



CHALMERS

Ringtrycks påverkan på vägslitage

Tunga fordons ringtryck och dess
påverkan på vägens underhållsbehov

BMTX01-14-35

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

Författare:

Sebastian Nordström Ärnäck

Hanna Persson Brink

Anna Rödin

Emma Uhrdin Andersson

Examinator:

Lars O Eriksson

Handledare:

Jan Englund

Abstract

The current trend within the transport and tire industry is to use increased tire pressures to reduce the rolling resistance and thereby the transport costs. The effects on pavements caused by increased tire pressures are therefore interesting to study. Heavy vehicles are configured with either dual tires or single tires. Previous studies show that the road wear caused by the single tires is larger than the road wear caused by dual tires. To make this study more accurate this fact is taken under consideration during the calculations of the road wear. The pavement is affected by several different degradation mechanisms, this study focus on fatigue cracking and primary rutting. The results of the fatigue cracking calculations showed an increased lifespan of the pavements when the tire pressure was lowered. The lifespan was increased by 7.3 % when the tire pressure was reduced by 1 bar. In the calculations of the primary rutting no change in lifespan was detected when decreasing the tire pressure by 1 bar, the lifespan was constant at 8 years. The lifespan due to fatigue cracking is higher than the lifespan due to primary rutting. This leads to the conclusion that the first maintenance actions will be needed after 8 years and are not affected by a lower tire pressure. For the transportation industry a reduced tire pressure with 1 bar will increase fuel consumption by 5 % and decrease the lifespan of the tires with 10 %. In a socioeconomic perspective the higher tire pressure is therefore preferable.

Sammanfattning

Den senaste trenden inom transport- och däckindustrin är att använda högre ringtryck för att minska rullmotstånden och därmed transportkostnaderna. Det är därför intressant att undersöka vilka effekter ökade ringtryck har på behovet av vägunderhåll. De tunga fordonen är konfigurerade med antingen singel- eller dubbelmontage och enligt tidigare undersökningar är det stor skillnad i slitage montagen emellan. På grund av de stora skillnaderna beräknas förändringar i vägslitage för båda montage typerna och vägs sedan samman. De nedbrytningsmekanismer som beaktas är utmattningssprickor och permanenta deformationer orsakade av förskjutning av asfalt. Vid beräkning av utmattningssprickor observerades en ökning av de bundna bärlagrens livslängd med 7.3 % då ringtrycket minskades med 1 bar. För de permanenta deformationerna gav beräkningarna en livslängd på 8 år, även när beräkningarna genomfördes med 1 bar lägre i ringtryck. För de bundna bärlagren blir de permanenta deformationerna dimensionerande med avseende på vägunderhåll och därmed ökar inte livslängden då ringtrycket sänks med 1 bar. För transportindustrin innebär en sänkning av ringtryck med 1 bar ca 5 % högre bränsleförbrukning och minskad livslängd på däck med ca 10 %. Ur samhällsekonomsynvinkel är det därför mer hållbart med det högre ringtrycket som används av transportindustrin.

Förord

Detta kandidatarbete har utförts på Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg, på avdelningen för Geologi och Geoteknik.

Vi vill rikta ett stort tack till Thomas Asp och Carl-Gösta Enocksson på Trafikverket för engagemang och stöd. Vi vill dessutom tacka Erik Oscarsson på Skanska för all hjälp. Till sist vill vi ge en stor eloge till Jan Englund för all uppmuntran och handledning under hela arbetets gång.

Göteborg den 16 maj 2014

Sebastian Nordström Ärnäck, Hanna Persson Brink, Anna Rödin och
Emma Uhrdin Andersson

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Uppgift	1
1.4 Avgränsningar	2
1.4.1 Referensväg	2
1.4.2 Åkeriurval	2
1.5 Metod	3
2 Litteraturstudie	4
2.1 Vägkroppen	4
2.1.1 Olika överbyggnader	4
2.1.2 Sprickbildning	5
2.1.3 Spårbildning	6
2.2 Däcket	7
2.2.1 Jämförelse mellan montage	7
2.2.2 Ringtryck	7
2.2.3 Regummering	8
3 Beräkning av kontakttryck	9
4 Framtagning av vägkonstruktion	11
4.1 B-faktor	11
4.2 Lagertjocklekar	12
5 Beräkning av trafikmängd	13
6 Beräkning av sprickbildning	14
6.1 Töjningar	14
6.2 Tillåtna standardaxlar	15
7 Beräkning av spår djup	17
8 Diskussion	19
8.1 Ringtryckets påverkan på sprickbildning	19
8.2 Ringtryckets påverkan på spår djup	19
9 Slutsatser	21
Källförteckning	22
Bilaga 1	25
Bilaga 2	26

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Sverige har 98 500 km statliga vägar som Trafikverket ansvarar för. På dessa vägar går totalt 56 miljarder fordonskm/år (Trafikverket 2014a). Den tunga trafiken är den trafiktyp som skapar mest slitage på grund av att fordonen skapar en högre belastning på vägytan (Johansson 2007). Att underhålla de största svenska vägarna kostar enligt Trafikverket (2011) ca 8 miljarder kronor per år. Av denna kostnad går ungefär hälften till underhåll av vägbeläggningar.

Godstransportarbetet var som högst under 2008, då det var 104,2 miljarder ton-kilometer men det har sedan dess skett en minskning (Östlund 2013). Vidare hävdar Östlund att den transporttyp som har minskat mest är den som sker med lastbilar, men trots detta står lastbilarna fortfarande för stora delar av den totala transporten inom Sverige.

Det som påverkar hur stort slitaget blir på vägbanan är bland annat vad det är för ringtryck i däcken eller om fordonet har dubbdäck (Trafikverket 2014a). Högt ringtryck på tung trafik skapar slitage på främst det bundna bärlagret (Huang 2004). Det är därför av intresse för Trafikverket att få ett samband mellan slitage av vägar och ringtryck.

För transportföretag har ringtrycket en ekonomisk påverkan. Ett högt ringtryck ger en lägre bränsleförbrukning och slitaget på däcken blir mindre. En personbil kan genom påverkan av ringtryck få en ökad kostnad på 400-500 kr per år (Gröna bilister 2014). För åkeriföretag blir kostnadsskillnaderna betydligt större vilket ger stor påverkan på ekonomin (Gröna bilister 2014).

Vid dimensionering av en väg tas hänsyn till de trafiklasten som vägen kommer utsättas för under dess tekniska livslängd. Trafiklasten räknas i antal standardaxlar som vägen i fråga klarar av under den bestämda tiden. Hänsyn tas även till tjällyftning vid dimensionering av tjockleken på vägkonstruktionen. *TRVK* eller *Trafikverkets tekniska krav Vägkonstruktion* är ett dokument som innehåller de krav och riktlinjer som trafikverket har tagit fram för dimensionering av vägar (Winnerholt 2011a).

1.2 Syfte

Kandidatarbetet syftar att undersöka om det finns ett samband mellan ringtryck och slitage av vägars asfaltslager och hur detta i så fall påverkar vägens livslängd. Dessutom ska kandidatarbetet titta på vad förändrat ringtryck ger för konsekvenser för transportföretagen och deras kostnader.

1.3 Uppgift

I arbetet undersöks närmare vilka olika däckmontage som används av den tunga trafiken, vilket ringtryck dessa fordon har och hur en förändring av ringtrycket påverkar vägslitage. Dessutom redogörs för olika beläggningstyper och deras olika behov av underhåll. Arbetet tittar även på hur ringtrycket påverkar transportföretagen och väger vägslitage mot företagskostnader.

1.4 Avgränsningar

I beräkningarna kommer det undersökas hur sprickbildning orsakad av utmattning och spårbildning orsakad av förskjutning av asfaltmaterial påverkas av 1 bars skillnad i ringtryck. Arbetet kommer även kort behandla vad en förändring i ringtryck ger för konsekvenser för åkeriföretagen.

Vid analys av vägslitaget kommer endast hänsyn tas till tung trafik då persontrafiken inte påverkar slitaget lika mycket. Endast slitaget i de bundna bärlagren kommer att undersökas, eftersom de underliggande lagren inte påverkas i samma utsträckning vid skillnader i kontakttryck.¹ De skador som uppstår i de bundna lagren men som inte påverkas av förändring i ringtryck, till exempel tjälskador eller dubbdäcksslitage, kommer inte heller att inkluderas i analysen.

Hur stort slitaget av den tunga trafiken blir på vägen beror bland annat på däckbredden. Tung trafik använder antingen widebasedäck (ett extra brett däck) eller dubbelmontage (två däck bredvid varandra). Beräkningarna baseras därför på ett widebasedäck med bredden 385 mm och ett dubbelmontage med däcksbredderna 275 mm.

1.4.1 Referensväg

För att utföra beräkningarna har en referensväg, som arbetet utgår ifrån, valts. Valet föll på E18, sträcka Västerås-Enköping, då det fanns data på trafikfördelningen över den sträckan och för att den tunga trafiken främst färdas på de stora trafiklederna. Dessutom är underhållet mer frekvent på de stora lederna jämfört med mindre landsvägar och vägkonstruktionen är bättre anpassad för tung trafik.¹ I Tabell 1.1 finns indata om vald väg hämtad från *Arbetsplan, Väg E18, delen Västerås-Sagån* (2010), dessa värden behövs för en vägdimensionering.

