil forskjellig hjulhastighet ha blitt registrert av hjulsensorene (T13/T14) og denne informasjonen blir sendt til styreenheten (E37) som beregner hvor stort bremsetrykk som skal påføres det spinnende hjulet, samtidig som dette skjer vil kontrollampen (W3) begynne å lyse. Informasjonen blir sendt til ASR-ventilen (V81) som distribuerer ønsket luftmengde til bremsekretsen til det spinnende hjulet. Luften går via toveisventilen (23) som sørger for å stenge tilgangen til bremsetrykket slik at det ikke skal være mulig å bremse og ha ASR aktivert samtidig. Samtidig som dette skjer vil ABS-ventilen (V5) på motsatt hjul stenges, slik at det ikke kan bygges opp trykk i bremseklokka. Trykket i systemet blir gradvis større helt til begge hjulene har lik hastighet og systemet skrur seg av når begge hjulene har lik hastighet. Trykket i bremseklokkene blir sluppet ut via relèventilen (19). Ved hjelp av ASR-systemet er det mulig å aktivere en differensial lås, hvis dette er montert. Da vil systemet beregne riktig tidspunkt for at differensial låsen skal slå inn. Volvo har blant annet dette systemet [58].



Figur 62 Forenklet ASR-system [1].

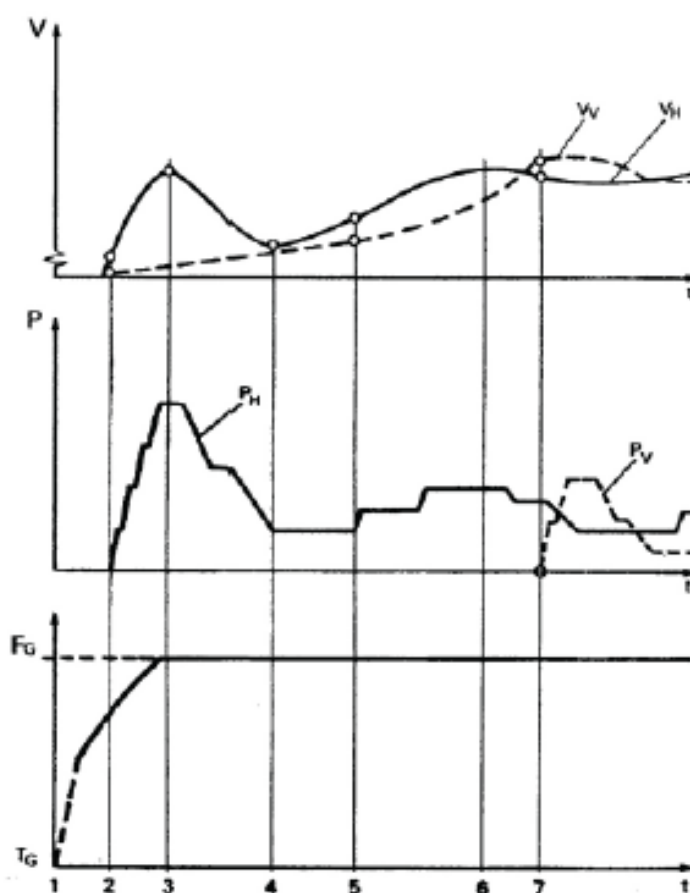
Motorregulering

ASR-systemet har også konstant kontakt med hjulsensorene til forhjulene for å ha en referanse hastighet. Hvis ASR-systemet oppdager at samtlige drivhjul spinner vil motorreguleringen kobles inn. Dette skjer fordi den totale drivkraften er større enn den tillatte friksjonskraften. Dette gjøres ved at et signal sendes til pumpedysen (V14) via EDC (12) om å redusere drivstoffmengden. Dette kan gjøres på to forskjellige måter, enten ved direkte kommunikasjon med dysene, eller å stenge gasspådraget. Motorreguleringen regulerer aktivt i alle hastigheter så sant begge hjulene spinner, og da benyttes bremsereguleringen bare for å synkronisere hastigheten på hjulene. Ved en hastighet over 30 km/h vil bare motorreguleringen fungere.

Hendelsesforløp ved bremseregulering

- V_V Hjulhastighet venstre hjul
- V_H Hjulhastighet høyre hjul
- P_V Bremsetrykk venstre
- P_H Bremsetrykk høyre
- F_G Maks drivstoffinnsprøytning
- T_G Min drivstoffinnsprøytning

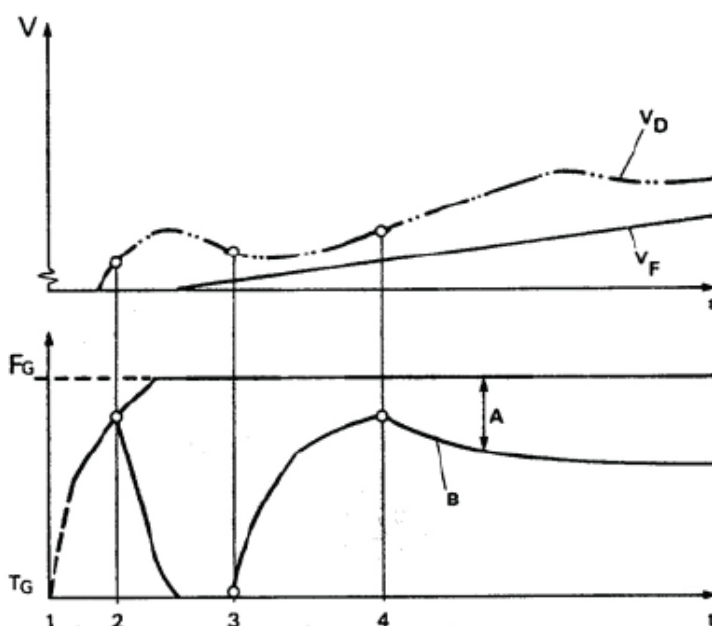
Når føreren gir gass (1) på *spit* – μ underlag begynner høyre hjul å spinne (2) og trykket i høyre bremsesklokke bygges opp helt til hjulet slutter å spinne (3). Trykket i bremsesklokken reduseres og begge hjulene har lik hastighet (4). Høyre hjul begynner å spinne igjen. Hastigheten mellom høyre og venstre hjul sammenlignes og bremsetrykket i høyre klokke øker gradvis (5). Høyre hjul akselererer ikke lenger og trykket senkes (6), begge hjul har lik hastighet. Nå begynner venstre hjul å slippe (7) og bremsetrykket øker i venstre bremsesklokke.



Figur 63 Hendelsesforløp ved bremseregulering [1].

Hendelsesforløp ved motorregulering

- V_V Hjulhastighet venstre hjul
- V_H Hjulhastighet høyre hjul
- F_G Bremsetrykk venstre
- T_G Bremsetrykk høyre
- A Maks innsprøytningmengde
- B Min innsprøytningmengde



Figur 64 Hendelsesforløp ved motorregulering [1].

Når gass pedalen blir aktivert (1) og EBS systemet registrerer en stor hastighetsforskjell mellom drivhjulene og framhjulene vil motorreguleringen bli aktivert (2). Når hastigheten begynner å utligne seg blir motorkraften igjen innført (3). Hastigheten mellom akslene er igjen forskjellig og motoreffekten blir redusert (4).

Offroad modus

I noen tilfeller vil det være ugunstig med motorregulering. Det er derfor mulig å koble ut denne funksjonen ved hjelp av en knapp i dashbordet

Fordeler og ulemper med ASR som hjelpemiddel

Som vi har sett så vil ASR systemet regulere drivhjulene slik at det utnytter den tilgjengelige friksjonen i størst mulig grad, enten ved hjelp av bremseregulering eller motorregulering. Systemet har flere fordeler, som blant annet:

- Lette igangkjøringen på *split* – μ underlag.
- Reduserer faren for overstyring i sving ved å holde hastigheten på drivhjulene tilnærmet lik.
- Etterligner funksjonaliteten til en differensialsperr, uten å redusere svingmuligheter, noe som også forlenger levetiden til dekk og drivverk, da det blir mindre slitasje.
- Gjennom signaler som varsellampen vil føreren få informasjon om forholdene, noe som kan hjelpe føreren med å ta de riktige avgjørelsene på kjøringen videre.
- Systemet er føreruavhengig, noe som betyr at fører trenger ikke ha noen forkunnskap for å bruke dette systemet, det jobber i bakgrunnen og hjelper føreren uten at han trenger å tenke på det.

Systemet har sine fordeler og det er med god grunn at systemet er blitt et mer eller mindre standard produkt på nyere lastebiler, og det er lett å forstå argumentene for å bruke det.

Men systemet vil aldri gi bedre friksjon, det vil kun utnytte den friksjonen som er tilgjengelig på best mulig måte. Om det ikke er noen friksjon tilgjengelig, eller for lav friksjon, vil systemet heller hindre deg i å komme frem, enn å hjelpe deg, da det med motorreguleringen vil senke effekten i motoren og på den måten blir man stående fast. Etter samtale med Per Ole Nygaard [59] fra Scania, hvor det ble diskutert forskjellige antispinn systemer, kan det forstås som at elektroniske løsninger som ASR er gode, men ingenting er bedre en de gamle mekaniske løsningene, så lenge man vet hvordan man skal bruke dem. Med mekaniske løsninger menes differensialsperr, boggiløft m.m.

Etter min forståelse er et ASR-system basert på algoritmer og logiske datasystemer og jobber ut i fra gitte parametere. I visse tilfeller vil det ikke være gunstig med et ASR-system, da det ikke har mulighet til å tenke «utenfor boksen». I noen tilfeller på glatt føre finnes det ikke et fasitsvar på hvordan en burde kjøre, og da kan det være gunstig å skru av ASR systemet. Men for førere uten erfaring på vinterføre vil det nok være til stor hjelp, da det gir en forvarsel gjennom varsellampen om når det er glatt og man ikke burde stoppe. Det vil gi verdifull hjelp når man lite erfaring på dårlig føre.

4.2 Tandemdrift og boggiløft

I dette kapitlet skal vi se på fordelene og ulempene ved noen av de vanligste akselkonfigurasjonene og hvordan lastoverføring mellom de to bakre akslene på et 6x2 kjøretøy gir en økning i tillatt friksjonskraft når den ene akselen løftes. Lastoverføring vil si å overføre deler, eller all, belastning fra en aksel til en annen. Dette vil bli gjort både ved statisk beregning og ved å se på praktiske forsøk foretatt av Sintef.

LOVER OG REGLER

I EU sitt direktiv 97/27 [60] som omhandler designet og bruken av et kjøretøy, er det satt krav til hvordan og i hvilke tilfeller det er lov å bruke lastoverføring. I punkt 3.5 står det følgende om bruken av lastoverføring når en overstiger den tillatte akseltyngden.

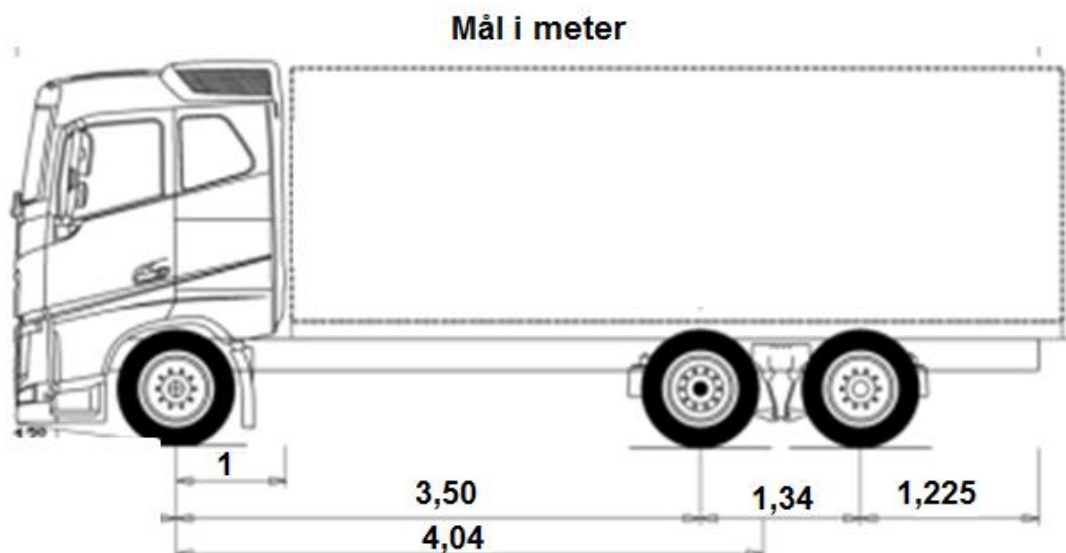
- Bruken av lastoverføring skal kun brukes ved igangkjøring på glatt føre.
- Lasten over den belastede akselen kan overstige det tillatte akselvektkravet, men ikke med mer enn 30 %.
- Det skal alltid være last på framakselen. Det er ikke tillatt at framakselen blir løftet av bakken.
- Må være egen bryter for lastoverføring i dashbordet.
- Det er ikke lov å bruke lastoverføring ved høyere hastigheter enn 30 km/h. Ved en hastighet høyere enn 30 km/h vil akselen bli senket automatisk.

På grunn av vinterforholdene i Norge, er Norge et av de landene som har særegne regler når det kommer til tillatt aksellast ved bruk av boggiløft. I Norge er det følgende regler som gjelder [61]:

- Lasten på akselen skal ikke overstige den maksimale aksellasten satt av fabrikant.
- Det er lov å heve akselen under kjøring på glatt føre, og ikke kun ved igangkjøring
- Det er lov å heve akselen i hastigheter høyere enn 30 km/h, dersom det er i tråd med produsentens godkjenning
- Det er kun lov å ha hevet aksel så lenge det er behov for økt friksjon.

Statisk beregning:

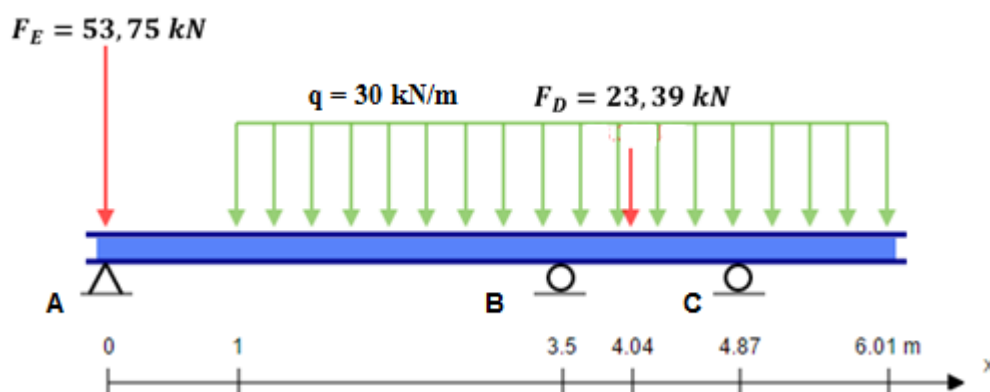
I Norge er det vanlig å bruke lastoverføring som en måte å øke friksjonen på, og for å se hvor stor innvirkning det faktisk har på den totale friksjonen er det satt opp et tenkt scenario med en lastebil i en helning. Målene på lastebilen er tatt fra en Volvo FM13[62] og kan sees nedenfor. Lasten over akslingene er valgt ut i fra fakta arket fra Volvo [62]. Formler er hentet fra Geir Terjesen sine forelesningskompendier [63, 64].



Figur 65 Målsatt lastebil [62].

- Aksellast på framaksel: 53,75 kN
- Aksellast boggi: 23,39 kN
- Jevnt fordelt last (q): 30 kN/m

For å gjøre det enklere å beregne blir det gjort noen forenklinger. Ser på lastebilen som en statisk bjelke og setter massen til lastebilen som to punktlaster, en over forhjulet og en mellom boggi akselen. Lasten mellom boggiakselen er plassert nærmere midtre aksel, da det er rimelig å anta at den midtre akselen vil ta opp mer last. For å simulere en lastet lastebil, blir det lagt på en jevnt fordelt last over hele lasteplanet.



Figur 66 Statisk ubestemt bjelke med jevntfordelt last [65].

Systemet er en ganger statisk ubestemt. Tar vekk opplager B for å gjøre systemet statisk bestemt og tar momentet om A for å finne opplagerkreftene.

$$\Sigma M_A = 0: \quad (4.1)$$

$$F_D \cdot 4,04 + q \cdot 3,505 + F_C \cdot 4,87 = 0$$

$$F_C = \frac{23,39 \cdot 4,04 + 150,3 \cdot 3,505}{4,87}$$

$$F_C = 127,57 \text{ kN}$$

Finner opplager F_A ved å sette kreftene i y-retning lik null.

