



# Säkerhetsrisker kopplat till däck, fälg och hjul

## En litteraturstudie

Mattias Hjort  
Håkan Andersson



## Förord

Denna litteraturstudie har genomförts på uppdrag av NTF och Däckspecialisternas Riksförbund. De har i sin tur fått finansiering av Skyltfonden för att genomföra en kartläggning av sambandet mellan däck, fälg, hjul och trafiksäkerhet, där en litteraturstudie och en genomgång av hur däckrelaterade uppgifter används i olycksdatabasen Trafikverkets djupstudier av dödsolyckor. Detta notat innehåller endast litteraturstudien.

Författarna vill rikta stort tack till Claes Eriksson och Mats Berggren på VTI:s bibliotek för det stora arbete de lagt ner på sökning i databaser och vid framtagande av artiklar. Vidare vill vi tacka Anders Karpesjö och Nils Petter Gregersen för värdefulla diskussioner.

Linköping, maj 2012

*Mattias Hjort*

## Kvalitetsgranskning

Intern peer review har genomförts 7 juni 2012 av forskningsdirektör Nils Petter Gregersen. Mattias Hjort har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus 8 juni 2012. Mattias Hjorts närmaste chef Jonas Jansson har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 21 juni 2012.

## Quality review

Internal peer review was performed on 7 June 2012 by senior research director Nils Petter Gregersen. Mattias Hjort has made alterations to the final manuscript of the report. The research director of the project Jonas Jansson examined and approved the report for publication on 21 June 2012.

## Innehållsförteckning

Sammanfattning .....	5
Summary .....	9
1 Bakgrund .....	13
1.1 Metod.....	14
1.2 Avgränsningar.....	15
1.3 Definitioner – däck .....	15
1.4 Definitioner – fälg.....	18
1.5 Definitioner – hjul .....	20
2 Orsaker till trafikolyckor kopplade till däck, fälg och hjul .....	22
2.1 Säkerhet vid hjulservice och underhåll .....	22
2.2 Säkerhet i drift/på fordon.....	23
2.3 Olycksstatistik .....	25
3 Däck.....	27
3.1 Inverkan av mönsterdjup.....	27
3.2 Inverkan av lufttryck.....	30
3.3 Inverkan av rullriktning.....	34
3.4 Regummerade däck .....	35
3.5 Inverkan av däckens ålder .....	35
3.6 Användning av sommardäck och vinterdäck under fel årstid .....	36
3.7 Däckhaveri.....	37
4 Fälg.....	40
4.1 Erfarenheter från olycksutredare .....	41
5 Hjul.....	44
5.1 Hjul som lossnar .....	44
6 Slutsatser .....	47
Referenser.....	48

Bilaga: Databasbeskrivningar och sökord



## Säkerhetsrisker kopplat till däck, fälg och hjul – en litteraturstudie

av

Mattias Hjort och Håkan Andersson

VTI

581 95 Linköping

### Sammanfattning

En litteratursökning angående trafiksäkerhetseffekter kopplat till däck, fälg och hjul genomfördes i samråd med VTI:s bibliotek. Sökorden var baserade dels på de hypoteser som Däckspecialisternas Riksförbund tagit fram, men också baserat på författarnas kunskaper, erfarenhet och nätverk inom ämnesområdet. Utfallet resulterade i ungefär 90 olika referenser, av vilka de flesta är till forskningsartiklar i referee-granskade tidskrifter, men också några fristående rapporter och böcker. En tydlig avgränsning gjordes där halkrelaterade olyckor kopplade till vinterväglag och olika typer av vinterdäck/däckegenskaper inte togs med i studien. Vidare behandlades endast den typ av olyckor som sker under fordonets drift, vilket innebär att exempelvis arbetsmiljöolyckor som sker på serviceverkstad inte tagits med i studien. Av de större referensverk inom området som påträffats kan nämnas: Gardner och Queiser (2005) "Introduction to tire safety, durability and failure analysis", Grogan (1999) "The investigator's guide to tire failures", Bullas (2004) "Tyres, road surfaces and reducing accidents - a review".

Sammantaget så rör den mesta forskningen skador eller slitage av däck. Det finns inte så mycket forskning publicerad angående fälgens påverkan på trafiksäkerheten, och en amerikansk olycksutredare menar att fälgar generellt är extremt pålitliga. Av de avvikelser som kan förekomma för hjulet som helhet är lossnande hjul det mest allvarliga. De studier som vi hittat som behandlar obalans i hjulen omfattar enbart komfortproblem och ökad vägnedbrytning. Olika hjulinställningar påverkar ett fordonshanterbarhet, men vi har inte hittat någon studie som har relaterat detta till trafiksäkerhet.

När det gäller däck fann vi ingen forskning på hur olika däckdimensioner och fabrikat monterat på ett fordon påverkar dess trafiksäkerhet. Flera studier visar dock på risken att placera nya däck på framaxeln och slitna däck på bakaxeln, och det finns en samstämmighet om att vid utbyte av två däck ska de nya däcken alltid placeras på bakaxeln, oavsett om fordonet är fram- eller bakhjulsdrivet. Ett antal studier visar på hur mönsterdjupet påverkar våtgreppet vid bromsning, och hur däck med mindre än 3 mm mönsterdjup tappar ca hälften av tillgänglig friktion jämfört med nya däck. Fordon med slitna däck (< 3 millimeter) är också starkt överrepresenterade i finsk olycksstatistik.

Bland tunga fordon är däckdefekter näst efter bromsfel den vanligaste fordonsdefekten bland tunga lastbilar involverade i dödsolyckor i USA. För dessa olyckor står däckexplosion för 40 procent av de rapporterade felen på däck. För tunga fordon är annars slitbaneseparation den vanligaste orsaken till att ett hjul havererar, följt av vägskada. Slitbaneseparation och däckexplosion uppstår på grund av utmattning i däck, och för däckexplosion är de vanligaste orsakerna att däck framförts med för lågt lufttryck eller har överbelastats vilket ger överhettade däck. En annan orsak kan vara att däck åldrats, och att dess stomtrådar börjat oxidera. Åldring och gummioxidation är också den bakomliggande orsaken till en slitbaneseparation. I och

med oxidationen förlorar däckets sin elasticitet vilket medför sprickbildning. Ett däck som körs med för lågt lufttryck eller överbelastas åldras fortare eftersom dess arbetstemperatur stiger över det normala. Däck med för högt lufttryck tenderar också att slita på däcken, men då främst på slitbanan.

En större studie av kasserade och trasiga lastbilsdäck visar att regummerade däck inte är överrepresenterade när det gäller havererade däck.

För personbilar anges främst ökat däckslitage som en konsekvens av för lågt lufttryck, även om en del studier visar på försämrade köregenskaper vid kurvtagning och undanmanövrar.

Däck fyllda med blandningar med mer än 90 procent kväve har länge sagts ha en fördel för däckens förmåga att behålla lufttrycket. Studier visar också att så är fallet, men att kvävefyllda däck inte kan ersätta regelbunden kontroll av däcktrycket. Några forskare menar också att hög kvävehalt motverkar oxidering och därför skulle vara positivt ur livslängdssynpunkt.

Inga studier av användning av så kallad punkteringsspray har påträffats.

Skador på fälgar kan uppstå av flera anledningar, som exempelvis för lågt lufttryck eller för hög last. Lättmetallfälgar har generellt en bättre förmåga att bibehålla hjulets lufttryck jämfört med stålfälgar, men är generellt också mer känsliga för slag vilket kan leda till att sprickor uppstår. Utmattningsprickor kan också uppstå vid felaktig användning av fälgar konstruerade för att specifikt användas med trumbromsar eller skivbromsar, eller vid användning på fordon med för kraftig motor jämfört med vad fälgen är dimensionerad för. Stålfälgar kan också lida av konstruktionsfel som kan leda till utmattnings- och sprickbildning under drift. Flerdelade lastbilsfälgar kan också få problem med passformen på grund av korrosion eller andra skador under drift. Montering av felaktiga delar förekommer också för den typen av fälg. För användning av däck med slang kan fukt tränga in förbi ventilen och orsaka korrosion på fälgen, något som drabbar både lättmetallfälgar och stålfälgar. Detta kan leda till allvarlig utmattnings- och sprickbildning av fälgen.

Ett hjul som lossnar från fordonet kan innebära fara både för det aktuella fordonet och för omgivningen. Det senare gäller speciellt när ett hjul lossnar från ett tungt fordon, då ett sådant kan kollidera med andra trafikanter och resultera i en olycka. Lossnande hjul till tunga fordon är ett vanligt problem i många länder och i exempelvis Storbritannien räknar man med att 3-7 dödsolyckor inträffar varje år som följd av detta.

Orsaken till att hjul lossnar på tunga fordon är bristfällig montering. Felaktigt åtdragningsmoment är den vanligaste orsaken. Både för löst och för hårt åtdragningsmoment kan medföra att hjulen lossnar. Om hjulet dras för löst är det en risk att muttrarna börjar lossna vid belastning, och om åtdragningsmomentet är högre än pinbultens sträckgräns finns det en risk att pinnbulten får mindre sprickbildningar som sedan kan resultera i att bulten går av. Om bulten dras över dess sträckgräns minskar också trycket mot navet (alternativt bromstrumman), vilket medför samma situation som för lågt åtdragningsmoment. För att momentet ska bli korrekt så är det viktigt att pinbultar och muttrar är smörjda på rätt sätt. En annan ganska vanlig orsak till att hjulen lossnar på lastbilar är att det finns smuts och lös färg på anliggningsytorna på nav och fälg vid montering. Det finns därför ingen garanti att ett hjul där bultarna dragits med korrekt moment faktiskt levererar den klämkraft mellan bult och fälg som krävs för att hålla hjulet på plats. Bristfällig efterdragning kan också vara en orsak till att hjulen lossnar.

För att minska antalet tappade hjul med nuvarande konstruktion för att montera lastbilshjul behövs ökat underhåll och noggrannare montering. Det finns också produkter på marknaden som ska minska risken för lossnande lastbilshjul.

Sammanfattningsvis konstaterar vi att den mesta forskningen i ämnet rör däck, och då materialutmattningsprocesser som leder till slitbaneseparation eller däckexplosion. Många studier har fokuserat på inverkan av för lågt lufttryck, medan studier av för högt lufttryck är mindre vanligt förekommande. För tunga fordon anses överlast vara en trolig bakomliggande faktor till att däck åldras i förtid och slutligen havererar. Det saknas dock studier som visar på hur vanligt det är att fordon kör med överlastade axlar och korrelationen mellan däckhaverier. Vidare är det få som studerat uppkomsten av fälgskador och dessa skadors koppling till trafikolyckor. När det gäller hjulet som helhet så är nästan all trafiksäkerhetsrelaterad forskning kopplad till lossnande hjul. Inget finns gjort angående inverkan av olika hjulinställningar, däckbalansering, navcentrering etc. Det finns inte heller några studier av användning av punkteringsspray och den potentiella fara det kan leda till. Således finns det flera områden kvar som behöver studeras närmare inom kopplingen mellan däck, fälg, hjul och trafiksäkerhet.



## **Road safety effects associated with tires, rims and wheels**

by

Mattias Hjort and Håkan Andersson

VTI, Swedish National Road and Research Institute

SE-402 78 Göteborg

### **Summary**

A literature review about the road safety effects associated with tires, rims and wheels was carried out, where the literature search was done in consultation with the VTI Library and information centre. Keywords were based partly on the assumptions that Däckspecialisternas Riksförbund has produced, but also based on the authors' knowledge, experience and networks in the field. The outcome resulted in approximately 90 different references, most of which refer to research articles in peer reviewed journals, but also some independent reports and books. A clear distinction was made with slip-related accidents related to winter conditions and different types of snow tires/tire characteristics not included in the study. Furthermore, only the type of accidents that occurs during vehicle operation was treated, which means that work accidents occurring during a service are not included in the study. Some of the major reference works encountered in the area are: Gardner and Queiser (2005) "Introduction to tire safety, durability and failure analysis", Grogan (1999) "The Investigator's guide to tire failures", Bullas (2004) "Tyres, road surfaces and reducing accidents - a review".

Overall, most research concerns damage or wear of the tires. There is not much research published on the rim effect on road safety, and a U.S. accident investigator believes that the wheels generally are extremely reliable. Of the anomalies that can occur for the wheel as a whole, loosening of the wheel is the most serious. The studies that we found dealing with wheel imbalance only apply to comfort problems and increased road wear. Different wheel alignment will affect a vehicle's handling, but we have not found any study that has related this to road safety.

For tires, we found no research on how different tire sizes and brands mounted on a vehicle affect its safety. Several studies show that there is a risk involved with mounting new tires on the front axle and worn tires on the rear axle. There is a consensus that during the replacement of two tires, the new tires should always be positioned on the rear axle, regardless if the vehicle is front or rear wheel driven. A number of studies show how the tread depth affects the wet grip during braking, and how the tires with less than 3 mm tread depth lose about half of the available friction compared to new tires. Vehicles with worn tires (<3 mm) are also heavily overrepresented in Finnish accident statistics.

Among heavy vehicles, tire defects are second only to brake failure, as the most common vehicle defect among heavy trucks involved in fatal accidents in the U.S. For these accidents tire explosion represent 40 per cent of the reported tire failures. For heavy vehicles tread separation, followed by road hazard, is otherwise the most common reason for wheel failure. Tread separation and tire explosion are caused by tire fatigue, and for tire explosion the most common reason for fatigue is that the tires have been driven under-inflated or overloaded resulting in overheated tires. Another reason may be that the tire has aged, and that its cords have begun to oxidize. Aging and rubber

oxidation are the underlying causes of a tread separation. Oxidation leads to diminishing elasticity of the tire which causes cracking. A tire operated at under-inflated or overloaded conditions age faster because its operating temperature rises above normal. Tires with too high air pressure also tend to wear down faster, although the wear mainly affects the tread.

A larger study of discarded and broken truck tires show that retreaded tires are not disproportionately represented among tire failures.

For passenger cars, increased tire wear is mainly a consequence of under-inflation, although some studies indicate a deterioration of handling during cornering and evasive maneuvers.

Tires filled with air mixtures containing more than 90 per cent nitrogen have for long been said to have an advantage of the ability to retain the tire air pressure. Studies also show that this is the case, but that nitrogen filled tires cannot replace regular pressure checks. Some scientists also believe that high nitrogen content prevents oxidation and therefore would be beneficial from a longevity standpoint.

No studies on the use of so-called flat tire spray have been found.

Damage to rims may occur for several reasons, such as under-inflation or excessive loading. Alloy rims generally have improved ability to maintain air pressure compared with steel rims, but they are also generally more sensitive to hits which can lead to cracks. Fatigue cracks can also occur due to improper use of wheels designed for specific use with drum brakes or disc brakes, or when used on vehicles with an excessive engine compared to what the rim is designed for. Steel wheels may also suffer from design errors that can lead to fatigue and cracking during operation. Multi-part truck wheels can also have fitting problems due to corrosion or other damage during operation. Installations using improper parts also occur for this type of rim. For the use of tube type tires, moisture can penetrate past the valve and cause corrosion on the rim, something that affects both alloy wheels and steel wheels. This can lead to severe fatigue of the wheel.

A wheel detached from the vehicle can be dangerous both for the vehicle and the environment. The latter is especially true when a wheel becomes detached from a heavy vehicle, and may collide with other road users and result in an accident. Wheel detachment during operation is a common problem in many countries for heavy vehicles and in for example the UK it is estimated that 3–7 fatalities occur each year as a result of this.

The reason why the wheels come off heavy vehicles is incorrect installation. Incorrect tightening torque is the most common cause. Both too loose and too tight tightening torque may cause the wheels come off. If the wheel is pulled too tight, there is a risk that the nuts begin to loosen under load, and if the torque is higher than the yield point of the wheel bolt there is a risk for crack formation which can lead to breaking of the bolt. Over-tightening also reduces the pressure on the hub (or brake drum), leading to the same situation as for low torque. For a correct torque, it is important that the mounting bolts and nuts are properly lubricated. Another fairly common cause for truck wheel detachment is dirt and loose paint on the contact surfaces of hub and rim during mounting. Therefore, there is no guarantee that a wheel attached with the proper torque actually delivers the clamp force between the pin and the wheel required for keeping the wheel in place. Inadequate re-tightening may also be a cause of the wheel detachment.

In order to reduce wheel detachment with the current structure for mounting truck wheels, increased maintenance and more accurate assembly would be needed. There are also products on the market which will reduce the risk of loosening of truck wheels.

In conclusion, we note that most research on this subject relates to tires, and then especially fatigue processes that lead to tread separation or tire explosion. Many studies have focused on the impact of under-inflation, while studies of over-inflation are less common. For heavy vehicles, overload is considered to be a probable factor behind premature tire aging and eventually failure. However, there are no studies that show how frequently vehicles operate with overloaded axles and the corresponding correlation between tire failures. Furthermore, there are only few studies concerning the occurrence of rim damage and its relationship to motor vehicle accidents. Regarding the wheel as a whole, almost all road safety related research is associated with wheel detachment. Nothing has been done concerning the influence of different wheel alignment, tire balancing, wheel hub centring etc. There are also no studies on the use of flat tire spray and the potential danger it can cause. Thus, several areas remain to be studied in further detail concerning the connection between tires, rims, wheels and road safety.