Tabell 1.1 Trafikflöden, vägstandard och geografiska förutsättningar

ÅDT	15700
ÅDTk	7855
Årlig trafikförändring personbilar	2.1 %
Årlig trafikförändring tung trafik	3.3 %
Andel tung trafik	12 %
Referenshastighet	120 km/h
Körfältsbredd	3.5 m
Vägtyp	Europaväg
Klimatzon	2

Vid en vägdimensionering behöver materialet i undergrunden och överbyggnadstyp bestämmas. Den överbyggnadstyp som används i detta arbete är en grusbitumenöverbyggnad, GBÖ. Beräkningarna görs för två undergrunder, fast berg och lera 4c.

1.4.2 Åkeriurval

För att få förståelse för hur företag resonerar kring ringtryck och montage typer togs det kontakt med åkeriföretaget DB Schenker. DB Schenker är ett av de största åkerierna i Sverige och kan därför ge en bra bild över vad som är viktigt för åkerier i den storleken

¹ Thomas Asp (Trafikverket) intervjuad av författarna den 18 februari 2014.

när det handlar om miljö och ekonomisk vinning, samt hur stor påverkan ringtryck har för dem.

1.5 Metod

En litteraturstudie har genomförts för att beskriva de faktorer som påverkar vägslitage och de ekonomiska förutsättningarna för företagsvinst. Beräkningar av hur olika däckkonfigurationer och ringtryck påverkar vägslitage har genomförts både för hand och med beräkningsprogrammet Odemark samt beräkningsmodellen PEDRO. Referensvägens konstruktion är framtagen med hjälp av PMS Objekt.

Vägen dimensionerades i PMS Objekt där de lagertjocklekar och E-moduler som behövs för beräkningar i Odemark och PEDRO togs fram. Odemarks beräkningsprogram har använts istället för PMS Objekt för att räkna ut töjningar i underkant av asfaltslagren, detta då PMS Objekt inte kan hantera tillräckligt exakta värden för de beräkningar som utförts.

De radiella dragtöjningarna i underkant av asfaltslagren beräknades med hjälp av Odemarks beräkningsprogram. Dessa töjningar har sedan använts för beräkningarna av livslängd med avseende på utmattningssprickor. Töjningsberäkningarna genomfördes enligt Odemarks metod. Metoden är baserad på antagandet att utmattningen beror endast på asfaltslagrets styvhet (Ullidtz 1998). Ändras tjockleken, E-modulen och Poissons tal men styvheten är oförändrad kommer utmattningen för lagret att bli densamma (Ullidtz 1998). Med hjälp av dessa töjningar har därefter skillnaden i tillåtet antal standardaxlar räknats ut och en skillnad i livslängd uppskattades.

Beräkningar för hur olika däck och lufttryck påverkar spårbildning gjordes med hjälp av beräkningsmodellen PEDRO. Modellen är framtagen för att beräkna den teoretiska permanenta deformationen i vägens asfaltslager till följd av den passerande trafiken. PEDRO beräknar den deformation som uppstår när materialet trycks undan åt kanterna av däck. Modellen grundar sig på ekvation (1-1) och (1-2), där ε_p är de vertikala töjningarna och PD den permanenta deformationen.

$$\varepsilon_p = \frac{\sigma_0 \cdot z}{V \cdot \eta_0} \left[1 - \frac{z + ix}{\sqrt{(z + ix)^2 + a^2}} \right] \quad (1-1)$$

$$PD = \int_0^{z_{tot}} Re(\varepsilon_p) dz \quad (1-2)$$

PEDRO är framtagen för beräkningar med dubbelmonterade däck men korrigeringar i modellen gör att den även kan användas för beräkning med singelmonterade däck. I modellen antas materialet vara viskoelastiskt, vilket innebär att det deformeras elastiskt men samtidigt visköst. Att det deformeras visköst innebär att materialet till viss del beter sig som en vätska (Oscarsson 2011). Temperaturen varierar genom asfaltslagret och detta har stor påverkan på materialets egenskaper. För att ta hänsyn till att asfalt är viskoelastiskt används parametern zero shear rate viscosity. Zero shear rate viscosity beror bland annat på temperatur i vägbanan och vilken sorts material konstruktionen består av (Oscarsson 2011). I detta arbete valdes en förenkling av modellen genom att låta temperaturen och zero shear rate viscosity vara konstant genom hela asfaltslagret.

2 Litteraturstudie

2.1 Vägkroppen

En väg består av en överbyggnad och en undergrund. Vägen dimensioneras efter lägsta tekniska livslängd enligt *Väg 94* och dessa livslängder redovisas i tabell 2.1. Vid en dimensionering utformas överbyggnaden så att den fördelar belastningen nedåt i konstruktionen på sådant sätt att deformationer och skador inte uppkommer (Granhage 2009). Tjällyftning samt trafikrelaterade spår- och sprickbildningar anses vara de viktigaste parametrarna att ta hänsyn till vid vägdimensionering (Lundström 2004).

Tabell 2.1 Teknisk livslängd

Konstruktionsdel	Teknisk livslängd	
	Nationell och regional väg	Lokal väg
Betongbeläggning	40	-
Bundet bärlager i vägöverbyggnad	20	-
Underbyggnad	40	40
Förstärkt undergrund	40	40

När slitaget på vägen blir så stort att det stör trafiken behövs en ny beläggning. Enligt Trafikverkets krav bestäms maximalt spår djup utifrån skyltad hastighet samt ÅDTk. För den valda referensvägen ska åtgärder vidtas då spår djupet överstiger 13 mm (Wendel 2012). Alternativt ska åtgärd vidtas när sprickorna är så pass stora att det finns risk att asfalten lossnar och sprickorna stör trafiken. Den vanligaste åtgärden är att fräsa bort en del av beläggningen för att sedan lägga på ny asfalt.²

2.1.1 Olika överbyggnader

En överbyggnad består av ett antal olika lager, där de två översta är slitlager och bundet bärlager. Överbyggnaden består av krossat stenmaterial eller naturgrus och är stabiliserad med bitumen eller cement i de översta lagren. Bitumenbundna beläggningar anses vara flexibla, medan cementbundna beläggningar, dvs. betongbeläggningar, är styva. Flexibla beläggningar är vanligast i Sverige, men de deformeras relativt snabbt av tung trafik (Granhage 2009). Ett tåligare alternativ är då styva betongbeläggningar.

Slitlagret är det översta lagret i vägkonstruktionen och det har olika sammansättning beroende på trafikmängd och typ av trafik, samt var vägen är placerad. Bärlagret har som uppgift att ta upp trafikbelastningen och fördela den ner i konstruktionen (Granhage 2009). Ett bindlager läggs ibland in mellan slitlagret och bärlagret. Bindlager används på vägar med mycket och tung trafik ($N_{ekv} > 5 \times 10^6$) för att reducera sprickbildning och spår bildning orsakad av tung trafik, samt underlätta för nästa beläggningsslager med ett jämnare underlag (Granhage 2009).

2.1.1.1 Bitumenbundna bärlager

Bitumenbundna beläggningar består till största delen av sten och bitumen, ett bindemedel som utvinns ur en oljeprodukt (Granhage 2009). Valet av stenmaterial påverkas av personbilers dubbdäck, medan valet av beläggningstyp styrs till största delen av andelen tunga fordon och trafikmängden (Johansson 2000a).

² Carl-Gösta Enocksson (Trafikverket) intervjuad av författarna den 1 april 2014.

De lager i vägbyggnaden som består av bitumenbundna material är slitlagret och det bundna bärlagret. I de vägkroppar där bindlager läggs in är även det bitumenbundet. Slitlagret anpassas efter typen av väg, då skillnaderna är stora mellan slitaget på en tungt trafikerad väg och slitaget på en väg i ett villakvarter. En nackdel med bitumenbundna lager är att de deformeras av tung trafik, och då långsamtgående fordon i synnerhet (Granhage 2009).

2.1.1.2 Högpresterande bitumen

För att förlänga en vägs livslängd har flera olika försök utförts med så kallad högpresterande bitumen (Olsson 2009). Det kan tillverkas genom att blanda ut bitumen med gummi från bildäck, en polymer eller någon annan tillsats som ökar viskositeten (Wågberg 2005). Beläggningen får då bättre motståndskraft mot permanenta deformationer än en vanlig bitumenöverbyggnad (Olsson 2009) och detta märks på dess minskade spårbildning och sprickbildning i underkant av de bundna bärlagren (Wågberg 2005).

2.1.1.3 Cementbundna bärlager

Beläggningar med cementbundna lager är antingen en betongöverbyggnad med ett cementbundet bärlager eller en cementbitumenöverbyggnad, förkortat CBÖ (Granhage 2009). Cementbitumenöverbyggnaden har ett cementbundet bärlager likt betongöverbyggnaden men med bitumenbundna bindlager och slitlager ovanpå (Johansson 2000b).

Båda typerna av cementbundna beläggningar anses vara styva, vilket innebär att de är känsligare för bland annat sättningar och ojämna tjällyftningar än en väg med flexibel överbyggnad (Granhage 2009). En cementöverbyggnad påverkas mindre av tung trafik och dubbdäck på personbilar vilket ger en lägre underhållskostnad. Den hårdare beläggningen ger också ett lägre rullmotstånd och under varma sommardagar blir bränsleförbrukningen 5-7 % mindre jämfört med flexibla beläggningar (Hultqvist 2013). Överbyggnader med cementbundet bärlager är dyrare än bitumenöverbyggnader, vilket är en av orsakerna till att det finns så få sådana överbyggnader i Sverige (Granhage 2009).