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow F_A = 99,86 \text{ kN}$$

For å finne nedbøyningen i punktet hvor opplager B stod, bruker vi Macauley funksjoner. Lager et uttrykk for momentfunksjonen og setter det inn i likningen.

$$\text{Uttrykk for krummingen:} \quad EIy'' = -M(x) \quad (4.2)$$

$$\text{Uttrykk for vinkelen:} \quad EIy' = -M(x) \quad (4.3)$$

$$\text{Uttrykk for nedbøyningen:} \quad EIy = -M(x) \quad (4.4)$$

$$M(x) = F_A \cdot x - F_E \cdot x - q \langle x - 1 \rangle^2 - F_D \langle x - 4,04 \rangle + F_C \langle x - 4,87 \rangle$$

$$EIy'' = -F_A \cdot x + F_E \cdot x + \frac{q}{2} \langle x - 1 \rangle^2 + F_D \langle x - 4,04 \rangle - F_C \langle x - 4,87 \rangle$$

F_A og F_E virker i samme punkt, men motsatt rettet. Finner den resulterende kraften:

$$-F_A \cdot x + F_E \cdot x = -99,86 + 53,75 = 46,12$$

kaller summen av F_A og F_E for F_{AE}

$$EIy' = -\frac{F_{AE}}{2}x^2 + \frac{q}{6}\langle x-1 \rangle^3 + \frac{F_D}{2}\langle x-4,04 \rangle^2 - \frac{F_C}{2}\langle x-4,87 \rangle^2 + C_1$$

$$EIy = -\frac{F_{AE}}{6}x^3 + \frac{q}{24}\langle x-1 \rangle^4 + \frac{F_D}{6}\langle x-4,04 \rangle^3 - \frac{F_C}{6}\langle x-4,87 \rangle^3 + C_1 \cdot x + C_2$$

Finner C_2 :

Når $x=0$ er $y = 0$. Da blir $C_2 = 0$

Finner C_1

Når $x = 4,87$ m er $y = 0$

$$EIy(4,87) = 0$$

Ledd som blir null, eller negative blir ikke tatt med i utregningen, får da:

$$-\frac{46,12}{6}4,87^3 + \frac{30}{24}\langle 4,87-1 \rangle^4 + \frac{23,39}{6}\langle 4,87-4,04 \rangle^3 + C_1 \cdot 4,87 = 0$$

$$C_1 = 124,27$$

Utrykket blir da seende slik ut:

$$EIy = -\frac{46,12}{6}x^3 + \frac{30}{24}\langle x-1 \rangle^4 + \frac{2,39}{6}\langle x-4,04 \rangle^3 + 124,27 \cdot x$$

Setter $x = 3,5$ for å finne nedbøyningen i punkt B. Igjen så blir ledd lik null eller negativ fjernet fra likningen.

$$EIy(3,5) = -\frac{46,12}{6}3,5^3 + \frac{30}{24}\langle 3,5-1 \rangle^4 + 124,27 \cdot 3,5$$

$$y = \frac{154}{EI}$$

Har funnet nedbøyningen i punkt $x=3,5$ på grunn av lasten. Setter nå på en punktlast, motsatt rettet i punkt B, og beregner nedbøyning fra den. Fra tekniske tabeller [66] finner vi en likning som passer for dette tilfelle. Erstatte P med F_B .

$$f = \frac{P}{EI} \cdot \frac{l^3 \cdot c^2 \cdot c_1^2}{3 \cdot l^2 \cdot l^2} \quad (4.5)$$

$$f_n = \frac{F_B}{EI} \cdot \frac{4,87^3 \cdot 3,5^2 \cdot 1,37^2}{3 \cdot 4,87^2 \cdot 4,87^2} \Rightarrow f = \frac{P}{EI} \cdot 1,57$$

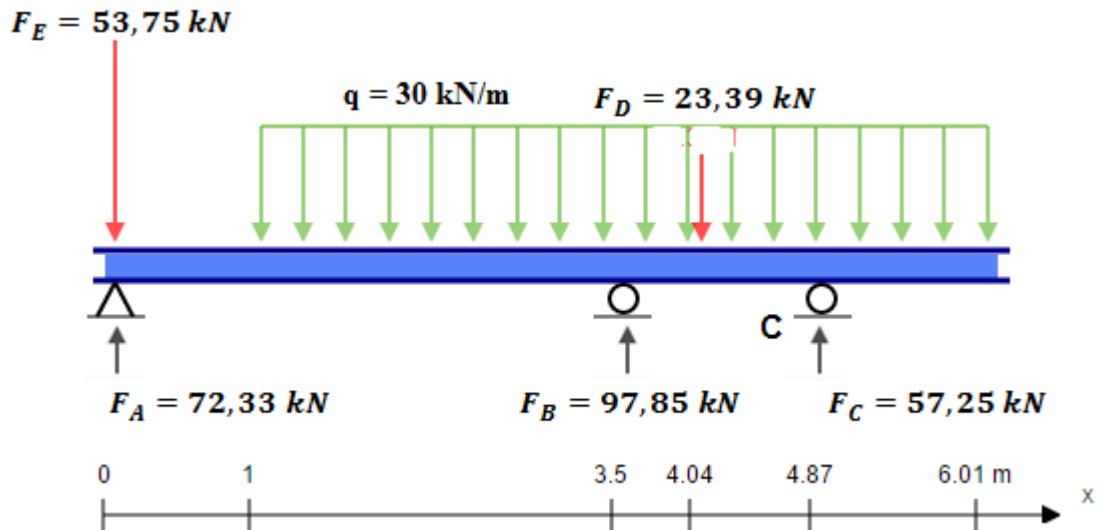
Setter likningene lik hverandre for å finne kraften F_B .

$$\frac{F_B}{EI} \cdot 1,57 = \frac{154}{EI} \Rightarrow F_B = 97,85 \text{ kN}$$

Systemet er ikke lenger statisk ubestemt. Bruker vanlig likevekts likning for å finne opplagerkreftene i A og C. Opplagerkreftene i A og C blir da:

$$F_A = 72,33 \text{ kN}$$

$$F_C = 57,25 \text{ kN}$$



Figur 67 Statiskubestemt bjelke med opplagerkrefter [65].

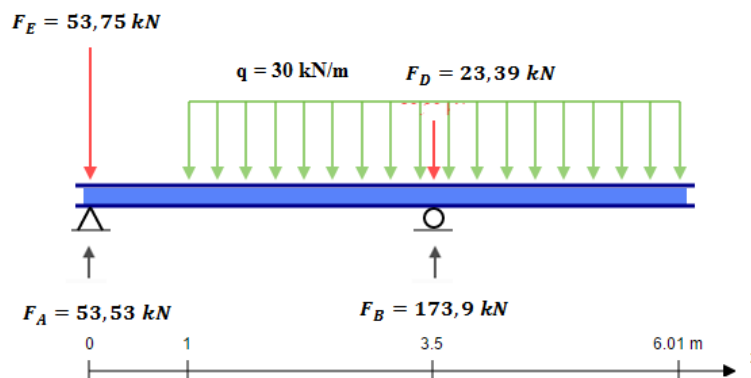
I det tilfelle hvor lastebilen har mulighet til å løfte en av akslingene, vil det bli en økning av trykk på en av bakakslene. Det finnes forskjellige varianter av løft, enten løft av det midterste, ofte kalt pusherløft, og boggiløft, hvor en løfter det bakerste hjulet. For å se på hva slags akseltrykk som forekommer ved begge tilfellene blir det satt opp to nye statisk bestemte system. Bruker samme geometri som i forrige eksempel, men nå blir bakre akselvekt plassert direkte over det hjulet som er i kontakt med bakken.

Første system er av typen boggiløft:

Bruker et statiskbestemt system for å finne opplagerkreftene:

$$F_A = 53,53 \text{ kN}$$

$$F_B = 173,9 \text{ kN}$$



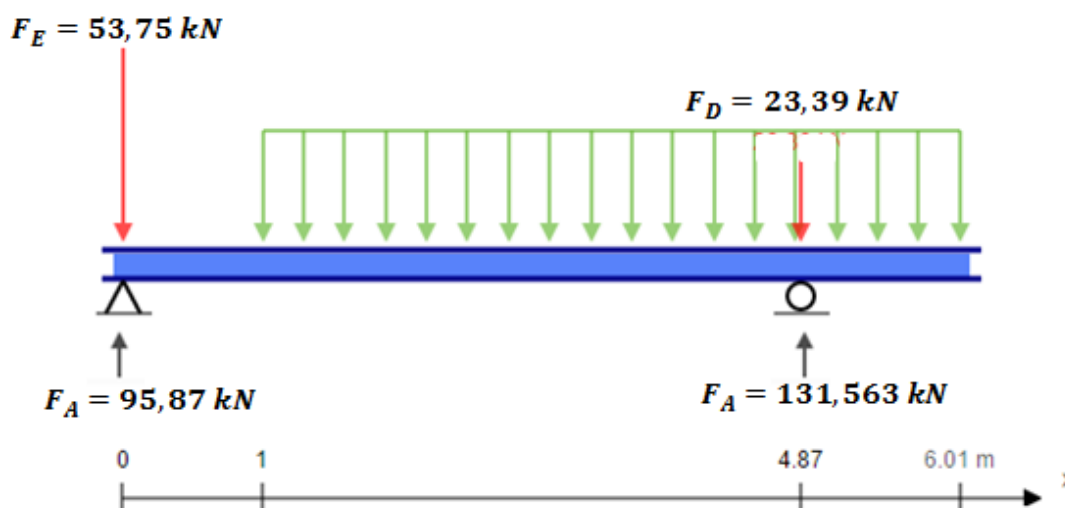
Figur 68 Opplagerkrefter med boggi løftet [65].

Som vi kan se så øker belastningen på bakre aksel med nesten 80 % ved å løfte bakre aksel og kraften på framakselen blir noe mindre.

Andre system viser en pusher aksel løsning med løft på midtre aksel og da blir de forskjellige opplagringene slik:

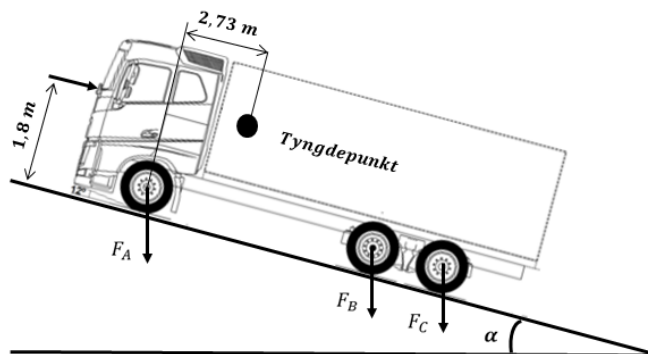
$$F_A = 95,87 \text{ kN}$$

$$F_C = 131,563 \text{ kN}$$



Figur 69 opplagerkrefter med pusher løftet [65].

Ut fra tallene ser vi at det blir en økning i akseltrykk på fram akselen, noe som er forventet, da det meste av lasten er mellom opplagerpunktene og en økning av akseltrykk på bakakselen, men ikke like stor som ved boggiløft. Setter alle tre systemer i en oppoverbakke og ser på hvor stor den nødvendige friksjonskoeffisienten er. For å gjøre forsøket mer reelt blir det valgt å ha med luftmotstand, rullemotstand og stigningsmotstand. Velger en bakke med 5° helning.



Figur 70 Lastebil i helning [62].

Stigningsmotstand

$$F_S = G \cdot \sin \alpha \quad (4.6)$$

$$F_S = 227,44 \cdot \sin 5^\circ = 19,82 \text{ kN}$$

Rullemotstanden

$$F_R = G \cdot f \quad (4.7)$$

f = rulle­mot­stands­koeffisient

G = Tyngdekraften

antar en rulle­mot­stands­koeffisient = 0,02

$$F_R = 227,44 \cdot 0,02 = 4,55 \text{ kN}$$

Luftmotstand

$$F_L = 0,5 \cdot C_w \cdot A \cdot \rho_1 \cdot (v - v_0)^2 \quad (4.8)$$

C_w = luft­mot­stand koeffisienten

A = Tverrsnittsarealet av kjøretøyet

$C_w \cdot A$ = luft­mot­stands­indeks

ρ_1 = Luft tettheten

v = Hastigheten til kjøretøyet

v_0 = hastigheten til vinden

Antar en luftmotstandsindeks lik 3 m^2 og at lastebilen kjører i en hastighet lik 40 km/h. Tettheten til luften settes til $1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

$$F_L = 0,5 \cdot \text{luftmotstandsindeks} \cdot \rho \cdot v^2 = 0,5 \cdot 3 \cdot 1,25 \cdot \left(\frac{40}{3,6}\right)^2 = 0,231 \text{ kN}$$

Den totale motstandskraften blir da:

$$F_{\text{motstand}} = F_S + F_R + F_L \quad (4.9)$$

$$F_{\text{motstand}} = 27,71 + 4,55 + 0,231 = 32,49 \text{ kN}$$

Finner bilens horisontale tyngdepunktplassering:

Tar momentet om opplager A.

$$\Sigma M_A = 0:$$

$$F_D \cdot 4,04 + q \cdot 3,505 + G \cdot x = 0$$

$$x = \frac{23,39 \cdot 4,04 + 150,3 \cdot 3,505}{227,44}$$

$$x = 2,73$$

Tyngdepunktet er plassert 2,73 m til høyre for opplager A.

Beregner den nødvendige friksjonskoeffisienten for alle tre tilfeller og setter tyngdepunktshøyden til 1,8 m

Tilfelle 1, begge hjulene i bakken:

Tar momentet om opplagerpunkt A og på grunn av vektfordelingen på bakre aksel antas det nå at 2/3 av lasten overføres til den midtre akselen og 1/3 overføres til den bakre. Kraften får benevnelsen F_{BC} og setter midt mellom opplager B og C.

$$\Sigma M_A = 0:$$

$$F_y \cdot 2,73 + F_x \cdot 1,8 + F_L \cdot 1,8 - F_{BC} \cdot 4,04 = 0$$

$$F_{BC} = \frac{227,44 \cdot \cos 5 \cdot 2,73 + 227,44 \cdot \sin 5 \cdot 1,8 + 0,231 \cdot 1,8}{4,04}$$

$$F_{BC} = 162 \text{ kN}$$

Lasten på midtre aksel blir da 108 kN og lasten på bakre aksel blir da 54 kN.

Nødvendig friksjonskoeffisient:

$$F_{motsand} = \mu \cdot Aksellast$$

Drift på midtre aksel:

$$\mu = \frac{F_{motsand}}{Aksellast} = \frac{32,49}{108} = 0,3$$

Drift på bakerste aksel:

$$\mu = \frac{F_{motsand}}{Aksellast} = \frac{32,49}{54} = 0,6$$

Tilfelle 2, boggiløft:

$$\Sigma M_A = 0:$$

$$G_y \cdot 2,73 + G_x \cdot 1,8 + F_L \cdot 1,8 - F_B \cdot 3,5 = 0$$

$$F_B = \frac{227,44 \cdot \cos 5 \cdot 2,73 + 227,44 \cdot \sin 5 \cdot 1,8 + 0,231 \cdot 1,8}{3,5}$$

$$F_B = 187 \text{ kN}$$

Nødvendig friksjonskoeffisient:

$$\mu = \frac{F_{motsand}}{Aksellast} = \frac{32,49}{187} = 0,173$$

Tilfelle 3, pusherløft:

$$\Sigma M_A = 0$$

$$G_y \cdot 2,73 + G_x \cdot 1,8 + F_L \cdot 1,8 - F_C \cdot 4,87 = 0$$

$$F_B = \frac{227,44 \cdot \cos 5 \cdot 2,73 + 227,44 \cdot \sin 5 \cdot 1,8 + 0,231 \cdot 1,8}{4,87}$$

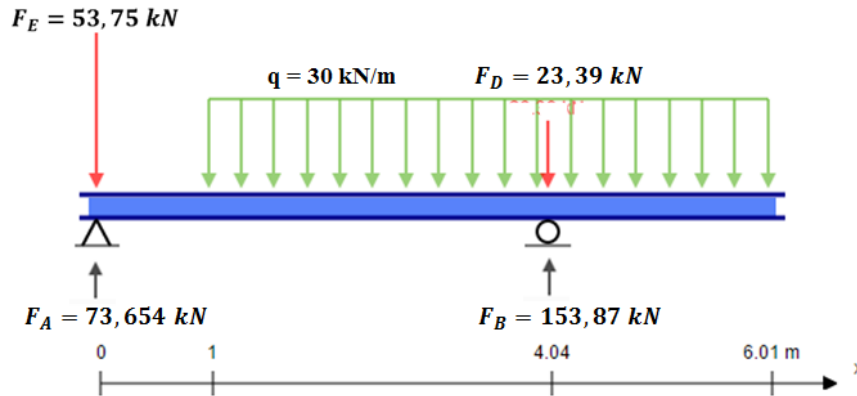
$$F_B = 134,4 \text{ kN}$$

Nødvendig friksjonskoeffisient:

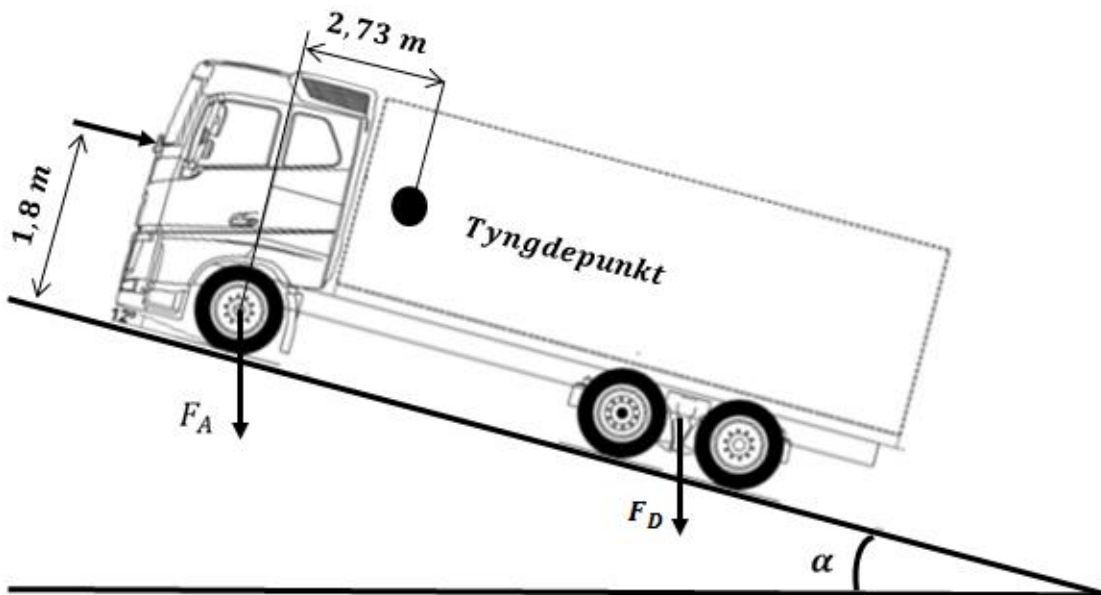
$$\mu = \frac{F_{motsand}}{Aksellast} = \frac{32,49}{134,4} = 0,24$$

Tandemdrift:

I tilfellet med tandemdrift vil det være likt akseltrykk på begge bakre akslinger [5, s.232], da det ved forskjellig akseltrykk vil føre til at den akselen med minst trykk vil begynne å spinne før den andre og det er lite gunstig på grunn av dekk slitasje og dårlig utnyttelse av friksjonen. I tilfelle nedenfor er det satt opp et system med en lastebil med tandemaksel, det er brukt samme lastebil som tidligere, bare nå er akselpunktet satt til den teoretiske akselavstanden. Opplager punktet er satt midt mellom boggien og det antas at begge akslingene tar opp like mye trykk.