# 1 Bakgrund

Syftet har varit att genomföra en litteraturstudie med avseende på olycksrisker kopplade till hjul, fälg och däck. Initiativet till studien togs av Däckspecialisternas riksförbund som i en kunskapssammanställning (DRF 2009:2) identifierat ett antal tänkbara avvikelser i fordons hjulutrustning som skulle kunna leda till trafiksäkerhetsrisker. Baserat på denna lista av avvikelser ville man sedan gå vidare med en litteraturstudie för att sammanställa de forskningsresultat som finns angående olycksriskerna kopplade till hjul, fälg och däck. Syftet med studien är dels att identifiera om det finns kunskapsluckor i befintlig forskning, dels att få ett ökat kunskapsunderlag för kompetensutveckling av de som i sin profession hanterar frågor kring däck, fälg och hjul.

Tabell 1 Tänkbara trafiksäkerhetsrisker p.g.a. avvikelser i fordons hjulutrustning. Från DRF (2009:2).

TRAFIKSÄKERHETSRIKSER P.G.A. AVVIKELSER I FORDONS HJULUTRUSTNING				
ENHET	ASPEKT	AVVIKELSE	TRAFIKSÄKERHETSRISK	
<b>DÄCK</b>	Dimension	Blandade dimensioner och fabrikat	Försämring av fordonets vägegenskaper	
	Mönster	Sommardäck på vinterväglag		
		Vinterdäck på sommarväglag		
	Slitbana	Otillräckligt mönsterdjup		
Material-utmattning		Punktering, explosion (i synnerhet framaxel)	Fordonet manöverodugligt	
		Felaktig fälg (konstruktionen)	Försämring av fordonets vägegenskaper	
<b>FÄLG</b>	Dimension	Felvisande hastighetsmätare	För hög hastighet	
	Fälgbredd	Avviker från tillverkarens rekommendation, hjulet går utanför karossen	Köregenskapsförändringar, hjulet tar i karosdelar	
	Sprickor i fälg	Överbelastning, lufttryck, däckdimension, korrosion stålfälg, kraftiga slag (t ex potthål), felaktig montering	Fordonet manöverodugligt	
	Offset (spårvidd)	Större offset än original	Felaktig styrgeometri – ökat däckslitage som inte kan motverkas med hjulinställning, hjulet tar i karossen	
		Mindre offset än original		
	Bultförband		Bult/mutter passar inte fälgens hål	Hjulet lossnar från fordonet
			Fel åtdragningsmoment	
			Utebliven efterdragning	
Olja/fett på bult/mutterkona				
Rengöring		Smuts, rost, etc. mellan hjul och nav		
Material-utmattning		Överbelastning (tung last), kraftiga slag (t ex potthål i vägbanan)	Fordonet manöverodugligt.	

<b>HJUL</b>	Inpressningsdjup	För litet – fordonet bredare	Däcket tar i fordonsdetaljer – olagligt. Hjulet kommer utanför karossen – olagligt. Bromsoken tar i fälgarna eller balanseringsvikterna.
		För stort – fordonet smalare	Däcket tar i fordonsdetaljer – olagligt. Spårkänslighet. Bromsoken tar i fälgarna eller balanseringsvikterna.
	Styrgeometri, hjulinställning	Cambervinkel	Hjulen rullar inte med rätt vinkel mot vägbanan; styrande hjulen svänger inte kring samma centrum; hjulen rullar inte parallellt med fordonets tyngdpunkt → förarens möjlighet att bemästra kritisk sväng eller undanmanöver försvåras
		Castervinkel	
		Toe in eller Toe out	
	Balansering	Obalans	Påfrestning av hjulställ och fjädringssystem, instabilitet i framdriften.
	Navcentrering		
	Is i hjulet		
	Luftblandning	Explosiv, brandfarlig gas, t.ex. drivgas från punkteringsspray	Explosion, brand
		Obalans på grund av kondensvatten, särskilt markant vid isbildning i hjulet.	Påfrestning av hjulställ och fjädringssystem, instabilitet i framdriften.
	Luftryck	Lägre tryck än tillverkarens rekommendation	Förkortad livslängd – däckslitage
			Materialutmattning (se fälg och däck)
			Svajighet, instabilitet – försämrade vägegenskaper vid undanmanöver och krissituation
		< 1,6 bar = teknisk punktering	
		Högre tryck än tillverkarens rekommendation	Förkortad livslängd – däckslitage
Stötighet			
Försämrade vägegenskaper			

## 1.1 Metod

En litteratursökning genomfördes i samråd med VTIs bibliotek i de vetenskapliga databaserna TRAX, ITRD, TRIS och Scopus. Dessa databaser tillsammans med de aktuella sökorden beskrivs i Bilaga 1. Utfallet resulterade i ungefär 90 olika referenser, av vilka de flesta är till forskningsartiklar i referee-granskade tidskrifter, men också några fristående rapporter och böcker. Information från referenserna tillsammans med författarnas kunskaper och erfarenhet inom ämnesområdet, samt nätverk, har använts för att sammanställa denna ”state of the art”-rapport. Av de större referensverk inom området som påträffats kan nämnas Gardner och Queiser (2005) ”Introduction to Tire Safety, Durability and Failure analysis”, Grogan (1999) ”The investigators guide to tire failures” och Bullas (2004) ”Tyres, road surfaces and reducing accidents - a review”.

## 1.2 Avgränsningar

Följande avgränsningar för denna studie gjordes:

- Halkrelaterade olyckor kopplade till vinterväglag och olika typer av vinterdäck/däckeegenskaper togs inte med i studien.
- Olyckor kopplade till däck och fälg som inte sker i drift (exempelvis arbetsmiljöolyckor som sker på serviceverkstad) togs inte med i studien.

## 1.3 Definitioner – däck

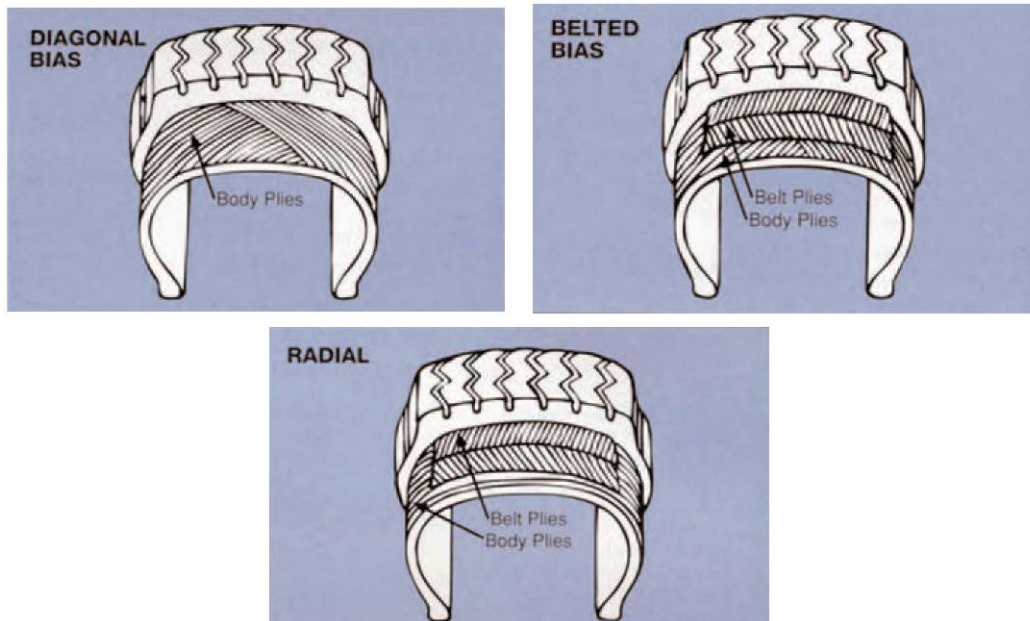
Väldigt grundläggande så består ett slanglöst däck av tre huvudkomponenter. Stomme (body plies), slitbana (tread) och klinch (bead). Stommen utgör den lufttuteslutna delen och förankras i fälgen med stålvaror, så kallade klinch. Slitbanan är lagd ovanpå stommen och är den del av däckets som har kontakt med vägen. Stommen är uppbyggd av textiltrådar (cords) som i tidiga däckkonstruktioner var lagda diagonalt mot däckets rullriktning, varav namnet diagonaldäck. Utveckling har lett till ytterligare två typer av däck, belted bias däck och radialdäck, se *Figur 1*, där radialdäck är den typ som dominerar idag.

Diagonaldäck används än idag i vissa tillämpningar för lastbilar, släp och arbetsmaskiner, och även i framväxande marknader. Fördelar är enkel konstruktion och tillverkning. Nackdelar är värmeutveckling och slitage som är ett resultat av att rörelse mellan de olika stomlagren.

Belted bias däck blev populära i slutet av 1960-talet och har bälten (belt plies eller breaker plies) lagda ovanpå stommen i området under slitbanan. Bältena begränsar den rörelse som uppstår mellan stomlagren vilket ger ett stabilare däck.

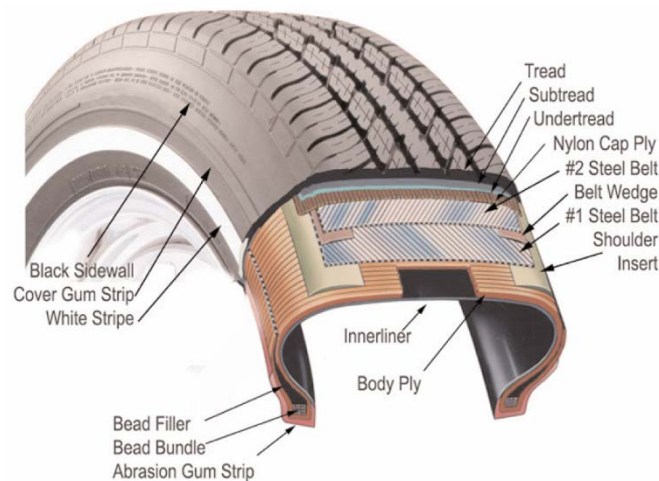
Radialdäck blev populära i början av 1970-talet och är nu den dominerande däcktypen. Här ligger stomtrådarna radiellt mot däckets rullriktning (ett eller två lager vilka hålls samman av gummiskikt). Stommen styvas upp av ett flertal bälten som ligger diagonalt i området under slitbanan, vilket skapar stabilitet och slitstyrka. Dessa bälten kan vara av stål (stålradialdäck) och/eller textilmaterial t.ex. polyester, rayon, nylon, kevlar mm. (STRO, 2011). Radialdäck är mer elastiska vid last än de andra däcktyperna, vilket genererar mindre värmeutveckling och ger ett däck med mindre rullmotstånd och bättre höghastighetsegenskaper. Den ökade styvheten från bältena ger också en signifikant förbättring av vägegenskaper och motstånd mot slitage (Lindenmuth, 2005).

Ytterligare en typ av däck, så kallade run-flat däck, har nyligen introducerats på marknaden. Dessa är i princip radialdäck men med förstärkta sidväggar för att kunna köras vid punktering, då lufttrycket i däckets är obefintligt. Dessa däck är betydligt styvare i sidväggen än de andra vanligare konstruktionerna.



Figur 1 Tre olika typer av däck: Diagonaldäck, belted bias-däck och radialdäck. (från Lindenmuth, 2005)

Konstruktionen för ett modernt radialdäck visas i Figur 2. Följande beskrivningar av de ingående komponenterna är tagna från Lindenmuth, 2005, med vissa tillägg från STRO (2011) och DRF (2006, 2010).



Figur 2 Ett diagonaldäcks olika komponenter (från Lindenmuth, 2005)

### Innerliner

Innerliner är en tunn, speciellt formulerad sammansättning placerad på den inre väggen av däck i syfte att förbättra däckets motstånd mot luftläckage.

### *Body plies – Stomme*

Stommen består av trådar (cord) och gummi vilka är dragna runt klinchen (bead) och löper radiellt över däckets till motstående klinch. De skapar styrkan att innesluta lufttrycket liksom motstånd mot yttre inverkan på sidväggen. Däcket i figuren har ett lager med trådar. Däck i större storlekar har typiskt två lager.

### *Bead bundles - Klinch*

Individuellt bronspläterade stålvaror beläggs med gummi och tvinnas ihop till en bunt med en specifik diameter och konfiguration. Dessa buntar håller det luftfyllda däckets på plats mot fälgen.

### *Bead filler*

Bead filler (också benämnt apex) appliceras ovanpå klinchen för att fylla tomrummet mellan den inre och den yttre delen av stomtrådarna vilka löpt runt klinchen. Genom att variera höjd och hårdhet hos denna filler så kan man påverka däckets vägegenskaper (komfort och handling).

### *Abrasion gum strip*

Abrasion (avskavning) på gummit skapar ett lager av gummi mellan stomtrådarna och fälgen, i syfte både att skydda stommen och skapa en lufttät försegling mellan däck och fälg. Denna komponent benämns ibland ”gum chafer” eller ”gum toe guard”.

### *Sidewall – sidvägg*

Gummit på däckets sidvägg ska skydda stommen från avskavning, yttre inverkan, samt motverka utmattning pga. flexningar. Gummiblandningen har en sammansättning för att motstå sprickbildning pga. påverkan från den yttre miljön som ozon, syre, UV-strålning och värme. En del däck har en förstärkning i den nedre delen av sidväggen (visas ej i figuren), i syfte att förbättra vägegenskaper som handling och stabilitet. Dessa förstärkningar är kända som ”chippers”, ”flippers” eller ”floating reinforcements”. Många så kallade run-flat konstruktioner har också tjockt gummi längs hela sidväggen, eller andra förstärkningar vilka hjälper däckets att bära lasten när dess lufttryck är lågt eller noll.

### *Belts (Stabilizer plies) – bälten*

TVå stålbelten appliceras i motsatta vinklar ovanpå stommen, under slitbanan. De begränsar expansion av stomtrådarna, stabiliserar slitbanans yta, samt skapar ett motstånd mot yttre påverkan. Variation av bältenas bredd och vinklar påverkar fordonets ride och handlingsegenskaper. Alternativa konstruktioner med andra material än stål, med tre eller fler bälten, eller med vävda material har också använts.

### *Belt wedges*

Små remsor av material motståndskraftiga mot utmattning placeras ibland mellan bältena nära kanterna på det övre bältet. Syftet är att minska de tvärkrafter som uppstår i bälteskanten då däckets rullar och därmed trycks ihop.

### *Shoulder inserts*

Små remsor av gummi placerade på stommen under bälteskanterna. De isolerar stommen från bälteskanterna och ger en mjukare bältesyta.

### *Tread – Slitbana med mönster*

Slitbanan måste ge det tillräckliga väggreppet för drivning, bromsning och styrning. Gummiblandningen är speciellt sammansatt för att ge en balans mellan grepp, handling, slitage och rullmotstånd. Ett mönster formas i slitbanan under vulkaniseringsprocessen. Mönstret designas för att skapa ett jämnt slitage, god vattendränering, riktningstabilisering (längsgående spår) och för att minimera generering av buller för en mängd olika vägbanor. Både gummiblandning och mönsterdesign måste prestera effektivt i ett antal olika förhållanden, såsom våta, torra och snötäckta ytor, och samtidigt möta kundens krav på tillräckligt lågt slitage, rullmotstånd, buller och bra komfortegenskaper. För körning i vinterförhållanden har vinterdäck utvecklats, vilka har en speciell gummiblandning och ökat mönsterdjup. Skårar i slitbanan, så kallade sajpningar, ger ett ökat grepp på is och snö. Dubbar förankrade i slitbanan ger också ett förbättrat isgrepp.

### *Subtread*

En så kallad subtread används ibland för att minska däckets rullmotstånd. Det är en blandning som ger mindre hysteres och därmed mindre värmeutveckling. Den placeras under slitbanan. Den kan också användas för att finjustera komfort, buller och handlingsegenskaper.

### *Undertread*

Ett tunt lager av gummi placerad under slitbanan/subtread för att öka vidhäftningsförmågan mellan slitbana och bältena, samt för att täcka över bälteskanterna.

### *Nylon cap plies*

Däck med hög hastighetsklassning kan ha ett lager av längsgående nylontrådar ovanpå bältena. Dess syfte är att ytterligare begränsa utvidgning från centrifugalkrafter vid höga hastigheter.

## 1.4 Definitioner – fälg

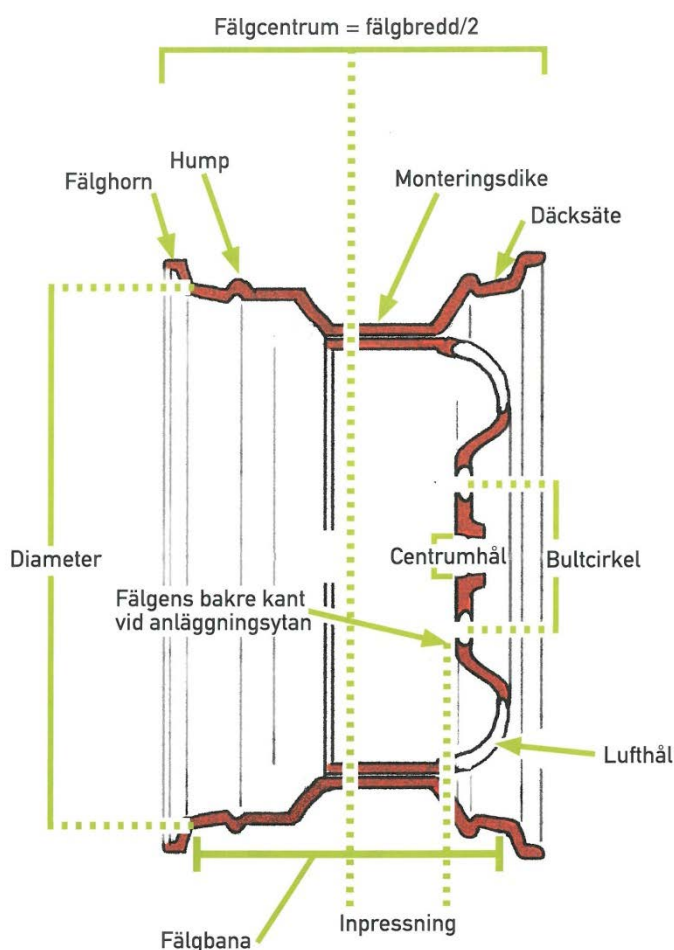
Fälgar är typiskt tillverkade antingen i stål (plåt) eller lättmetall. En stålfälg tillverkas av två delar – centrum och fälgbana. Fälgens centrum pressas ur ett stålstycke medan

fälgbanan formas ur ett stycke stålband, varefter de två delarna svetsas samman. För lättmetallfälgar används olika tillverkningsmetoder: lågtrycksgjutning, högtrycksgjutning, mottrycksgjutning, smidning och valsning. De två senare metoderna ger fälgar som är särskilt starka och hållbara. Bland lättmetallfälgar så tillverkas 90-95 % med lågtrycksgjutning, vilket ger en porös metall som kan innehålla porer (DRF 2010). Det finns 5 olika typer av lackering av lättmetallfälgar: våtlackering, pulverlackering, krom, kulpolering samt kromliknande behandlingar.