Fram till 1970-talet byggdes betongvägarna med kontinuerligt armerade betongplattor med fogavstånd på upp till 17 m (Dahlin 2007). Enligt Dahlin hade de stora skadeproblem och fick till slut asfaltsbeläggningar. Vidare menar Dahlin att de dåliga erfarenheterna kan vara en anledning till att betongvägarna är så få i Sverige. En betongväg idag består av oarmerade betongplattor på ett bärlager av cementstabiliserat grus och fogavståndet mellan dessa plattor är ca 5 m (Dahlin 2007). För att få en bra lastöverföring mellan plattorna används dymlingar som håller ihop fogarna. Med tiden uppkommer spår i slitlagret orsakat av tung trafik och dubbdäck, för att åtgärda dessa problem slipas vägytan ned och på så sätt elimineras spåren (Granhage 2009).

2.1.2 Sprickbildning

Sprickor i de bundna bärlagren orsakas av utmattning av materialet, dvs. upprepade belastningar av den tunga trafiken (Öberg 2001). Enligt flera teorier uppstår sprickorna i underkant av det bundna bärlagret och vandrar uppåt genom konstruktionen (Göransson 2005). Sprickorna brukar härledas till botten av asfalten då det är där de största dragspänningarna uppstår, och om töjningen blir tillräckligt stor kommer redan befintliga mikrosprickor och inhomogeniteter att växa till sprickor i beläggningen

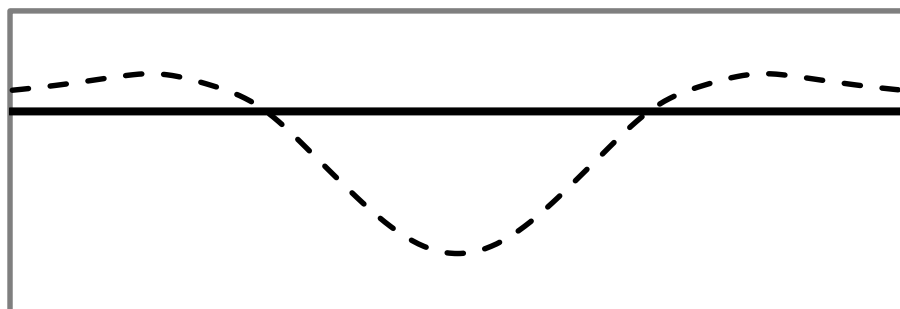
(Lundström 2004). Enligt Petra Offrell (2003) kan även ytsprickor härledas till den tunga trafiken, tidigare ansågs att de endast orsakades av klimatbetingade påkänningar.

Vid nyasfaltering av befintlig vägbana kan det undre, äldre asfaltslagret ha påbörjad sprickbildning, vilket ger det nya lagret kortare livslängd.³ Detta beror på att det redan är uppsprucket i underkant och därför blir den nya beläggningen mer lättpåverkad av töjningar.

2.1.3 Spårbildning

De olika faktorer som orsakar spårbildning är nötning till följd av dubbdäck och permanenta deformationer orsakat av den tunga trafiken. De permanenta deformationerna är i form av förskjutningar av material, förtätning av asfaltslagren samt efterpackning av de obundna lagren (Ekblad 2011). Förskjutningarna kan delas in i förskjutningar av asfaltslagren eller förskjutningar av de obundna lagren och undergrunden.

Enligt Trafikverket (2010) beror 75 % av spårbildningen på dubbdäcksslitage och resterande 25 % orsakas av den tunga trafiken. Enligt andra rapporter föreslås dock att spårbildningen orsakad av dubbdäck har minskat kraftigt sedan 90-talet (Öberg 2001). Enligt Erik Oscarsson⁴ beror den permanenta deformationen till ungefär 80 % av förskjutningar av material. Deformationerna sker då genom att materialet pressas undan i hjulspåret och pressas upp på sidorna vilket skapar upphöjningar på sidan av spåret, enligt figur 2.1.

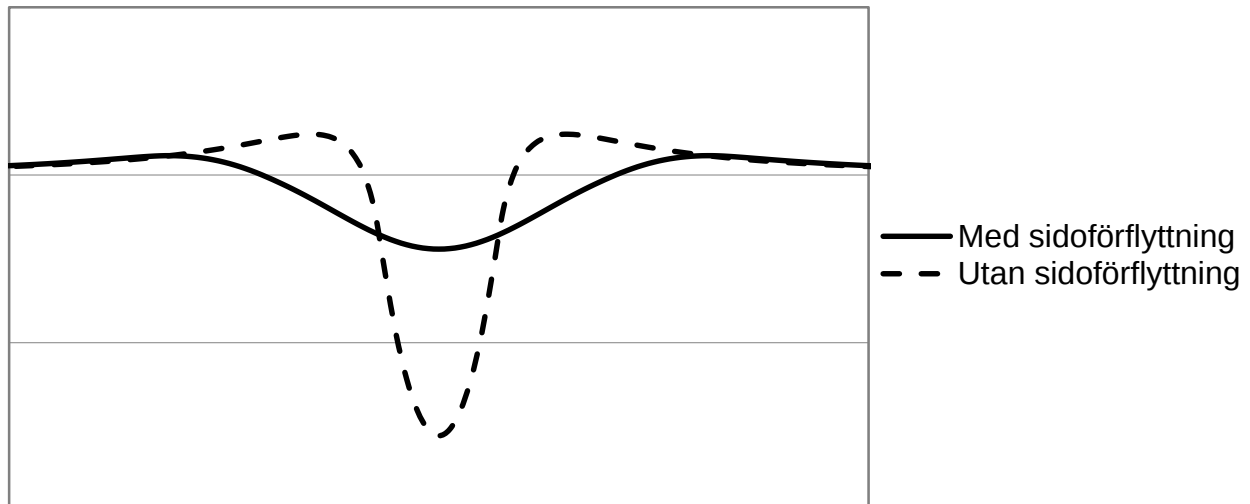


Figur 2.1 Schematisk bild av spårbildning orsakad av förskjutningar av material

En viktig faktor att ta med vid beräkning av spårbildning är sidoförflyttning. Detta innebär att hänsyn tas till att alla fordon inte åker i samma spår och bara nöter på samma del av vägen. Det kan visas att sidoförflyttningen är ungefär normalfördelad (Oscarsson 2011). Sidoförflyttningen ger genomslag vid beräkning och spårdjupet minskar med ca 38 % när hänsyn tagits till denna (Oscarsson 2011). Figur 2.2 visar hur stor skillnad det blir i spårdjupet med och utan hänsyn till sidoförflyttning. Figuren visar att det blir ett bredare spår med både mindre djup i spårdalen och lägre höjd på det material som blir upptryckt i kanterna.

³ Thomas Asp (Trafikverket) intervjuad av författarna den 1 april 2014.

⁴ Erik Oscarsson (Skanska) intervjuad av författarna den 24 april 2014.



Figur 2.2 Schematisk bild av spårdjup

2.2 Däcket

De däck som dominerar marknaden idag är radialdäck (Nordendäck 2014). De är konstruerade så att skyddslagren läggs lodräta över varandra, vilket innebär att däckets alltid har en konstant bredd oberoende av ringtryck (Michelin 2014).

Dubbelmontage infördes för att öka lastkapaciteten för lastbilar och göra det möjligt att fortsätta köra vid punktering på ena däckets (Tirerack 2014). För att slitaget ska bli lika och all belastning inte ska bäras av ena däckets måste båda däckens i ett dubbelmontage ha samma ringtryck.⁵ När supersingelmontage etablerades på marknaden uppmättes ett ökat vägsitage i jämförelse till tidigare använt dubbelmontage (European Commission 2001). Under åren har större dimensioner på singeldäckens presenterats på marknaden, vilket har gjort att slitaget orsakat av singelmontage har närmat sig vägsitage som uppkommer på grund av dubbelmontage (European Commission 2001).

2.2.1 Jämförelse mellan montage

Dubbelmontagen infördes för att kunna öka axellasterna, men i takt med att däckbredderna ökat har singelmontage blivit en vanlig montagetyp. Fördelen med singeldäckens är att de är lättare och genererar mindre luftmotstånd vilket leder till minskad bränsleförbrukning jämfört med dubbelmontage (Sveriges Åkeriföretag 2013).

Vid ett test av singelhjul utförd av Skogsforsk jämfördes spårbildningen mellan singelmontage och dubbelmontage. Målet med försöket var att avgöra vilken montagetyp som är mest lämplig för lantbruk. Försöket utfördes på en, vid jämförelse med asfalt, mjuk yta och deformationerna kan därför inte direkt appliceras på fallet med asfalt som underlag. Den slutsats som kan dras av försöket är att en lastbil med singelmontage leder till större deformationer än vad en lastbil med dubbelmontage ger, när de båda montagen har samma axelbelastning (Röhfors 2011). Endast de bredaste singeldäckens var i närheten av att ge en lika liten deformation som dubbelmontage.