Figur 71 Statisk bjelke, tandemdrift [65].



Figur 72 Tandem lastebil i helning [62].

Tar momentet om A for å finne normalkraften på begge akslene bak.

$$\Sigma M_A = 0:$$

$$G_y \cdot 2,73 + G_x \cdot 1,8 + F_L \cdot 1,8 - F_D \cdot 4,04 = 0$$

$$F_D = \frac{227,44 \cdot \cos 5 \cdot 2,73 + 227,44 \cdot \sin 5 \cdot 1,8 + 0,231 \cdot 1,8}{4,04}$$

$$F_D = 162 \text{ kN}$$

Nødvendig friksjonskoeffisient med tandemdrift:

$$\mu = \frac{F_{motsand}}{Aksellast} = \frac{32,49}{162} = 0,20$$

Bruken av tandemdrift vil være noe bedre enn pusherløft, men dårligere enn boggiløft. Fordelen til Tandemdrift ligger i det at marktrykket blir lavere, uten at den nødvendige friksjonskoeffisienten synker veldig. Dette fører til at det vil være lettere å kjøre på mykt underlag hvor bruken av boggiløft vil føre til at hjulene kan synke ned i jorden. Det vil mest sannsynlig være en fordel med tandemdrift i tømmerindustrien, da det ofte kjøres på veier som ikke er asfalterte.

Tabell 10 oversikt over resultatene fra beregningene.

Konfigurasjon	Tyngde pr. aksel (kN)			Nødvendig μ
	Fremre aksel	Midtre aksel	Bakre aksel	
Begge aksler nede	65,6	108	54	0,30/0,60
Boggi løft	40	187	-	0,17
Pusherløft	93	-	134,4	0,24
Tandemdrift	65	81	81	0,20

Sintefrapport

Dette delkapittelet er basert på en rapport fra Sintef [10].

I oppdrag fra Statens vegvesen foretok Sintef en rekke forsøk hvor de skulle kartlegge lastebilens utfordring med framkommelighet i vinterhalvåret. Det ble gjort forsøk med forskjellige lastebilkonfigurasjoner for å se hvilke konfigurasjoner som egnet seg best på norsk vinterføre.

Forsøkene ble gjort i Møre og Romsdal i en stigning med navn Heggelia. Før forsøket ble gjennomført ble det foretatt en telling av tyngre kjøretøy på den gitte stigningen i løpet av et døgn, og kjøretøy konfigurasjon, samt lastebilens opprinnelse ble også dokumentert. I tabellen under kan en se at utenlandske kjøretøy representerer i underkant av 20 % av alle lastebiler som ble registrert, og det er de utenlandske lastebilene som er høyest representert når det kommer til toakslede lastebiler. Det er nettopp disse lastebilene som erfaringsmessig utgjør hovedproblemet i forhold til stans i bakker, da det er lite som kan gjøres for å øke aksellasten.

Tabell 11 Oversikt over Norske og utenlandske kjøretøy [10].

Opprinnelse	Singel bil	Enkel bil + tilhenger	Boggi bil + tilhenger	Semi med enkel aksel	Semi med boggi	Buss	Sum	Prosent
Norske	24	2	126	3	155	13	323	81
Utenlandske	0	0	6	23	47	0	76	19

Det ble valgt å se på fire forskjellige kjøretøy med fire forskjellige lastscenarioer.

Lastebiler

- A) Boggibil med 3-akslet henger. 338 kW, 460 hk
- B) Semi med boggi og tre akslet tralle. 404 kW, 550 hk
- C) Toakslet semitrailer med treakslet tralle 530 hk
- D) Pusherbil med treakslet tralle. 400 hk

Last tilfeller

- Bil med henger, uten last
- 10 tonn last fordelt på henger og lastebil
- 20 tonn last fordelt på henger og lastebil
- Kjøring med og uten boggi

For bilen med pusher, blir det kun foretatt kjøring med 20 tonns last med og uten pusher.

Test oppsett

Lastebilene var utstyrt med GPS-enheter som skulle registrere hastigheten og posisjon. I tillegg til å loggføre posisjon og fart ble det foretatt en veiing av de forskjellige lastebilene for å dokumentere aksellasten med de gitte lastene.



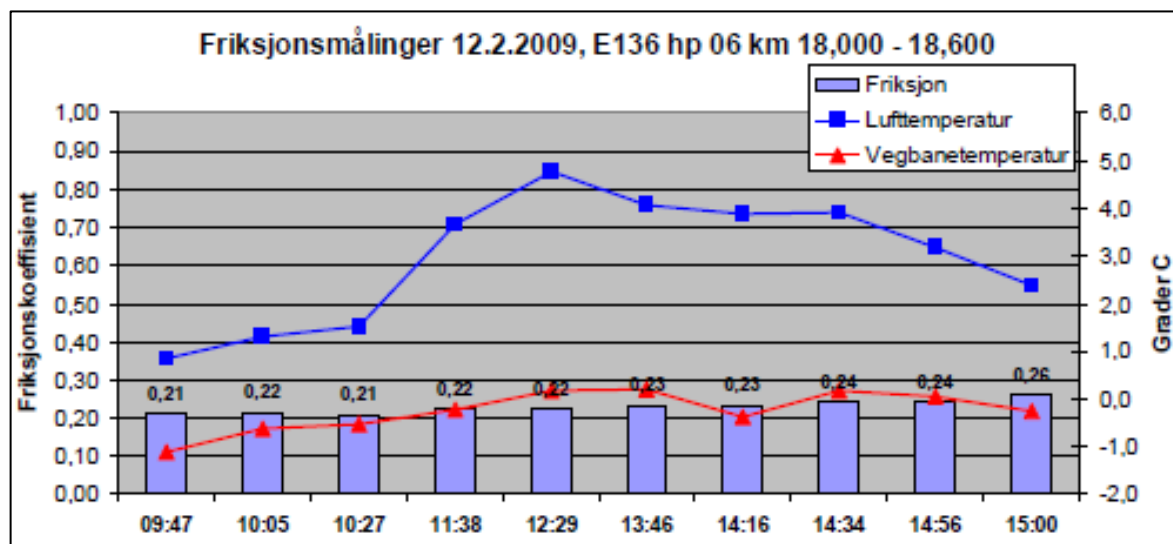
Figur 73 Oversikt over kjøretøy som var med i forsøket [10].

Tabell 12 Oversikt over laster på de forskjellige kjøretøyene [10].

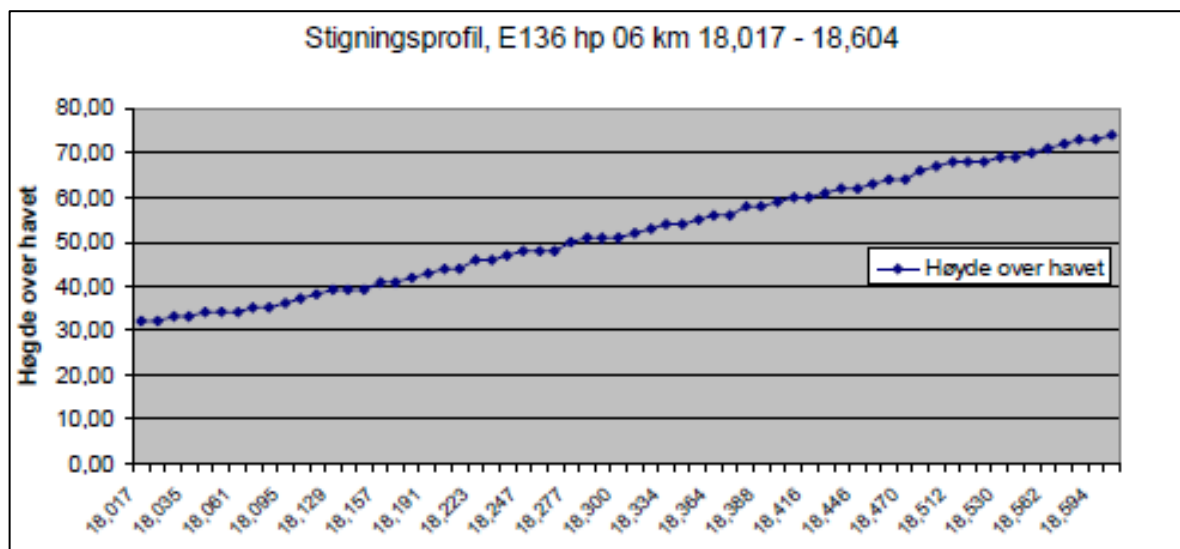
	Lastebil A (Last i kg)			Lastebil B (Last i kg)		
	Framaksel	Midtre aksel	bakre aksel	Fram aksel	Midtre aksel	bakre aksel
0 tonn Boggi ned	60 50	47 50		65 005	51 10	
Boggi opp	5 300	7 750	2200	550	8 100	2200
10 tonn Boggi ned	76 00	6300		70 005	7100	
Boggi opp	6 400	10900	4050	450	12250	3800
20 tonn Boggi ned	8000	9500		7500		
Boggi opp	5900	17800	6600	5450	14900	4750
	Lastebil C (Last i kg)			Lastebil D (Last i kg)		
	Fram aksel	Midtre aksel	bakre aksel	Fram aksel	Midtre aksel	bakre aksel
0 tonn Boggi ned						
Boggi opp	6 850	5 350	-	-	-	-
10 tonn Boggi ned						
Boggi opp	7500	9000	-	-	-	
20 tonn Boggi ned						8000
Boggi opp	8000	11700	-	-	-	11700

Kjøreforhold

Det ble valgt å ta forsøkene i Heggelia bakken. Bakken har en gjennomsnitts stigning på 7 % og er en av de bratteste stigningene mellom Oslo og Ålesund. Det ble foretatt flere friksjonsmålinger av veistrekket som viste en gjennomsnittsverdi på rundt 0,23 μ og kjøreforholdet var fast snø med noe løs snø på toppen. Nedenfor er en oversikt av friksjonsforholdene og stigningsprofilen.



Figur 74 Stigningsoversikt [10].



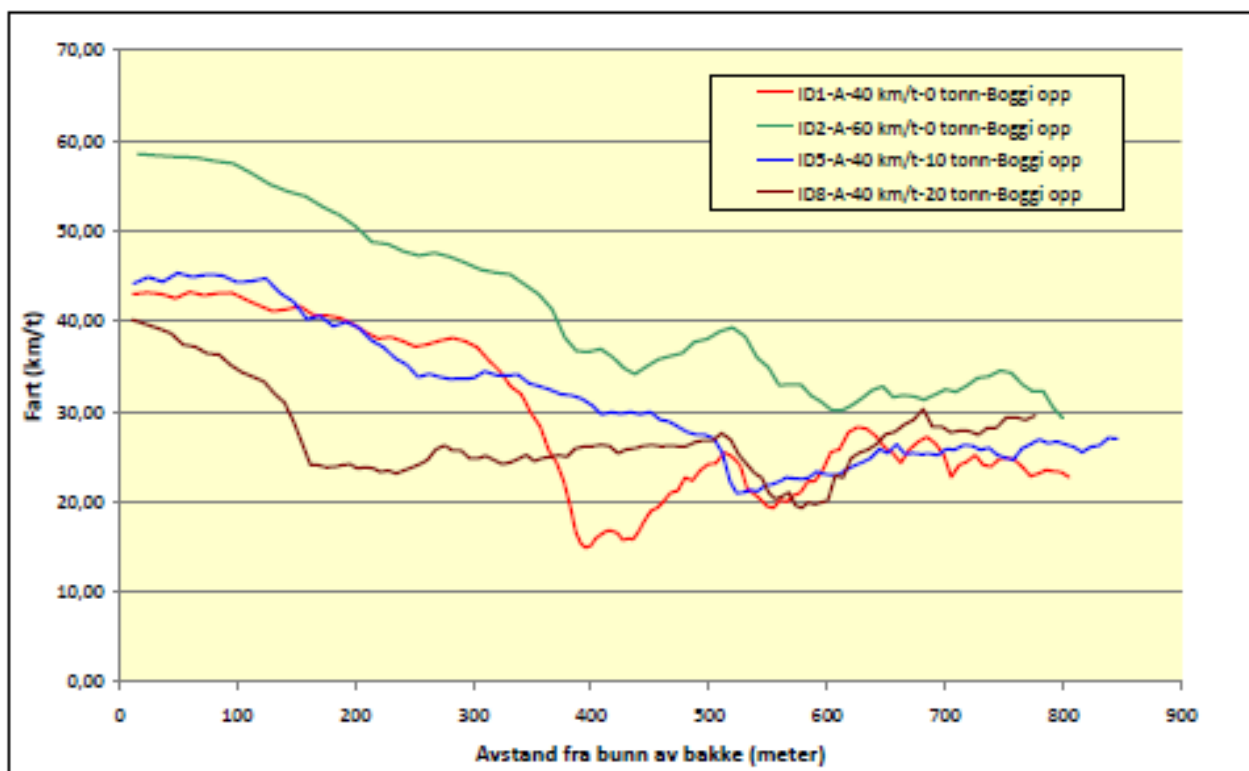
Figur 75 Oversikt over friksjonen på den gitte strekningen [10].

Resultater

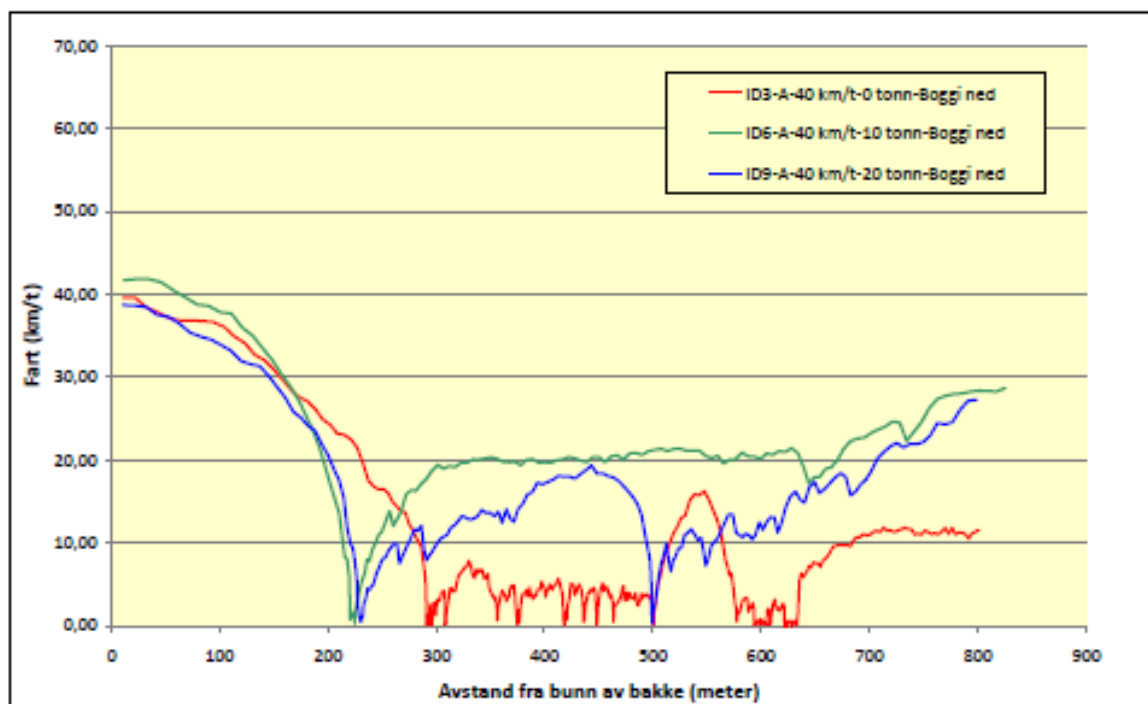
Forsøkene ble gjennomført i løpet av to dager og det ble gjennomført flere forsøk med hver lastebil. Det ble foretatt tester hvor lastebilene skulle kjøre opp uten stans og tester hvor lastebilen skulle stoppe halvveis for å se om de klarte å komme i gang igjen etter stans.

Kjøretøy A

Det ble foretatt flere forsøk med lastebil A, både med boggien hevet og senket. Den øverste grafen representerer forsøk gjort med akselen hevet og den nederste representerer forsøk gjort med akselen senket. Som en kan se så er det tydelig forskjell på hastigheten opp bakken i de to tilfellene. Ved bruk av boggiløft hadde kjøretøy A ingen problem med å komme seg opp bakken. Farten sank gradvis, men dette skyldes nok lav motoreffekt. I tilfelle hvor akselen er senket har lastebilen problemer, uavhengig av lasten. I hvert tilfelle stanset lastebilen etter relativ kort tid og må løfte akselen for å komme seg i gang igjen. I tilfellet hvor det er 0 tonn last (rød) har det ingen innvirkning å løfte akselen. Lastebilen må ha hjelp med å komme opp bakken. Den blå linjen representerer forsøk med planlagt stopp, da med en last på 20 tonn. Lastebilen kom seg i gang, men ved hjelp av boggiløft.