En schematisk bild över en fälg visas i *Figur 3*. En fälg har tre viktiga mått: diameter, fälgbredd och inpressning/offset. Offset är avståndet mellan fälgens tallrikcentrum (den del som monteras mot hjulnavet) och fälgcentrum, se *Figur 3*. Nära kanterna på fälgbanan finns ofta en så kallad säkerhetshump vilket ska förhindra däckets från att glida för långt in på fälgan.

Fälgar till fordon med mycket stora eller styva däck är ofta flerdelade och hålls ihop av bultar. Däcksidorna fixeras på fälgan med en kilring, sidring och en låsring.

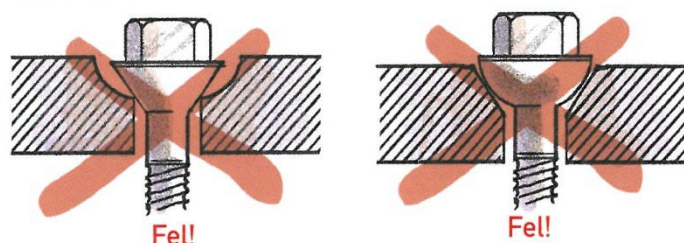
Utöver de stålfälgar som svetsas ihop av två delar, och lättmetallfälgar som konstrueras allti ett stycke, finns också till vissa sportbilar fälgar där fälgbana och fälgcentrum är förenade med ekrar. För att ett hjul med ekerfälgar ska bli lufttätt så måste ett däck med slang användas.



*Figur 3 Schematisk bild över en stålfälg. Från DRF (2006).*

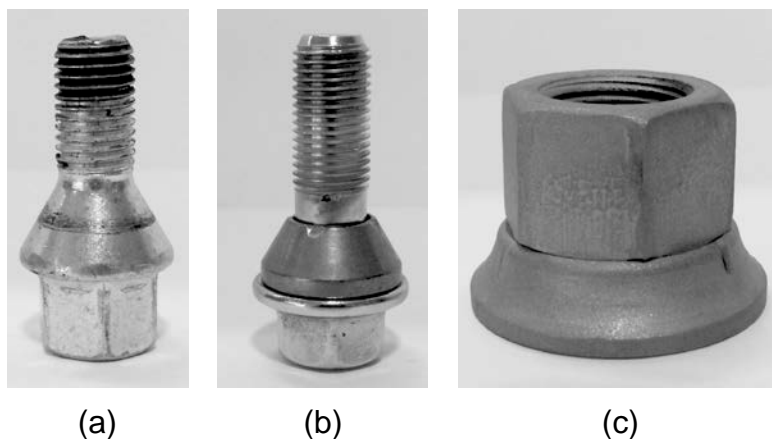
## 1.5 Definitioner – hjul

Ett hjul består av ett däck monterat på fälg tillsammans med en ventil monterad i fälgen. Hjulet monteras på fordonets hjulnav med hjulbultar eller hjulmuttrar så att fälgens disk/tallrik pressas mot hjulnavet. Beroende på hur fälgens bultförsänkningar är utformade ska olika typer av bultar användas. Normalt används kulförsänkningar eller 60-gradig kona, se *Figur 4*.



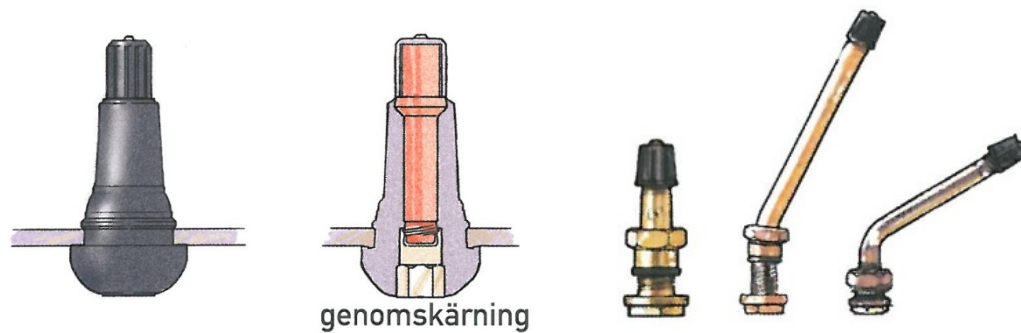
*Figur 4 Olika bultförsänkningar. Från DRF (2006).*

Bultar och muttrar finns i olika typer. Några av dem visas nedan i *Figur 5*. Bultar med en lös kona gör det lättare att applicera ett korrekt åtdragningsmoment.



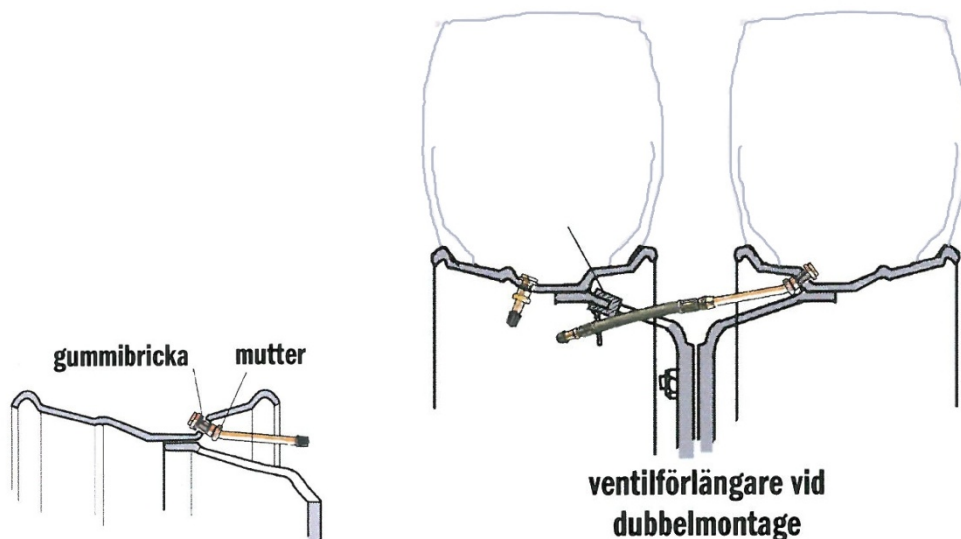
*Figur 5 Hjulbult med fast kona (a), hjulbult med lös kona (b), hjulmutter till tungt fordon med ledad bricka. Foto Håkan Andersson, VTI.*

Ventilen består av ett mässingsrör fastsatt i en gummiplatta och kan vara utformade på olika sätt, se *Figur 6*. Ventilnålen är en precisionsdetalj där en konisk kägla pressas in i en passning av en fjäder, vilket ger en perfekt tätning. Ventilläckage kan förekomma om smuts tränger in i ventilen. Ventilhatten är viktig eftersom den skyddar ventilnålen.



Figur 6 Schematisk bild över en ventil. Från DRF (2006, 2010).

Till lastbilar med tvillingmonterade däck är det nödvändigt med en ventilförlängare till innerhjulet för att kunna justera lufttrycket, se Figur 7.



Figur 7 Montering av ventil på fälg. Till höger syns montering av ventilförlängare till tvillingmonterade däck. Från DRF (2010).

För att minska vibrationer i hjulet så måste de flesta hjul balanseras genom balansering av den statiska och dynamiska obalansen i hjulet. Detta görs genom att placera mindre vikter (normalt mellan 5 – 45 gram) på olika ställen av hjulets fälg. För lastbilshjul kan även ett balanserande pulver användas, vilket placeras i inneslutningen mellan däck och fälg.

## 2 Orsaker till trafikolyckor kopplade till däck, fälg och hjul

En relativt ny översikt i ämnet (Gardner och Queiser, 2005) publicerad av NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) sammanfattar de problem som kan uppstå och diskuterar den kopplade olycksstatistiken från ett Amerikanskt perspektiv. Vi har utgått från den översikten för att ge en bakgrund till de orsaker som ligger bakom trafikolyckor som kan kopplas till däck och fälg.

Ett fordons hjul (däck och fälg) utsätts för stora variationer i arbetsförhållande. Saker som påverkar är fordonet, föraren, det underhåll som utförs, den miljö som det verkar i, och slumpvisa händelser som kan ge skada på hjulet eller påverka dess arbetsförhållande.

Gardner och Quesier (2005) identifierar två huvudsakliga områden där hjulsäkerhet är kopplat till att hjulet havererar:

- Hjulservice och underhåll
- På fordon, under driftförhållanden

I det första fallet är potentiell personskada associerad med montering/avmontering av däck, utförande av underhåll på hjul och fälg, samt vid reparationsarbete. I det andra fallet är definitionen av hjulsäkerhet i praktiken samma som för fordonssäkerhet. Hjulen är en del av ett system som har som funktion att transportera människor och gods så fort, komfortabelt, effektivt och miljömässigt sunt som möjligt, utan att skapa orimligt stora risker för olyckor eller skada (Seiffert och Wech, 2003). Typiska säkerhetsaspekter för dessa två områden listas nedan.

### 2.1 Säkerhet vid hjulservice och underhåll

Gardner och Quesier (2005) listar följande faktorer som kan inverka på säkerheten vid hjulservice och underhåll:

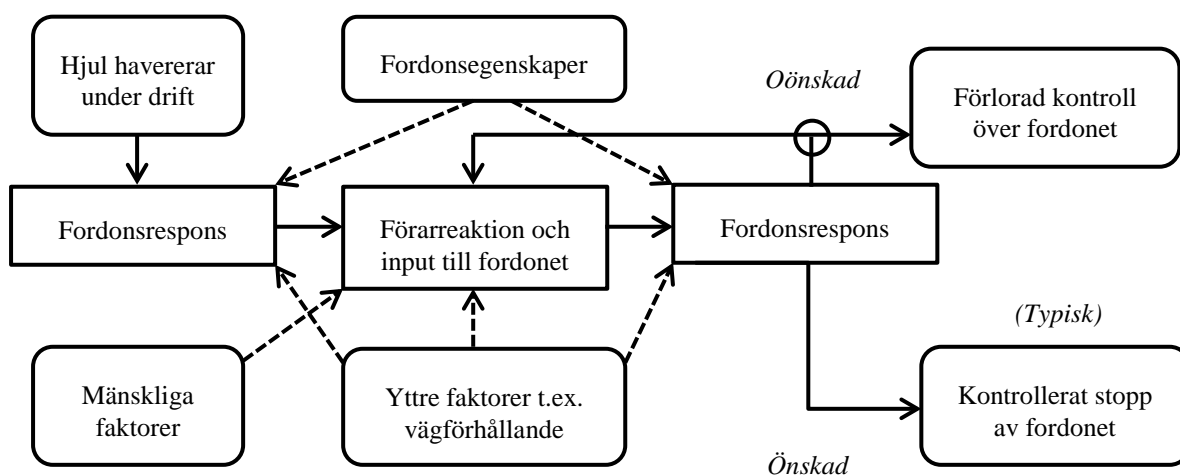
- Däck/fälg mismatch - Fälgerna är för stora eller för små för däckets klinchdiameter.
- Klinch-sättning (Bead hang-up) – Däcket är inte ordentligt anpassat till fälgerna, eller att en av dess komponenter ligger utanför toleransnivå, eller inte är tillräckligt smort. Om överdrivet lufttryck appliceras för att få klinchen på plats så kan däcket explodera, eller så kan klinchen lossna ur sättningen.
- Felaktiga fälgkomponenter eller felaktig sammansättning av fälg – Mismatchade eller skadade/försämrade komponenter till en flerdelsfälg, eller felaktig montering av fälgerna. Under trycksättning (eller efteråt) kan den sammansatta fälgerna explodera.
- Eter – användning av flyktiga gaser för att hjälpa klinchanpassningen kan leda till en däckexplosion.
- ”Blixtlås”-bristning (Zipper rupture) – Under hantering eller vid inspektion av ett trycksatt däck med misstänkt skada kan utmattade stomtrådar brista en efter en annan tills en bristning uppstår i däcket. Typiskt sker denna bristning i övre delen av sidväggen med explosiv kraft och ögonblicklig tömning av luften i däcket.
- Svetsning – Reparation av fälgdel genom svetsning, lödning eller annan upphettning då hjulet är monterat och trycksatt kan leda till att för stort tryck bildas i hjulet vilket resulterar i en explosion.

Däck och fälgar är designade för att underlätta montering/avmontering. Däcken har starka men flexibla klinchar och fälgarna till personbilar och lätta lastbilar är ofta endels-konstruktioner. Gardner och Quesier konstaterar dock att däck och hjulservice endast bör utföras av speciellt utbildade personer, där föreskrivna tillvägagångssätt och föreskriven utrustning används.

Som nämndes i avsnitt 1.2 så har vi valt att inte behandla olyckor som sker under service närmare i denna litteraturstudie.

## 2.2 Säkerhet i drift/på fordon

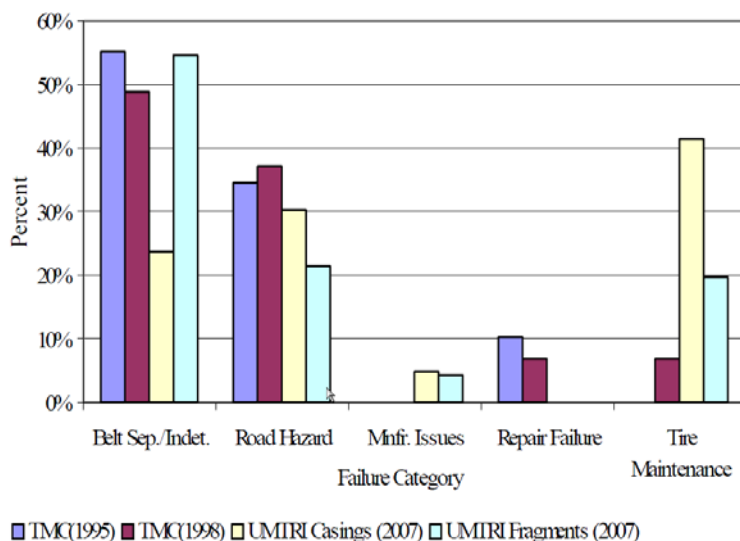
När ett hjul havererar under drift så är säkerhetsaspekterna långt mer komplicerade än aspekterna vid hjulservice och underhåll listade ovan. Ett antal ytterligare variabler, såsom olika fordon, olika förare, olika körförhållande samverkar och påverkar den slutgiltiga effekten av att ett hjul havererar. Ett flödesschema över händelser och påverkande faktorer visas i *Figur 8*.



*Figur 8 Processer som efterföljer ett havererande hjul. Från Gardner och Quesier (2005).*

Huruvida ett havererande hjul under drift blir en säkerhetsrisk beror på ett antal olika faktorer. Att utvärdera hjulsäkerhet i detta sammanhang kan därför vara svårt. Studier av förarreaktioner vid hjulolyckor kan genomföras i körsimulator. Ranney et al. (2003), har studerat förarreaktioner för scenarier med slitbaneseparering. Man studerade både förare som var oförberedda och de som var förberedda på att en slitbaneseparation skulle inträffa. Resultaten visade att vetskapen om att incidenten skulle inträffa hade en signifikant effekt på hur snabbt en förare reagerade, samt på vilket sätt de hanterade situationen. Pettersson et al. (2006), fann liknande resultat vid en studie av lastbilschaufförers reaktion vid däckexplosion på ett framdäck i körsimulator. Bakgrunden till denna studie var ett flertal allvarliga olyckor med tunga lastbilar till följd av däckexplosion på ett framdäck och där förarna hävdade att de tappat styrförmågan över fordonet. Utförliga tester på Volvos testbana (Volvo, 2000) visade dock att fordonen var lätta att kontrollera i ett flertal olika manövrar när en däckexplosion inträffar. Körsimulatorstudien påvisade tydligt hur överraskningseffekten påverkar förarnas förmåga att hantera fordonet och konstaterar att framhjulsexplosioner på lastbilar är en trafikfara att räkna med.

Woodrooffe (2008) gjorde en sammanställning av orsaker till havererande hjul från fyra olika amerikanska studier, se *Figur 9*. Man fann att slitbaneseparation var den dominerande orsaken, följt av vägskada (road hazard). Dåligt hjulunderhåll var också signifikant i några av studierna, medan misslyckad hjulreparation låg bakom 5-10 % av olyckorna i två av studierna.



*Figur 9 Sammanställning av orsaker till havererande hjul från fyra olika amerikanska studier. Från Woodrooffe (2008).*

Gardner och Quesier (2003) identifierar tre olika typer av failure modes (översättning)

- Run low/flex break (från kraftigt övertrycksatta eller undertrycksatta däck)
- Tappad slitbana/bälten
- Hastig lufttömning pga brott/hål i däcket

Vidare listar de följande orsaker till att däck havererar under drift:

- Överdeflektion (för hög last/för lågt lufttryck). Kan ge plötsligt havererande däck. Om det förekommer under en längre tid kan det resultera i rim grooving, skador från intryckta balanseringsvikter, samt slitningar i slitbanemönstret.
- Intracarcass pressurization. Drabbar alla slanglösa däck. Luft pressas ut genom däckstrukturen och kan leda till en intern tryckgradient. Kan leda till separation av de inre strukturerna i däcket, liksom kemisk nedbrytning.
- Jack och punkteringar. Skarpa objekt som skadar däcket.
- Dåligt reparationsarbete av hjul.
- Kollision med objekt eller vägskada (road hazard). En av de vanligaste orsakerna till att hjulet så småningom havererar. De inträffar när ett hjul i drift påträffar ett objekt eller en ojämnhet i vägbanan (t.ex. potthål).
- Däck/hjul anomalier. Avvikelse från den tänkta konstruktionen vid design eller tillverkningsfasen.

Woodrooffe (2008) har genomfört en större studie av kasserade och trasiga lastbilsdäck för att ta reda på de underliggande orsakerna till att däck havererar. De har samlat in ett slumpmässigt urval av spillror från havererande däck från fem olika ställen i USA. Totalt 1 496 olika däckspillror undersöktes för att bestämma den troliga orsaken till att däck havererade. De fann att fördelningen av däckspillror från regummerade däck jämfört med icke regummerade väl stämde överens med fördelningen av regummerade däck på vägarna, vilket implicerar att regummerade däck inte är överrepresenterade när det gäller havererande däck.

Vidare fann de att vägskada/vägojekt var den vanligaste orsaken till att däck havererar (36 % för icke regummerade däck och 38 % för regummerade däck). Dåligt underhållna däck och ”operational issues” svarade för 32 % av de havererade däcken, medan överdeflektion stod för 16 %. Man fann också att överdriven värmeutveckling var närvarande i 30 % av fallen. De påpekar dock att olycksdata visar att fordonsolyckor relaterade till havererande lastbilsdäck och skräp/delar från lastbilsdäck är mycket ovanliga och ligger bakom mindre än 1 % av trafikolyckorna.

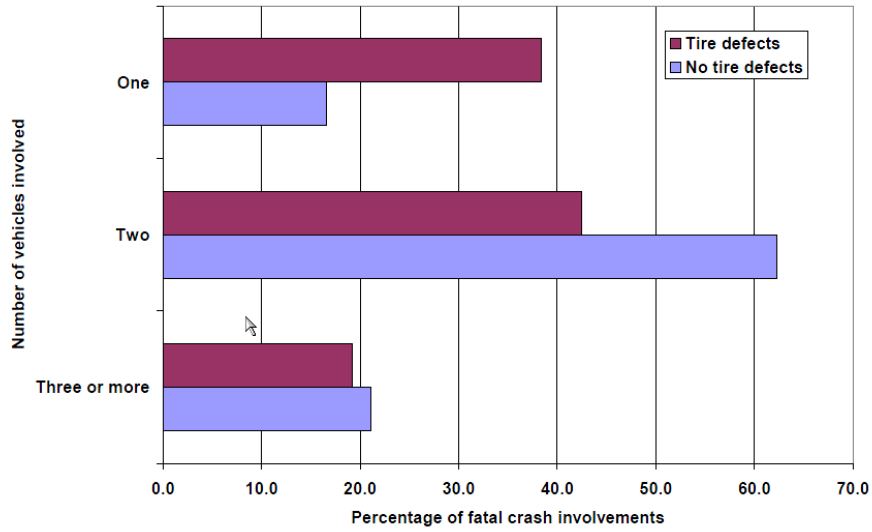
## 2.3 Olycksstatistik

Gardner och Quesier (2003), påpekar att det säljs 300 miljoner däck per år i USA och att ett stort antal hjul havererar i drift varje dag av olika anledningar. Exempelvis så mottog den Amerikanska servicefirman AAA 2,4 miljoner serviceförfrågningar angående punkterade däck under 2002 (Nashworthy, 2003). Dock så menar de att det endast en väldigt liten del av dessa incidenter som leder till olyckor, från 0.06 % (Baker och McIlraith, 1969) till 0.5 % (Federal Motor Vehicle Safety Standards, 2003).

Johansson (2002) genomförde en enkätundersökning bland transportföretag för att uppskatta omfattningen av olyckor med tunga fordon som resultat av en framhjulsexplosion. *Enkäten* gällde de senaste 5 åren och av 119 enkätsvar så var det 46 företag som råkat ut för totalt 62 punkteringar eller däcksexplosioner på framhjul på tunga lastbilar under den avsedda tidsperioden. Upp till fyra haverier på framdäck hade inträffat i samma företag under en femårsperiod. Av de som besvarat enkäten var det 73 företag som uppgav att de aldrig har haft däckexplosioner på framhjul. Johansson menar sammanfattningsvis att det är svårt att bedöma den totala omfattningen av framdäckhaverier i Sverige då alla som har fått information om den pågående undersökningen, och som varit med om däckhaveri på framhjul, säkert inte tagit sig tid att rapportera om sina erfarenheter. Mörkertalet för framdäcksexplosioner kan därför antas vara stort.

Statistik från USA (Milla 2002) visar att däckdefekter näst efter bromsfel är den vanligaste fordonsdefekten bland tunga lastbilar involverade i dödsolyckor. Dock så är olyckor med defekta däck ovanliga, och involverar endast 0,87 % av dödsolyckorna med tunga lastbilar. Däckexplosion står för 40 % av dödsolyckorna med tunga lastbilar där defekta däck varit den bakomliggande orsaken.

Woodrooffe (2008) konstaterar att lastbilar med hjuldefekter som är inblandade i dödsolyckor oftare är inblandade i singelolyckor, jämfört med andra lastbilar. *Figur 10* visar att ca 38 % av dödliga olyckor där lastbilar med hjuldefekter är inblandade är singelolyckor, jämfört med 17 % för andra lastbilar.



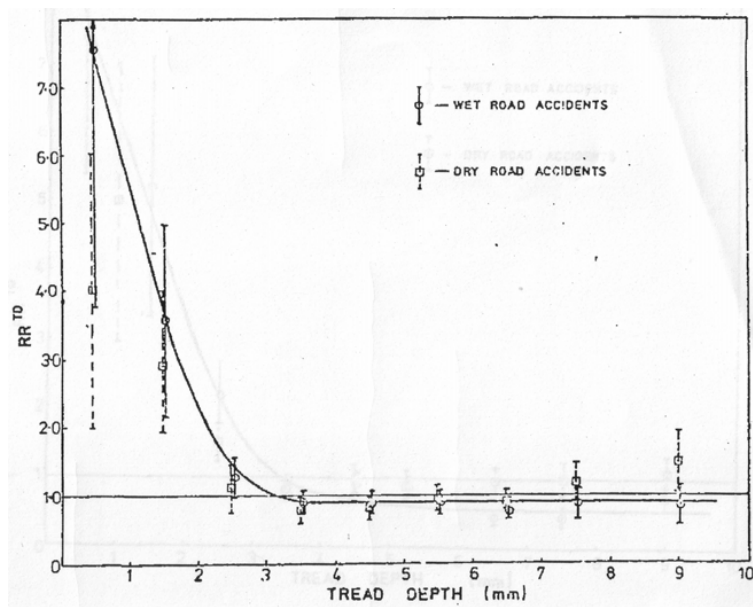
*Figur 10 Lastbilar inblandade i dödsolyckor i USA fördelat på fordon med och utan hjul-defekter. Från Woodrooffe (2008).*

### 3 Däck

#### 3.1 Inverkan av mönsterdjup

I Sverige är det minsta lagliga mönsterdjupet för personbilar 1,6 mm sommartid, och för vintertid vid vinterväglag 3,0 mm. För lastbilar är mönsterdjupskravet 1,6 mm sommartid och 5,0 mm vintertid vid vinterväglag. För motorcyklar är kravet 1,0 mm.

Blythe (2006) har gjort en översikt över lagligt mönsterdjup i USA. De konstaterar att den lagliga nivån på 1,6 mm inte bygger på några vetenskapliga resultat och detta mönsterdjup inte hindrar ett signifikant minskat väggrepp vid motorvägshastigheter, även för minimalt våta vägbanor. De menar att forskningsresultat från flera studier indikerar att däck med mindre än 3,2 mm mönsterdjup tappar ca 50 % av tillgänglig friktion under dessa förutsättningar, även innan vattenplaning inträffar. Fox et al. (1979) hävdar att den relativa risken för olycka på våt väg ökar markant vid ett mönsterdjup mindre än 3 mm. För torr vägbanor såg man en tendens till ökad risk men inte i samma omfattning som för våt vägbanor.



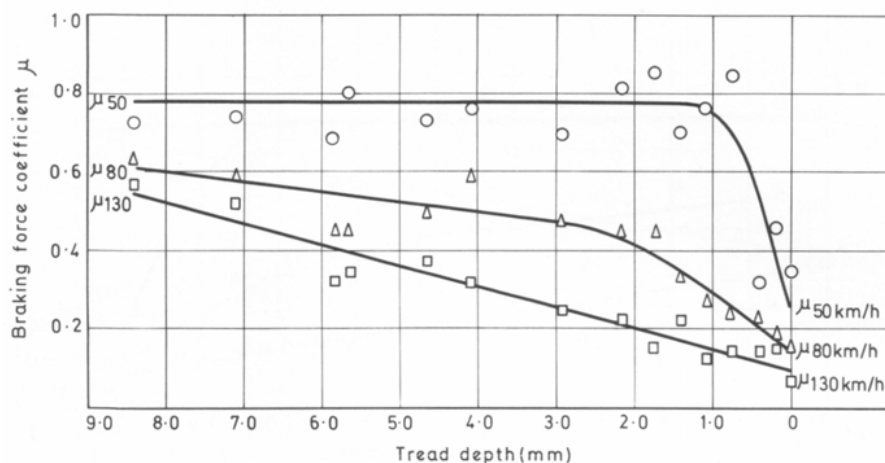
Figur 11 Inverkan mellan mönsterdjup (tread depth) och relativ olycksrisk (RR) från Fox et al. (1979).

En senare studie, Hanttula (1998), av data från ett finskt försäkringsbolag visade att slitna däck var en riskfaktor i 9 % av olyckorna på våt väg, jämfört med 1,8 % på torr väg. Lundell (1994) undersökte olyckor i Finland som skett i hastigheter över 70 km/h på hala vägar, där två fordon varit inblandade. Han kom fram till att för det fordon som orsakade olyckan så var det 6 gånger vanligare med slitna däck (< 3 mm mönsterdjup) jämfört med det andra inblandade fordonet.

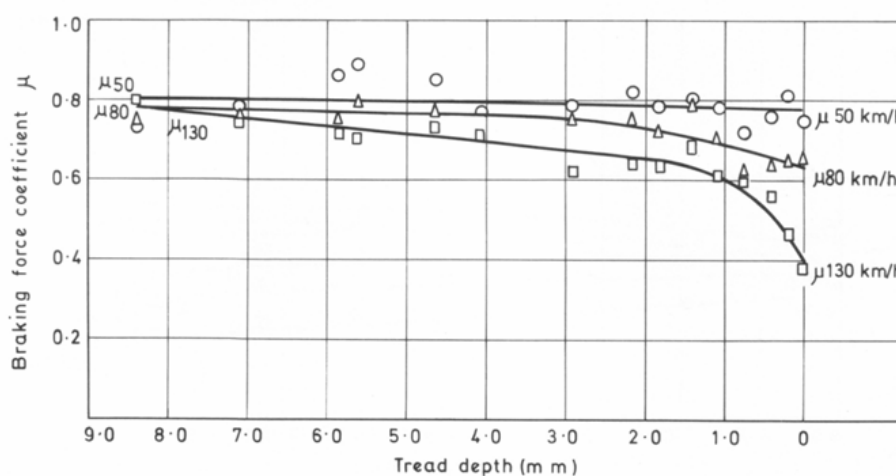
Vid tidiga mätningar av bromsfriktionen på våt vägbanor visade Staughton och Williams (1970), att friktionen sjönk drastiskt vid 1 mm mönsterdjup. Skillnaden var stor mellan slät betongväg och grovmönstrad asfaltväg, där friktionen på den släta vägen minskade redan vid 5 mm mönsterdjup vid hög motorvägshastighet, se Figur 12.

Vid studier av mönsterdjupets betydelse kan det vara svårt att separera effekten av att däcken åldras, och gummit därmed ändrar egenskaper. Nordström och Gustavsson

(1996) genomförde en studie av ett stort antal personbildaäcks (nya och begagnade) bromsfriktion på våt asfaltbeläggning. För begagnade däcks med mönsterdjup mellan 2 – 6 mm kunde man inte finna någon tydlig tendens till minskat våtgrepp med minskat mönsterdjup. För nya dubbdäcks och odubbade vinterdäcks med mönsterdjup mellan 8 – 10 mm såg man däremot en tydlig ökning av bromsfriktionen med minskat mönsterdjup, vilket förklaras av att de förhållandevis mjuka vinterdäcken blir något styvare med minskat mönsterdjup. För nya sommaräcks med mönsterdjup mellan 7 – 9 mm minskade dock bromsfriktionen något med minskat mönsterdjup.



PEAK BRAKING FORCE AGAINST TREAD DEPTH - SMOOTH CONCRETE

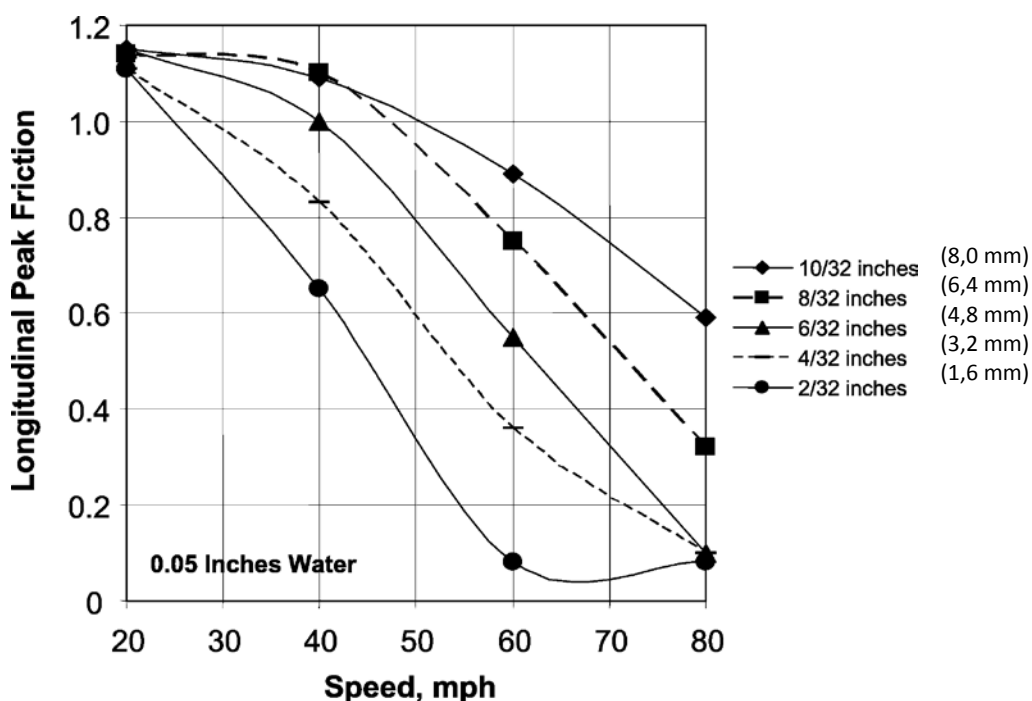


PEAK BRAKING FORCE AGAINST TREAD DEPTH - ASPHALT TO MOTORWAY SPECIFICATION

Figur 12 Bromsfriktionens variation med mönsterdjup på våt vägbana med fin textur (överst) och våt vägbana med grov textur (underst). Från Staughton och Williams (1970).

Blythe (2002) har genomfört laboriemätningar av bromsfriktionen med däcks med olika mönsterdjup vid olika hastigheter på våt vägbana (0.12 mm vatten). I figur 13 visas hur bromsfriktionen vid motorväghastighet (60 mph) sjunker drastiskt för däck med 1,6 mm mönsterdjup (2/32 inches), och att även däck med 3,2 mm mönsterdjup

har relativt låg bromsfriktion vid denna hastighet jämfört med däck med större mönsterdjup.



Figur 13 Bromsfriktionens variation med hastigheten för däck med olika mönsterdjup på våt väg med 0,12 mm vattendjup. Från Blythe (2002).

Enligt en litteraturoversikt av Bullas (2004) visar undersökningar utförda av däckbranschen att en av tio personbilar har ett mindre mönsterdjup än de tillåtna 1,6 mm. I Sverige har däckbranschen tillsammans med NTF, Trafikverket, Polisen och Bilprovningen sedan 2004 varje år utfört så kallade ”däckrazzior” där mönsterdjup och lufttryck registrerats för ett urval av fordon. I den senast publicerade undersökningen av sommardäck till personbilar undersöktes totalt 2 387 bilar under hösten 2010 (se Däckrazzia 2010). Andelen bilar med minst ett däck med olagligt mönsterdjup (dvs < 1,6 mm) har i de senaste årens undersökningar varit ca 4,5 %. Andelen fordon med mönsterdjup mindre än 3,0 mm på det mest slitna däck har varit drygt 30 %. Ungefär en fjärdedel av de som hade däck med mönsterdjup lägre än 3,0 mm var omedvetna om att de hade så pass slitna däck. Det genomsnittliga mönsterdjupet på det mest slitna däck har de senaste åren legat konstant på 4,1 mm, och det genomsnittliga mönsterdjupet för alla fyra däcken 5,0 mm.

### 3.1.1 Positionering av däck med olika mönsterdjup

Flera studier (Williams och Evans (1983), Blythe and Day (2002), Strandberg (1989)), har identifierat risken med att placera nya däck på framaxeln och slitna däck på bakaxeln. Blythe och Day visar att normala körfältsbyten kan leda till förlorad kontroll vid vått väglag om det är tillräckligt stort skillnad i mönsterdjup mellan fram och bakaxel vid placering av de slitna däcken på bakaxeln. De konstaterar också att detta gäller oavsett om det är en fram- eller bakhjulsdriven bil. Strandroth et al. (2011) har genomfört en studie av dödsolyckor i Sverige vintertid. De konstaterar att placering av de sämsta däcken på bakaxeln markant ökar risken för en dödsolycka där föraren tappat

kontroll över fordonet. Studien genomfördes dock endast på personbilar utan antisladdsystem.

I Storbritannien har The National Tyre Distributors Association gått ut med riktlinjer om att vid utbyte av två däck ska de nya däcken alltid placeras på bakaxeln. I Sverige rekommenderar Transportstyrelsen att ”de däck som har det största mönsterdjupet eller bedöms ha det bästa väggreppet bör vara monterade bak på fordonet för att minska risken för sladd vid bromsning och i svängar. Däcken med största dubbutsticket bör monteras bak. Detta gäller både fram- och bakhjulsdrivna bilar”. Flera däcktillverkare, exempelvis Pirelli och Dunlop, gör samma rekommendation på sina websidor. Enligt en litteraturoversikt av Bullas (2004) så är trots dessa råd minst 4 % av bilarna på vägarna utrustade med de bästa däcken på framaxeln.

## 3.2 Inverkan av lufttryck

De däck vi använder idag är uteslutande slanglösa. Det inre gummiskiktet består av ett lufttätt material (s.k. innerliner) som tillsammans med fälgen håller luften inestängd. Däckets lufttryck är det som gör att däckets form och hjälper till att bära upp lasten. STRO (The Scandinavian Tyre and Rim Organization) menar att det är mycket noga att trycket inte blir för lågt och att fordonsfabrikantens uppgift om rekommenderat tryck är ett absolut minimum. Vidare rekommenderar STRO att om man som bilist kontrollerar trycket sällan eller om man ibland kör med last kan man gärna fylla 0.2-0.3 bar extra, vilket har en positiv inverkan på livslängden. För lågt lufttryck kan också göra att däcken blir för varma och ökar risken för punktering enligt Grönvall (2010). Däcktrycket ska kontrolleras med kalla däck (däck som inte har använts på två timmar eller som har rullat max 3 km i låg hastighet, enligt Michelin). Enligt Michelin (2012-1) så ska man om däcken är varma när lufttrycket kontrolleras, lägga till 0,3 bar extra utöver fordonstillverkarens rekommendation, för att sedan kontrollera en gång till när däcken har svalnat.

### 3.2.1 Undersökningar av använt lufttryck i bilar

En undersökning i Storbritannien med över 1000 däck visade att endast 5 % hade korrekt lufttryck, medan 72 % hade för lågt och 23 % för högt däcktryck (Bullas 2004).

Enligt Däckrazzia (2010) så har drygt 10 % av personbilarna i Sverige minst ett däck med så pass lågt lufttryck att ”det kan jämföras med punktering eller på gränsen till punktering (1,6 bar eller mindre)”. Vid jämförelse av däck på samma axel så har ca 15 % av personbilarna 0,5 bar eller mer i skillnad i trycket på däcken på samma axel. Av de tillfrågade förarna så hade ca 67 % av förarna inte kontrollerat lufttrycket i däcken den senaste månaden, eller visste när det gjordes senast.

### 3.2.2 Lufttryckets inverkan på köregenskaper

Bailey (2000) undersökte huruvida ett felaktigt däcktryck påverkar bromssträckan vid inbromsning med låsta hjul. Däcktrycken varierade mellan 50 % lägre till 70 % högre än rekommenderat tryck. Författaren konstaterar att ingen trend som tyder på att däcktrycket påverkade bromssträckan kunde hittas. De publicerade graferna tyder dock på att ett övertryck resulterade i något lägre retardation. Vidare tester har utförts av Hulme (2004) där tester med under- och övertryck ( $\pm 50$  %) på fram- eller bakdäck utfördes både med och utan ABS-systemet aktiverat. Inte heller här fann man att över-

eller undertryck resulterade i en längre bromssträcka. ABS resulterade i kortare bromssträckor.

Grover (2007) fann genom tester en tydlig skillnad mellan däck med korrekt tryck och de med för lågt tryck. Exempelvis så var den maximala sidoaccelerationen vid en snabb ratt rörelse (så kallad step steer test) störst för däck med korrekt lufttryck, och avtog sedan som resultat av minskat däcktryck. De konstaterar också att även om för lågt däcktryck har stor påverkan på fordonets kontrollerbarhet, så är det svårt i olycksrekonstruktioner att utifrån exempelvis däckspår dra slutsatser om inverkan av för lågt däcktryck i det specifika fallet. Tydligast koppling i olycksrekonstruktioner kunde göras för de fall där ett så kallat run-flat däck blivit helt trycklöst.

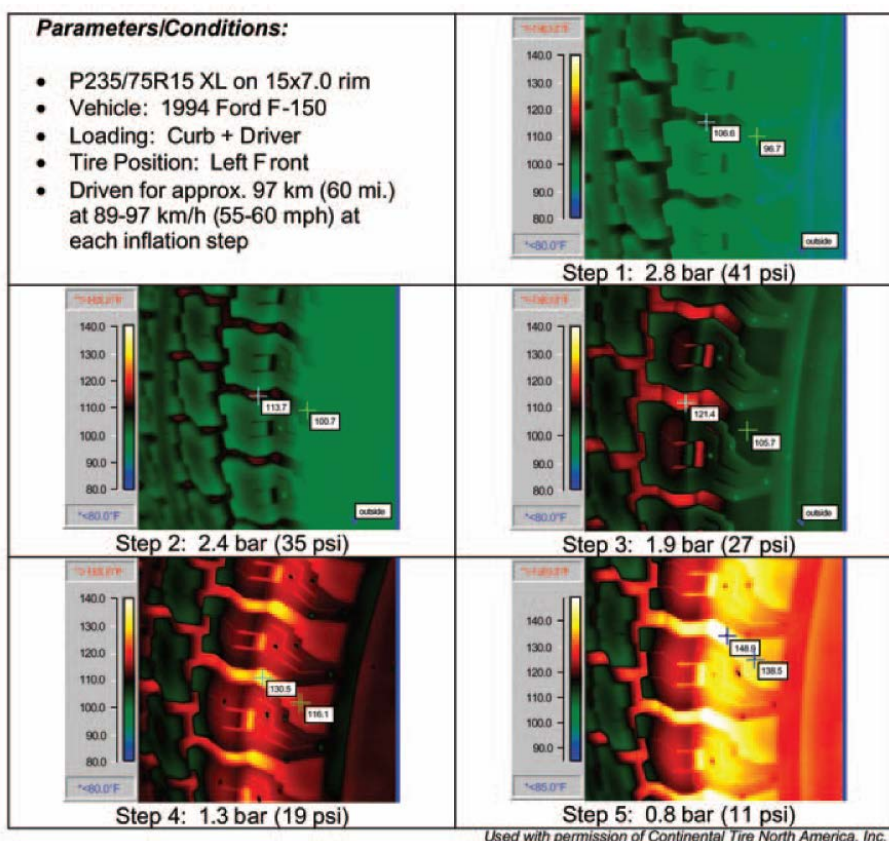
Arndt och Arndt (2006) genomförde tester med en personbil där ett av bakdäcken hade för lågt däcktryck. Man fann att vid kurvtagning under relativt låg sidoacceleration så understyrde fordonet på ett säkert sätt både för korrekt och för lågt lufttryck på bakdäcket. Vid högre sidoacceleration så började dock fordonet att överstyra om däcket var placerat på ett ytterdäck. Vid körning på gränsen till maximala sidkrafter så krängde däcket av fälgen.

### 3.2.3 Lufttryckets inverkan på slitage och åldring av däcken

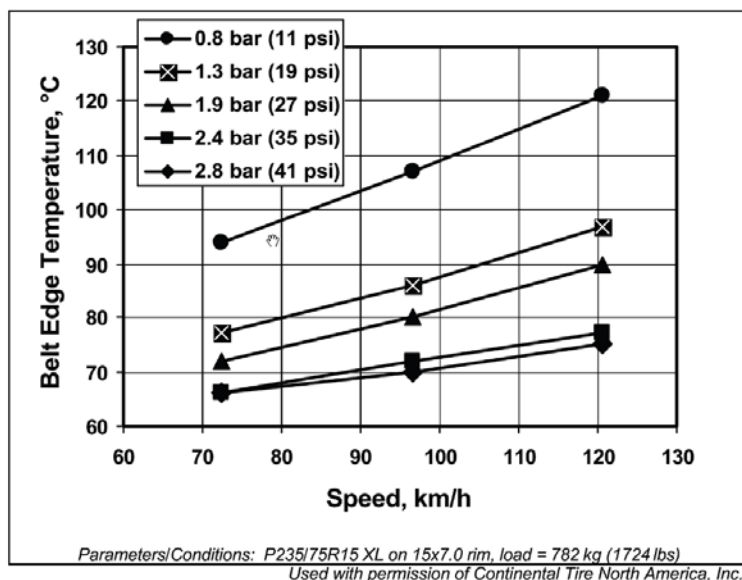
Wadell (2007) har studerat hur däcktryckets bibehållande påverkar däckens åldrande och livslängd. De konstaterar att de däck som bäst bibehåller däcktrycket är bäst skyddade för att de inre gummidelarna inte ska åldras och bli hårdare. De är också mindre känsliga för sprickbildningar i däckens bälte.

Michelin (2012:1) skriver på sin hemsida att ett däck med 20 % för lågt lufttryck ger 20 % kortare livslängd. De presenterar också resultat från egna undersökningar med lastbilsdäck (Michelin 2012:2) som visar hur optimal livslängd erhålles för ett däck med korrekt lufttryck, och där 20 % undertryck leder till 19 % kortare livslängd (körsträcka) och 20 % övertryck leder till 22 % kortare livslängd (körsträcka). Den förkortade livslängden förklaras av en ökad arbetstemperatur för däcken med för lågt lufttryck, och oregelbundet slitage för däcken med för högt lufttryck.

Gardner och Queiser (2005) behandlar ämnet överhettade däck som en konsekvens av för lågt lufttryck. De menar att en ökad värmeutveckling i däcken är en primär anledning till att däck havererar. Den ökade temperaturen minskar gummits motstånd mot sönderslitning vilket främjar sprickbildning. Permanent försämring av gummi-materialets egenskaper kan också uppstå. För ett radialdäck är det främst i kanten mellan slitbana och sidovägg som de högsta temperaturerna uppstår, vilket illustreras i *Figur 14*. Blir temperaturen för hög kan en komponent eller del av däcket uppnå en kritisk temperatur där delar av däcket eller sektioner av slitbanan kan lossna. Andra komponenter, som polyestertrådar i stommen, kan också smälta. Det finns också ett starkt samband mellan däckets temperatur i slitbanan och den hastighet som däcket framförs med. Temperaturen ökar i princip linjärt med hastigheten, och ökningen blir kraftigare ju lägre lufttryck däcket har, se *Figur 15*.



Figur 14 Termografisk bild av ett däckets temperatur vid körning i ca 97 km/h. Från Gardner och Queiser (2005).



Figur 15 Däckets temperatur som funktion av hastigheten vid olika lufttryck. Från Gardner och Queiser (2005).

### 3.2.4 Lufttryckets inverkan på olyckor

Bullas (2004) menar att låg medvetenhet om däcktrycket bland bilister sällan resulterar i allvarliga olyckor, och att den signifikanta effekten som ett för lågt däcktryck kan ha på

däckens livslängd samt ökad bränsleförbrukning generellt ignoreras. Den påverkan som minskat däcktryck har på ett fordonns kontrollerbarhet manifesterar sig snarare som avtagande än som en livshotande förändring. Vidare menar han att bilisterna inte är hjälpta av den låga noggrannhet som finns bland allmänt tillgängliga däcktrycksmätare.

### 3.2.5 Olika typer av gasinnehåll

Normal luft innehåller 78 % kväve, 21 % syre och 1 % andra gaser. Däck fyllda med blandningar med mer än 90 % kväve har länge sagts ha en fördel för däckens förmåga att behålla lufttrycket. Då syret i luften långsamt oxiderat gummit i däcken kan en mindre syrehalt i däcken också teoretiskt minska däckens åldringsprocess. Enligt STRO (2012) har system för kvävepåfyllning av däck introducerats på marknaden och blir allt mer populärt. Enligt STRO behöver man inte vid normal användning och kontroll av lufttryck inte fylla däcken med kväve.

Evans (2008) har studerat olika effekter från användning av olika gassammansättningar i däcken. Du undersökte dels däckens förmåga att bibehålla det statiska däcktrycket, däckens rullmotstånd, samt accelererad åldring i ugn följt av ett rullande uthållighetstest. De jämförde tre olika gaskompositioner: ren kväve, vanlig luft, och 50/50-blandning av kväve- och syre. Ett 90-dagars statistiskt laboratorietest visade att nya däck fyllda med kväve tappade trycket ca 70 % långsammare än nya däck med normal luftblandning. De relativa skillnaderna mellan kväve och vanlig luft är störst i början av däckets livslängd eftersom det normalt blir ett högre kväveinnehåll med tiden i däcken då syre diffunderar fortare än kväve. Efter tre års ålder har syrenivån sjunkit från 21 till 15 %. Testerna visade ingen skillnad i rullmotstånd mellan kvävefyllda däck och däck med normal luft. Långtidstester av däckens hållbarhet via accelererad åldring av däcken i ugn visade ingen skillnad mellan kvävefyllda däck (1 – 5 % syreinnehåll) och däck fyllda med normal luft (21 % syre). Några av däcken fyllda med 50/50-blandning av kväve- och syre havererade under hållbarhetstestet vilket indikerar att oxidering har en negativ effekt på ett däckets hållbarhet. Författarna menar också att det finns starka vetenskapliga underlag för att en minskning av syreinnehållet i däckens luftblandning leder till en reducerad thermo-oxidativ degradering av däck, vilket kan vara positivt ur livslängdssynpunkt. De konstaterar också att kvävepåfyllning av däck inte kan ersätta regelbunden kontroll av däckens lufttryck.

När det gäller användning av så kallad punkteringsspray för att tillfälligt laga ett punkterat däck så har inga publicerade forskningsresultat hittats i litteraturen. Däckspecialisternas Riksförbund har genomfört en förstudie på ämnet med anledning av dödsolyckor som kan härledas till användning av punkteringsspray (DRF 2009:1). De två dödsolyckor som inträffade under 2007-2008 berodde förmodligen på att den gas som sprutats in i däck med punkteringssprayen är lättantändlig vilket ledde till däckexplosion vid svetsarbete på hjulets fälg.

### 3.2.6 Run-flat däck

Däck som kan bära en last utan att vara trycksatta, så kallade run-flat-däck, har de senaste åren blivit allt vanligare. Ett fordon utrustade med sådana däck har normalt ett informationssystem som varnar föraren när något av däcken har nått en för låg trycknivå. Ett fåtal studier av hur run-flat-däck, trycksatta såväl som trycklösa, påverkar ett fordonns kördynamik har gjorts.

Robinette och Fay (2000) har genomfört tester med en personbil med ett trycklöst run-flat-däck, och gör följande observationer:

- Broms- och styreffekter genererade av ett trycklöst run-flat-däck är mindre allvarliga jämfört med de från ett trycklöst konventionellt däck.
- En händelse där ett run-flat-däck förlorar trycket och blir trycklöst genererar minimalt med respons till föraren, både i fråga om komfort och handling-egenskaper, men också visuellt genom en knappt synbar däckdeformation.
- Skillnaden mellan ett trycklöst och ett trycksatt run-flat-däck var svår att detektera vid körning med måttliga styrutslag vid motorvägshastighet, såväl som vid aggressiva styrutslag vid körning nära handling-gränsen.
- Det är osannolikt att en händelse där ett run-flat-däck förlorar trycket och blir trycklöst resulterar i att föraren förlorar kontrollen över fordonet.

Lorig et al. (2006) har jämfört ett flertal olika run-flat-däcks prestanda. Man undersökte dels deras köregenskaper men också hur långt de kunde köras i trycklöst tillstånd.

Hållbarhetstesterna visade att fanns stora skillnader mellan däcken. De siffror som angetts för hur långt däcken kan köras i trycklöst tillstånd uppnåddes inte i vissa fall, och i andra fall överträffades de ordentligt. Kördynamikstesterna visade att när de är trycksatta, har inte run-flat-däck sämre egenskaper än konventionella däck. I trycklöst tillstånd, erbjuder de dock fortfarande goda möjligheter att köra, något som skulle vara omöjligt med ett standarddäck. Man fann ingen noterbar skillnad i prestanda mellan olika typer av run-flat-däck, d.v.s. mellan de som har en förstärkt sidoväg och de som har en inre bärande struktur. Sammantaget har run-flat däck en klar säkerhetsfördel jämfört med vanliga däck för den händelse att en snabb tryckförlust inträffar i däcket. Det har konstaterats att ett tryckövervakningssystem bör användas tillsammans med run-flat-däck, annars är det möjligt att en förlust av trycket inte märks.

### 3.3 Inverkan av rullriktning

Däck med en specificerad rullriktning har på senare tid blivit allt vanligare. Den Europeiska branschorganisationen för däck och fälgar, ETRTO (The European Tyre and Rim Technical Organisation), har gått ut med följande information (ETRTO 2005) angående däck med rullriktning: "Montering av däck med rullriktning i felaktig riktning leder i sig inte till ett trafikfarligt tillstånd. Trots att däcket inte kommer att prestera lika bra som när det är monterat i rätt riktning så är prestandanivåerna fortsatt tillräckligt bra för att försäkra tillräcklig kontroll av fordonet". Deras påstående bygger på egna tester av ett antal olika däck där man jämförde däckets förmåga att hantera vattenplaning. Man fann att skillnaden mellan ett rättvänt och felvänt däck i regel var mindre än skillnaderna mellan de olika testade däcken.

Herzlich et al. (2010) har gjort en jämförelse av däck positionerade i korrekt, respektive fel rullriktning, på våt vägbanor. Totalt testades 19 kombinationer av däck på tre olika testbanor. Testerna utfördes på vägbanor utan kraftiga vattenansamlingar, varför prestanda vid vattenplaning inte testades. Istället låg fokus på däckens våtgrepp vid hastiga undmanövrar och bromsning. Resultaten indikerar att montage av ett eller flera däck i motsatt rullriktning inte på ett tydligt sätt påverkar varken broms eller styrbarhet på våt vägbanor, vilket stöder ETRTOS ståndpunkt

### 3.4 Regummerade däck

Majoriteten av de däck som regummeras är däck till tunga fordon. En stomme kan regummeras 2-3 ggr under sin livslängd. Stommen genomlyses och trycktestas på precis samma sätt som vid nydäckstillverkning. Glaeser (1998) har genomfört uthållighetstester i trumma med regummerade däck i syfte att besvara följande frågor:

1. Vilken är den maximala åldern för en däckstomme vid vilken det är säkert att regummera den?
2. Kan reparation av punkteringskada (spikar) tillåtas?
3. Bör hastighetsindex för ett regummerat höghastighetsdäck nedklassas?

För regummering av personbilsdäck drog de följande slutsatser:

- Den ursprungliga kvaliteten av däckstommen är av avgörande betydelse för säkerheten för att ett regummerat däck inte ska haverera.
- Antalet havererade däck ökar med stommens ålder.
- Det var ett relativt högt antal havererande däck som genomgått en reparation av punktering jämfört med stommar av samma ålder utan tidigare skada.
- En omklassificering till ett lägre hastighetsindex efter regummering har en positiv effekt på risken för att däck havererar.
- Regummerade däck med hastighetsklass över kategori H (=210 km/h) är möjlig endast för relativt nya stommar utan tidigare reparation av skada.

För regummering av lastbilsdäck fann man att de två viktigaste faktorerna för kvaliteten hos det regummerade däcket var stommens skick och ålder. Reparationer av stommen enligt moderna metoder före regummering ansågs inte ha någon negativ effekt för risken att däcket havererar. De fann också att det var högst sannolikt att förekomst av rost i däck-stomme som ska regummeras ledde till att det regummerade däcket havererade under drift.

När det gäller åldern för lastbilsdäck som ska regummeras så drar de slutsatsen att däck som är äldre än 5 år inte längre bör regummeras om.

Woodrooffe (2008) har genomfört en större studie av kasserade och trasiga lastbilsdäck för att ta reda på de underliggande orsakerna till att däck havererar, med speciell fokus på regummerade däck. De har samlat i ett slumpmässigt urval av spillror från havererande däck från fem olika ställen i USA. Totalt 1 496 olika däckspillror undersöktes för att bestämma den troliga orsaken till att däcket havererade och huruvida däcket varit regummerat eller ej. De fann inget som tydde på att regummerade däck var överrepresenterade för det insamlade materialet.

### 3.5 Inverkan av däckens ålder

Ett antal studier har genomförts angående varför däck åldras, både när det gäller gummit men också avseende oxidation i stål-/gummibältet. Wadell et al. (2008) har studerat orsaken till att däck åldras och identifierat tre mekanismer:

1. Däckets naturliga gummi skim coat oxideras genom att däckets fylls med luft och lagras i höga temperaturer.
2. Däckets belt coat gummi sammansättning oxideras.
3. Sprickbildning uppstår i bält-kanterna och sprider sig mellan de två bältena för åldrade däck endast efter användning på väg.

Kabe et al. (2005) använde FEM-simuleringar (Finite Element Method) för att ta fram en modell för däckets livslängd, och fann att gummits säkerhetsmarginal är viktigare än bält- och cord-lager då dessa har tillräckliga säkerhetsmarginaler redan. Det är den låga elasticitetsmodulen hos gummi är det som dominerar töjningarna i däckets och tillåter stora deformationer.

Baldwin och Bauer (2008) har gjort en sammanställning över forskning på oxiderande gummi och åldring av däck. De konstaterar att åldrade däck kan ha dramatiskt mycket sämre motstånd mot sprickbildningar mellan däckets stålbalten. Oxidering av skim- och wedge gummi gör att dessa tappar elasticitet och styrka och att sprickor bildas inne i däckets på kanten av de två stålbaltena. Propagering av sprickor ökar dramatiskt i oxiderat gummi vilket ökar risken för slitbaneseparation. Till skillnad från slitage av slitbana (det traditionella måttet på däckets livslängd) eller andra skador (punktering, ozonsprickor) så är gummioxideringen inte synbar för den vanlige konsumenten. Åldring kan leda till ökad risk för slitbaneseparation, se kapitel 3.7.2.

Nordström (2004) har genomfört en väggreppsstudie av nya och begagnade vinterdäcks isfriktion för att undersöka bl.a. hur ålder påverkar däckens isgrepp. Tre olika isunderlag testades: slät is, skrovlig is, samt slät våt is. Resultaten gav likartade tendenser på de tre isunderlagen. För odubbade vinterdäck och dubbdäck med dubbutstick under 0,9 mm försämrades friktionen med ökande ålder till mellan 5-8 år för att därefter vara oförändrad. Resultaten från studien gav inte svar på frågan om eller hur prestanda hos ett oanvänt lagrat däck förändras med tiden. Resultat från en tidigare av VTI utförd undersökning på slät is visade dock inte på någon försämring vid lagring upp till tre år.

### 3.6 Användning av sommardäck och vinterdäck under fel årstid

I samband med att Sverige införde en vinterdäckslag för personbilar genomförde Öberg et al. (2002) en studie av de effekter vinterdäckslagen haft på trafiksäkerheten. De konstaterar att effekten av att använda vinterdäck istället för sommardäck egentligen bara finns på is- eller snöväglag, men att det kan finnas andra faktorer (t.ex. att bilister som, fullt tillåtet, färdas med sommardäck på barmark har mindre trafikvana) vilka inverkar på olycksutfallet även vid barmark. Det finns inga bra siffror på den enskilda risken att köra med sommardäck vid vinterväglag, men sammantaget ledde vinterdäckskravet till en minskning av personskadeolyckorna med 11–14 % på is/snöväglag, och 14–16 % om enbart dödsolyckor avses.

En nyligen genomförd studie av isgrepp för olika typer av däck (Hjort 2012), visar att på slät is med temperatur -3 grader så är bromssträckan för sommardäck ca 80 % längre jämfört med dubbdäck, 50 % längre jämfört med odubbade vinterdäck av nordisk typ och ca 30 % längre jämfört med odubbade vinterdäck av centraleuropeisk typ.

När det gäller användning av odubbade vinterdäck sommartid så visar en studie av Hjort et al. (2012) att bromssträckan med odubbade vinterdäck av nordisk typ jämfört med

sommardäck är ca 20 % längre på våt asfalt, och 15 % längre på torr asfalt. Underlag från olycksstatistik är inte tillräckligt omfattande för att man ska kunna dra direkta slutsatser om vad dessa skillnader i väggrepp resulterar i för ökad olycksrisk vid användning av odubbade vinterdäck sommartid. VTI liksom STRO rekommenderar att sommardäck används sommartid.

## 3.7 Däckhaveri

Ett däck kan haverera under drift. Det vanligaste och mest odramatiska är en punktering. Betydligt allvarigare är en däckexplosion eller en slitbaneseparation. Klein och Black (1999) har gjort en litteraturoversikt angående trafiksäkerhetskonsekvenserna av ett däckhaveri. De konstaterar att däckrelaterade olyckor är sällsynta, och att tester och simuleringar visar att ett fordon oftast är kontrollerbart även efter en däckexplosion. Tester av lastbilsförarens reaktion på däckexplosion i körsimulator, (Pettersson et al. 2006), visar dock på motsatsen. Huruvida ett havererande hjul under drift blir en säkerhetsrisk beror på ett antal olika faktorer. Att utvärdera hjulsäkerhet i detta sammanhang kan därför vara svårt, se kapitel 2.2. Statistik från USA (Milla 2002) visar att däckdefekter näst efter bromsfel är den vanligaste fordonsdefekten bland tunga lastbilar involverade i dödsolyckor. Dock så är olyckor med defekta däck ovanliga, och involverar endast 0,87 % av dödsolyckorna med tunga lastbilar. Däckexplosion står för 40 % av dödsolyckorna med tunga lastbilar där defekta däck varit den bakomliggande orsaken.

Bakomliggande orsaker och konsekvenser för däckexplosion och slitbaneseparation beskrivs nedan.

### 3.7.1 Däckexplosion

#### **Omfattning**

I USA står däckexplosion för 40 % av de rapporterade felen på däck till tunga lastbilar involverade i dödsolyckor. Trots denna höga andel är däckexplosioner endast inblandade i 0,35 % av dödsolyckorna, Milla (2002). När en däckexplosion resulterar i trafikolycka är det oftast ett framhjul som exploderar, då en framhjulsexplosion oftast leder till att föraren tappar kontrollen över fordonet. En däckexplosion på drivaxel eller traileraxel leder generellt inte till att föraren tappar kontrollen. Explosion på vänster framhjul resulterar oftare till dödsolyckor som involverar flera fordon, medan explosion på höger framhjul oftare leder till dödliga singelolyckor.

En äldre studie av olyckor på motorvägar i Storbritannien (Godley 1972) indikerar att 1/6 av alla personskadeolyckor på motorvägar föregås av ett fordon som drabbas av en däckexplosion. Flest olyckor kopplade till däckexplosion skedde för personbilar, men den relativa frekvensen var störst för motorcyklar, där 36 % av olyckorna med motorcyklar hörrörde från en däckexplosion, jämfört med 10 % för personbilar och 3 % för tunga fordon.

Johansson (2002) genomförde en enkätundersökning bland transportföretag i Sverige för att uppskatta omfattningen av olyckor med tunga fordon som resultat av en framhjulsexplosion. *Enkäten* gällde de senaste 5 åren och av 119 enkätsvar så var det 46 företag som råkat ut för totalt 62 punkteringar eller däcksexplosioner på framhjul på tunga lastbilar under den avsedda tidsperioden. Upp till fyra haverier på frambäck hade inträffat i samma företag under en femårsperiod. Av de som besvarat enkäten var det 73 företag som uppgav att de aldrig har haft däckexplosioner på framhjul. Johansson menar

sammanfattningsvis att det är svårt att bedöma den totala omfattningen av framdäckhaverier i Sverige då alla som har fått information om den pågående undersökningen, och som varit med om däckhaveri på framhjul, säkert inte tagit sig tid att rapportera om sina erfarenheter. Mörkertalet för framdäcksexplosioner kan därför antas vara stort.

## Orsak

Enligt Dolez (2008) är de vanligaste orsakerna till däckexplosion att däckets temperatur ökar för mycket eller överbelastas. Om ett däck överbelastas eller körs med för lågt lufttryck ökar däckets temperatur som i sin tur försvagar däckets struktur och sammanbindningar. När däckets temperatur når onormalt höga temperaturer runt 150-200°C börjar materialet i däckets vägg producera lättantändliga gaser. När däckets sedan når en temperatur runt 400°C kan gasen självantända om mixen av lättantändlig gas och luft är optimal. En annan orsak till däckexplosion kan vara anliggande bromsar. Detta medför att temperaturen i bromsstrumman och fälgen blir onormalt hög. Det kan resultera i att däckets klink skadas och därmed blir otät.

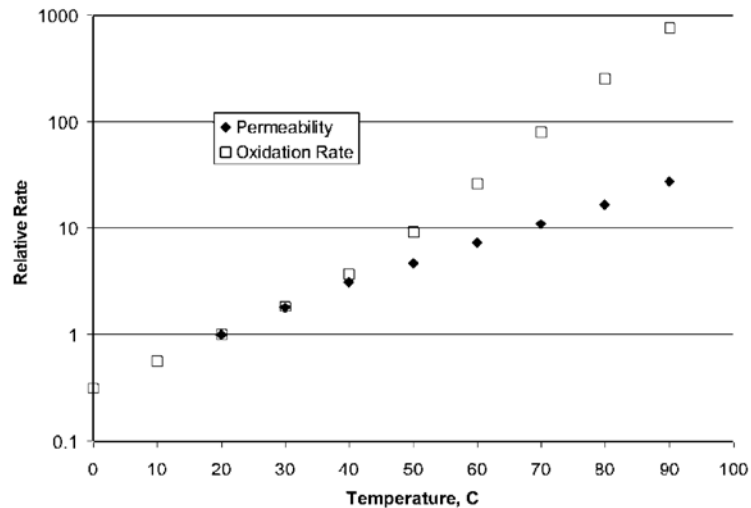
Gamla däck som har sprickor kan explodera p.g.a. att vatten tränger in till däckets stomtrådar (cord) som börjar oxidera. Oxidationen av stommen medför att däckets hållfasthet försämras och därmed en ökad risk för däckexplosion. Andra anledningar till däckexplosion är mekaniska skador på däckets vägg från vassa föremål på vägen. Gamla slitna däck löper större risk att explodera p.g.a. av oxidation av gummit som gör däckets mindre elastiskt.

### 3.7.2 Slitbaneseparation

Slitbaneseparation är ett mycket allvarligt fel på däck. Det bedöms som farligare än en däckexplosion. Skillnaden mellan däckexplosion och slitbaneseparation är att däckets temperatur fortfarande har kvar lufttrycket. När slitbanan släpper så hörs detta tydligt i fordonet men släpper hela slitbanan så känns inget i ratten efter den lossnat (Dickerson 1999). Detta medför en möjlighet att fortsätta att köra utan att känna att däckets vägg har en defekt. Om slitbanan saknas på ett hjul på fordonet har det kraftigt försämrade köregenskaper. Det finns flera studier som påvisar effekten på olika bilar köregenskaper när slitbanan har lossnat, Arntdt 2001, Arntdt 2009, Renfore 2006 och Tandy 2009. Alla dessa studier visar på att det är en ökad risk för att tappa kontrollen av fordonet om slitbanan saknas på ett av hjulen. Det krävs inga kraftiga manövrar för att förlora kontrollen av fordonet, och fordonet blir svårare att hantera om slitbanan tappas på något av framhjulen jämfört med bakhjulen. Bilar utrustade ESC (Electronic stability control) är mer kontrollerbara vid en däckseparation än bilar utan. Dock försämras fordonets stabilitet även för fordon med ESC, och det föreligger fortfarande en risk att förlora kontrollen av fordonet men det krävs abruptare rättrörelser jämfört med fordon utan ESC.

Orsaken till att slitbanan separerar är oxidation av gummit. I och med oxidationen förlorar däckets vägg sin elasticitet och gummit blir hårt det är risk för att sprickor uppstår. Oftast sker oxidationen långsamt vilket medför att slitbaneseparation oftast relateras till gamlas slitna däck. Oxidation uppstår generellt som ett resultat av att däckens åldras, men kan också vara ett direkt resultat av däckskador. Som nämnts i avsnitt 3.5 så är tecken på gummioxidering subtila och normalt inte synbara för den vanlige konsumenten.

Det är vanligare med däckseparation när det är hög utomhustemperatur (Baldwin 2008). Ett däck som körs med t.ex. för lågt lufttryck bör då åldras fortare eftersom det har en onormalt hög arbetstemperatur som påskyndar oxidationen. Som framgår av *Figur 16* så finns ett tydligt samband mellan däckets temperatur och oxideringshastighet (åldring).

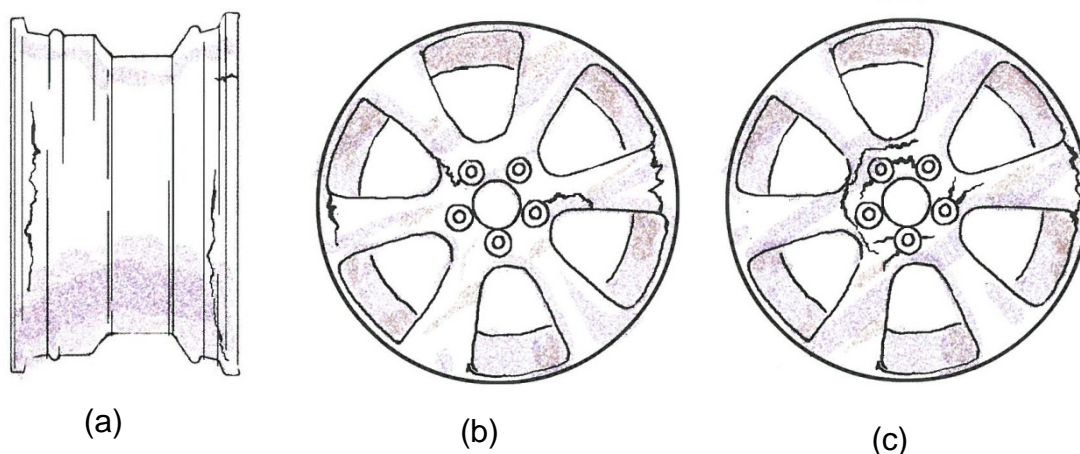


*Figur 16* Däcks relativa genomtränglighet (permeability) och oxideringshastighet som funktion av temperatur. Från Baldwin (2008).

Konstruktionsfel som medför att däckets åldras fortare än normalt kan vara en orsak till att slitbanan separerar. Detta leder i de flesta fall att däcktillverkaren återkallar däck och gör om sin konstruktion eller produktion innan flera däck släpps på marknaden.

## 4 Fälg

Det finns inte så mycket forskning publicerad angående fälgens påverkan på trafiksäkerheten. Grogan (1999) menar att fälgar generellt är extremt pålitliga, men pekar ut några punkter där problem kan uppstå. Laughery et al. (1990, 1998) pekar på faran med att montera däck på fälgar med fel storlek. Bakgrunden till deras studier är att det har skett ett flertal dödsolyckor i USA då 16 tums däck felaktigt har monterats på fälgar med storleken 16,5 tum. Dessa olyckor skedde dock inte under drift, utan på serviceverkstad som en konsekvens av att däcken exploderade under trycksättning, och behandlas inte mer i denna litteraturoversikt. Enligt DRF (2006) så kan havererande fälgar bero på flera orsaker.



Figur 17 Sprickbildning i fälgar. (a) sprickor i fälgbanan, (b) sprickbildning mellan bulthål och ventilationshål, (c) sprickbildning mellan bulthål. Från DRF (2006).

Sprickor i fälgbanan kan bero på:

- Överlastning
- Felaktigt lufttryck
- Felaktig däckdimension
- Korrosion på stålfälgar
- Kraftiga slag (potthål)
- Insidan svagast

Sprickbildning mellan bulthål och ventilationshål kan uppstå på grund av överlast.

Sprickbildning mellan bulthål kan bero på:

- Överlast
- Felaktiga muttrar eller bultar (fel kona)
- Felaktigt åtdragningsmoment – för högt eller för lågt
- Skador eller korrosion på anliggningsytan mellan fälg och bromsskiva/bromstrumma
- Anliggningsytan på fälgen ej helt plan

## 4.1 Erfarenheter från olycksutredare

Grogan (1999) menar att fälgar generellt är extremt pålitliga, men pekar ut några punkter där problem kan uppstå. Informationen i följande kapitel är tagen från Grogans bok. Eftersom boken är från 1999 bör man notera att produktutveckling sedan dess kan både ha minskat problemens betydelse och ha tillfört nya problem.

- Vid konstruktion av stålfälgar så svetsas dessa samman. En ofullständig svetsning eller en för upphöjd svets skarv i fälgbanan kan leda till luftläckage från det trycksatta hjulet.
- För stålfälgar kan dålig passning mellan fälgbana och fälgcentrum leda till utmattning under drift, vilket leder till sprickbildning runt punktsvetsar eller lösgörning av nitar vilket leder till luftläckage. Ibland kan utmattningen leda till att fälgcentrum och fälgbana helt separeras från varandra.
- Utmattningssprickor kan uppstå runt bulthål, vilka kan växa till sig och leda till att hjulet lossnar från fordonet. Undantagslöst är anledningen till detta att hjulet, är avsett för en särskild bil som sedan har försetts med en mer kraftfull motor, vilket leder till större påfrestningar på fälgen än vad den är avsedd att klara.
- En annan anledning till sprickbildning är felaktig användning av fälgar konstruerade för specifik användning med trumbromsar eller skivbromsar.
- Sprickor i fälgcentrum kan också uppstå vid användning av dåligt konstruerade ”spacers”. Sådana ”spacers” används av en del bilister för att öka spårvidden hos ett fordon i syfte att förbättra fordonets väghållning.

Lättmetallfälgar, vilka är konstruerade i ett stycke, har inga av de problem som kan härröras från hopmontering av fälgbana och fälgcentrum. Lättmetallfälgar har därför generellt bättre förmåga att bibehålla hjulets lufttryck jämfört med stålfälgar. Billiga lättmetallfälgar kan dock ha tillräckligt porös struktur för att tillåta att luft läcker ut. Ofta har lättmetallfälgarna ett lager av lack vilket förhindrar problem med luftläckage genom fälgen. Med tilltagande användning och ålder kan dock sprickor i lacken leda till att fukt tränger in med korrosion som följd. Som följd av detta kan problem med luftläckage uppstå.

Vidare så är lättmetallfälgar på grund av den låga elasticiteten känsliga för islag, vilket kan leda till att sprickor uppstår.

Ekerfälgar är mer ovanliga, men förekommer fortfarande bland en del sportbilar. Då ekrarna tränger genom fälgbanan så är denna typ av fälg inte helt lufttät utan måste användas tillsammans med ett däck med slang. För att slangen inte ska punkteras av ekerhuvudena så måste dessa täckas av ett fälgband. Det är viktigt att fälgbandet är gjort av rätt material och att det placeras rätt i fälgen.

### 4.1.1 Däck-fälg relaterade problem

Slanglösa däck behöver en slät yta från fälgen mot däckfoten för att skapa en effektiv inneslutning av lufttrycket. Stålfälgar rostas och måste därför borstas noga innan ett nytt däck monteras på en gammal fälg för att undvika problem med luftläckage. Luftläckage på grund av dåligt rengjorda fälgar är ett förekommande problem när nya däck monterats på en gammal fälg.

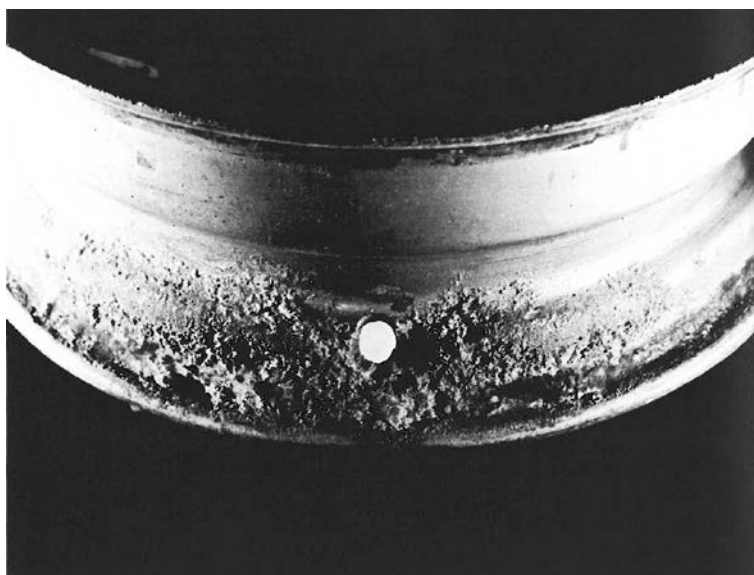
Skador på fälg kan också uppstå om hjulet körs med för lågt lufttryck (eller för hög last) under en längre tid. Skadorna uppkommer eftersom däckfoten då rör sig i förhållande

till fälgen. Ett tydligt tecken på den typ av poleringsskada är gummiavlagringar i fälgbanan där däckfoten ligger an, se *figur 18*. Skador från för lågt lufttryck kan även avteckna sig i form av ett inetsat textilmönster i fälgytan.



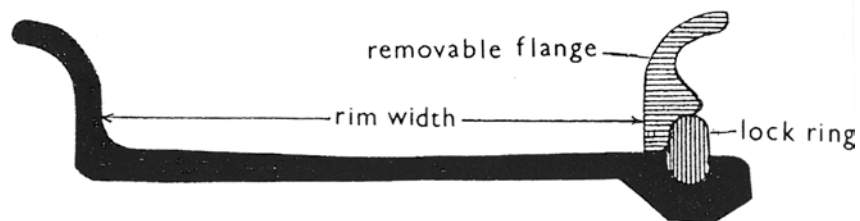
*Figur 18 Gummiavlagring från däckfoten, ett tecken på för lågt lufttryck. Från Grogan (1999).*

Vid användning av däck med slang kan fukt tränga in förbi ventilen och orsaka korrosion inuti fälgen, se *figur 19*. Detta drabbar både lättmetallfälgar och stålfälgar och är särskilt vanligt om salthaltigt vatten tränger in. Figuren visar korrosion på en personbilsfälg, men är vanligare för motorcykelfälgar där däck med slang oftare används. Normalt orsakar detta inte några problem, men kan i enstaka fall leda till allvarlig utmattning av fälgen hos såväl lättmetall- som stålfälgar.



*Figur 19 Korrosion inuti fälgen.*

När det gäller lastbilshjul så används en äldre typ av fälg där däckfoten hålls på plats av en löstagbar kant som fixeras med hjälp av en låsring, se *figur 20*. Problem kan uppstå på grund av korrosion som hindrar den löstagbara kanten att sätta sig korrekt, eller att kantdelen blivit skadad under drift och därefter inte längre har en perfekt passform. Det händer också att en kantdel av fel sort monteras.



3 PIECE TRUCK RIM

*Figur 20 Tredelad lastbilsfälg. Från Grogan (1999).*

## 5 Hjul

Av de avvikelser som kan förekomma för hjulet som helhet så är lossnande hjul det mest allvarliga. De studier som vi hittat som behandlar obalans i hjulen omfattar enbart komfortproblem och ökad vägnedbrytning. Olika hjulinställningar påverkar ett fordonshanterbarhet, men vi har inte hittat någon studie som har relaterat detta till trafiksäkerhet.

### 5.1 Hjul som lossnar

Ett hjul som lossnar från fordonet kan innebära fara både för det aktuella fordonet och för omgivningen. Det senare gäller speciellt när ett hjul lossnar från ett tungt fordon, då ett sådant kan kollidera med andra trafikanter och resultera i en olycka. Enligt Tingham (2011) så kan ett hjul som lossnar från en buss eller lastbil i rörelse uppnå en hastighet på 150 km/h och studsa till en höjd av 50 meter.

Knight et al. (2006) har gjort en undersökning av problemet med lossnande hjul i Storbritannien, samt gjort en jämförelse med data från andra länder. De konstaterar att det är endast i de fall som ett lossnat hjul resulterar i en allvarlig olycka som incidenten rapporteras in i den vanliga olycksstatistiken. De utförde enkätundersökningar som tillsammans med data från olycksstatistik gjorde att de kunde dra följande slutsatser angående lossnade hjul till tunga fordon i Storbritannien:

- Antal problem med hjulfixering till tunga fordon är mellan 7 500 – 11 000 per år i Storbritannien, vilket leder till att mellan 150 – 400 hjul lossnar varje år.
- Resultatet av de lossande hjulen uppskattas till mellan 50 – 134 olyckor med endast materiella skador, 10 – 27 personskadeolyckor, och mellan 3 -7 dödsolyckor varje år.

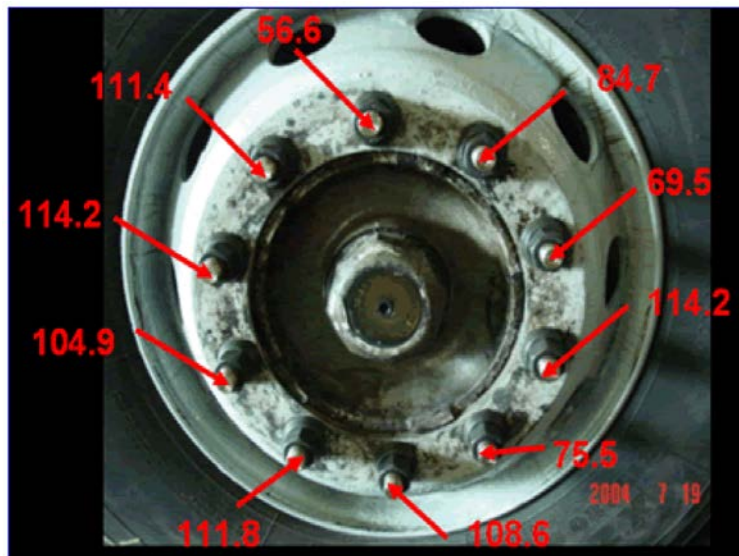
Vidare så menar de att problemet med lossnade hjul till tunga fordon inte är specifikt för Storbritannien då inget av de 14 länder som tillfrågades kunde hävda att de inte hade detta problem. I Kanada har 745 incidenter med tappade hjul registrerats under en period på 7 år, och i Japan så rapporterades 63 incidenter under 2004.

I Finland så har Holopainen och Sainio (2001) studerat olyckor som sker på grund av lossnande hjul. Enligt dem så rapporteras ca 150 olyckor med tappade hjul till tunga fordon till polisen varje år. Sammantaget så sker dock flera hundra sådana olyckor varje år, vilket resulterar i en dödsolycka ungefär vartannat år.

Orsaken till att hjul lossnar på tunga fordon är bristfällig montering. Felaktigt åtdragningsmoment är den vanligaste orsaken. Både för löst och för hårt åtdragningsmoment kan medföra att hjulen lossnar. Om hjulet dras för löst så är det en risk att muttrarna börjar lossna vid belastning och värmevariation som uppstår vid t.ex. bromsning. Flera studier (Knight et al. 2006, Holopainen och Sainio 2001, mfl) indikerar även att frekvensen för lossnade hjul ökar vid låga temperaturer. Om åtdragningsmomentet är högre än pinbultens sträckgräns finns det en risk att pinnbulten får mindre sprickbildningar som sedan kan resultera att bulten går av. Om bulten dras över dess sträckgräns minskar trycket mot navet (bromstrumman) vilket medför samma situation som för lågt åtdragningsmoment. För att momentet ska bli korrekt så är det viktigt att pinbultar och muttrar är smörjda på rätt sätt. Det finns inte heller något krav på att momentnycklar som används vid montering ska vara kalibrerade. Det är även ganska vanligt enligt Knight et al (2006) att momentnyckel inte används vid monteringen. Det finns idag ingen standardiserad metod för vad som gäller vid montering av lastbilsdäck.

Lastbilstillverkarnas rekommendationer för hur hjulen ska monteras varierar också en hel del.

En annan ganska vanlig orsak till att hjulen lossnar på lastbilar är att det finns smuts och lös färg på anliggningsytan på nav och fälg vid montering. Det finns därför ingen garanti att ett hjul där bultarna dragits med korrekt moment faktiskt levererar den klämkraft (clamp force) mellan bult och fälg som krävs för att hålla hjulet på plats. Dodl (2005) visar på hur ett hjul där alla bultar dragits med korrekt moment, 670 Nm, ändå uppvisar stora variationer i den tillgängliga klämkraften per bult, se *figur 21*. I Dodls exempel så varierar klämkraften mellan 56 – 114 kN, vilket är klart lägre än de 180 – 280 kN som rekommenderas av Society of Automotive Engineers.



*Figur 21 Klämkraft mellan bult och fälg, där samtliga bultar dragits med det korrekta momentet 670 Nm. Från Dodl (2005).*

Bristfällig efterdragning av hjulen kan också vara en orsak till hjulen lossnar. Enligt Knight et al (2006) så är det 12 % som aldrig efterdrar hjulen.

Det finns också en indikation på att hjulen lossnar oftare på fordonets vänstra sida. I studien av Holopainen och Sainio (2001) så lossnade ett hjul på vänster sida i 89 % av de studerade fallen. De nämner ett par tänkbara anledningar:

- En lossnat hjul på vänster sida kan lättare komma över i mötande körfält jämfört med ett lossnat hjul på höger sida, och risken för en resulterande olycka är därför större. Då studien endast omfattar polisrapporterade olyckor kan detta vara en orsak till att vänsterhjul är överrepresenterade i det studerade materialet.
- Gångans riktning på pinnbult och mutter är sådan att rotationen av hjul på vänster sida tenderar att skruva upp muttern. Tidigare användes vänstergängade pinnbultar och muttrar på vänsterhjul för att motverka denna effekt.

Även i studien av Knight et al. (där fordonen färdas i vänster körfält) är lossnande hjul på vänster sida överrepresenterade, vilket skulle indikera att högergängade pinnbultar på vänstermonterade hjul är den bakomliggande orsaken till att dessa oftare lossnar.

För att minska antalet tappade hjul med nuvarande konstruktion för att montera lastbilshjul behövs ökat underhåll och noggrannare montering. Det finns också produkter på marknaden vilka ska minska risken för lossnande lastbilshjul. Tingham (2011) nämner några olika lösningar som finns tillgängliga på marknaden:

- Speciella låsmuttrar
- Indikatorer som varnar om muttrarna rört sig, eller om de överhettas (vilket kan inträffa vid problem med kärvande hjullager eller bromsar)
- En typ av nylonfiber som visuellt indikerar lösa muttrar, och också håller dem på plats tills de kan dras åt
- Ett trådlöst elektroniskt system som detekterar en förestående separation av hjulet från dess nav och varnar föraren i realtid

## 6 Slutsatser

Sammanfattningsvis konstaterar vi att den mesta forskningen i ämnet rör däck, och då materialutmattningsprocesser som leder till slitbaneseparation eller däckexplosion. Många studier har fokuserat på inverkan av för lågt lufttryck, medan studier av för högt lufttryck är mindre vanligt förekommande. För tunga fordon anses överlast vara en trolig bakomliggande faktor till att däck åldras i förtid och slutligen havererar. Det saknas dock studier som visar på hur vanligt det är att fordon kör med överlastade axlar och korrelationen mellan däckhaverier. Vidare så är det få som studerat uppkomsten av fälgskador och dess koppling till trafikolyckor. När det gäller hjulet som helhet så är nästan all trafiksäkerhetsrelaterad forskning kopplad till lossnande hjul. Inget finns gjort angående inverkan av olika hjulinställningar, däckbalansering, navcentrering etc. Det finns inte heller några studier av användning av punkteringsspray och den potentiella fara det kan leda till. Således finns det flera områden kvar som behöver studeras närmare inom kopplingen mellan däck, fälg, hjul och trafiksäkerhet.

## Referenser

- Arndt M.W. och Arndt S.M. (2006). Tests documenting vehicle handling with a temporary-use rear tire and run-flat rear tire. SAE 2006-01-0905, 2006.
- Baker J.S. och McIlraith G.D. (1969). Tire Disablements and Accident on High-Speed Roads. Highway Research Record, Number 272, Highway Research Board, Washington DC, 1969.
- Baldwin J.M. och Bauer D.R. (2008). Rubber oxidation and tire aging – a review. Rubber Chemistry and Technology Vol 81, 2008.
- Bullas J.C. (2004). Tyres, road surfaces and reducing accidents - a review. AA Foundation for Road Safety Research, Norfolk House, Priestly Road, RG24 9NY, Basikstoke, Hampshire, United Kingdom.
- Blythe W. och Day T. (2002). Single Vehicle Wet Road Loss of Control; Effects of Tire Tread Depth and Placement. SAE Paper No. 2002-01-0553. SAE International, Warrendale, PA.
- Blythe W. och Seguin D.E. (2006). Commentary: Legal minimum tread depth for passenger car tires in the U.S.A. - A survey. Journal: Traffic Injury Prevention. Vol. 7, 2, s.107-110. 2006.
- Dodl G. (2005). Clamp force: still at the nub of a deadly problem. Transport Engineer July 2005, s. 10-11.
- DRF (2006): Däckskolan. DRF och TYA. TYA 2006-08. ISBN 91-88233-35-9.
- DRF (2009:1). Förstudie med anledning av dödsolyckor på grund av punkteringspray. Däckspecialisternas Riksförbund 2009-01-22.
- DRF (2009:2). Kunskapssamställning om hjul-, fälg- och däckrelaterade olyckor i vägtrafiken. Däckspecialisternas Riksförbund 2009-03-07.
- DRF (2010): Däckskolan 2 för lastvagn, buss och lättare industrifordon. DRF och TYA. TYA 2010.07. ISBN 978-88233-59-2.
- Däckrazzia (2010). Websida: <http://www.dackinfo.nu>. (Information hämtad 2012-02-24).
- ETRTO (2005). ETRTO informal document no. grf-58-20 (58th grf, 20-23 september 2005 agenda item 5.4.).
- Evans L., Harris J., Terrill E., MacIsaac J.D. (2008). The Effects of Varying the Levels of Nitrogen in the Inflation Gas of Tires on Laboratory Test Performance. National Highway Traffic Safety Administration, DOT HS 811 094.
- Federal Motor Vehicle Safety Standards (2003). Tires; Final Rule; 49 CFR Part 571, Docket No. NHTSA-03-15400, RIN 2127-AI54, Federal Register, Vol. 68, No. 123, June 26, 2003. S. 38115-38152.
- Fox J.C., Good M.C., Joubert P.N. (1979) Collisions with Utility Poles. Department of Mechanical Engineering, University of Melbourne, Australia. 1979.
- Gardner J.D. och Queiser B.J., (2005). Introduction to Tire Safety, Durability and Failure analysis. The Pneumatic Tire, Chapter 15, Edited by A.N. Gent and J.D. Walter, The University of Akron. Published by the National Highway Traffic Safety Administration, U.S. Department of Transportation, Washington DC 20590. DOT Contract DTNH22-02.P-07210. Augusti 2005.

- Glaeser K-P. (1998). Safety of retreaded tyres. Statens väg- och transportforskningsinstitut. VTI konferens 1998, nr 10A:9, s 19-31.
- Grogan R.J. (1999). The investigators guide to tire failures. Institute of Police Technology and Management, University of North Florida. ISBN: 1-884566-33-2.
- Hantula L. (1998). Winter traffic accidents – slippery roads and worn types: A fatal combination. Report F98S183. Finnish Motor Insurers' Centre/VALT.
- Herzlich H.J., Swint R.J, Fritsch E., Unser B. (2010). Effect of Directional Tires on Wet Traction. Collision. The International Compendium for Crash Research, Vol. 5, Issue Number: 1, 2010. Collision Publishing LLC.
- Johansson M. (2002). Olyckor, incidenter och tillbud med framdäck på tunga fordon. Svenska Åkeriförbundet, SÅ Rapport 2002:1.
- Holopainen A. och Sainio P. (2001). Accidents due to detachments of road vehicle wheels and trailers. Helsinki University of Technology. Laboratory of Automotive Engineering. Kehitystilanneraportti 1/2001.
- Kabe K., Rachi K., Takahashi N., Kaga Y. (2005). Tire design methodology based on safety factor to satisfy tire life (Simulation approach to truck and bus tire design). Tire Science and Technology, Vol. 33, Issue 4, s. 195-209, 2005.
- Klein E.Z. och Black T.L. (1999). Anatomy of accidents following tire disablements. SAE Publication SP-1407. Accident Reconstruction: Technology and animation IX. Proceedings of the 1999 SAE International Congress & Exposition, March 1-4, 1999, Detroit, Michigan, USA (SAE TECHNICAL PAPER 1999-01-0446) (Mar 1999) s. 395-410.
- Knight I., Dodd M., Grover C., Bartlett R. Brightman T. (2006). Heavy vehicle wheel detachment frequency of occurrence current best practice and potential solutions. Published project report PPR086 (Oct 2006). TRL Limited, Crowthorne House, Nine Mile Ride, RG40 3GA, Wokingham, Berkshire, Storbritannien.
- Laughery K.R., Mayer D.L., Vaubel K.P. (1990). Tire-rim mismatch explosions. Human factors analyses of case studies data. Proceedings of the Human Factors Society 34th Annual Meeting - Orlando '90. s. 584 – 588, 1990.
- Laughery K.R., Laughery K.A., Lovvoll D.R. (1998). Tire rim mismatch explosions: the role of on-product warnings. Human Factors and Ergonomics Society 42nd Annual Meeting, Proceedings. s. 1088 – 1092, 1998.
- Lindenmuth B.E., (2005.) An overview of Tire Technology. The Pneumatic Tire, Chapter 1, Edited by A.N. Gent and J.D. Walter, The University of Akron. Published by the National Highway Traffic Safety Administration, U.S. Department of Transportation, Washington DC 20590. DOT Contract DTNH22-02.P-07210. Augusti 2005.
- Lorig M., Bartels O., Gail J., Pullwitt E., Sander K. (2006). Untersuchung von reifen mit notlaufeigenschaften. Berichte der Bundesanstalt fuer Strassenwesen. Unterreihe Fahrzeugtechnik. 57. Wirtschaftsverband NW.

- Lundell M. (1994). Däckens och trafikattitydens inverkan på uppkomsten av trafikolyckor- en detaljerad undersökning av trafikolyckor med två personbilar. Trafikförsäkringscentralen. Försäkringsbolagens Trafiksäkerhetskommitte (VALT). Helsingfors.
- Michelin (2012:1). Websida: <http://www.michelin.se/dack/dackskola/dackvard/sa-kontrollerar-du-lufttrycket> (Information hämtad 2012-02-24).
- Michelin (2012:2). Websida: <http://www.michelintransport.com/ple/front/affich.jsp?codeRubrique=37&lang=SE> (Information hämtad 2012-02-24).
- Nashworthy M. (2003). Car Care Month: Tire Technology is on a Roll. AAA Today, Vol. 5, September/October 2003, s.10.
- Nordström O. och Gustavsson L-E. (1996). Personbilsdäcks bromsfriktion på våt asfaltbeläggning. VTI notat 61-1996. Statens Väg och Transportforskningsinstitut.
- Nordström O. (2004). Nya och begagnade vinterdäcks isfriktion – Sammanfattningsrapport. Undersökning avseende inverkan av ålder, mönsterdjup, slitbanehårdhet, dubbutstick och dubbkraft. VTI meddelande 966 -2004.
- Pettersson H-E. , Aurell J. , Nordmark S. (2006). Truck driver behaviour in critical situations and the impact of surprise a pilot study of a sudden blow-out on the front axle of a heavy truck. DSC 2006 Europe - Paris - October 2006, 285 ISBN 2-85782-641-9 - ISSN 0769-0266.
- Ranney T. A., Heydinger G., Watson G., Salani K., Mazzae E.N., och Grygier P. (2003). Investigation of Driver Reactions to Tread Separation Scenarios in the National Advanced Driving Simulator (NADS), DOT HS 809 523, U.S. Department of Transportation, Washington DC, 2003.
- Robinette R.D. och Fay R.J. (2000). Drag and steering effects from disablements of run flat tires. Accident reconstruction: analysis, simulation and visualization. SP-1491 (2000). s. 503-515. Society of Automotive Engineers.
- Sieffert U. och Wech L. (2003). Automotive Safety Handbook, SAE International, Warrendale, PA, 2003.
- Staughton C.G och Williams T. (1970). Tyre Performance in Wet Surface Conditions. Laboratory Report LR355. Crowthorne: TRL Limited.
- Strandberg L. (1989). Bilistens viktigaste lagar – naturlagarna. VTI särtryck 146, 1989.
- Strandroth J., Rizzi M., Olai M., Lie A., Tingvall C. (2012). The effects of studded tires on fatal crashes with passenger cars and the benefits of electronic stability control (ESC) in Swedish winter driving. Accident Analysis and Prevention 45, s.50-60, 2012.
- STRO (2011). Information från Scandinavian Tire and Rim Organization (STRO) websida. <http://www.stro.se/dackskola.pdf>. Information hämtad 2011-05-11.
- STRO (2012). Information från Scandinavian Tire and Rim Organization (STRO) websida. <http://www.stro.se/sverige/nitrogen.pdf>. (Information hämtad 2012-02-11)
- Tinham B. (2011). Careless Torque. Transport Engineer, July 2011, s.14 - 16.
- Transportstyrelsen. Websida: <http://www.transportstyrelsen.se/vinterdack>. (Information hämtad 2012-02-11).
- Volvo (200). Volvo Engineering Report, ER-216840 (2000)

Waddell W.H., Napier R.C., Rouckhout D.F., Tracey D.S. (2007). Impact of inflation pressure retention on tire aging and durability. Rubber World Vol.236, Issue: 2, s.36-44, 2007.

Waddell W.H., Napier R.C., Tracey D.S., Rouckhout D.F., Karmarkar U. (2008). Shearographic analysis of tire aging. Rubber World Vol 238, Issue 6, s. 21-27, 2008.

Williams A.R. och Evans M.S. (1983). Influence of Tread Wear Irregularity on Wet Friction Performance of Tires. s. 41-64 Frictional interaction of Tire and Pavement, ASTM STP 793. W E Meyer and J D Walter Eds., American Society for Testing and Materials, 1983.

Woodrooffe J.F., Page O., Blower D., Green, P.E. (2008). Commercial Medium Tire Debris Study. Published by the National Highway Traffic Safety Administration, U.S. Department of Transportation, DOT HS 811 060.

Öberg G., Velin H., Wiklund M. (2002). Effekt av vinterdäckslagen på däckanvändning och olyckor. VTI rapport 479. Statens väg- och transportforskningsinstitut.



## Databasbeskrivningar och sökord

### Databasbeskrivningar

**TRAX** - bibliotekskatalogen vid VTI. Databasen startades 1976 och innehåller mer än 130.000 referenser till publikationer från 1920-talet och framåt. Den årliga tillväxten är ca 5.000 referenser. En hel del av särskilt de senare årens litteratur finns åtkomliga via Internet – övriga publikationer finns att låna från BIC. TRAX finns tillgänglig på [www.transguide.org](http://www.transguide.org).

**ITRD** - en internationell databas med referenser till transportforskningslitteratur och till pågående forskning. Databasen har sedan 1972 varit en del av OECD:s transportforskningsprogram. Innehåller fler än 350 000 referenser. ITRD står för International Transport Research Documentation. Mer information finns på [www.itrd.org](http://www.itrd.org).

**TRIS** – Transportation Research Information Services. Är en del av amerikanska Transportation Research Boards (TRB) arbete för att sprida information om transportforskning. Innehåller mer än 600 000 referenser till litteratur och pågående forskning. Mer information finns på <http://library.dialog.com/bluesheets/html/bl0063.html>.

**Scopus** – En bibliografisk referensdatabas med mer än 30 miljoner referenser. Fokus är brett och man täcker naturvetenskaperna, "health and life sciences", teknik, samhällsvetenskaperna, psykologi, ekonomi, miljö, etc. Det finns ett flertal verktyg för citeringsanalys. Elsevier producerar Scopus och mer information finns på <http://info.scopus.com/>.

Sökord

Sökning i databaserna genomfördes med följande kombinationer av sökord:

<p>General search with tire or tyre</p> <p>AND</p>	<p>Tire or tyre together with</p> <p>Accident*</p> <p>Crash*</p> <p>Collision*</p> <p>Safety</p> <p>AND</p>
<p>Safety</p> <p>Accident*</p> <p>Burst w/3</p> <p>Blowout*</p> <p>Blow out*</p> <p>Puncture*</p> <p>Flat tire/tyre*</p> <p>Tread separat*</p> <p>Disabl*</p> <p>Disablem*</p> <p>Detach*</p> <p>Failure*</p> <p>Intermix*</p> <p>Mix*</p>	<p>Dimension*</p> <p>Tread*</p> <p>Tread* band*</p> <p>Tread* depth*</p> <p>Pattern*</p> <p>Fatigue</p> <p>Wear*</p> <p>Pressure</p> <p>Under-inflat*</p> <p>Underinflat*</p> <p>Over-inflat*</p> <p>Overinflate*</p> <p>Deflat*</p> <p>Camber</p> <p>Caster</p> <p>Toe in</p> <p>Toe out</p> <p>Propan*</p> <p>Butan*</p> <p>condensat*</p>



(Clean*, Cleans*, Maintenan*, Maintain*, Service*) AND (dirt*, mud, soiled* filth*)			
Corrosion*			
Corrod*			
Vehicle inspection*			

Utöver dessa kombinationer gjordes sökningar på följande ord:

**Punkteringspray:** fix-a-flat (produktnamn), flat tyre spray, Instant mobility system (IMS), Tyre sealant, Flat tyre repair kit

**Ventil:** valve

**Punkteringsfria däck:** Run flat tyre, run-flat tyre

**Regummerade däck:** Retreaded tyres

**Explosion vid däckbyte:** Explosion

**Farligt att använda svets vid däckbyte:** Welding, torch

**Däck:**

Run low / Flex break

Belt / Tread detachment, separation

Rubber cracking

Steel cord fracture

Improper repair

Tire defect

**Fälg:**

Rim grooving

**Däck + fälg:**

Intracarcass pressurization

**Montering av däck:**

Bead breakage

Mounting accidents

**Olyckor pga skräp från däck på vägen:**

”Road debris” tillsammans med ”road hazard”, ”safety impact”, accident



VTI är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut som arbetar med forskning och utveckling inom transportsektorn. Vi arbetar med samtliga trafikslag och kärnkompetensen finns inom områdena säkerhet, ekonomi, miljö, trafik- och transportanalys, beteende och samspel mellan människa-fordon-transportssystem samt inom vägkonstruktion, drift och underhåll. VTI är världsledande inom ett flertal områden, till exempel simulatorteknik. VTI har tjänster som sträcker sig från förstudier, oberoende kvalificerade utredningar och expertutlåtanden till projektledning samt forskning och utveckling. Vår tekniska utrustning består bland annat av körsimulatorer för väg- och järnvägstrafik, väglaboratorium, däckprovningsanläggning, krockbanor och mycket mer. Vi kan även erbjuda ett brett utbud av kurser och seminarier inom transportområdet.

VTI is an independent, internationally outstanding research institute which is engaged on research and development in the transport sector. Our work covers all modes, and our core competence is in the fields of safety, economy, environment, traffic and transport analysis, behaviour and the man-vehicle-transport system interaction, and in road design, operation and maintenance. VTI is a world leader in several areas, for instance in simulator technology. VTI provides services ranging from preliminary studies, highlevel independent investigations and expert statements to project management, research and development. Our technical equipment includes driving simulators for road and rail traffic, a road laboratory, a tyre testing facility, crash tracks and a lot more. We can also offer a broad selection of courses and seminars in the field of transport.