2.2.2 Ringtryck

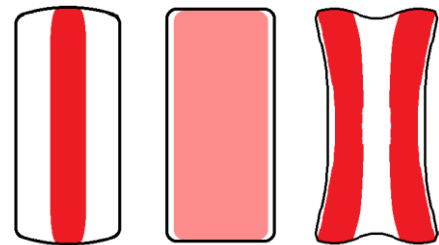
Val av ringtryck i däckens påverkar bland annat bränsleförbrukningen, däckslitage och vägsitage. Rekommenderade ringtryck brukar ligga på 9 bar för både singeldäck och

⁵ Rustan Eliasson (Schenker) intervjuad av författarna den 27 februari 2014.

dubbelmonterade däck (Goodyear 2012). Ett för högt ringtryck ger ett ökat däckslitage, medan ett för lågt ringtryck gör att däckets deformation blir större och rullmotståndet ökar, vilket ger högre bränsleförbrukning och kortare livslängd på däck (Sveriges Åkeriföretag 2013). Dessutom ger ett lågt ringtryck större risk för däckexplosion då däckan kan bli överhettade. Ett högt rullmotstånd beror till 90 % på att däckets gummi värms upp och att energi på så sätt går förlorad (Michelin 2012). Om ringtrycket sänks till 1 bar under rekommenderat ringtryck ökar bränsleförbrukningen med ca 5 % och minskar däckets livslängd med ca 10 % (Sveriges Åkeriföretag 2013).

När däckets deformation ökar på grund av lågt lufttryck kommer kontaktarean att öka. Då detta sker kan ett linjärt samband mellan ringtryck och kontakttryck observeras vid konstant last (Scandiaconsult Sverige AB 2014). Kontakttrycket beror på axellasten och kontaktarean, som i sin tur beror på ringtrycket. Vid konstant last kommer kontaktarean öka med minskat ringtryck vilket leder till ett minskat kontakttryck. Tvärtom kommer kontaktarean att minska med ett ökat ringtryck vilket leder till att kontakttrycket ökar.

Som nämnt ovan kommer ett ringtryck som är utanför det rekommenderade värdet ge ett större slitage på däck, detta på grund av att slitaget kommer att få en annan fördelning över däck (Michelin 2014). Figur 2.3 är en schematisk bild som visar hur denna fördelning ser ut. I mitten är ett däck som har optimalt ringtryck för den aktuella lasten, då kommer kontaktytan att vara längs med hela bredden av däck och slitaget blir jämt fördelat. Däcket till vänster har för högt tryck, vilket leder till att däck blir "uppblåst" och buktar ut i mitten. Då kommer slitaget att hamna på en mindre area i mitten av däck och där blir slitaget större än om kontaktarean var fördelad över hela bredden. Ett ökat slitage kan också observeras då ringtrycket är för lågt, även detta på grund av att däck deformeras. Däcket kommer att bukta ut i kanterna och ha mer kontakt med vägen i ytterkant av däck, vilket ses på det högra däck i figuren. Detta innebär en ökad kontaktarea för däck och mer slitage längs kanterna av däck.



Figur 2.3 Schematisk bild över hur förändrat ringtryck påverkar fördelningen utav däckets slitage

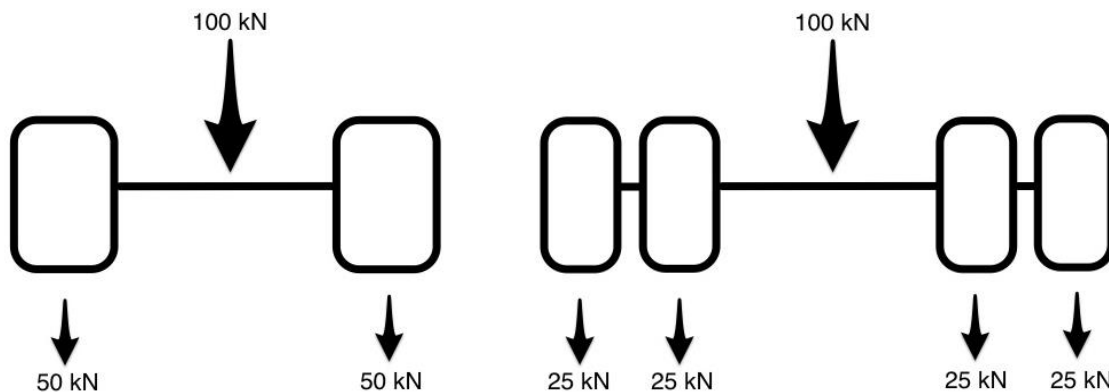
2.2.3 Regummering

När lastbilsdäck har blivit utslitna och ska kasseras finns regummering som alternativ till att köpa helt nya däck. Detta innebär att slitbanan på däck byts ut, medan stommen återanvänds. Priset för regummerade däck är ca 60 % av vad ett nytt däck kostar (Euromaster 2012). Ett däck på ett transportfordon kan regummeras 2-3 gånger och då komma upp i en total transportsträcka på ca 45 000 mil.⁶ Att regummera däck är dessutom mer miljövänligt än att tillverka nya. Det är tillverkningen av stommen som är det mest energikrävande och kräver störst tillgång till råolja (Agidäck 2014). Kan stommen behållas och bara slitbanan bytas ut går det åt ca 40 % mindre olja (Agidäck 2014).

⁶ Rustan Eliasson (Schenker) intervjuad av författarna den 27 februari 2014.

3 Beräkning av kontakttryck

För att beräkna de töjningar en belastning orsakar behövs det kontakttryck däckets ger upphov till samt radien för däckets kontaktarea, som antas vara cirkulär. Kontakttrycket beräknades med hjälp av kontaktarean, som beror på däckets bredd och ringtrycket i däckets, samt lasten som beror på antalet belastningspunkter, se Figur 3.1. Då axellasten sätts till 100 kN blir lasten för en axel med dubbelmontage 25 kN per däck och för ett singelmontage med widebasedäck 50 kN.



Figur 3.1 Tryckfördelningen för en axel med singel- respektive dubbelmontage.

De olika konfigurationer som beräknades var en axel med widebasedäck där däckbredden var 385 mm och en axel med dubbelmontage där däckbredden var 275 mm och centrumavståndet antogs vara 375 mm. Kontaktareorna för dessa däck är hämtade från *Test av Singelhjul* av Gustav Röhfors (2011) och redovisas i Tabell 3.1. För att lätt kunna jämföra dessa däck med en standardaxel så gjordes beräkningen med samma axeltryck som en standardaxel, 100 kN.

Tabell 3.1 Kontaktareor för valda däckbredder med olika ringtryck

Däcktyp, ringtryck [bar]	Kontaktarea [m ²]
Widebase, 5	0.096
Widebase, 9	0.0885
Dubbelmontage (båda däcken), 4	0.1242
Dubbelmontage (båda däcken), 7.7	0.1081

Med hjälp av värden i Tabell 3.1 togs linjära samband fram för att räkna ut kontaktarean för olika ringtryck. Kontaktareor för de olika ringtrycken räknades fram för att en jämförelse skulle kunna göras mellan dessa. Kontaktarean användes för att beräkna vilket kontakttryck som uppstår under respektive däck. För en standardaxel är detta tryck 800 kPa. Kontakttrycket beräknades enligt formel (3-1) och resultaten redovisas i Tabell 3.2 och 3.3.

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (3-1)$$

Tabell 3.2 Kontakttryck för widebasedäck med olika ringtryck

	Widebase, 5 bar	Widebase, 9 bar
A [m²]	0.096	0.0885
r [m]	0.175	0.168
N [kN]	50	50
σ [kPa]	521	565

Tabell 3.3 Kontakttryck för dubbelmontage med olika ringtryck

	Dubbelmontage, 4 bar	Dubbelmontage, 7.7 bar
A [m²]	0.0621	0.054
r [m]	0.141	0.13
N [kN]	25	25
σ [kPa]	403	463

Enligt *Provvägsrapport E6* av Peter Ekdahl (2014) så kan ett linjärt samband mellan ringtryck och kontakttryck antas. Även kontakttryck och kontaktarea ha ett linjärt samband, enligt ekvation (3-1). Med hjälp av värden i Tabell 3.2 och 3.3 togs linjära samband fram för att räkna ut kontaktareor för andra ringtryck, vilket redovisas i bilaga 1. Då rekommenderat ringtryck är vanligtvis 9 bar var det rimligt att utgå från det och minska trycket med en bar för att titta på vad en bar skillnad ger för vägsplitage. Framräknade areor och tryck redovisas i Tabell 3.4.

Tabell 3.4 Framräknade areor samt kontakttryck

	Widebase, 8 bar	Dubbelmontage, 8 bar	Dubbelmontage, 9 bar
A [m²]	0.0903	0.054	0.051
r [m]	0.17	0.13	0.127
N [kN]	50	25	25
σ [kPa]	554	463	490

4 Framtagning av vägkonstruktion

Vid beräkning av både sprickbildning och spårdjup behövs en vägkonstruktion att utgå från. Vägkonstruktionen som använts i beräkningarna nedan är framtagen i PMS Objekt efter de förutsättningar som gäller för referensvägen E18.

4.1 B-faktor

För att kunna ta fram en vägkonstruktion behövs en B-faktor som beskriver hur många standardaxlar varje tungt fordon representerar. Dessa beräkningar redovisas i Tabell 4.1.