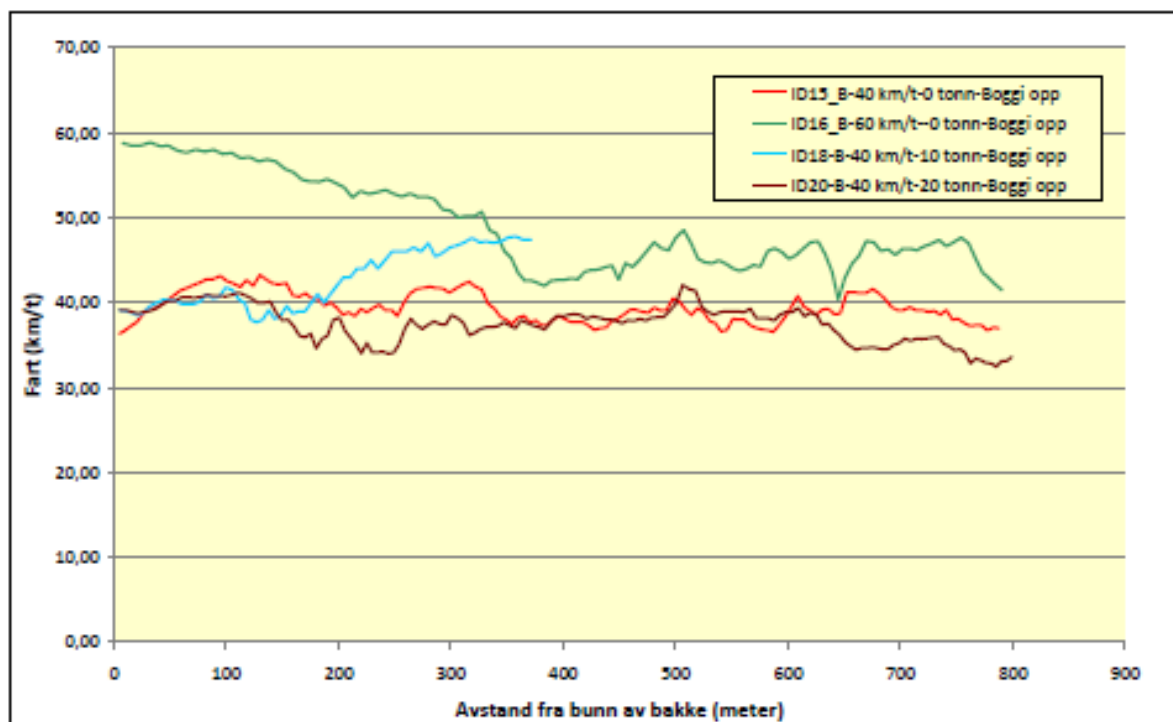
Figur 76 Resultater fra kjøretøy A uten stopp[10].



Figur 77 Resultater fra kjøretøy A med stopp[10].

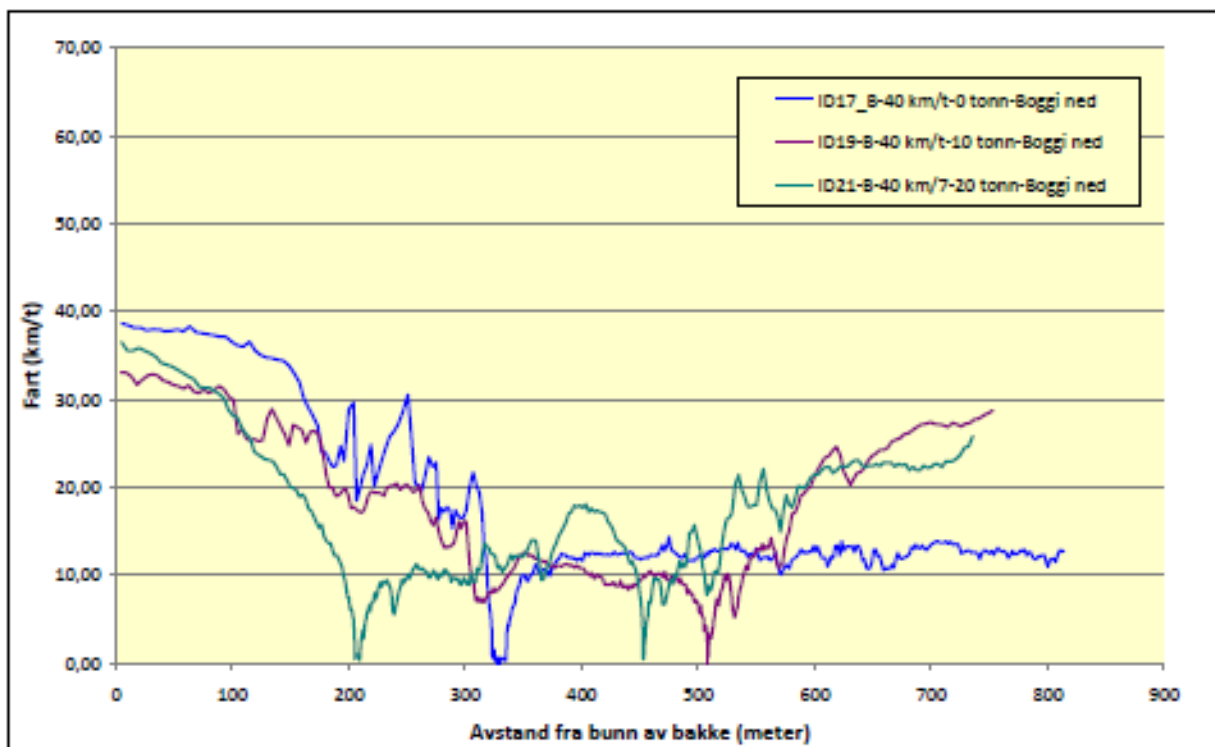
Kjøretøy B

Kjøretøy B har heller ingen problem med stigningen så lenge boggiakselen er hevet, og som en kan se så holder farten seg bedre opp hele stigningen og dette skyldes nok høyere motoreffekt. I tilfelle med 10 tonn (blå) ble det noe feil med GPS signalet halvveis opp bakken.



Figur 78 Resultater for kjøretøy B uten stopp [10].

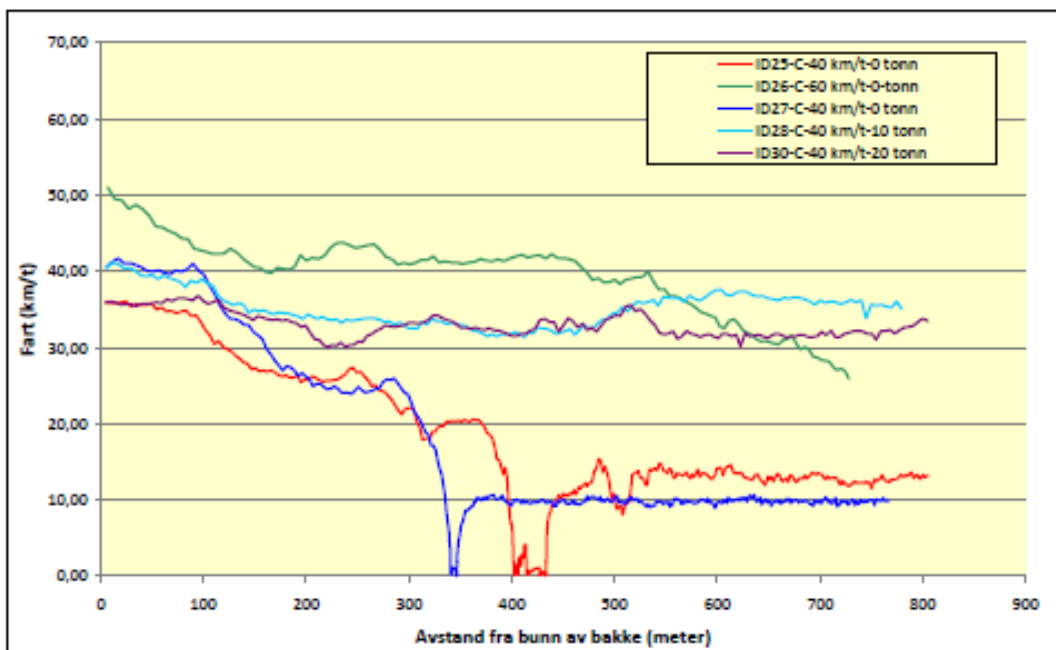
Kjøretøy B har også problemer med stigningen når boggien er senket og fikk stans etter kort tid, uavhengig av last. I tilfelle uten last (blå) kommer lastebilen til en stans litt over halvveis i bakken og prøver å ta seg løs ved å løfte akselen, men må tilslutt bli hjulpet opp bakken av taubilen. Når kjøretøyet har 20 tonns last (turkis) mister det gradvis hastighet og stopper helt etter om lag 200 m. Kjøretøyet klarer å komme i gang igjen ved å løfte bakre aksel. Det var også innlagt et planlagt stopp, og løftning av akselen måtte til for å komme i gang.



Figur 79 Resultater for kjøretøy B med stopp [10].

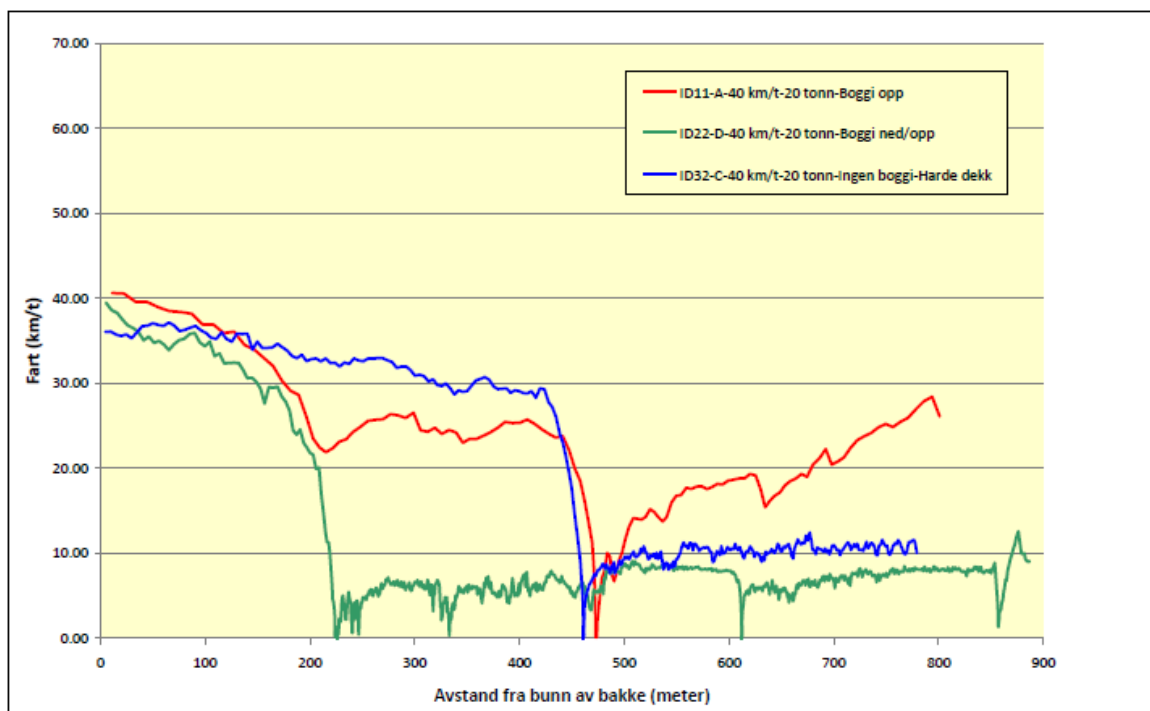
Kjøretøy C

Kjøretøy C hadde problemer med å komme seg opp bakken med ingen last (blå, rød), men ved å øke inngangshastigheten inn i bakken fra 40 km/t til 60 km/t (grønn) kom lastebilen seg opp uten stans. I tilfellene med 10 og 20 tonns last hadde kjøretøyet ingen problem med å komme seg opp bakken (lilla, turkis). I de to tilfellene hadde drivakselen en last på henholdsvis 9 tonn og 11.7 tonn, noe som er mer enn på kjøretøy B med 20 tonns last. Figuren kan sees på neste side.



Figur 80 Resultater fra kjøretøy C uten stopp [10].

Med kjøretøy C ble det også foretatt et forsøk med vinterdekk med høyere shoreverdi enn det man finner i Nordiske vinterdekk, for å se hvordan resultatet ble påvirket. I grafen nedenfor er lastebilen C med harde vinterdekk representert med blå linje og har 20 tonns last. Kjøretøyet kommer seg fint opp bakken og blir pålagt å stoppe rett før 500 m merket. Herfra klarer ikke lastebilen å komme i gang, og trenger hjelp fra redningsbil.



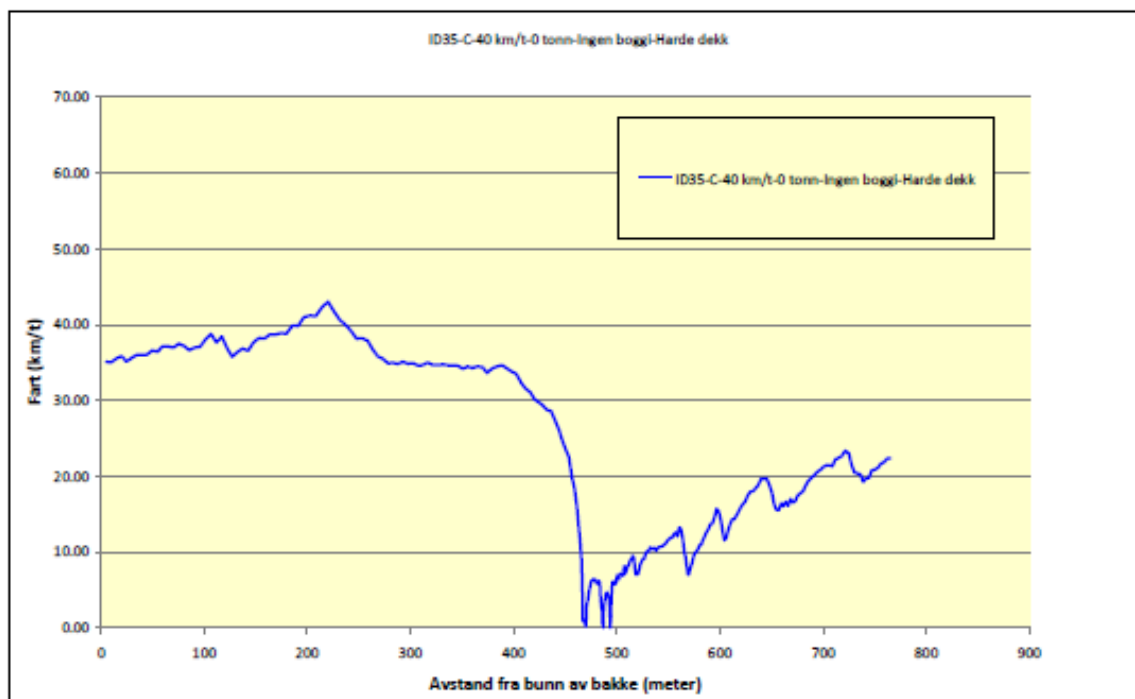
Figur 81 Resultater fra kjøretøy C med stopp [10].

Kjøretøy D

Det ble også foretatt forsøk med en pusher bil med 20 tonns last (grønn) kjøretøyet mistet raskt hastigheten og måtte tilslutt heve akslingen for å kunne ta seg løs. Kjøretøyet hadde problemer med å oppnå særlig høy hastighet. Kjøretøyet ble bedt om å stoppe ved 600 m og kom i gang ved hjelp av hevet aksel.

Friksjonsforbedring

Det ble også foretatt veigrepsforbedringer ved å høvle veien og måke vekk overflødig snø, for å se om dette hjalp på fremkommeligheten til den toakslede lastebilen med harde vinterdekk. Det viste seg at en friksjonsforbedring fra 0,23 til 0,25 hadde mye å si for fremkommeligheten. Kjøretøy C med harde vinterdekk hadde ingen problem med å komme opp bakken, selv med stopp, når friksjonen var høyere enn 0,25. Det må nevnes at dette var med en 20 tonns last.



Figur 82 Resultat av kjøretøy D [10].

Fordeler og ulemper

Som en kan se så er det en betydelig forskjell i den nødvendige friksjonskoeffisienten ved de forskjellige konfigurasjonene og at det er boggiløft som markerer seg som den mest effektive løsningen for å minske den nødvendige friksjonskoeffisienten. Og ut i fra både resultatene fra de teoretiske beregningene og de praktiske forsøkene kan en si at de avgjørende faktorene for å komme seg opp en bakke vil være å ha tilstrekkelig hastighet inn i bakken, tilstrekkelig akseltrykk og unngå stans i bakken. Forsøkene viser også at dekkvalg har mye å si for fremkommeligheten, samt vekt/motoreffekt forholdet.

Lastebiler med boggiløft

Fordeler

- Har mulighet for lastoverføring.
- Lavere drivstoff forbruk ved hevet aksel.
- Bedre svingradius.

Ulemper

- Som sagt har boggiløft en stor fordel ved at den gir den minste tillatte friksjonskoeffisienten, men de praktiske forsøkene kan en også se at det er lite gunstig med boggiaksel, hvis det ikke er mulighet for å løfte en av akslene, da ingen av lastebilene kom seg opp bakken uten hjelp av boggiløft, eller redningsbilen.
- En ulempe med boggiløft er at trykket på fremre aksel synker, noe som kan gi dårligere styringsegenskaper. Dette er ikke avgjørende ved lave hastigheter, men vil ha noe å si hvis hastigheten er høy.
- Krever at sjåføren har tilstrekkelig kjennskap til bruken av systemet for at det skal være effektivt.
- Norsk registrerte kjøretøy vil dra størst nytte av dette.

Lastebiler med pusheraksel

Fordeler

- Har mulighet for lastoverføring.
- Lavere drivstoff forbruk ved hevet aksel.
- Forsøkene med biler med pusheraksel kan en se at trykket på fremre aksel øker, noe som gir bedre styre egenskaper.
- Gode styringsegenskaper og drivstoffbesparelse ved løftet aksel.

Ulemper

- Trykket på drivende aksel på en pusherbil er noe redusert i forhold til boggiløft biler og lastebilen vil ha store vanskeligheter med å komme seg opp bakker med begge akslene nede.
- Vil aldri få like effektiv lastoverføring som en boggi-bil.
- Krever at sjåføren har tilstrekkelig kjennskap til bruken av systemet for at det skal være effektivt.
- Norsk registrerte kjøretøy vil dra størst nytte av dette.

To akslede lastebiler

Fordeler

- Lavere drivstoff forbruk.
- Har mer trykk på drivende aksel, enn det boggi og pusher biler har med begge akslene i bakken.

Ulemper

- Drar ikke nytte av lastoverføringsreglene.
- Forsøkene med en toakslet lastebil viser at en er avhengig av å ha last over drivakselen for å ha noen sjans på å klare å komme opp bakker.
- Har liten mulighet til å påvirke akselvekten, utover hvordan lastebilen er lastet.

Tandembiler

Fordeler

- Ikke like høye krav til fører ferdigheter.
- Gir et lavere marktrykk, noe som er en fordel ved kjøring på mykt underlag.

Ulemper

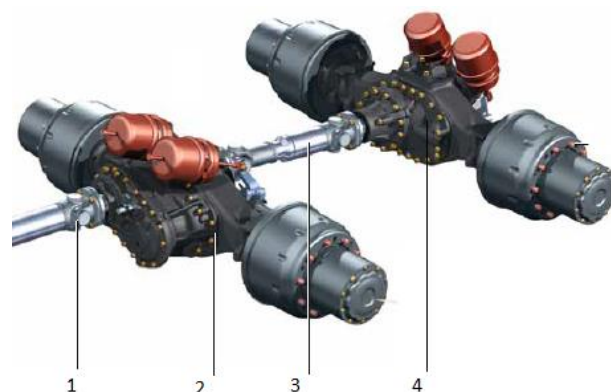
- Høyere drivstoff forbruk.
- Begrenset mulighet for å heve aksel.

Det viser seg at å øke lasten på akselen har stor innvirkning på fremkommeligheten, uansett hvilken konfigurasjon en har. Igjen så er en avhengig av sjåfører som har kjennskap til hvordan systemene fungerer og hvordan å bruke de riktig. Den største fordelen må nok være å ha en norsk registrert lastebil, da reglementet i EU gir føreren et handikap på norske vinterveier. EU har lastoverføring og i de fleste tilfeller kan det være tilstrekkelig med 30 % økning av lasten. Fordelen mister sin virkning i det kjøretøyet må stoppe for å iverksette løftet, og i tillegg har en fartsbegrensning på 30 km/t.

4.3 Differensial sperre

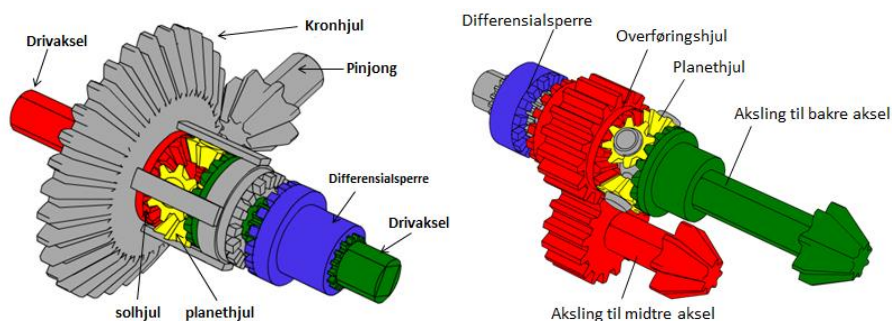
Et annet verktøy som brukes for å øke fremkommeligheten på dårlig føre er differensialsperran. Før vi går nærmere inn på hvordan det fungerer, skal vi se på grunnprinsippet bak differensialen [13, s.680]

- 1 Mellomaksel fra girkassen
- 2 Midt og tandem differensial
- 3 Mellomaksel
- 4 Bakre differensial



Figur 83 Tandemaksel [2, s.57].

En differensial kan sees på som en kraftfordeler mellom to hjul og er bindeleddet mellom motoren og hjulene på en aksel. Differensialen er ansvarlig for å overføre drivkraften fra motoren til hjulene og hjelper til med å korrigere hastigheten til indre og ytterhjul i sving, samt overføring av krefter mellom aksler. En differensial er som oftest bygget opp av spiralskårne tenner, på den måten skaper man en større kontaktflate og finere overgang mellom tennene. Dette gjør at differensialen tåler større belastning og lager mindre lyd. Differensialen har en svakhet ved at den vil alltid sende krefter dit det er minst motstand. Vi kan si at ved varierende friksjon mellom dekkene vil kraftfordelingen begrense seg til to ganger den minste friksjonen kraften tilgjengelig. Ved en overskridelse av dette vil dekket med lavest friksjon begynne å spinne. Denne svakheten blir utnyttet i blant annet antispinnssystemer. Figuren nedenfor viser en tradisjonell (venstre) og en tandemdifferensial (høyre). Prinsippet bak begge differensialene er lik, men den tradisjonelle differensialen balanserer hastigheten mellom hjulene på en aksel, og tandemdifferensialen balanserer hastigheten mellom to drivaksler. Tandemdifferensialen er som oftest plassert i differensialen i midten (se figur 83).



Figur 84 Illustrasjon av tandem og tradisjonell differensial [9].

Formål med differensialsperre [2, s.220]

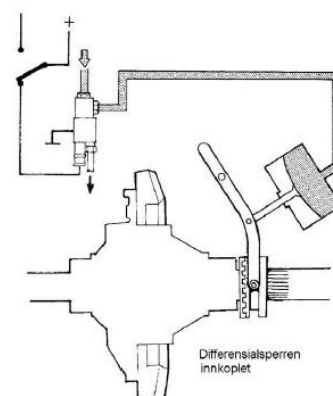
Det er to typer mekaniske sperrer som kan aktiveres, tandem og tradisjonell sperre. ASR systemet fungerer også som en automatisk sperre når et hjul spinner. Formålet med sperren er å minimere hjulspinn og dermed øke veigrepet.

Tradisjonell sperre låser hastigheten mellom drivhjulene på samme aksel og fordelingen av kraft vil være 50/50. Fordelen med det er at drivakselen utnytter den største friksjonen tilgjengelig, og kjøretøyet har fremkommelighet, selv på *split* – μ underlag. Det negative med sperren er at det er svært belastende for drivverket, og det anbefales å begrense bruken på underlag med høy friksjon og holde seg i hastigheter under 20 km/t når systemet er aktivert.

Tandemsperre sørger for at kreftene blir fordelt likt ut på begge aksler og gjør dermed drivakslene uavhengig av hverandre. Hvis et av hjulene på en aksel begynner å spinne så vil det ikke påvirke driften av den andre akselen. Systemet blir brukt mer som et preventivt tiltak, og som et tilleggssystem til ASR-offroad [67].

Aktivering:

Differensialsperran aktiveres ved hjelp av en bryter i dashbordet og selve sperren blir aktivert ved hjelp av trykkluft. Når bryteren aktiveres strømmes trykkluft inn i en luftsyylinder som igjen aktiverer sperren. Sperren er som oftest formet som en klokobling. På kjøretøy med EBS er det mulig å ha automatisk aktivering av differensialsperre i hastigheter under 20 km/t [68, s.146]. EBS kan også synkronisere hastigheten på hjulene før aktiveringen skjer [58].



Figur 85 Differensial sperre [5, s.228].

I det tilfellet hvor ABS systemet blir aktivert vil både tandem og tradisjonell sperre bli deaktivert automatisk. Når bremsen slippes vil sperrene igjen bli aktivert [69].

Fordeler og ulemper

Differensialsperr er noe som blir flittig bruk både på anleggsplasser og på tømmerveier og det er rimelig å anta at systemene også blir brukt på vanlig vei med dårlig føre. Systemet i seg selv bidrar ikke til en økning i friksjon, men utnytter den friksjonen som er tilgjengelig. Både tandem og tradisjonell sperre blir ofte brukt som et preventivt tiltak, men tradisjonell sperre blir nok brukt mest i «worst case» tilfeller. Det anbefales å aktivere systemet før en eventuell stopp, da det kan være problematisk å aktivere systemet når drivhjulene står stille [67].

Systemet er Semi-automatisk ettersom det er mulig å ha automatisk innkobling av systemet. Dette vil gi noen sjåførere en fordel, men det er kritisk at føreren husker å skru av systemet når det er tilstrekkelig friksjon.

Fordeler

- Bedre fremkommelighet
- Har liten innvirkning på kjøreegenskapene (tandem)
- Tillater uavhengig drift av begge akslene (tandem)
- Muligheter for automatisk aktivering
- Øker effekten av sanding

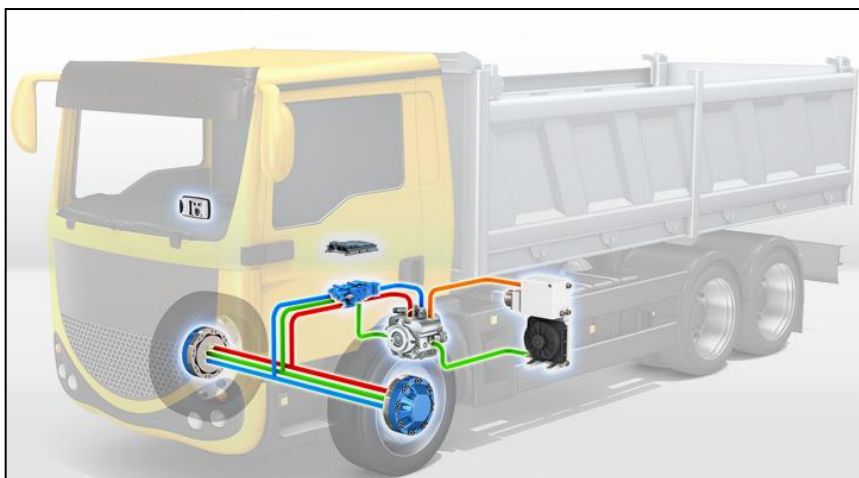
Ulemper

- Føreravhengig
- Reduserer kjøreegenskapene*
- Stor slitasje på drivverk og dekk*
- Øker ikke friksjonen
- Lave hastigheter

*I mindre grad med tandemsperre

Begge systemene har klare fordeler og ulemper. Systemet vil gi bedre fremkommelighet og ikke minst øke effektiviteten til andre systemer som Robsondrive, sanding og kjettinger og det kan nok sees på som den største fordelen til systemet.

4.4 Hydraulisk drift av framhjul



Figur 86 Illustrasjon av Hydraulisk drift [70].

Et konsept som har blitt tatt i bruk av flere lastebilprodusenter er å ha hydraulisk drift på forakselen som et alternativ til drift på alle aksler. Systemene har forskjellige navn hos de forskjellige leverandørene, men det kan se ut som det er firmaet Proclain-Hydraulics som står bak ideen. Proclain leverer systemet til MAN, Mercedes, Renault og Volvo [70]. Produktet er bygget opp av to hydrauliske motorer som sitter i hvert sitt forhjul og blir drevet av en deplasementpumpe som er koblet til motoren ved hjelp av en PTO. Power take-off (PTO) er en mekanisk innretning som kobles til motoren, eller girkassen, og brukes til å overføre krefter til tilleggsutstyr [71]. Systemet kombinerer fordelene med flerhjuldrift med konvensjonell hjuldrift. Dette er et integrert system og blir aktivert via en knapp i førerhuset. Systemet er egnet for alle operasjoner hvor midlertidig økning i friksjonskraft ønskes. Gode eksempler på dette er lastebiler på vinterføre, tømmerbiler og brøytebiler. I tabellen nedenfor er en oversikt over maksimale verdiene til produktet i følge Proclain.

Tabell 13 Oversikt over egenskapene til hydraulisk drift [70].

Produsent	Trykk (bar)	Effekt (kW)	Fortrengningsvolum (ccm/hjul)	Moment (Nm/pr hjul)
Poclain	450	41	1248	6830

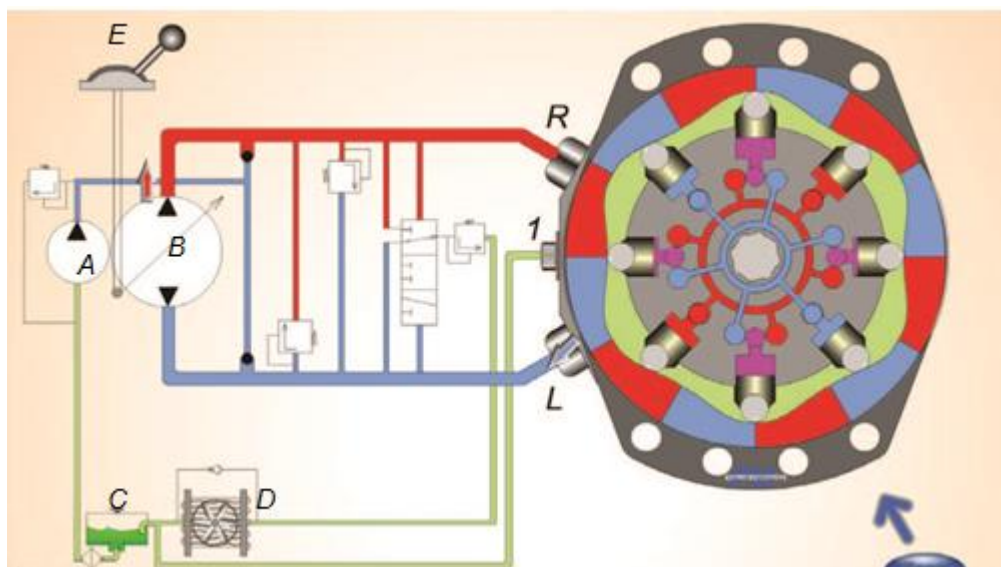
Fra Poclain sin hjemmeside, får vi en oversikt over fordeler med systemet [70].

Fordeler med systemet

- Liten slitasje av komponenter, noe som fører til lengre levetid.
- Spare opp til 500 kg på å fjerne driv på foraksel.
- Sparing av drivstoff. Det reklameres om en besparelse på om lag 15 % drivstoff med hydraulisk drift på framaksel, i forhold til tradisjonell all hjuls drift.
- Bedre svingradius.

Ulemper med systemet

- Fungerer kun ved lave hastigheter. Kan være en fordel at systemet var operativt ved høyere hastigheter slik at man kunne hatt med seg farten inn i bakker og da redusert risikoen for å sette seg fast.
- Systemet er semi-føreravhengig. Hvis føreren av lastebilen ikke har tilstrekkelig kunnskap om vinterkjøring, eller bruk av systemet vil det ha en begrenset funksjonalitet, men med systemet aktivert så vil det automatisk bli igangsatt ved hastigheter under 23 km/t.
- Systemet vil heller ikke gi en økning i friksjon, men utnytte den tilgjengelige friksjon.

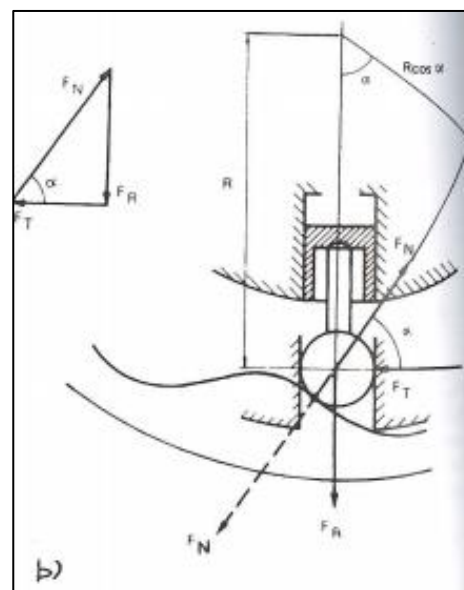


Figur 87 hydraulikkmotorens virkemåte[5]

Det er tatt utgangspunkt i MAN sitt Hydrodrive system for å forklare systemets virkemåte. For å ha raskere aktiveringstid er det en forpumpe (A) som holder et systemtrykk på anlegget. Når systemet blir aktivert via en bryter (E) i førerhuset blir variabelpumpen (B) kjørt i gang via en koblingsmekanisme mellom pumpen og girkassen/motoren. Oljen blir ført gjennom en kontrollmodul som ved hjelp av en CPU regulerer strømmingen av olje til begge stempelmotorene i hjulene. Når oljen har passert gjennom motoren blir oljen kjølt ned via et kjølesystem(D) før det går inn i reservoartanken(C). Kontrollmodulen sørger også for at aksialmotoren ikke er i inngrep når systemet ikke er i drift. CPUen kommuniserer via CAN-nettverket for å kontrollere at forhjulene har samme hastighet, innenfor 1,5 %, av bakhjulene. På MAN sitt Hydrodrive system, hvis systemet er aktivert, blir den innkoblet automatisk ved en hastighet under 23 km/h og kobles ut ved en hastighet over 28 km/h. CPUen får også informasjon om oljetrykk og temperatur [5, s.237-240].

Hjulmotorens virkemåte [4, s.121-127]

Det blir benyttet en radialstempelpumpemotor for å drive hjulene rundt. Disse er designet med radielle stempler med rullende hjul i ytterkant for å minske friksjonen mot den kamformede ytterringen. Pumpen er festet direkte inn på spindelen og det er ytterringen som vil være den roterende delen av pumpen. Dette er pumper som er spesielt egnet for lavt turtall og høyt moment. For å oppnå denne kombinasjonen av lavt turtall og høyt moment er de designet med høyt fortrenningsvolum. På denne måten skapes det høyt trykk og dermed også høyt moment. Motoren blir operert av en ekstern pumpe som fører olje inn og ut av stemplene som fører til at ytterringen blir skjøvet rundt.. På grunn av stempelkraften (F_R) oppstår det en normalkraft (F_N) som virker mellom stempelet og kammen og normalt på underlaget. Normalkraftens x-komponent vil sørge for en tangensial kraft. Tangensialkraften ganget med radiusen vil gi drivmomentet til hjulet.



Figur 88 Kraftpåvirkningen i hydraulikkmotoren[4].

4. ANSTISPINN SYSTEMER FRA EKSTERNE LEVERANDØRER

Til nå har vi sett på løsninger som er inkorporert i kjøretøyet som ASR og boggiløft. Nå skal vi se på tilleggsløsningene som finnes på markedet, løsninger som ikke bare utnytter den tilgjengelige friksjonen, men også øker friksjonen.