Tabell 4.1 Fördelning över tunga fordon, fordonskonfigurationer samt uträknad B-faktor

Antal axlar	Fordonskonfiguration	Andel av total lastbils mängd	B-faktorn
2	11	19 %	0.69
3	12	9 %	0.9
4	112	7 %	1.31
5	113	17 %	1.69
6	123	22 %	1.9
7	1222	22 %	2.15
8	1223	4 %	2.53

Fördelningen av tunga fordon (antal axlar/fordon) samt deras fordonskonfigurationer är hämtade från *Nedbrytning av vägar* av Ylva Almqvist (2011). Fordonskonfigurationen beskriver vilka av axlarna som är enkel-, tandem- respektive tridem-boggie med siffrorna 1, 2 och 3. Med formel (4-1) har sedan B-faktorn räknats ut för respektive fordonskonfiguration (Winnerholt 2011b).

$$B_{fordon} = \sum_{i=1}^j \left(\frac{axelvikt_i}{laglig\ last_i} \right)^4 = \left(\frac{8}{11} \right)^4 + \left(\frac{8}{10} \right)^4 \cdot k + \left(\frac{16}{18} \right)^4 \cdot l + \left(\frac{24}{24} \right)^4 \cdot m \quad (4-1)$$

k = antal enkelaxlar för ett tungt fordon
l = antal tandemaxlar för ett tungt fordon
m = antal tridemaxlar för ett tungt fordon

Laglig last definieras som:

- Styraxel 11 ton
- Enkelaxel 10 ton
- Tandem-boggie 18 ton
- Tridem-boggie 24 ton

Axelvikten antogs vara 8 ton för en enkelaxel, 16 ton för en tandem-boggie och 24 ton för en tridem-boggie i enlighet med information från mötet med Rustan Eliasson⁷.

För att räkna ut den totala B-faktorn vägdes de olika fordonstyperna efter respektive andel enligt formel (4-2) (Winnerholt 2011b).

$$B = \sum_{j=1}^n B_{fordon,j} \cdot andel_j \quad (4-2)$$

⁷ Rustan Eliasson (Schenker) intervjuad av författarna den 27 februari 2014.

Vägningen gav en sammanlagd B-faktor på 1.34. Denna faktor justerades med tre faktorer: f_a , f_b , och f_c . Dessa justeringsfaktorer beror på referenshastighet, körfältsbredd och vägtyp. För E18 är referenshastigheten 120 km/h, körfältsbredden 3,5 m och vägtypen europaväg. Enligt TRVK blir då justeringsfaktorerna: $f_a=1.1$, $f_b=1.15$ och $f_c=0.9$ (Winnerholt 2011a).

4.2 Lagertjocklekar

Första steget vid beräkning av lagertjocklekar är en trafikberäkning i PMS Objekt. I denna ansattes trafikdata enligt referensvägen och justeringsfaktorerna enligt beräkningarna i avsnitt 4.1. Resultatet av trafikberäkningen gav att ekvivalent antal standardaxlar som trafikerar vägen blev ca 15 miljoner. Utifrån detta värde dimensionerade programmet en överbyggnad enligt Tabell 4.2.

Tabell 4.2 Lagertjocklekar

Material	Tjocklek berg [mm]	Tjocklek lera [mm]
Bitumenbundet slitlager	40	40
Bitumenbundet bärlager	150	150
Obundet bärlager	80	100
Krossat förstärkningslager	200	560

Från PMS Objekt hämtades även E-moduler för de olika bärlagren vid olika årstider, dessa presenteras i Tabell 4.3.

Tabell 4.3 E-moduler

	Slitlager [GPa]	Bärlager [GPa]	Obundet bärlager [GPa]
Vinter	14500	11500	1000
Tjäl.vinter	13000	10000	150
Tjällossning	12000	9000	300
Senvår	11500	8500	450
Sommar	4000	2500	450
Höst	11000	8000	450

5 Beräkning av trafikmängd

Då vägen har en livslängd på 20 år beräknades antalet lastbilsaxlar över en 20 års period. ÅDT_k för vägen är 7855 fordon och andelen tung trafik är 12 % vilket ger att ÅDT_{k tung trafik} är 942.6 fordon. Fördelningen av antal axlar per tungt fordon redovisas i Tabell 5.1 och är framtagen i *Nedbrytning av vägar* av Ylva Almqvist (2011).

Tabell 5.1 Axelfördelning

Antal axlar	Andel av total lastbils mängd
2	19 %
3	9 %
4	7 %
5	17 %
6	22 %
7	22 %
8	4 %

Detta ger i snitt 4.96 axlar per tungt fordon och antalet axlar som trafikerar vägen beräknades enligt (5-1) och gav 48.8 miljoner axlar på en 20 års period (Vägverket 1994).

$$N_{ekv} = \text{ÅDT}_k \cdot 3.65 \cdot A \cdot B \cdot \left(1 + \frac{100}{k}\right) \left(\left(1 + \frac{k}{100}\right)^n - 1\right) \quad (5-1)$$

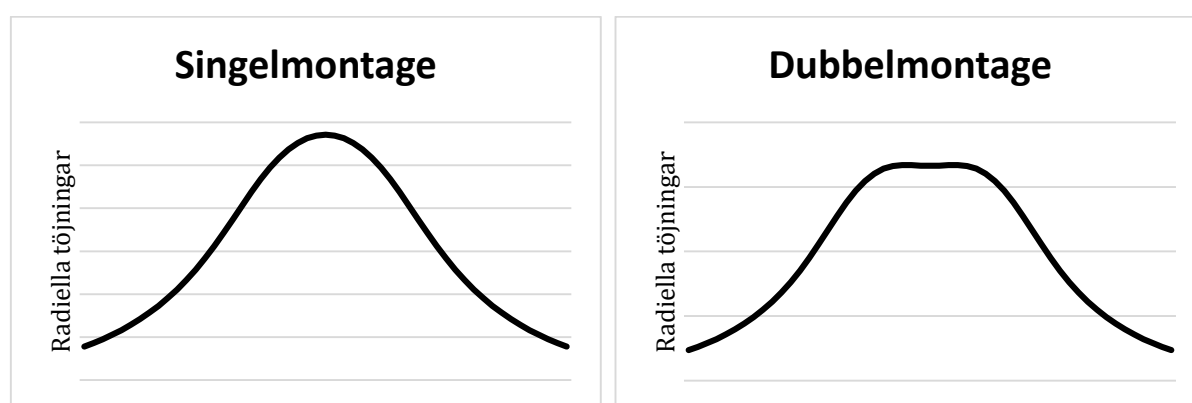
- A = andel tunga fordon i %
- B = ekvivalent antal axlar per tungt fordon
- n = avsedd teknisk livslängd i år
- k = trafikförändring per år i %

6 Beräkning av sprickbildning

Sprickbildningen har beräknats med hjälp av de olika kontakttrycken från kapitel 3 och den vägkonstruktion som togs fram i kapitel 4. Beräkningarna utfördes med hjälp av Odemarks beräkningsprogram och formler från TRVK.

6.1 Töjningar

Odemarks beräkningsprogram användes för att beräkna töjningarna i mitten av belastningspunkten i underkant av de bitumenbundna lagren i vägen. Figur 6.1 beskriver hur de radiella töjningarna fördelas i x-led i underkant av de bitumenbundna lagren. Enligt figuren kommer de största töjningarna att infinna sig mitt under däckets på ett singeldäck och ha två toppar mitt under däckerna på ett dubbelmontage. Graferna är modellerade utifrån töjningar som tagits fram med PMS Objekts avancerade bärighetsberäkningar.



Figur 6.1 Töjning i x-led

Beräkningen av töjningarna genomfördes för två olika undergrunder och de däckmontage som redovisades i kapitel 3. Odemarks beräkningsprogram tar endast hänsyn till tjockleken på de två översta lagren i vägkonstruktionen och således påverkas inte töjningarna av om undergrunden består av berg eller lera. Widebasedäck och dubbelmontage jämfördes med en standardaxel. Detta gjordes genom beräkningar av tillåtet antal standardaxlar för vägen.

Vid beräkning av töjningar i Odemarks beräkningsprogram behövs kontakttryck, radie, lagertjocklekar, E-moduler och Poissons tal. Poissons tal är tvärkontraktionstalet som beskriver förhållandet mellan E-modul och skjuvmodul (Englund 2014). Vid dessa beräkningar sattes Poissons tal till 0.35.

I den grundläggande bärighetsberäkningen räknar PMS Objekt med att det finns ett dubbdäcksslitage på 20 mm i det bitumenbundna slitlagret. Detta är något som man själv måste ta hänsyn till i Odemark och ändra i konstruktionen för att få värden som är jämförbara med varandra.

Med Odemark beräknades maxtöjningarna för de olika tidsperioderna, med avseende på de olika kombinationerna av ringtryck och singel- respektive dubbelmontage. Resultaten redovisas i bilaga 2.

6.2 Tillåtna standardaxlar

Först beräknades tillåtet antal standardaxlar för en standardaxel för att få ett referensvärde. Det tillåtna antalet standardaxlar talar om hur många axlar som kan köra på vägen innan åtgärd till följd av sprickor är nödvändig. Eftersom livslängden för vägen förändras med olika montage typer och ringtryck beräknades nya värden på tillåtet antal standardaxlar för de aktuella kombinationerna. Beräkningarna utfördes enligt formel (6-1) och (6-2) där töjningarna var de som togs fram i Odemark för respektive konfiguration (Winnerholt 2011a). Beräkningen tar hänsyn till att töjningarna i underkant bitumenbundna lager varierar under året.

$$N_{bb,i} = f_s \frac{2.37 \cdot 10^{-12} \cdot 1.16^{(1.8 \cdot T_i + 32)}}{\varepsilon_{bb,i}^4} \quad (6-1)$$

$$N_{till,bb} = \frac{365}{\sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_{bb,i}}} \quad (6-2)$$

$$N_{till,bb} \geq N_{ekv}$$

N_{ekv}	= Ekvivalent antal standardaxlar
m	= Antal klimatperioder
n_i	= Antal dygn under klimatperiod "i"
$N_{bb,i}$	= Tillåtet antal standardaxlar för bitumenbundet bärlager under klimatperiod "i"
f_s	= Korrigeringsfaktor med avseende på befintlig beläggnings-sprickighet och krackelering. För nybyggnad är $f_s = 1.0$
$\varepsilon_{bb,i}$	= Största horisontella dragtöjning i bitumenbundet bärlager för klimatperiod "i" vid belastning med en standardaxel på vägytan
T_i	= Medeltemperatur (°C) i bitumenbundet bärlager för klimatperiod "i"

De temperaturer och längder på klimatperioderna som användes vid beräkningarna ges av TRVK och redovisas i Tabell 6.1 (Winnerholt 2011a).

Tabell 6.1 Klimatperioder

Klimatperiod	Medeltemperatur [°C]	Antal dygn under klimatperiod (n_i)
Vinter	-1.9	80
Tjäl.vinter	1	10
Tjällossning	2.3	31
Senvår	3	15
Sommar	18.1	153
Höst	3.8	76

I Tabell 6.2 redovisas det nya antalet tillåtna standardaxlar tillsammans med den vanliga standardaxleln.

Tabell 6.2 Tillåtet antal standardaxlar

	Tillåtet antal standardaxlar
Standardaxel	40 807 918.82
Widebase, 8 bar	5 399 638.58
Widebase, 9 bar	5 290 851.36
Dubbelmontage, 8 bar	60 280 458.41
Dubbelmontage, 9 bar	55 627 995.15

Vid samma beräkning i PMS Objekt blev antalet tillåtna standardaxlar helt annorlunda. De töjningar som PMS Objekt räknade fram gav endast 26 miljoner tillåtna standardaxlar, jämfört med 40,8 miljoner framräknat av töjningarna från Odemark. Denna stora skillnad fås trots att det är relativt små skillnader i töjningar framräknat av de olika programmen, vilket kan ses i Tabell 6.3.

Tabell 6.3 Skillnad töjningar

Tidsperiod	PMS [microStrain]	Odenmark [microStrain]	Skillnad
Vinter	54	-40	-35 %
Tjäl.vinter	77	-91	15 %
Tjällossning	76	-75	-1 %
Senvår	75	-66	-14 %
Sommar	149	-129	-16 %
Höst	77	-68	-13 %

För att väga samman de olika montage typerna hämtades fördelningen från undersökningen *Nedbrytning av vägar* av Ylva Almquist (2011). För motorväg fann hon fördelningen 45 % singelmontage och 55 % dubbelmontage. Dessa vägdes samman för respektive ringtryck och differensen beräknades, vilket redovisas i Tabell 6.4. I tabellen ses en minskning av det tillåtna antalet standardaxlar med 2,6 miljoner då ringtrycket ökar med 1 bar, vilket motsvarar 7.3 %.

Tabell 6.4 Sammanvägning för respektive ringtryck

	Tillåtet antal standardaxlar
8 bar	35 584 089.49
9 bar	32 976 280.44
Differens	2 607 809.047

När dessa värden vägdes mot det framräknade värdet på passerande axlar i kapitel 5 erhöles en livslängd på de bundna bärlagren på 14 och 15 år med 9 respektive 8 bar i ringtryck. När en jämförelse istället genomfördes med N_{ekv} framtaget i PMS Objekt fick vägen en livslängd på över 40 år för både 8 och 9 bar.

7 Beräkning av spårdjup

För att beräkna spårdjup användes beräkningsmodellen PEDRO. Vid beräkningarna behövs däckets kontakttryck, radien för kontaktarean som beräknades i kapitel 3 samt centrumavståndet för dubbelmontaget. Även fordonshastigheten behövs vid beräkningarna och i detta fall ansattes den till 80 km/h, då det är den hastighet den tunga trafiken får ha på referensvägen. Dessutom behövs antalet lastbilsaxlar som passerar under den bestämda tidsperioden och vägens Zero shear rate viscosity.

I Tabell 7.1 samt 7.2 redovisas deformationerna för de olika montage typerna efter en överfart, då Zero shear rate viscosity är 1×10^{11} , vilket är ett medelvärde mellan sommarns och vinterns extremfall.

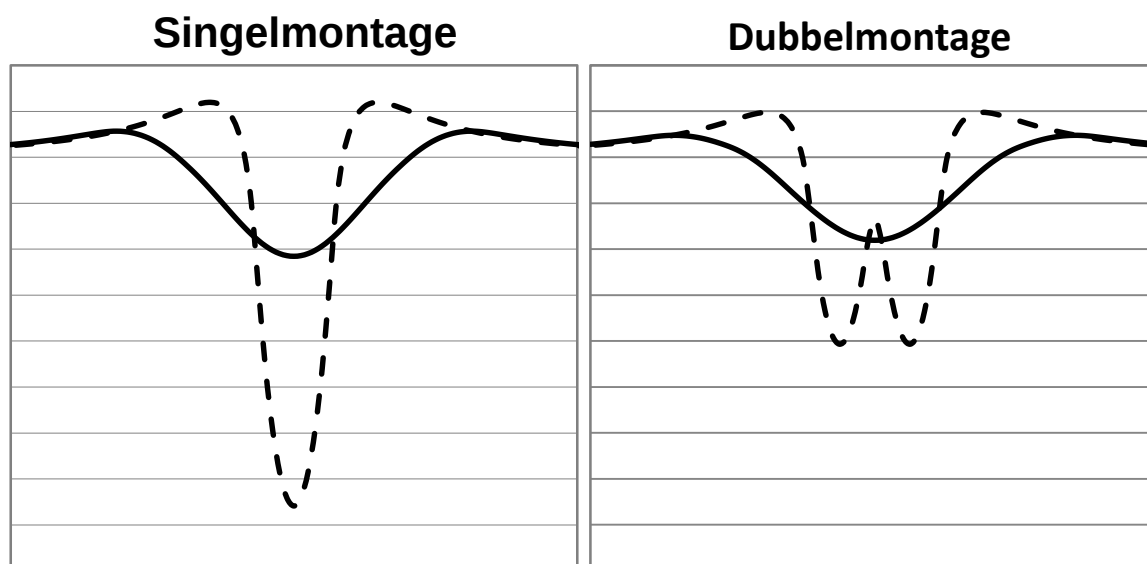
Tabell 7.1 Deformationer efter en överfart, i [nm] utan hänsyn till sidoförflyttning

	8 bar	9 bar	Skillnad
Widebase	3.106	3.128	0.0071 %
Dubbelmontage	1.668	1.719	0.0306 %

Tabell 7.2 Deformationer efter en överfart, i [nm], med hänsyn till sidoförflyttning

	8 bar	9 bar	Skillnad
Widebase	0.883	0.880	-0.0034 %
Dubbelmontage	0.739	0.747	0.0108 %
Sammanvägning	0.804	0.807	0.0037 %

Vid sammanvägningen av montagen hämtades fördelningen 45 % singelmontage och 55 % dubbelmontage från *Nedbrytning av vägar* av Ylva Almqvist (2011). Deformationerna för de olika montagen åskådliggörs i figur 7.1.



Figur 7.1 Schematisk bild över permanenta deformationer

De sammanlagda permanenta deformationer efter 20 år redovisas i Tabell 7.3.

Tabell 7.3 Deformationer efter 20 år, med hänsyn till sidoförflyttning

	8 bar	9 bar	Skillnad
Permanent deformationer [mm]	39.249	39.415	0.4 %

13 mm är maxgräns för spårbildning, den gränsen nås efter 8 år för båda ringtrycken, vilket kan ses i Tabell 7.4.

Tabell 7.4 Deformationer efter 8 respektive 9 år i [mm], med hänsyn till sidoförflyttning

	8 år	9 år
8 bar	12.73	14.57
9 bar	12.79	14.63

För att titta på skillnaderna mellan en varm sommardag och en kall vinter gjordes beräkningar för en överfart med dubbelmontage på 8 bars ringtryck. Zero shear rate viscosity är satt till 1×10^{13} för sommar och 1×10^9 för vinter, beräkningarna redovisas i tabell 7.5.

Tabell 7.5 Deformationer för en överfart med hänsyn till sidoförflyttning, extremfall

	Sommar	Vinter
Permanent deformationer [nm]	37.034	0.0036

8 Diskussion

När ringtrycket sänks 1 bar under rekommenderat tryck ökar bränsleförbrukningen med ca 5 % och däckets livslängd minskar med ca 10 %. Detta innebär att transportföretagen inte gärna avviker från de rekommenderade ringtrycken som ligger på 9 bar för de flesta däcktyper.

För beräkningen av kontakttryck vid valda ringtryck har ett linjärt samband antagits enligt *Provvägsrapport E6* av Peter Ekdahl (2014). Dock ligger de valda ringtrycken över de som undersöktes i *Test av Singelhjul* av Gustav Röhfors (2011). Det kan ifrågasättas om extrapolering kan göras utanför de två referensvärdena och fortfarande ge rimliga värden.

8.1 Ringtryckets påverkan på sprickbildning

$N_{till, bb}$ är empiriskt framtagen för en standardaxel och behöver möjligtvis kalibreras för att kunna användas vid beräkningen av de i undersökningen använda montage typerna. Detta blir en stor felkälla då små ändringar i töjningar ger stora skillnader i framräknade antal tillåtna standardaxlar. Men då kunskap om hur formeln är framtagen saknas har ingen anpassning gjorts.

Med avseende på sprickbildning minskar vägens kapacitet med 7.3 % från 36 till 33 miljoner axlar då ringtrycket ökar med en bar från 8 till 9. Men då antalet standardaxlar som trafikerar vägen under dess livslängd endast kommer upp i 15 miljoner, enligt uträkningen i PMS Objekt, kommer sprickbildning aldrig att bli dimensionerande för underhåll av beläggningen. Beräkningen av antalet axlar som trafikerade vägen, som är gjord i denna studie, gav 48 miljoner axlar på en 20 års period. För ett ringtryck på 9 bar innebär detta att vägens kapacitet med avseende på utmattningssprickor skulle vara uppnådd efter 14 år. Med en bar lägre ringtryck blir livslängden med avseende på sprickbildning 15 år. En stor anledning till den skillnaden i antal passerande axlar på 20 år är de olika B-faktorer som använts vid respektive trafikberäkning. Den som används vid beräkningarna i PMS Objekt är framtagen i enighet med *TRVR* och den andra B-faktorn, beräknad i kapitel 5, är baserad på antalet passerade axlar, vilket behövs vid beräkning av spårdjup. Det kan ifrågasättas om den baserad på passerande antal axlar går att tillämpa vid beräkning av livslängd med avseende på sprickbildning.

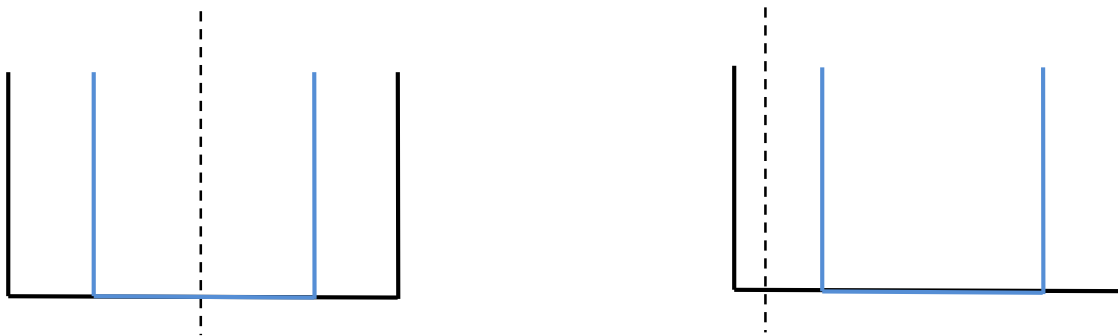
Skillnaderna i uträknade töjningar mellan beräkningsprogrammen kan användas för att rikta resultat efter vad som är mest gynnsamt i olika fall. Det är svårt att jämföra programmens resultat, då PMS Objekt inte redovisar hur beräkningarna genomförs eller vilken teori som tillämpas, mer än en hänvisning till *TRVK*. Detta gör det svårt att ta ställning till varför det blir skillnader mellan beräkningarna samt att avgöra vilken beräkningsmetod som är lämpligast.

8.2 Ringtryckets påverkan på spårdjup

Vid val av hastighet ses 80 km/h som ett rimligt antagande, då det är hastighetsbegränsningen för tung trafik på svenska vägar. Alla fordon håller dock inte hastighetsbegränsningen, men eftersom en högre hastighet ger mindre deformationer är antagandet på säkra sidan. Den verkliga deformationen blir då rimligtvis mindre än den framräknade.

Zero shear rate viscosity är svår att bestämma och det medelvärde som används i beräkningarna kan tas fram mer exakt. När det är kallt blir deformationerna små och vid höga temperaturer på sommaren blir deformationerna större. Det är därför inte helt rimligt att använda en medeltemperatur över året när zero shear rate viscosity räknas ut och sedan används i beräkningen av permanenta deformationer. Det värde på zero shear rate viscosity som tas fram borde istället vara det som ger ett medelvärde på den permanenta deformationen.

Med avseende på spårbildning skiljer inte mycket i de permanenta deformationerna mellan de olika ringtrycken. Om hänsyn inte tas till sidoförflyttning blir skillnaderna större. Anledningen till detta är att då hänsyn tas till sidoförflyttning sprids deformationerna ut på en större yta och alla skillnader blir därför mindre. Antagandet att det blir större deformationer med högre ringtryck stämmer alltså då ingen hänsyn tas till sidoförflyttning. Dock blir den permanenta deformationen marginellt större för 8 bar jämfört med 9 bar när hänsyn tas och då beräkningarna genomförs för ett widebasedäck. Detta kan antas bero på att däckets får en mindre kontaktyta och därför befinner det sig statistiskt sett mindre i mitten av spåret. Förflyttas mittpunkten lika mycket för båda däck, så kommer förmodligen bara det breda däckets täcka och belasta den gamla mittpunkten, vilket åskådliggörs i Figur 8.1.



Figur 8.1 Överdriven sidoförflyttning

Förskjutningen av asfalt orsakad av tung trafik är inte den enda orsaken till spårbildning. I den versionen av PEDRO som användes tas inte hänsyn till slitage orsakat av dubbdäck, deformationer i de obundna lagren eller efterpackning, men i en mer avancerad version kan även spårdjupet orsakat av efterpackningen beräknas. Det finns flera olika siffror på hur stor del deformationerna orsakade av tung trafik är av den totala spårbildningen men vad som stämmer är svårt att avgöra.

När en väg är nybyggd blir spårbildningen dimensionerande för när en åtgärd krävs i och med att maximalt spårdjup uppnås redan efter 8 år. Dock är det möjligt att vägen blir utmattad bara några år efter den första åtgärden, eftersom det finns en risk att de undre, tidigare asfaltslagren hann börja spricka i underkant, innan spårbildningen åtgärdades. Då är det möjligt att sprickbildningen blir dimensionerande för nästa insatta åtgärd. Det finns inga framtagna siffror på hur lång tid det tar innan en andra åtgärd är nödvändig, eftersom att det beror på hur uppsprucket eller utmattat det gamla asfaltslagret är. Känt är dock att livslängden med avseende på sprickbildning minskar.

9 Slutsatser

Med avseende på sprickbildning ökar livslängden på vägen med 7.3 % om ringtrycken minskar med 1 bar från 9 till 8 bar. Beroende på vilken beräkning av trafiklast som används hamnar livslängden på 14 - 15 år eller över 40 år. Ringtrycket påverkar inte livslängden nämnvärt med avseende på spårbildning, utan ligger på 8 år.

För nylagda bundna bärlager blir spårbildningen dimensionerande och ringtrycket får därför ingen betydelse för de bundna bärlagrens livslängd. För transportföretagen är det fördelaktigt att använda det högre ringtrycket och det blir därför också mest hållbart ur samhällsekonomisk synvinkel.

Efter den första åtgärden satts in är det mycket möjligt att sprickbildningen istället avgör när nästa åtgärd behöver sättas in. Då får en skillnad i ringtryck betydelse för när den åtgärden behövs. Detta är inte något som detta arbete går in närmare på utan det skulle kunna undersökas vidare vilken påverkan ringtryck får för äldre vägar där asfalten redan är åtgärdad en eller flera gånger.

Att titta på i framtida undersökningar skulle även kunna vara vad som egentligen påverkar spårbildning och hur olika däckbredder påverkar vägslitaget. Dessutom skulle en undersökning av hur de obundna lagren påverkas av ökade lufttryck kunna vara intressant.

Källförteckning

Algidäck. (2014) Miljö. *Algidäck*. <http://www.agidack.se/miljo> (hämtad 14.03.25)

Almqvist, Y. (2011) *Nedbrytning av vägar: Jämförelse mellan axlar med singel- respektive dubbelmontage*. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan

Dahlin, H., Eliasson, Å. (2007). *Jämförelse mellan asfalt- och betongbeläggningar*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola (Examensarbete: 2007:122)

Goodyear. (2012) Marathon LTH II. *Goodyear*.
http://www.goodyear.eu/se_se/tires/truck/marathon-lht-II/index.jsp (Hämtad 2014-03-25)

Granhage, L. (2009) *Kompendium i vägbyggnad*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för bygg- och miljöteknik.

Gröna Bilister. (2014) Däcktryck och däcktyper. *Gröna Bilister*.
<http://www.gronabilister.se/146> (Hämtad 2014-01-31)

Ekblad, J. Lundström, R. (2011) *Spårbildning i asfaltsbeläggningar på provvägen E6 Fastarp-Heberg*. Upplands Väsby: SBUF.

Ekdahl, P. (2014) *Provvägsrapport E6*. Malmö: Scandiaconsult Sverige AB

Englund, J. (2014) *Odemark*. Beräkningsprogram från kurshemsida för: VMT060-Road engineering. Göteborg: Chalmers (hämtad 14.04.08)

Euromaster. (2012) Regummering av lastbilsdäck. *Euromaster*.
<http://www.euromaster.se/foretag/lastbilar/regummering> (hämtad 14.03.25)

European Commission. (2001) *COST 334: Effects of Wide Single Tyres and Dual Tyres*. Version 29. Luxemborg: European Communities 1999

Göransson, N-G. (2005) *Validering av PMS Objekt*. Linköping: VTI (VTI rapport: 2-2005)

Huang, Y. H. (2004) *Pavement analysis and design*. Upplaga 2. Upper Saddle River: Pearson Education.

Hultqvist, B-Å. (2013) *Mätning av bränsleförbrukning på asfalt- och betongbeläggning norr om Uppsala*. Linköping: VTI

Johansson, M. (2007) *Rätt lastade fordon*. Danderyd: Sveriges Åkeriföretag.

Johansson, R. (2000a) 6 Bitumenbundna lager. I *Vägunderhåll 2000*. Borlänge: Trafikverket.

Johansson, R. (2000b) 7 Cementbundna lager. I *Vägunderhåll 2000*. Borlänge: Trafikverket.

- Lundström, R. (2004) *Utmattning av asfalt*. Upplands Väsby: Kungliga Tekniska Högskolan.
- Michelin. (2012) Rullmotstånd för däck: Michelin förklarar hur det fungerar. *Michelin*. <http://www.michelin.se/dack/dackskola/grundlaggande-om-dack/rullmotstand> (Hämtad 2014-03-26)
- Michelin. (2014) Radialdäcket. *Michelin*. <http://www.michelintransport.com/ple/front/affich.jsp?codeRubrique=33&lang=SE> (Hämtad 2014-02-25)
- Nordendäck. (2014) Däckskola. *Nordendäck*. <http://www.nordendack.se/dackskola> (Hämtad 2014-02-25)
- Offrell, P. (2003) *Sprickanalyser i asfaltskroppar med datortomografi*. Malmö: Scandiaconsult
- Olsson, K. (2009) *Utvärdering av högpresterande bitumen*. Farsta: Skanska.
- Oscarsson, E. (2011) *Mechanistic-Empirical Modeling of Permanent Deformation in Asphalt Concrete Layers*. Lund: Lunds Universitet
- Röhfors, G. (2011) *Test av singelhjul*. Åsby: Skogfors
- Sveriges Åkeriföretag. (2013) *Åkerihandbok 2013*. Stockholm: Sveriges Åkeriföretag
- Thunmarker, P. (2010) *Arbetsplan för väg E18 delen Västerås – Sagån*. Ramböll Sverige AB
- Tirerack. (2014) Dual Tires for Light Truck Use. *Tirerack*. <http://www.tirerack.com/tires/tiretech/techpage.jsp?techid=71> (Hämtad 2014-03-25)
- Trafikverket. (2011) Drift och underhåll av belagda vägar. *Trafikverket*. <http://www.trafikverket.se/Foretag/Bygga-och-underhalla/Vag/Drift-och-underhall/Om-drift-och-underhall/> (Hämtad 2014-02-25)
- Trafikverket. (2014a) Sveriges vägnät. *Trafikverket*. <http://www.trafikverket.se/Privat/Vagar-och-jarnvagar/Sveriges-vagnat/> (Hämtad 2014-01-31).
- Trafikverket. (2014b) Tjälskadade vägar. *Trafikverket*. <http://www.trafikverket.se/Aktuellt/Redaktionella-sidor/Tjalskadade-vagar/> (Hämtad 2014-03-25)
- Ullidtz, P. (1998) *Modelling Flexible Pavement Response and Performance*. Lyngby: Polyteknisk Forlag.
- Vägverket. (1994) ATB Väg 94. *Vägverket*.

Wendel, M. (2012) Underhållsstandrad belagd väg 2011. *Trafikverket*. (ISBN: 978-91-7467-272-5)

Winnerholt, T. (2011a) TRVK Väg. *Trafikverket*, version 1.0

Winnerholt, T. (2011b) TRVR Väg. *Trafikverket*, version 1.0

Wågberg, L-G. (2005) *Long-Life Pavements*. Linköping: VTI. (VTI rapport: 11-2005)

Öberg, G. (2001) *Statliga belagda vägar*. Linköping: VTI. (VTI rapport: 44-2001)

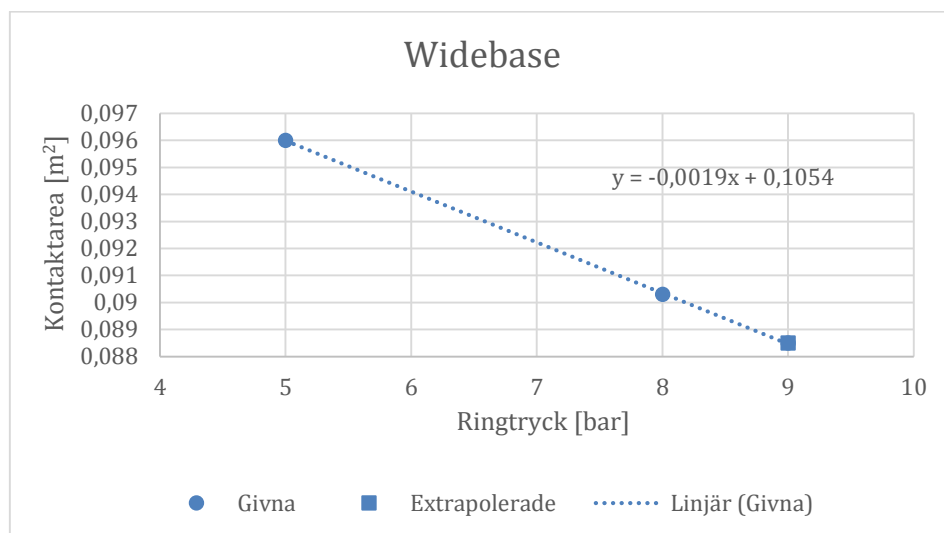
Östlund, J. (2013) *Transportarbete 1950-2012*. Trafikanalys.

Bilaga 1

Framtagning utav extrapolerade kontaktareor.

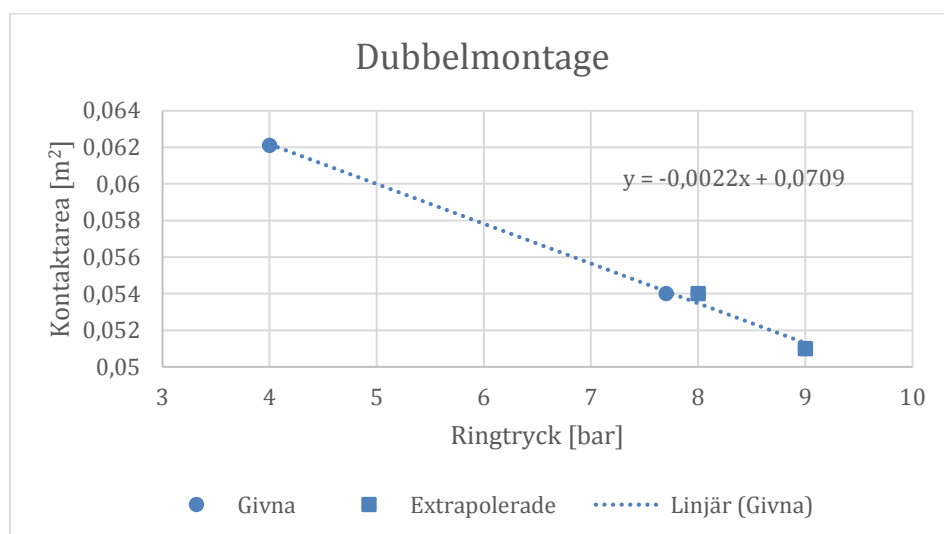
Kontaktareor för 5 och 8 bars ringtryck var givna, 9 bar extrapolerades.

Widebase			
Ringtryck	5	8	9
Kontaktarea	0.096	0.0903	0.0885



Kontaktareor för 4 och 7.7 bars ringtryck var givna, 8 och 9 bar extrapolerades.

Dubbelmontage				
Ringtryck	4	7.7	8	9
Kontaktarea	0.0621	0.054	0.054	0.051



Bilaga 2

Resultatet av töjningsberäkningar utförda i Odemarks beräkningsprogram. Töjningarna är beräknade i underkant av det bitumenbundna skiktet.

Standardaxel

Klimatperiod	Temperatur (T_i)	Antal dygn (n_i)	Töjning ($\epsilon_{bb,i}$)
Vinter	-1.9	80	0.00004
Tjäl.vinter	1	10	0.000091
Tjällossning	2.3	31	0.000075
Senvår	3	15	0.000066
Sommar	18.1	153	0.000129
Höst	3.8	76	0.000068

Widebase 9 bar

Klimatperiod	Temperatur (T_i)	Antal dygn (n_i)	Töjning ($\epsilon_{bb,i}$)
Vinter	-1.9	80	0.000061
Tjäl.vinter	1	10	0.000167
Tjällossning	2.3	31	0.000129
Senvår	3	15	0.000109
Sommar	18.1	153	0.000176
Höst	3.8	76	0.000112

Widebase 8 bar

Klimatperiod	Temperatur (T_i)	Antal dygn (n_i)	Töjning ($\epsilon_{bb,i}$)
Vinter	-1.9	80	0.000061
Tjäl.vinter	1	10	0.000166
Tjällossning	2.3	31	0.000129
Senvår	3	15	0.000108
Sommar	18.1	153	0.000174
Höst	3.8	76	0.000111

Dubbelmontage 9 bar

Klimatperiod	Temperatur (T_i)	Antal dygn (n_i)	Töjning ($\epsilon_{bb,i}$)
Vinter	-1.9	80	0.000036
Tjäl.vinter	1	10	0.000088
Tjällossnings	2.3	31	0.00007
Senvår	3	15	0.000061
Sommar	18.1	153	0.000111
Höst	3.8	76	0.000063

Dubbelmontage 8 bar

Klimatperiod	Temperatur (T_i)	Antal dygn (n_i)	Töjning ($\epsilon_{bb,i}$)
Vinter	-1.9	80	0.000035
Tjäl.vinter	1	10	0.000086
Tjällossning	2.3	31	0.000069
Senvår	3	15	0.00006
Sommar	18.1	153	0.000108
Höst	3.8	76	0.000062