Løsningene som vi skal se på er:

- Autoline
 - Sandstrøingsapparat
- Slirej
 - Sandstrøingsapparat
- Onspot
 - Hurtigkjetting
- RobsonDrive
 - Tandemdrift konverter

5.1 Autoline [3]

Autoline er et sandstrøingsapparat som monteres foran drivhjulene på kjøretøyet og når apparatet aktiveres slippes det sand foran drivhjulene slik at friksjonen ved drivhjulene økes. Autoline har vært på markedet i mer en 20 år og har blitt utviklet i tett samarbeid med lastebilbransjen og er i dag brukt på lastebiler, busser og trucker.

Autoline kommer i 8 forskjellige varianter som varierer i utforming og størrelse, for å kunne passe til de fleste lastebilkonfigurasjonene.

Tabell 14 Fakta om Autoline [3]

	min	Max
Strø lengde	450 m	2500 m
Strøtid	1,5 min	5 min



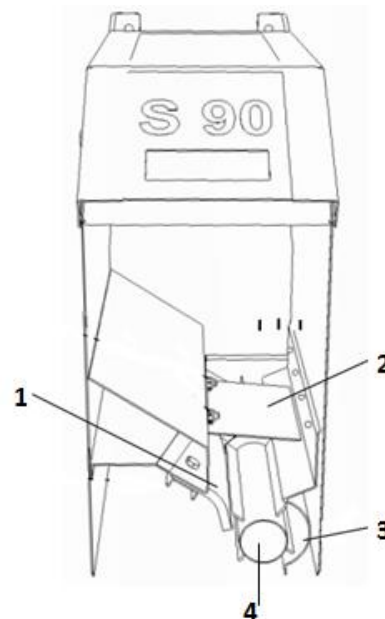
Figur 89 Autoline sandstrøer i aksjon [3]

Utforming

Innmaten til Autoline er som vist i figur 90. Sanden/grusen ligger i området over begrensingsplaten (2) og ved aktivering vil trommelen (4), som er drevet av en elektromotor, distribuere grusen ut foran hjulet. For å øke distribusjonslengden blir sanden distribuert i gitte intervaller. Aktiveringen skjer ved hjelp av en bryter i dashbordet.

Det kan også monteres et varmeelement like ved trommelen for å forsikre seg om at sanden/grusen ikke fryser til på vinteren. Ved bruk av varmeelement anbefales det ikke å bruke sand med salt innblandet da det har en tendens til å brenne seg fast til varmeelementet. Fra leverandør anbefales det å bruke sand/grus med en størrelse på mellom 4-8 mm

- 1 **Pressplate**
- 2 **Begrensingsplate**
- 3 **Stoppeskjold**
- 4 **Trommel**



Figur 90 Hvordan Autoline sandstrøeren ser ut innvendig [3].

Fordeler

- Systemet gir en økning i veigrep. I forsøk gjort av NAF ble det konkludert med at sandstrøingsapparat ga en 25 % økning i trekraft [72].
- Kjøretøy som kommer etterpå vil dra fordel av at det er strødd.
- Kan bli brukt ved bremsing. Vil gi økt bremsekraft på bakhjulene og det kan hjelpe til med stabiliseringen av kjøretøyet.
- Kan brukes samtidig som kjetting.
- Kan brukes før stopp i bakke for å forhindre at en sklir bakover.

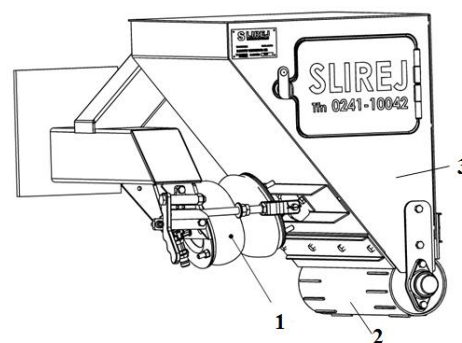
Ulemper

- Begrenset mengde sand.
- Virker ikke ved rygging.
- Må aktiveres før kjøretøyet står stille slik at en får sand under hjulet.
- Sanden/grusen kan fryse.
- Krever jevnlig vedlikehold [73].
- Føreravhengig.

5.2 Slirej [74]

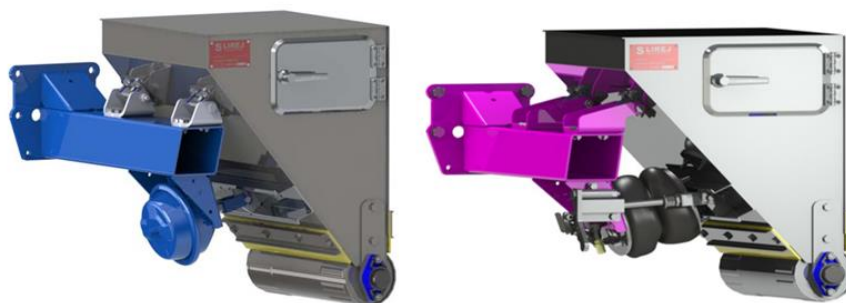
Systemet bygger på samme prinsipp som Autoline, men istedenfor å bruke elektromotorer blir drivhjulet brukt for å distribuere sanden. Rullen (2) på undersiden av oppbevaringsrommet (3) blir klemmt mot dekket ved hjelp av lufttrykk. Når rullen går rundt drar den med seg sand fra oppbevaringsrommet og slipper den ned foran drivhjulet. Slirej har mulighet til å ta i bruk en større variasjon av sandstørrelse (0-8 mm).

- 1 Luftbelg
- 2 Rulle
- 3 Oppbevaringsrom for sand



Figur 91 Oversiktsbilde av Slirej [75].

Slirej kommer i to forskjellige størrelser, 55 og 90 liter, og den har også to forskjellige aktiveringsmekanismer, luftbelg og luftklokke. Luftbelgen har den fordelen at den raskere trekker seg tilbake ved deaktivering og gir bedre plass til snøkjettinger.



Figur 92 Slirej med luftklokke (til venstre) og Slirej med luftbelg (til venstre) [74].

Systemet har de samme fordelene og ulempene som Autoline. Tilleggsfordeler er nevnt nedenfor:

Fordeler

- Fungerer ved rygging.
- Kan bruke en større variasjon i sandstørrelse (0-8 mm).

Ulemper

- Kan ikke brukes sammen med kjettinger.
- Lite gunstig på pusherbiler.

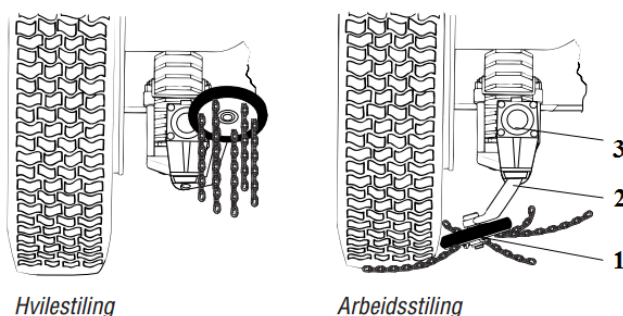
5.3 Onspot [76]

Onspot er et automatisk kjettingsystem som er fastmontert på bakakslingen og er beregnet for bruk på is og snø opptil 15 cm. Systemet er designet for lastebiler, busser og varebiler, og kan brukes på kjøretøy med og uten pneumatisk bremsesystem. Onspot er pneumatisk operert og på kjøretøy uten luftbrems må det i tillegg installeres en elektrisk kompressor og oppbevaringstank. I henhold til norsk lov kan kjetting på drivhjulene erstattes med et kjettingsystem som Onspot så lenge kjøretøyet har tvillinghjul på drivakselen [34].

Onspot opereres med et lufttrykk på mellom 7-10 bar og har en hastighetsbegrensning på 50 km/t. Systemet kommer i tre forskjellige størrelser og fire kjettingalternativer, med blant annet gnistbestandig kjetting for bruk på ADR-biler.

I samtale med brannmann, Espen Dale [77], viser det seg at brannbiler med Onspot montert bruker det som en sikkerhet mot å skli bakover ved stans i bakker, da brannbilene har tilstrekkelig tyngde over drivakselen at det i seg selv genererer nok friksjon i bakker.

Når bryteren blir aktivert blir det sendt et elektronisk signal til en solenoidventil som sender trykkluft inn i luftsynderen (3) som igjen senker friksjonshjulet(1) inntil drivhjulet. Når friksjonshjulet er i kontakt med drivhjulet blir kjettingen slynget ut mellom hjulet og underlaget.



Figur 93 Aktiveringen av Onspot [78].

Fordeler

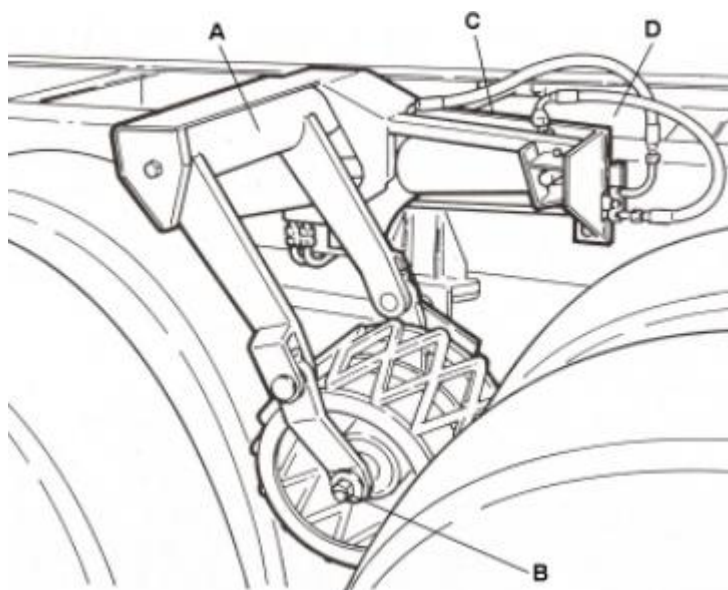
- Kan brukes i revers.
- Fungerer med bremsing.
- Kan brukes før stopp i bakke for å forhindre at en sklir bakover.
- Kjøretøyet må ikke være i bevegelse, men hjulene må spinne.
- Erstatte kjetting på drivende dekk.
- Øker friksjonen.

Ulemper

- Hastighetsbegrensning.
- Skal være dårligere å bruke på sporete vei, samt vei med mye snø [79].
- Føreravhengig.

5.4 Robsondrive

- **A** **Sylinder enhet**
- **B** **Drivrullen**
- **C** **Oppheng**
- **D** **Hydraulisk stempel**



Figur 94 Robsondrive sin virkemåte [80].

Robsondrive er et produkt som ved hjelp av drivruller (B) overfører drivkraft fra drivakselen og over til løpeakselen. Systemet er en rimeligere variant av tandemdrift og vil gi noen av de samme fordelene som en 6x4 lastebil har. Med systemet innkoblet vil lastebilen oppføre seg som en tandebil med sentraldifferensialen låst. Systemet er ment til å brukes i kortere perioder når det er behov for økning av veigrep og blir aktivert ved hjelp av en bryter i dashbordet. Systemet består av to drivruller (en på hver side av kjøretøyet) som ved hjelp av en hydraulisk sylinder (D) blir presset ned mellom drivhjulet og løpehjulet. På denne måten blir drivkraften fra drivhjulet overført til løpehjulet [80].

I rapporten til Simon Isakson & Tomas Lindstrøm [67] kommer det frem i intervjuer med sjåfører som har erfaring med Robsondrive at Robsondrive, i motsetning til andre systemer, blir brukt som en preventiv løsning fremfor en nødløsning, da det er lite gunstig å aktivere systemet når drivhjul og løpehjul står stille eller når drivhjul spinner. Systemet skal helst aktiveres når begge hjulene er i bevegelse, gjerne med lik hastighet. Forskjellig hastighet vil føre til ekstra slitasje på dekk og utstyr.

Systemet er fortsatt i salg gjennom forskjellige distributører, og lastebilfabrikanten SISU [81] leverer et lignende produkt som tilleggsutstyr på nye lastebiler. Etter samtale med Bergli-truckstop [82] og i følge Simon Isakson & Tomas Lindstrøm [67] er det å forstå at det blir sjeldent brukt på nyere lastebiler, men på eldre lastebiler med det montert blir det flittig brukt.

Eksempelet på neste side har til hensikt å vise hvordan, og hvor lang tid det tar før begge akslingene har lik hastighet. Det er prøvd å lage et så virkelighetsnært eksempel som mulig. Har brukt Geir Terjesen sin forelesning [83] som inspirasjon til beregningene.

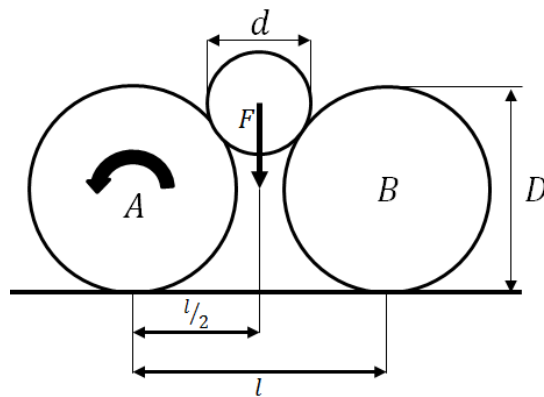
5.4.1 Tenkt Scenario

Setter opp et tenkt scenario hvor et kjøretøy med Robsondrive kjører på vinterføre. Hjulene A og B har en diameter, $D = 1$ m, og kjøretøyet har en hastighet på 36 km/t ($\omega_2 = 20$ rad/s) når drivhjulene begynner å spinne. Drivhjulene har nå en hastighet på $\omega_1 = 30$ rad/s. Drivrullen blir presset ned mellom hjulene med en kraft på 5000 N. Vi antar en friksjonskraft mellom dekk og friksjonshjul på $\mu_{robson} = 0,2$

Massetregghetsmomentet til drivhjulene med aksler er $I = 9$ kgm². Drivhjulet har et konstant moment $M_1 = 5000$ Nm

Videre antar vi en last på $F_{last} = 40$ kN på hvert hjul og en friksjonskoeffisient mellom hjul og underlag på $\mu_{underlag} = 0,2$

Drivrullen har en diameter $d = 0,43$ m. Avstanden $l = 1,34$ m .



Figur 95 Illustrasjon av hvordan Friksjonshjulet treffer hjulene.

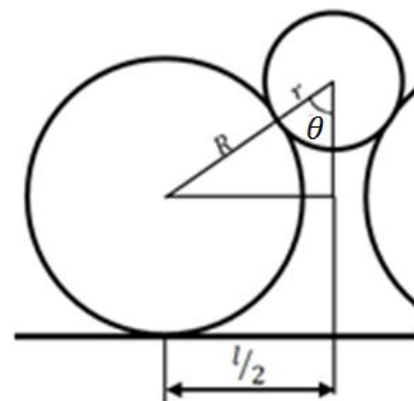
- Finn vinkelen mellom friksjonshjul og drivhjul
 - Beregn tiden det tar (sluretiden) før hjul A og B har lik hastighet når det tar 2 sekunder fra friksjonshjulet er i kontakt til full kraft er oppnådd
 - Anta at friksjonshjulet tilkobles i et rykk. Beregn ny sluretid.
- a) Finner først vinkelen θ :

$$\sin(\theta) = \frac{\text{motstående}}{\text{Hypotenus}} \quad (5.1)$$

$$\sin(\theta) = \frac{67}{71,5}$$

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{67}{73,7}\right)$$

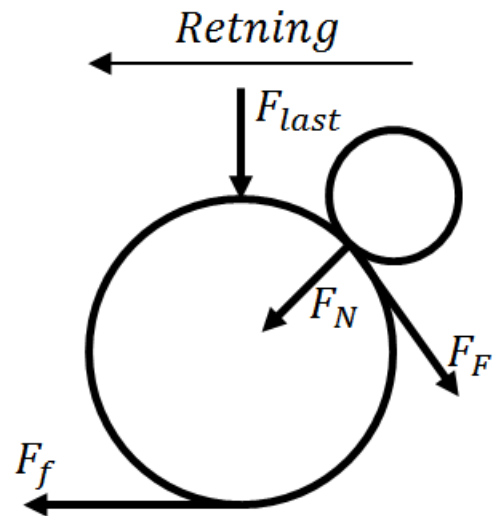
$$\theta = 69,56^\circ$$



Figur 96 Vinkelen mellom drivhjul og friksjonshjulet.

b) Beregner sluretiden (t_s)

- F_f Friksjonskraften mellom dekk og underlag
- F_F Friksjonskraften mellom dekk og drivrulle
- F_N Normalkraften mellom drivhjul og drivrullen
- F_{last} Lasten pr. hjul



Figur 97 Kraftene som virker på drivhjulet.

Normalkraften fra drivrullen:

$$F_N = \frac{\frac{F_{hjul}}{2}}{\cos(69,56^\circ)} \Rightarrow \frac{\frac{5\,000}{2}}{\cos(69,56^\circ)} = 7158,68 \text{ N}$$

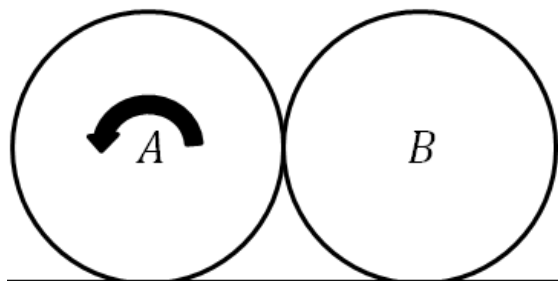
Friksjonskraften mellom drivhjul og drivrull:

$$F_R = F_N \cdot \mu_{robson} = 7158,68 \cdot 0,4 = 2863,5 \text{ N}$$

Friksjonskraften mellom drivhjul og underlag:

$$F_f = F_{last} \cdot \mu_{underlag} = 40000 \cdot 0,2 = 8000 \text{ N}$$

På grunn av drivrullens relative lave vekt ser vi bort i fra dens treghetsmoment og fordi friksjonshjulets oppgave kun er å overføre rotasjon mellom hjulene blir hjulet sett bort ifra.



Figur 98 Drivhjulet og løpehjulet sammenkoblet.

Grunnloven for rotasjonsbevegelse: $M = I \cdot \alpha$ (5.2)

Der $\alpha = \frac{d\omega}{dt}$

Likningen blir da seende slik ut:

$$M \cdot dt = I \cdot d\omega$$

Ved t_s vil $\omega_{drivhjul} = \omega_{løpehjul}$

Setter opp likningen for drivhjulet:

$$\int_0^{t_s} M dt = \int_{\omega_1}^{\omega_2} I d\omega$$

Setter opp et uttrykk for å finne momentet (M) som får drivhjulet til å spinne. Uttrykket må deles i to. Et uttrykk for tiden før drivrullen oppnår full kraft og et uttrykk for tiden etter at full kraft er oppnådd.

Utrykk før full kraft er oppnådd. På grunn av innkoblingstiden $t_c = 2$ blir M_R multiplisert med $\frac{t}{t_c}$

$$M = M_1 - F_f \cdot R - F_R \cdot R \cdot \frac{t}{t_c}$$

$$M = 5000 - 8000 \cdot 0,5 - 2863,5 \cdot \frac{t}{4}$$

$$M = 1000 - 2863,5 \cdot \frac{t}{4}$$

Utrykk etter full kraft er oppnådd

$$M = M_1 - F_f \cdot R - F_R \cdot R$$

$$M = 5000 - 8000 \cdot 0,5 - 2863,5 \cdot 0,5$$

$$M = -431,75$$

Setter uttrykkene inn i likningen for drivhjulet:

$$\int_0^2 1000 - 2863,5 \cdot \frac{t}{4} dt + \int_2^{t_s} -431,75 dt = \int_{\omega_1}^{\omega_2} I d\omega$$

Momentet som overføres til løpeakselen ($F_R \cdot R$) er mindre enn friksjonsmomentet mellom dekk og underlag. Vi kan derfor regne med at hjulene på løpeakselen ikke spinner, men har konstant hastighet.

Beregner tiden det tar før drivhjulet har lik hastighet som løpeakselen (20 rad/s)

$$\int_0^2 1000 - 715,875 \cdot t \, dt + \int_2^{t_s} -431,75 \, dt = \int_{30}^{20} 9 \, d\omega$$

$$1000 \cdot 2 - 715,875 \cdot 2 - 432,75 \cdot (t_s - 2) = 9 \cdot (20 - 30)$$

$$t_s = \frac{574,25 + 865,5 + 90}{432,75} = 3,52 \, s$$

Det tar 3,52 sekunder fra drivrullen kommer i kontakt og til hjulene har lik hastighet.

c) Beregner sluretiden når friksjonshjulet aktiveres med støt.

$$\int_0^{t_s} M \, dt = \int_{\omega_1}^{\omega_2} I_1 \, d\omega$$

$$\int_0^{t_s} M_1 - F_f \cdot R - F_R \cdot R \, dt = \int_{\omega_1}^{\omega_2} I \, d\omega$$

$$\int_0^{t_s} 5000 - 8000 \cdot 0,5 - 2863,5 \cdot 0,5 \, dt = \int_{30}^{20} 9 \, d\omega$$

$$-431,75 \int_0^{t_s} dt = 9 \int_{30}^{20} d\omega$$

$$-431,75 \cdot t_s = 9 \cdot (20 - 30)$$

$$t_s = \frac{-90}{-431,75} = 0,21 \, s$$

Det tar 0,21 sekund før drivhjulet har lik hastighet som løpehjulet.

Som vi ser så vil «støt-aktivering» gi den laveste aktiveringstiden, noe som var forventet.

Fordeler

- Kjøretøyet får tilnærmet lik fremkommelighet som en tandemdrift bil.
- Lavere drivstofforbruk enn biler med tandemdrift.
- Rimelig variant av tandemdrift.

Ulemper

- Høyere slitasje på dekk.
- Stor slitasje på dekk.
- Må helst aktiveres før hjul begynner å spinne.
- Føreravhengig.
- Øker ikke friksjonen.

5. DISKUSJON

Det viser seg å være en rekke forskjellige systemer og tiltak som er med på å øke fremkommeligheten på vinterføre. Myndighetene setter krav til både dekk og kjettingbruk, samt veiforhold. Leverandører og fabrikanter bidrar også med diverse systemer. Systemene kan kategoriseres inn i deres evne til å øke friksjonen, hvorvidt systemet er automatiserte og hvor aktiveringssensitive de er. Tabellen nedenfor gir en oversikt over systemene og tiltakene som er belyst i oppgaven.

Tabell 15 Oversikt over systemene som er kartlagt med oversikt over egenskaper

Løsninger	EGENSKAPER		
	Friksjonsøkende	Føreravhengig	Aktiveringssensitiv
Myndigheter			
Strøing/måking	JA	NEI	JA
Dekk	JA	JA	JA
Kjetting	JA	JA	JA
Fabrikanter			
ASR	NEI	NEI**	NEI
Boggiløft/tandem	JA	JA	NEI
Hydraulisk drift	JA	JA*	NEI
Differensialsperr	NEI	JA*	JA
Eksterne bedrifter			
Autoline	JA	JA	NEI
Slirej	JA	JA	NEI
Onspot	JA	JA	NEI
Robsondrive	JA	JA	JA
ANTALL JA/NEI	8/2	9/1	4/6

Aktiveringssensitiv, angir om systemet må aktiveres før en situasjon oppstår.

*Systemene kan også være automatisk aktivert.

** Det kreves manuell aktivering av visse funksjoner som ASR-offroad.

Tabellen viser at majoriteten av systemene er friksjonsøkende og føreravhengig, og de fleste systemene kan aktiveres etter at en situasjon har oppstått.

Informasjonen er innhentet ved hjelp av samtaler med leverandører og produsenter, samt litteratursøk. Informasjonene som er lagt frem er nødvendigvis ikke ny for en som er i tungtransport-miljøet, men for utenforstående vil mesteparten av informasjonen være ny. Det er foretatt få intervjuer av yrkessjåfører. For å få en bredere forståelse av hvordan systemene blir brukt vil det være en fordel å foreta flere intervjuer av yrkessjåfører. Likevel er det samlet inn tilstrekkelig informasjon for å vise hvilke system som brukes og hvordan de brukes. Skulle prosjektet blitt utført på nytt hadde det vært en fordel å ha flere intervjuer av sjåfører og sett på flere erfaringer fra blant annet Transport Økonomisk Institutt, NAF og Vegvesenet. Det hadde også vært en fordel å se på hvilke opplæring og krav som settes til yrkessjåfører både i Norge og utlandet.

Noen av de avgjørende faktorene for fremkommelighet i bakker vil være tilstrekkelig hastighet, akseltyngde og unngåelse av stans. Den tilstrekkelige akseltyngden kan erstattes av et friksjonsøkende system. Selv med så mange systemer som både øker friksjonen og som opereres manuelt er det problemer vinterstid. Er det mulig at problemet med fremkommelighet ligger et annet sted enn utstyret?

6.1 Myndighetene

Myndighetene setter krav til hvordan kjøretøyet skal være skodd. Det settes krav til vinterdekk og kjettingbruk, samt veiforhold. Løsningene som myndighetene kommer med er ikke nyskapende, men har sin effekt og det har en friksjonsøkende effekt. Systemene krever også en viss form for planlegging, kjettingen må monteres før en kommer til et glatt parti.

6.2 kjøretøyfabrikantene

Fabrikantene jobber stadig med å finne løsninger som øker veisikkerheten. Det er en økning i automatiserte løsninger som både utnytter og forbedrer friksjonen, men flertallet av løsningene benytter prinsipper som har vært på markedet lenge. Selv om systemene blir mer og mer automatiserte kan de også opereres manuelt. Majoriteten av systemene kan aktiveres etter at hjulene har begynt å spinne og ved fastkjøring.

6.3 Andre fabrikanter

Løsningene som leveres fra eksterne bedrifter er ikke nyskapende og de fleste systemene har vært på markedet i lengre tid. Systemene er enkle i sin utforming og samtlige gir en økning i friksjon. Det er svært lite automasjon innenfor dette feltet av løsninger og det krever god kunnskap og erfaring fra sjåførene for å kunne bruke systemene effektivt. Det kreves noe større planlegging før systemene brukes. Systemene må aktiveres før kjøretøyet står stille.

6.4 Fremkommelighet

Det er en generell oppfatning at sjåfører verdsetter følelsen av kontroll og av den grunn er automatiske løsninger ofte sett på som upopulære [67]. Dette kan sees i utviklingen av fremkommelighets-systemene, da de fleste systemene har manuell aktivering og de automatiserte systemene har som regel muligheter for å bli aktivert manuelt. Det har kommet inn noen nyere system på markedet som hydraulisk drift, men ellers er systemene basert på konsept som har eksistert lenge. Systemene som er belyst i rapporten gir i de fleste tilfeller en økning i veigrep.

Hvorvidt en kan klandre sjåføren hver gang er usikkert. Det kan være situasjoner hvor myndighetene burde ta ansvar for dårlig veivedlikehold. Det er satt krav til friksjonen på norske veier, men hvorvidt kravet opprettholdes må undersøkes nærmere. Istedenfor å sette krav til vinterdekk og kjettinger, kanskje et krav om fremkommelighet på et gitt føre ville gitt et bedre resultat.

Systemene som er nevnt har alle sine klare fordeler og ulemper. Flere systemer har fordeler og ulemper som overlapper hverandre og det er ingen av systemene som alene står for fremkommeligheten. Det kan se ut til at kombinasjonen av systemer gir best fremkommelighet på vinterveier, samt gode vinterdekk. Erfaring og kjennskap til veiene er også en uvurderlig fordel. I nyhetene [84-92] kan det se ut til at fleste parten av sjåførene som setter seg fast er av utenlandsk opprinnelse, det må nevnes at nordmenn er også representert på denne listen. Dette er ikke så rart, da de mest sannsynlig har liten kjennskap til veinettet og hvor bakker og vanskelige partier kommer. Det er også mindre sannsynlig at de har tillegssystemer som Robsondrive og Autoline montert, da det mest sannsynlig ikke er bruk for slike produkter i land der det sjeldent snør.

Det er fremmet forslag om å innføre et «vinterførerkort» for å forsikre seg om at sjåfører som ferdes på norske vinterveier har tilstrekkelig kunnskap om hvordan å ta seg frem på vinterføre [93]. Det er også fremmet forslag om å nekte utenlandske sjåfører tilgang til visse veistrekker vinterstid [92]. Hvorvidt dette er fornuftig eller lov er vanskelig å si, men en bevisstgjøring av både norske og utenlandske sjåfører kan vise seg å være en fordel.

Det er vanskelig å si hva det egentlige problemet bak fremkommeligheten på norske vinterveier er, men det som er sikkert er at det kreves erfaring og kunnskap for å bruke systemene som er tilgjengelig. Å vite hvordan og når systemene skal brukes vil øke fremkommeligheten og dermed senke sannsynligheten for å sette seg fast. Selv om man er godt rustet for vinterkjøring er man avhengig av at veiforholdene er i henhold til forskriftene.

6.5 Moderne bremsesystem

I løpet av de siste 25 årene har det skjedd mye innenfor lastebilbremsesystem, fra bremsesystem med enkeltstående ventiler til dagens bremsesystem med modulbaserte løsninger. Stadig flere operasjoner blir styrt automatisk ved hjelp av elektronikk og effektiviteten på bremsingen har gått opp og sikkerheten har økt. Det har vært en stor utvikling fra et tradisjonelt luftmekanisk bremsesystem til et nytt EBS-system. Selv med mye automatisering kan en se at funksjonene som brukes til fremkommelighet fortsatt kan aktiveres manuelt, slik at føreren fortsatt har en mulighet til selv å bestemme når systemene skal brukes.

7 KONKLUSJON OG ANBEFALINGER

7.1 Konklusjon

Rapporten presenterer forskjellige antispinn systemer som finnes på markedet, samt hvilke tiltak myndighetene iverksetter for å øke fremkommeligheten. Det blir også sett på hvordan et moderne pneumatisk bremsesystem fungerer. Beskrivelsen av bremsesystemet er på et prinsipielt nivå, da det har vist seg å være vanskelig å innhente mer inngående informasjon. Selv med informasjon på prinsipielt nivå er det trygt å si at det har vært en stor utvikling i bremseteknologien. Bremsesystemet bruker fortsatt pneumatikk til energioverføring, men styringen av ventiler har blitt erstattet av elektronikk. Det er også inkorporert avanserte styringsenheter som kommuniserer ved hjelp av datasignaler fra et CAN-nettverk. Dette har ført til at bremse aktiveringstiden har blitt halvert.

Myndighetene har stilt krav til både kjøretøyets utrustning og til veigrepet. I visse perioder av året skal det medbringes kjettinger og det skal være godkjente vinterdekk på alle hjul. Dekkene skal ha en mønsterdybde på minst 5 mm. For å sikre godt veigrep på vinterføre har myndighetene iverksatt to strategier:

- Strategi vintervei
- Strategi bar vintervei

I strategiene er det satt krav til hvorvidt veien kan være dekket av snø eller ikke. Det er også satt krav til minimumsfriksjon i veidekket.

Det viser seg at manuell aktivering av systemene er å foretrekke, da det gir føreren større kontroll over kjøretøyet. De fleste systemene presentert i rapporten må bli aktivert av fører. Systemene som blir brukt for å øke fremkommeligheten på tyngre kjøretøy er som vist i tabell 16. Majoriteten av systemene er med på å øke friksjonen og kan aktiveres etter at situasjonen har oppstått.

Tabell 16 De kartlagte løsningene.

Løsninger		
Myndigheter	Kjøretøyfabrikanter	Andre fabrikanter
Strøing/måking	ASR	Autoline
Dekk	Boggiløft	Slirej
Kjetting	Hydraulisk drift	Onspot
	Differensialsperre	Robsondrive

Av alle systemene presentert i tabellen er det ingen som gir en klar fordel, men det er kombinasjonen av systemene som vil gi den beste fremkommeligheten. Noen av de avgjørende faktorene for å komme frem vil være tilstrekkelig hastighet, akseltyngde og å unngå stopp i bakker. I tillegg til systemene nevnt har Norge særskilte regler når det kommer til boggiløft og dette gir fordeler til kjøretøy registrert i Norge. Men selv med alle systemene vil det være erfaring og kunnskap om systemene som vil gi den beste fremkommeligheten.

7.2 Anbefalinger og videre arbeid

Ved videre arbeid anbefales det å utføre følgende punkter:

- Foreta en spørreundersøkelse blant sjåførere for å se hvilke systemer de bruker og hvordan systemene brukes.
- Undersøke hvilke systemer som blir brukt samtidig og effektiviteten av det.
- Undersøke om det er mulig å kombinere allerede eksisterende løsninger.
- Se på kjøretøy med drift på alle hjulene.
- Gjøre praktiske forsøk for å kartlegge den reelle virkningen av systemene.

8. LITTERATURREFERANSER

1. Faglærere. (2009). *Tunge kjøretøy bremses*. Byåsen VGS.
2. MAN. *Grunnleggende teknikk lastebil- MAN læringbok*: MAN.
3. *Forklaring av Autoline produktet*. (2016). Tilgjengelig fra: <http://www.autoline.no/> (lest 03.05).
4. Brautaset, K. (2002). *Innføring i olje hydraulikk*: Gyldendal Norsk forlag.
5. VGS, F. v. B. (2013). *Tunge Kjøretøy, Drivlinje*. Norge: Byåsen VGS, Ressurssenteret.
6. Alex Klein Paste, B. B. (2011). Kapittel 5-Friksjon. I: NTNU, S. v. (red.), s. 30.
7. Scania. (1992). *Komponenter Fram og bakakselkrets*. Scania (red.). After sales services Scania. 64 s.
8. wikipedia. (2016). *Oversikt over et forenklet bremsesystem*. wikipedia.org. Tilgjengelig fra: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2f/Paineilmajarrut.svg> (lest 02.05).
9. Scania. (2016). *Illustrasjoner av tandem og tradisjonell differensial mottatt på mail*. Scania opplæring (25.01.16).
10. Torgeir Vaa, T. G. (2009). Forsøk med tunge kjøretøy i stigninger: Sintef.
11. *Bilde av hjuloppheng*. <http://www.grahamhathawayracing.com>. Tilgjengelig fra: <http://www.grahamhathawayracing.com/assets/images/image6.jpg> (lest 02.05).
12. Fossmark, O. D. (2016). Trykkluft bremsesystemer. I, s. 31. Fox Forlag.
13. GmbH, R. B. (2011). *Bosch Automotive handbook 8 th*. Germany: Robert Bosch GmbH. 1265 s.
14. Lysvold, S. (2015). De utenlandske sjåførene blir som «bambi på glattisen». *nrk nordland*.
15. Smith, R. H. (2008). *Analyzing friction in the design of rubber products and their paired surfaces*. USA: Taylor and Francis Group, CRC Group. 398 s.
16. *Bilde av friksjons graf*. (2010). <http://fysikk1.blogg.no>. Tilgjengelig fra: http://fysikk1.blogg.no/1285696632_uke_38_friksjon.html (lest 02.05).
17. Wikipedia.org. (2016). friction. Tilgjengelig fra: <https://en.wikipedia.org/wiki/Friction> (lest 08.02.2016).
18. Feynman, R. P. (1964). *The Feynman lectures on physics*. Vol 1. Addison Wesley.
19. Terjesen, G. (2016). *Grunnlag i bremses og bremseteori*. TMP 271 Maskin og kjøretøydynamikk. NMBU: NMBU/IMT-2016. 63 s.
20. Grøn, Ø. (2005). Kohesjon. I: *snl.no*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/kohesjon> (lest 08.02.2014).
21. Ersoy, B. H. a. M. (2011). *Chassis Handbook* 1utg. Germany: Vieweg+Teubner. 611 s.
22. Lysbakken, K. R. (2001). Vinterfriksjon - varmbefuktet sand. Trondheim: NTNU, Institutt for veg- og jernbanebygging.
23. Konrad J. Walus, Z. O. (2011). Analysis of tire-road contact under winter conditions *World Congress on Engineering*, 3.
24. wikipedia. (2016). *split friction*. wikipedia.org. Tilgjengelig fra: https://en.wikipedia.org/wiki/Split_friction (lest 02.05.2016).
25. Groth, J. B. (2005). Intern rapport 2376. Trondheim: Veg og trafikkfaglig senter.
26. Vegvesenet. (2015). *Tall på salting i Norge*. Tilgjengelig fra: <http://www.vegvesen.no/om+statens+vegvesen/presse/Dette+mener+vi/Vogntog+p%C3%A5+vinterf%C3%B8re>.
27. Giæver, T. V. T. (2003). intern rapport 2369, Vinterfriksjonsprosjektet- studie av konsekvenser av endret piggdekkbruk. Norsk trafikkfaglig senter: Sintef.
28. vegvesen, S. (2010). *Håndbok 111, Standard for drift og vedlikehold av vegger og gater*. . Norge.

29. vegvesen, S. (2009). Bruk av salt, Metoder og utførelse IE9300e-BrukAvSalt 2s.
30. A/S, L. o. B. (2010). *EØS- avtalens krav til bremses på biler og tilhengere*. Oslo: Last og Buss A/S.
31. *Riksveger, Forskrift om vektor og dimensjoner*. (2012). vegvesen.no. Tilgjengelig fra: <http://www.vegvesen.no/attachment/306309/binary/538399>.
32. vegvesen, S. (2015). Vegliste 2015 Fylkes og kommunale vegger. *oversikt over bruksklasse vinter*. vegvesen.no.
33. *Oversikt over drivverks-konfigurasjoner*. (2016). itshybrid.com. Tilgjengelig fra: <http://www.itshybrid.com/driveline.htm> (lest 02.05).
34. Samferdselsdepartementet. (2016). *Forskrift om bruk av kjøretøy*. lovdata.no: lovdata.no.
35. *Standard for vinterkjetting til tyngre kjøretøy*. (2016). <https://www.standard.no>. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=451404> (lest 13.05).
36. Terje Moen, B. Ø. (1992). *to-leder trykkluftmekanisk bremseanlegg for vogntog*.
37. NKI. *trinn 2. Grunnleggende kjøre og kjøretøykompetanse*: NKI forlaget. Tilgjengelig fra: http://fag.nkiforlaget.no/sites/default/files/9788256273324--Vogntog_Trinn_2--www.pdf (lest 02.05).
38. *Mailkorrespondanse mellom Roger Grimstad og undertegnede*. (2016). mail (27.03.2016).
39. Limbert, R. (2011). *Brake design and Safety*. USA,warrendale: SAE International.
40. Gamero, R. L. a. F. (2007). AIR BRAKE DESIGN & SAFETY: www.pcbraakeinc.com 42 s.
41. Haldex. *Informasjon om Haldex DB22 brems fra service en service manual*. <http://www.axletech.com>. Tilgjengelig fra: http://www.axletech.com/resources/service_manuals/pdf/SM_DB22_HALDEX_eng_A4.pdf (lest 06.05).
42. *Illustrasjon av trykkendringen med hensyn på selvjusteringsarmen piosjon*. . (2016). <http://www.mto.gov.on.ca>. Tilgjengelig fra: <http://www.mto.gov.on.ca/english/handbook/airbrake/section7-4-0.shtml> (lest 05.05).
43. Svenningsen, k. R. o. S. (1991). *Trykkluftbremses i tunge kjøretøyer*. Oslo: yrkeslitteratur.
44. Fossmark, O. R. (1999). *Bremses*. Oslo: Universitetsforlaget.
45. Scania. (1998). *Slæpbromskrets, komponenter, Funktions og arbeidsbeskrivning*. Scaina (red.). 10:02-05: Scania. 25 s.
46. Scania. (2016). *Powerpoint fra Scania sin bremseopplæring nivå 3, dag 2* (Powerpoint).
47. Fossmark, O. R. (2016). *Blokkeringsfrie bremses - ABS. I*: Fox Forlag.
48. Karlsen, P. G. (2004). *Kontroll av bremses på tyngre kjøretøy ved teknisk utekontroll* www.toi.no: TØI. 37 s.
49. Automotive, B. P. (2014). *Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems*. Germany: Springer Vieweg.
50. KNORR-BREMSE. (2004). *Information for commercial vehicle products*. KNORR-BREMSE (red.). 352 s.
51. Scania. (2016). *Informasjon om EBS 5 fra Scania*: Scania (15.02.16).
52. Corrigan, S. (2008). *Intruduction to the controller area network*. www.ti.com: Texas Instruments. 13 s.
53. canbuskit.com. (2016). *Forenklet bilde av et CAN-BUS system*. : canbuskit.com. Tilgjengelig fra: <http://canbuskit.com/what.php> (lest 03.05).
54. wabco. (2016). *Presentasjon av Wabco sitt EBS system*. wabco university: wabco. Tilgjengelig fra: http://www.am.wabco-auto.com/technical_training/presentation_program/ (lest 03.05.2016).

55. Wabco. *EBS-Electronically Contolled Braking System, Basic Training 22*. Wabco (red.): Wabco. 39 s.
56. *mail corospondanse med Espen Haftun angående bruken av reguleringsmodulatoreen*. (2016). (30.03.2016).
57. Wabco. (2007). *EBS-Electronically Controlled Brake System 2nd edition*. Wabco (red.): Wabco. 44 s.
58. volvo. (2013). *Informasjon om synkronisering av hjul for differensialsperrren*. Tilgjengelig fra: http://productinfo.vtc.volvo.se/files/pdf/hi/EBS-STD,%20EBS-MED_Eng_03_1845080.pdf.
59. Nygaard, P. O. (2016). *Samtale om fremkommelighet*. Lindtjørn, S. (red.).
60. EU. (1997). *Regler for bruk av boggiløft i europa: DIRECTIVE 97/27/EC*
61. Regjeringen. (2013). *Oversikt over norske regler for boggiløft*. regjeringen.no. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/tunge-kjoretoy-norge-kan-ha-saregne-krav/id733671/> (lest 14.03).
62. Volvo. (2016). *Bilde og laster til Volvo lastebil*. Volvo.com. Tilgjengelig fra: http://segotn12827.rds.volvo.com/STPIFiles/Volvo/ModelRange/fh62tr3la_gbr_eng.pdf (lest 14.03).
63. Terjesen, G. (2015). *Elastlinje 2015 pdf. Deformasjon av bjelker og aksler*. TMP301. NMBU/IMT: Geir Terjesen.
64. Terjesen, G. (2015). *Grunnlag i drivverk og drivkraftteori*. TMP270. NMBU/IMT.
65. Lindtjørn, S. (2016). *Bruk av internettside for å lage bjelke med krefter*, 2016, 14.03. <http://bendingmomentdiagram.com/>.
66. Johannessen, J. (2002). *Tekniske tabeller: cappelen damm*. 160 s.
67. Lindstrøm, S. I. T. (2010). *User scenarios. Field study on the usage of help functions for truck driving in roughroad conditions*. Göteborg, Sweden: CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Department of Product and Production Development. 90 s.
68. Volvo. (1998). *Drivers handbook*. Gøteborg. Tilgjengelig fra: http://www.volvogroup.com/SiteCollectionDocuments/VGHQ/Volvo%20Group/Logisticsolutions/handling_instructions/Volvo_Trucks/Manual%20Classic%20FMFH%20full%20version.pdf.
69. MAN. (2011). *Product argumantation module PAM all-wheel drive technology*. MAN truck and bus AG.
70. Pocain. (2016). *Oversikt over hydrauliskdrift av forhjul*. www.poclain-hydraulics.com. Tilgjengelig fra: <http://www.poclain-hydraulics.com/en/solution/on-road/on-demand-awd-for-truck> (lest 03.05).
71. *Forklaring av power take off systems*. driveproducts.com. Tilgjengelig fra: <http://www.driveproducts.com/wp-content/uploads/2012/04/TR-G94-01.pdf> (lest 03.05).
72. NAF. (2013). *Tungbil på vinterføre. Forsøk med friksjonsøkende midler. Gjort av NAF naftrafikksenter.no*. Tilgjengelig fra: <http://www.naftrafikksenter.no/Portals/16/test%20resultater.pdf> (lest 03.05).
73. *Erfaring med slirej/autoline*. (2012). Berglitruckstop.no. Tilgjengelig fra: <http://www.berglitruckstop.no/viewtopic.php?t=10753> (lest 05/02).
74. slirej. (2016). *Informasjon om slirej sandstrøer*. slirej.se. Tilgjengelig fra: <http://www.slirej.se/> (lest 03.05).
75. *Oversiktsbilde av slirej*. (2016). Tilgjengelig fra: <http://np.netpublicator.com/netpublication/n12471942> (lest 03.05).
76. *informasjon om Onspot*. (2016). Tilgjengelig fra: <http://www.onspot.com/> (lest 03.05).
77. *Samtale med brannmann Espen Dale om Onspot*. (2016). (26.01).

78. *Produktinformasjon om Onspot.* (2015). Tilgjengelig fra: <http://www.onspot.eu/no/produkter/onspotkatalog/38-168603.pdf> (lest 03.05).
79. *Erfaringer med Onspot. Diskusjon på Bergli-forum.* Tilgjengelig fra: <http://www.berglitruckstop.no/viewtopic.php?f=8&t=5141> (lest 03.05).
80. Zetterbergs. *Informasjon om Robsondrive.* knas.no. Tilgjengelig fra: http://www.knas.no/media/filer/komponenter/PRODUKTINFO_ROBSONDRIVE.pdf (lest 03.05).
81. SISU. *Informasjon om SISU og deres "robsondrive" system.* sisu.com. Tilgjengelig fra: <http://eng.sisuauto.com/node/176> (lest 03.05).
82. *Samtale med Berglitruckstop på facebook.* (2016). facebook (11.04).
83. Terjesen, G. (2015). *Koblingsdynamikk TMP 301.* NMBU/IMT.
84. Steinum, S. (2015). *Vogntogsjåfører om E6: – Den er som en krøttersti.* nrk.no. Tilgjengelig fra: <http://www.nrk.no/nordland/vogntogsjaforer-slakter-kjoreforholdene-pa-e6-1.12192027> (lest 04.05).
85. Lysvold, S. (2014). *Vogntog har stengt over 100 veier – nå skal løsningene på bordet.* nrk.no. Tilgjengelig fra: <http://www.nrk.no/nordland/vogntog-har-stengt-over-100-veier-1.11595696> (lest 04.05).
86. Witsø-Bjølmer, T. (2011). *Vinterveier og de fysiske lover: Klart det må gå galt.* at.no. Tilgjengelig fra: <http://www.at.no/transport/2011-10-01/Vinterveier-og-de-fysiske-lover-Klart-det-m%C3%A5-g%C3%A5-galt-5377.html> (lest 04.05).
87. Odenrud, S. (2015). *vil forby to akslede lastebil.no.* Tilgjengelig fra: <http://www.lastebil.no/Aktuelt/Nyhetsarkiv/2015/Vil-forby-to-akslede> (lest 03.05).
88. Solvik-Olsen, K. (2013). *TILTAK FOR ØKT TRAFIKKSIKKERHET OG ØKTFREMKOMMELIGHET PÅ NORSKE VINTERVEGER.* regjeringen. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/585138ea0fe44255bb853934f5172af0/nlfnotat.pdf?id=2195088> (lest 04.05).
89. BENTZRØD, S. B. (2014). *Over 1400 tunge kjøretøy har fått kjøreforbud.* aftenposten.no. Tilgjengelig fra: <http://www.aftenposten.no/nyheter/iriks/Over-1400-tunge-kjoretoy-har-fatt-kjoreforbud-7476252.html> (lest 03.05).
90. Wahlgren, T. (2016). *Økonomi før sikkerhet på vinterveier.* <http://www.framtidinord.no/>. Tilgjengelig fra: <http://www.framtidinord.no/nyheter/2016/02/21/%C3%98konomi-f%C3%B8r-sikkerhet-p%C3%A5-vinterveier-12186708.ece> (lest 04.05).
91. Thonhaugen, M. (2016). – *Dramatisk forverring av vinterutrustning for norske og nordiske kjøretøy.* 14.01.2016 utg.: nrk.no. Tilgjengelig fra: <http://www.nrk.no/nordland/-dramatisk-forverring-av-vinterutrustning-for-norske-og-nordiske-kjoretoy-1.12748560> (lest 04.05).
92. Ludt, L. (2015). *Kan nekte utlendinger å kjøre over fjellet.* <http://www.mtlogistikk.no>. Tilgjengelig fra: <http://www.mtlogistikk.no/index.php/godstransport/gods-artikler/item/4329-kan-nekte-utlendinger-%C3%A5-kj%C3%B8re-over-fjellet> (lest 04.05).
93. Bendiksen, T. (2014). *Vinterførererkort og EU-kommisjonen.* lastebil.no. Tilgjengelig fra: <http://www.lastebil.no/Aktuelt/Nyhetsarkiv/2014/Vinterfoerererkort-og-EU-kommisjonen> (lest 08.05).

9. VEDLEGG

VEDLEGG A: Refleksjonsnotat

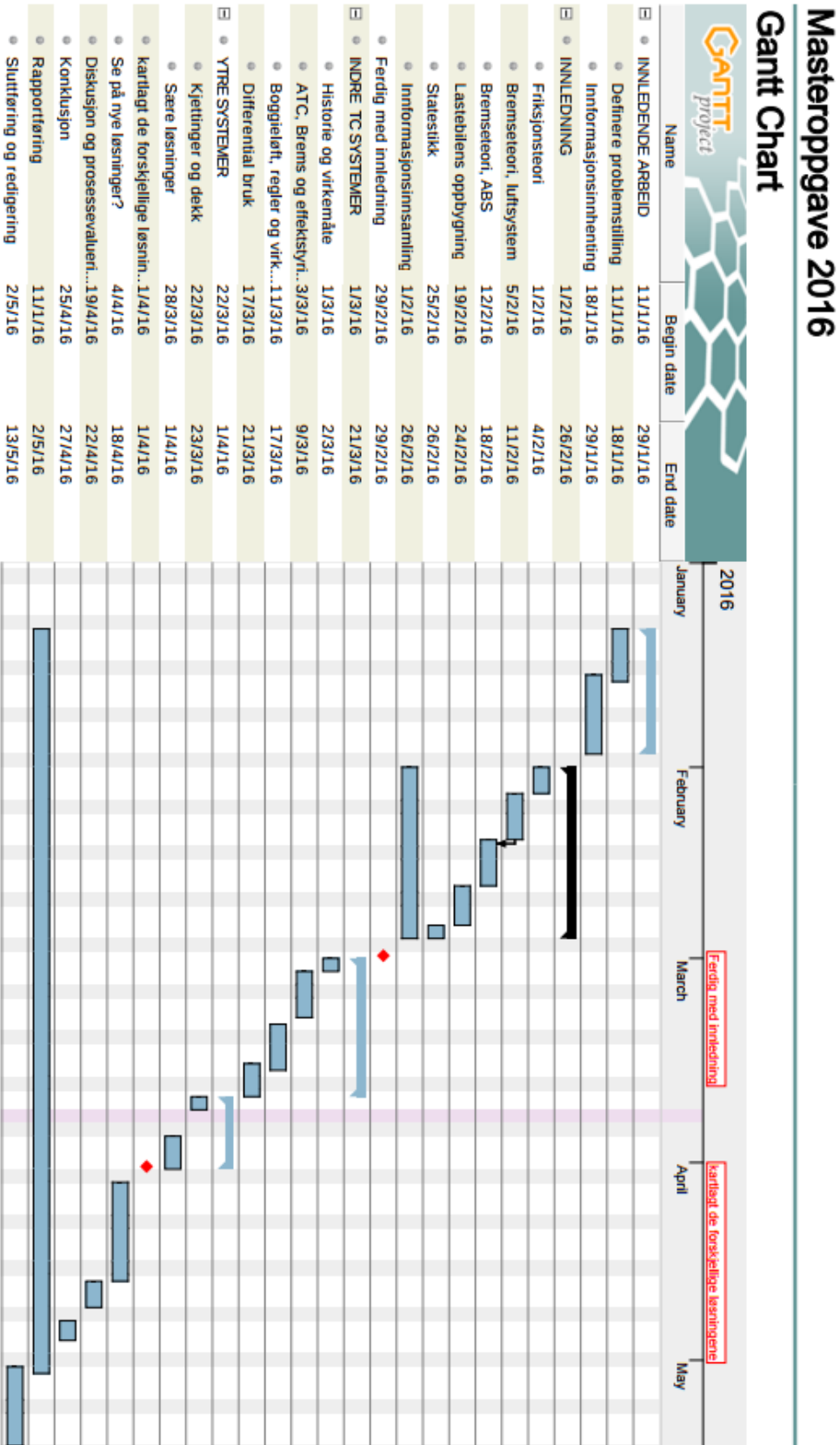
VEDLEGG B: Fremdriftsplan

Refleksjonsnotat

Jeg har vært vant til å jobbe med produktutviklingsoppgaver hvor målet har vært å designe og utvikle et produkt. Det har vært annerledes, men veldig interessant å jobbe med et litteraturstudie og jeg har måtte arbeide på en annen måte enn jeg ellers pleier. Kreativitet er blitt erstattet med informasjonsinnhenting. Gjennom prosjektet har jeg fått lov til å utforske et område innenfor kjøretøy teknikk som har vist seg å være veldig interessant, og jeg har blitt utfordret på blant annet beregninger og praktisk forståelse. Jeg hadde liten kjennskap til fagfeltet før jeg begynte og har lært utrolig mye gjennom hele prosjektet. Jeg er veldig fornøyd med valget av oppgave. Selv om det var riktig for meg å ha en «åpen» oppgave i starten, så ser jeg i ettertid ser jeg at jeg burde nok satt klarere mål og definert oppgaven bedre fra start av. Hvis det hadde blitt gjort så hadde det kanskje vært mer tid til en eventuell spørreundersøkelse blant sjåførere, eller praktiske forsøk.

Jeg er veldig fornøyd med valget om å skrive alene og det har helt klart gitt meg et større læringsutbytte. Det har til tider vært krevende, men helt klart verdt det og jeg har vært avhengig av å ta egne valg og stole på mine egne beslutninger.

Fremdriftsplan





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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway