



Kan dubbdäck på cykeln minska singelolyckorna?

Friktionstester av cykeldäck i VTI:s stationära
däckprovvningsanläggning

Mattias Hjort
Anna Niska

Kan dubbdäck på cykeln minska singelolyckorna?

Friktionstester av cykeldäck i VTI:s stationära däckprovningsanläggning

Mattias Hjort

Anna Niska

Diariennr: 2012/0494-28

Omslagsbild: Mattias Hjort, VTI, Hejdlösa Bilder AB

Tryck: LiU-tryck, Linköping 2015.

Referat

Syftet med det här projektet har varit att ta fram en metod för att mäta cykeldäcks friktion på is och att genomföra inledande tester. Målet är att med hjälp av den framtagna testmetoden kunna ge oberoende och evidensbaserad information till potentiella vintercyklister om väggreppet på is med ett dubbat cykeldäck i jämförelse med ett odubbat, både vid bromsning respektive i kurvor.

I studien har fyra olika dubbdäck för cykel jämförts med två vanliga sommardäck. Mätningarna gjordes i VTI:s stationära däckprovningsanläggning, vilken består av en rörlig bana och en stillastående men vridbar mättrigg. Konstruktionen gör det möjligt att under kontrollerade förhållanden mäta såväl broms- som styrkrafter för ett rullande hjul. För att kunna testa cykeldäck krävdes ombyggnationer av anläggningen som tidigare endast använts för studier av personbils- och lastbilsdäck.

Den utvecklade testmetoden visade sig fungera bra för jämförande tester av cykeldäck. Mätningarna visade att dubbade cykeldäck har generellt bättre isgrepp än odubbade, men att det kan vara stora skillnader mellan olika dubbdäck. Fler dubbar behöver inte innebära ett bättre isgrepp. För bromsning med låst hjul uppmättes upp till 2,5 gånger högre friktion med dubbdäck jämfört med ett odubbat däck. Dubbdäcken producerar också generellt större sidkraft vid styrning på is. Vid lutning av cykeln ökar skillnaderna mellan dubbat och odubbat. Generellt uppnås en liten ökning av broms- och sidkrafter vid ett minskat däcktryck, men rätt däcktryck tycks vara viktigt för att få ut optimal prestanda ur ett dubbdäck. Resultaten visar att det är väl värt att rekommendera cyklister att använda dubbdäck vid vinterväglag. Med bättre grepp och bättre bromsstabilitet finns goda möjligheter till säkerhetsvinster vid vintercykling.

Titel:	Kan dubbdäck på cykeln minska singelolyckorna? Friktionstester av cykeldäck i VTIs stationära däckprovningsanläggning
Författare:	Mattias Hjort (VTI) Anna Niska (VTI)
Utgivare:	VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut www.vti.se
Serie och nr:	VTI rapport 862
Utgivningsår:	2015
VTI:s diarienumr:	2012/0494-28
ISSN:	0347-6030
Projektnamn:	Dubbdäck på cykeln – ett sätt att vintertid minska singelolyckorna bland cyklister?
Uppdragsgivare:	Länsförsäkringsbolagens forskningsfond
Nyckelord:	Cykeldäck, dubbdäck, friktion, väggrepp, ishalka, slipkurva
Språk:	Svenska
Antal sidor:	68

Abstract

The purpose of this project was to define a useful methodology for comparing the ice grip of different bicycle tyres and to perform initial measurements. The long term objective is to set up recommendations to winter cyclists regarding bicycle tyres based on measurements performed according to the defined methodology. Measurements were done on smooth slippery ice using two regular (non-studded) bicycle tyres and four studded tyres of different brands and models. The tests were carried out in the VTI tyre test facility (TTF). The TTF is a unique indoor flat track machine for tyre tests on ice or asphalt pavement. This construction enables measurement of frictional forces under controlled conditions both when braking and steering. The TTF has been used for several years when testing tyres for both passenger cars and heavy vehicles, but to be able to test bicycle tyres some modifications of the equipment were necessary.

The defined test method proved to be suitable for comparing studies. The measurements showed that studded tyres improve the grip on ice compared to regular bicycle tyres, but there can be differences in performance between different types of studded tyres. A larger number of studs is not necessarily related to a better grip on ice. When braking with locked wheel the frictional forces measured, were up to 2.5 times higher with a studded tyre compared to a non-studded tyre. In addition, studded tyres generally generate greater frictional forces when steering on ice compared to non-studded tyres. In general, a lower tyre pressure slightly increases braking and steering forces, but an optimal tyre pressure might be necessary in order to achieve the best possible performance from a studded bicycle tyre. Based on the results so far, cyclists should be recommended to use studded tyres when cycling during winter conditions. With an improved grip on ice and a better braking stability, there are safety benefits to be made.

Title:	Can studded tyres reduce the number of single bicycle accidents? Friction measurements of bicycle tyres in the VTI tyre test facility
Author:	Mattias Hjort (VTI) Anna Niska (VTI)
Publisher:	Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI) www.vti.se
Publication No.:	VTI rapport 862
Published:	2015
Reg. No., VTI:	2012/0494-28
ISSN:	0347-6030
Project:	Studded bicycle tyres – a tool to reduce the number of single bicycle accidents during winter?
Commissioned by:	Länsförsäkringars Forskningsfond AB
Keywords:	Cycling, bicycle, tyres, winter, friction, slipperiness, slip curve
Language:	Swedish
No. of pages:	68

Förord

Det här forskningsprojektet har varit möjligt att genomföra tack vare finansiellt stöd från Länsförsäkringsbolagens forskningsfond. För det stödet är vi mycket tacksamma! Idén till projektet föddes i samband med att avdelningen INFRA vid VTI under en utvecklingsdag 2011, diskuterade alternativ användning av våra mätutrustningar. Vi föreslog då att däckprovsningsanläggningen ”långa banan” skulle anpassas för tester av cykeldäck. Idén uppskattades och vi fick ett internt uppdrag att utreda vad som skulle krävas för att förverkliga idén och vad den tänkbara nyttan skulle vara. Uppdraget resulterade i en ansökan till Länsförsäkringsbolagens forskningsfond som sedan beviljades och projektet påbörjades under våren 2013.

Förutom resultaten från de försök som genomförts i forskningsprojektet, har vi i den här rapporten inkluderat några av resultaten från det interna uppdraget, eftersom de inte publicerats tidigare men ger värdefull bakgrundsinformation till projektet.

Anna Niska har varit projektledare, Mattias Hjort huvudansvarig för genomförande och analyser av friktionsmätningar. Ett flertal personer har varit involverade i planering, ombyggnad och driften av långa banan: Håkan Vångenbrant, Roland Jacobsson, Harry Sörensen, Arne Johansson, Stefan Svensson, Stig Englundh och Lars-Erik Gustavsson. Ett stort tack till alla som medverkat!

Till projektet har en referensgrupp varit knuten för att fungera som ”bollplank” till projektgruppen och säkerställa att projektet fokuserar på det som efterfrågas av uppdragsgivaren och andra mottagare. Följande personer har ingått i referensgruppen: Lars Darin och Lars Prästings, Trafikverket; Björn P. Arvidsson, Team Haga Cykel; Krister Isaksson, Sweco och Krister Spolander, Trampkraft. Vi tackar referensgruppen för värdefulla synpunkter under projektets gång!

Linköping, mars 2015

Anna Niska
Projektledare

Process för kvalitetsgranskning

Granskningsseminarium genomfört den 15 april 2015 där Alex Klein-Paste, NTNU, var lektor. Författarna har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus. Forskningschef Anita Ihs har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering den 28 maj 2015. De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarens/författarnas egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning.

Process for quality review

Review seminar was carried out on April 15 2015 where Alex Klein-Paste, NTNTU, reviewed and commented on the report. The authors have made alterations to the final manuscript of the report. The research director Anita Ihs examined and approved the report for publication on May 28 2015. The conclusions and recommendations expressed are the author's/authors' and do not necessarily reflect VTI's opinion as an authority.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	9
Summary	11
1. Inledning	13
1.1. Bakgrund	13
1.2. Syfte	13
1.3. Avgränsningar	14
2. Metod	15
2.1. Faktainsamling	15
2.2. Friktionstester i långa banan	15
2.2.1. Beskrivning av mätanläggningen, ”långa banan”	15
2.2.2. Anpassning av ”långa banan” för test av cykeldäck	19
2.2.3. Inställningar av parametrar och kontroller innan däcktesterna	21
2.2.4. Val av däck och genomförande av däcktester	21
3. Historik och fakta kring dubbdäck för cykel	26
3.1. Utvecklingen av cykeldäck	26
3.1.1. Dubbdäck för cykel	26
3.2. Forskningsbehovet vad gäller cykeldäck	27
4. Resultat från friktionstester i långa banan	29
4.1. Tester med vertikalt stående hjul – utan cambervinkel	29
4.1.1. Bromsfriktion	29
4.1.2. Bromsstabilitet	31
4.1.3. Styrfriktion	31
4.2. Tester med lutande hjul – med cambervinkel	32
4.3. Tester med olika lufttryck i däcken	33
5. Diskussion	35
5.1. Praktisk betydelse av resultaten från mätningarna	35
5.2. Jämförelse med resultat från andra studier	36
5.3. Dubbdäckens möjlighet att bidra till att minska antalet cykelolyckor	38
5.4. Fortsatta studier	38
5.4.1. Ytterligare tester i långa banan	38
5.4.2. Rullmotstånd	40
5.4.3. Stabilitetstester	41
5.4.4. Övrigt	42
6. Slutsatser	43
7. Rekommendationer	44
Webbsidor	46
Personliga kontakter	46
 Bilaga 1 – Beskrivning av de testade cykeldäcken	 47
Bilaga 2 – Mätserier från däckprovsningsanläggningen	51
Utan cambervinkel	51

Rak bromsning	51
Ren styrning, 5 graders vinkel	52
Inverkan av olika däcktryck.....	53
Med cambervinkel 10 grader	54
Rak bromsning	54
Ren styrning 5 graders vinkel med cambervinkel 10 grader.....	55
Bilaga 3 – Alla jämförande diagram	59
Bromsprestanda utan cambervinkel.....	59
Styrprestanda utan cambervinkel.....	62
Bromsprestanda med cambervinkel.....	64
Styrprestanda med cambervinkel.....	67

Sammanfattning

Kan dubbdäck på cykeln minska singelolyckorna? Friktionstester av cykeldäck i VTI:s stationära däckprovningsanläggning

av Mattias Hjort (VTI) och Anna Niska (VTI)

I det här forskningsprojektet har vi studerat variationen i det grepp på is som kan fås med olika typer av dubbdäck för cykel, i jämförelse med ett odubbade däck. Projektet har finansierats av Länsförsäkringsbolagens forskningsfond. Syftet med projektet har varit att ta fram en testmetod för att kunna bedöma det grepp på is som olika typer av cykeldäck ger och att genomföra inledande tester med några olika däck. Ett långsiktigt mål är att med hjälp av den framtagna testmetoden kunna ge underlag till informationskampanjer om dubbade cykeldäck till potentiella vintercyklister. Vi vill exempelvis kunna ge oberoende och evidensbaserad information om det väggrepp som kan fås på is med ett dubbat cykeldäck i jämförelse med ett odubbade, både vid bromsning respektive i kurvor. Hur lufttrycket i däck påverkar dess friktionsegenskaper, är ett annat exempel på vad vi vill kunna visa.

I denna undersökning har vi mätt cykeldäcks väggrepp på blank is, på ett plant underlag. Fyra olika dubbdäck för cykel har jämförts med två vanliga sommardäck, samtliga i dimensionen 28 tum. Mätningarna gjordes i VTI:s stationära däckprovningsanläggning ”långa banan”. Anläggningen består av en rörlig bana med drivsystem och en mätrigg med en stillastående men vridbar hjulupphängning. Konstruktionen gör det möjligt att under kontrollerade förhållanden mäta såväl broms- som styrkrafter för ett rullande hjul. I långa banan har tidigare testats både lastbilsdäck och personbilsdäck, men för att kunna testa cykeldäck krävdes en del ombyggnationer innan försöken kunde genomföras. Bland annat behövdes en ny konstruktion för hjulupphängning, pulsgivare och bromsanordning.

Hur stor skillnad i väggrepp som erhålls för olika däck beror starkt på isens egenskaper. I VTI:s däckprovningsanläggning kan is med likvärdiga egenskaper produceras dag efter dag, varför olika däck isfriktion kan jämföras för en önskvärd typ av is. För mätningarna i projektet har vi använt en is med temperaturen -3°C och en luftfuktighet på ca 50 procent. Lufttemperaturen har varierat mellan -1° till $+1^{\circ}\text{C}$. Detta ger en isyta med en friktion som påminner mycket om den i en ishall. En sådan is är hal, men den går att gå på utan att halka omkull. För dessa förhållanden kan vi sammanfattningsvis dra följande slutsatser av de mätningar vi hittills genomfört:

- Dubbade cykeldäck har generellt bättre isgrepp än odubbade.
- Dubbdäcken har avsevärt bättre bromsstabilitet än de odubbade, vilket inverkar positivt på den allmänna stabiliteten hos cykeln vid bromsning på is.
- Det kan vara stora skillnader i isgrepp mellan olika dubbdäck, men alla testade däck presterar bättre än odubbade cykeldäck.
- För bromsning med låst hjul uppmättes upp till 2,5 gånger högre friktion med dubbdäck jämfört med det odubbade referensdäcket. Bromssträcken blir då knappt hälften så lång och det går att applicera 2,5 gånger så stor kraft på bromsen utan att få sladd.
- Dubbdäcken producerar generellt större sidkraft vid styrning på isen jämfört med de odubbade. Vid lutning av cykeln (cambervinkel) så ökar skillnaderna mellan dubbat och odubbade, där upp till dubbla storleken på sidkraften genereras av några av dubbdäcken.

- Generellt uppnås en liten ökning av broms- och sidkrafter vid ett minskat däcktryck. Endast ett fåtal däck testades dock med olika däcktryck, och några mätningar visar att rätt däcktryck kan vara viktigt för att få ut optimal prestanda ur ett dubbdäck.
- Fler dubbar behöver inte innebära ett bättre isgrepp. Även gummiblandning och dubbutformning tycks ha en stor inverkan på isgreppet.

De inledande tester vi genomfört i det här projektet har besvarat en del av frågeställningarna kring dubbade cykeldäck. Testmetoden som tagits fram fungerar bra för jämförande tester, men hittills har endast ett begränsat antal tester genomförts. För att kunna dra mer generella slutsatser kring betydelsen av olika parametrar för väggreppet med ett cykeldäck, behövs mer omfattande studier som inbegriper olika däcktryck; fler typer av dubbdäck; odubbade vinterdäck; strumpor, snökedjor och liknande; flera ”individer” av samma däck; åldrade däck; odubbade däck av olika gummiblandning och/eller mönster, etc.

Den utvecklade testmetoden är mycket lovande, men jämförande fälttester med riktig cykel på isbana skulle ge ökad kunskap om hur stor vikt som ska läggas vid olika uppmätta parametrar. Därför föreslår vi att testerna i långa banan kompletteras med någon typ av stabilitetstester där rekryterade cyklister under kontrollerade former får cykla på ett isigt underlag med de däck som testats i långa banan. Förutom dessa tester behövs studier av däckens rullmotstånd. En uppdaterad version av VTI:s tidigare rullmotståndsvagn bör konstrueras för detta. Vagnen möjliggör jämförande studier av olika beläggningar vilket också borde vara av intresse för forskningsområdet.

Utifrån de resultat vi hittills fått fram kan vi konstatera att det är väl värt att rekommendera cyklister att använda dubbdäck vid cykling på vinterväglag. Med bättre grepp och bättre bromsstabilitet finns goda möjligheter till säkerhetsvinster vid vintercykling. Subventioneringar och/eller kampanjer med sänkta priser på dubbdäck, skulle kunna vara ett bra sätt att främja vintercyklingen och samtidigt minska olyckorna. Den relativt stora spridningen i isgrepp mellan olika typer av dubbdäck till cykel motiverar att det även för cykeldäck vore värdefullt med någon form av reglering av marknaden med standardmärkning, baserat på prestandatest. Det behövs åtminstone tas fram tydligare rekommendationer baserade på oberoende studier och inte enbart på användarnas erfarenheter. Rekommendationerna behöver vara målgruppsanpassade och anpassade efter typen av däck där exempelvis däcktrycket kan ha stor betydelse för att uppnå optimal prestanda.

Summary

Can studded tyres reduce the number of single bicycle accidents? Friction measurements of bicycle tyres in the VTI tyre test facility

by Mattias Hjort (VTI) and Anna Niska (VTI)

In this research project, the variation in ice grip of different bicycle tyres has been studied. Studded tyres specially designed for winter cycling has been compared to ordinary bicycle tyres. The project was financially supported by the research fund of Länsförsäkringar Alliance, and the main purpose was to define a useful methodology for comparing the ice grip of different bicycle tyres and to perform initial measurements. The long term objective is to set up recommendations to winter cyclists regarding bicycle tyres based on measurements performed according to the defined methodology. For example, we would like to give objective and evidence based information regarding the ice grip using a studded tyre compared to a non-studded tyre both when braking and steering. The influence of tyre pressure on friction performance is another subject in question.

The measurements were done on smooth slippery ice using two regular (non-studded) bicycle tyres and four studded tyres of different brands and models. The tests were carried out in the VTI tyre test facility (TTF). The TTF is a unique indoor flat track machine for tyre tests on ice or asphalt pavement. This construction enables measurement of frictional forces under controlled conditions both when braking and steering. The TTF has been used for several years when testing tyres for both passenger cars and heavy vehicles, but to be able to test bicycle tyres some modifications of the equipment were necessary. For example, a new construction for mounting the wheel in the test rig was needed as well as a new solution for braking and measuring retardation of the wheel encoder.

The friction forces between a tyre and an ice surface is highly dependent on the characteristics of the ice. Therefore, an ice surface condition that is as well specified and repeatable as possible is needed to be able to compare different tyres. The ice temperature is a major factor, and the TTF has been designed for accurately controlling that temperature to within less than a tenth of a degree Celsius. It is also important to control the air humidity, which is handled by an air dehumidifier. To represent slippery conditions in these tests, it was decided to use a smooth ice with a temperature of 3°C, and a humidity of around 50 per cent. The air temperature varied between 1°C and +1°C during the time of measurement. The resulting ice condition is comparable with that in an ice rink – which means a slippery surface but on which it is possible to walk on without slipping. Under these conditions, the following can be concluded based on the results from our study:

- Studded tyres improve the grip on ice compared to regular bicycle tyres.
- The braking stability of studded tyres is a lot better than that of regular, non-studded tyres – which positively influence the overall stability of the bicycle when braking on ice.
- There can be a great difference in grip on ice between different types of studded tyres, but all the tested tyres performed better than non-studded tyres.

- When braking with locked wheel the frictional forces measured, were up to 2.5 times higher with a studded tyre compared to the non-studded reference tyre. The braking distance will then be less than half and it will be possible to apply a braking force that is 2.5 times greater before the wheel starts slipping sideways.
- Studded tyres generally generate greater frictional forces when steering on ice compared to non-studded tyres. The differences between studded and un-studded tyres increase when tilting the bicycle (camber angle) – some of the studded tyres generated a steering force twice as high as the un-studded reference tyre.
- In general, a lower tyre pressure slightly increases braking and steering forces. However, only a few tyres were tested with varying tyre pressure. Some of the measurements indicated that an optimal tyre pressure might be necessary in order to achieve the best possible performance from a studded bicycle tyre.
- A larger number of studs is not necessarily related to a better grip on ice. Other tyre characteristics such as the rubber mixture, the tyre pattern and the placement of the studs also seems to have a great influence on the ice grip.

Some of the research questions regarding studded bicycle tyres have been resolved through the initial measurements performed within this project. The defined test method has proved to be suitable for comparing studies, but so far only a limited number of measurements have been performed. In order to produce more general conclusions, further studies are needed including additional types of studded tyres and also with varying tyre pressure. It would also be interesting to include measurements of un-studded winter tyres, tyres with varying rubber mixture, tyres of different age, snow chains etc. In addition to further measurements in the VTI tyre test facility, it would be valuable with some kind of braking and stability performance test with a real bicycle on icy conditions. Cyclist could be recruited to do full scale tests in an ice rink on a bicycle with different types of tyres. That would contribute in comprehending the importance of the different parameters measured when cycling during slippery conditions. These studies should be supplemented with research regarding the rolling resistance of different types of tyres on different road surface conditions, given its importance for the comfort and accessibility of cyclists.

Based on the results so far, cyclists should be recommended to use studded tyres when cycling during winter conditions. With an improved grip on ice and a better braking stability, there are safety benefits to be made. Subsidises or campaigns with lower prices on studded tyres, might be good ways to promote winter cycling and at the same time decrease the number of bicycle accidents. A regulation of the market seems to be prompted because of the difference in performance on ice between different types of studded tyres. There is at least a need for recommendations to cyclists based on objective performance tests rather than advice from personal and subjective experience only. These recommendations need to be adapted to the user group and also consider the type of tyre as, for example, the tyre pressure might have a great influence on the performance of the tyre.

1. Inledning

1.1. Bakgrund

Under senare år har det blivit ett allt större fokus på att försöka få folk att välja cykeln istället för bilen, när det är möjligt. De politiska motiven till en ökad cykling är naturligtvis trafikens miljöpåverkan, trängseln i storstäderna och folkhälsan. Samtidigt utgör cyklister sedan 2008 den största gruppen svårt skadade vägtrafikanter, ca en tredjedel av de trafikanter som skrivs in på sjukhus är cyklister (Socialstyrelsen patientregister). En analys av skadade cyklister registrerade i STRADA (Thulin och Niska, 2009) visar att i 18 procent av samtliga skadefall har halka, eller försämrat väggrepp, varit en bidragande omständighet. För singelolyckorna, vilka ligger bakom nästan 80 procent av skadefallen bland cyklister, har halka än större betydelse.

Under december till februari, är halka till följd av is eller snö den dominerande orsaken bakom cyklisternas singelolyckor, framförallt på cykelbanor (Thulin och Niska, 2009; Niska och Eriksson, 2013). Med en ökad dubbdäcksanvändning bland vintercyklister, skulle flera cykelolyckor antagligen kunna undvikas. I en gemensam strategi för Säkrare cykling till år 2020 (Trafikverket, 2014) har vinterdäck på cykel bedömts ha en potential att minska antalet allvarligt skadade cyklister med 15–20 procent. Den uppskattningen baseras på de halkolyckor bland cyklister som registrerats i STRADA. Några mer detaljerade studier kring hur många halkolyckor på is och snö som kan undvikas om cyklarna var utrustade med dubbdäck finns emellertid inte. Klart är ändå att många av de vintercyklister som har dubbdäck på sin cykel upplever att de ger tydligt bättre grepp på vinterväglag än vanliga cykeldäck (t.ex. Niska, 2007 och Niska, 2012). Studier som visar vilken friktionseffekt som kan fås med olika typer av dubbdäck skulle vara en bra grund för rekommendationer till cyklister, om hur de själva kan förbättra sin säkerhet.

Det kan vara svårt att veta vad man bör tänka på vid inköp av dubbade cykeldäck, eftersom det finns en uppsjö av olika märken, modeller och prisklasser. Exempelvis kan man undra om det är värt att satsa på ett dyrare däck än ett i en billigare prisklass. De rekommendationer som finns gällande dubbdäck på cykeln baseras i regel endast på användarnas erfarenheter och inte på några oberoende studier av däcken. Dessutom är den informationen i första hand riktad till personer som tävlings- eller motionscyklar och inte till den breda allmänheten som i huvudsak cyklar för att transportera sig. Det torde därför finnas en efterfrågan hos konsumenterna av oberoende evidensbaserad information om väggrepp för olika dubbdäck relativt odubbade däck till cykel. När det gäller bildäck så har märkningen för vinterdäck skärpts, och nu kommer ett prestandabaserat krav för vad som är ett tillåtet vinterdäck. Om det visar sig vara stor spridning i isgrepp mellan olika typer av dubbdäck till cykel skulle en reglering av marknaden med standardmärkning, baserad på prestandatest, kunna vara värdefullt även för cykeldäck.

1.2. Syfte

Syftet med det här forskningsprojektet är att studera variationen i det grepp på is som kan fås med olika typer av dubbdäck för cykel, i jämförelse med ett odubbade däck. Det huvudsakliga syftet är att ta fram en testmetod för att kunna göra den typen av studier och bedöma det grepp på is som olika typer av cykeldäck ger. Målet är att projektet ska ge underlag till informationskampanjer om dubbade cykeldäck till potentiella vintercyklister, som därmed har möjlighet att själva förbättra sin säkerhet vid cykling. Följande ”populära” frågeställningar har projektet som mål att besvara:

- Har dubbdäck på cykeln någon effekt på väggreppet på is?
- Hur stor är i så fall effekten vid bromsning respektive vid styrning (kurvtagning)?

- Ger dyrare dubbdäck för cykeln ett bättre grepp än de billigare?
- Hur påverkar lufttrycket i däckets dess friktionsegenskaper?

1.3. Avgränsningar

Detta är en begränsad studie, där vi dock försökt utnyttja tillgängligt utrymme till att göra så många tester som möjligt men ändå med god tillförlitlighet. Begränsningar gör att vi valt att inte beakta följande:

- För att kunna göra jämförelser mellan de olika däcken måste mätningarna vara repeterbara och därför gör vi endast mätningar på "slät is".
- Endast ett urval av de dubbdäck som finns på marknaden har testats och alltså har vi ingen fullständig överblick över den variation som kan finnas bland dubbade cykeldäck.
- Inga odubbade vinterdäck har testats i projektet.
- Endast cykeldäck av dimensionen 28 tum har ingått i studien.
- Vi har endast testat ett exemplar av varje däckstyp och vet därför inte vilken spridning i friktionsegenskaper som olika exemplar av samma typ av däck kan uppvisa.

I diskussionskapitlet utvecklar vi ytterligare betydelsen av de avgränsningar vi gjort i projektet.

2. Metod

2.1. Faktainsamling

Inför och under projektets gång har vi successivt samlat in och sammanställt fakta kring dubbade cykeldäck, dels för att få idéer till försöksupplägget och dels som underlag till diskussionerna av mätresultaten. Faktainsamlingen har baserats på litteraturstudier och sökningar i Google och på Wikipedia. Vi har också fört diskussioner i arbetsgruppen och med referensgruppen samt ställt frågor till däcktillverkare och andra kunniga inom området.

2.2. Friktionstester i långa banan

För att studera variationen i det grepp på is som kan fås med olika typer av dubbdäck för cykel, i jämförelse med ett odubbade däck, har vi använt oss av VTI:s stationära däckprovsningsanläggning, även kallad "långa banan" (se beskrivning i avsnitt 2.2.1). Utrustningen var inte byggd för att testa cykeldäck så det krävdes en del ombyggnationer innan testerna kunde genomföras (se avsnitt 2.2.2).

Efter ombyggnaden gjordes diverse testkörningar, kalibreringar och inställningar av parametrar innan de egentliga testerna genomfördes (se avsnitt 2.2.3). Ett testupplägg togs fram och däck till testerna valdes ut (se avsnitt 2.2.4).

Sammanfattningsvis, är det följande arbetsmoment som behövs för att kunna genomföra testerna med cykeldäck i långa banan:

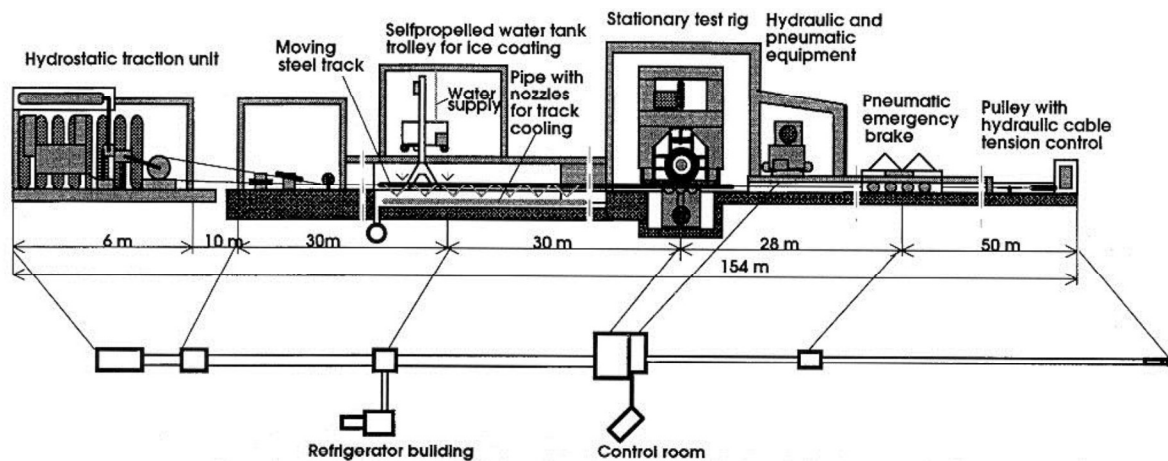
1. Bestämma standarddiameter som konstruktionen i första hand ska gälla för.
2. Göra konstruktion för hjulupphängning av cykelhjul.
3. Utveckla en lösning för infästning av pulsgivare så att snabba däckbyten kan ske.
4. Bestämma typ av bromsanordning – konstruera och montera.
5. Anpassa mjukvara till den nya konstruktionen och det planerade testförfarandet.
6. Välja parametrar, t.ex. däcktryck, anläggningstryck och hastighet.
7. Välja däck – inköp och inkörning.
8. Testkörningar och kalibreringar.

2.2.1. Beskrivning av mätanläggningen, "långa banan"

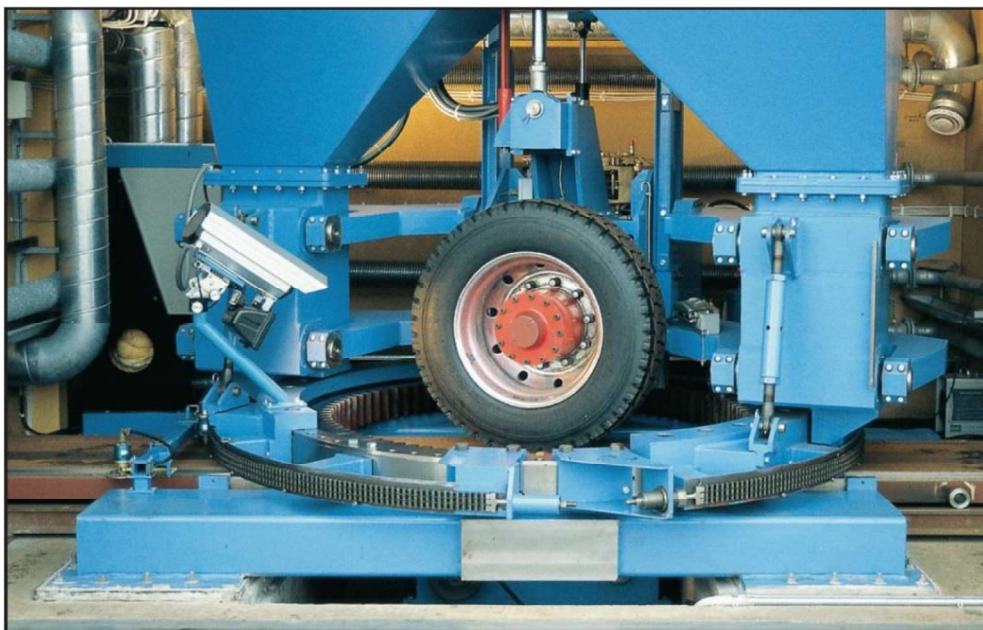
"Långa banan" är det populära namnet på VTI:s stationära däckprovsningsanläggning, som är speciellt framtagen för att mäta ett däckes friktionsegenskaper på is. Anläggningen består av en rörlig bana med drivsystem och en mätrigg med en stillastående men vridbar hjulupphängning (se Figur 1 och Figur 2). Hjulupphängningen är kopplad till ett kraftmätsystem för samtidig uppmätning av krafter mellan däck och vägbana i längsled, sidled och vertikalled. Vägbanan består av en rörlig 55 meter lång isbelagd stålbalk som drivs och bromsas av ett hydraulmotor-drivet ställinspel. Konstruktionen gör det möjligt att under kontrollerade förhållanden mäta såväl broms- som styrkrafter. En mer detaljerad beskrivning av långa banan finns i VTI särtryck nr 220 (Nordström, 1994).

En central uppgift vid däcktester i långa banan är att få till en "standardiserad isbeläggning" på stålbalken, för att kunna göra rättvisa jämförelser mellan de olika däck som testas. Till skillnad mot asfaltbeläggningar som finns specificerade inom ISO-standarder, finns egentligen ingen officiell standardiserad isbeläggning. Med en "standardiserad isbeläggning" menar vi här en så väl specificerad och repeterbar isyta som möjligt. Många års erfarenheter av däcktester i långa banan har visat att det inte är enkelt att få till en sådan yta. För det första har temperaturen en

stor betydelse för isens beskaffenhet. Därför är långa banan konstruerad så att temperaturen kan kontrolleras med en noggrannhet på en tiondels grad Celsius. Även luftfuktigheten behöver vara konstant, vilket åstadkommes med hjälp av en luftavfuktare. Isbeläggningen byggs upp genom att vid upprepade tillfällen applicera ett tunt lager vatten ovanpå stålbalken, tills isen nått en tjocklek på ungefär 2 mm. Under denna process hålls temperaturen på stålbalken på -13°C och vattentemperaturen på 20°C . Isbeläggningen tillverkas på kvällen innan mätningarna och efter varje mätdag tillverkas en ny isyta till följande dags mätningar. Det är mycket viktigt att den gamla isbeläggningen på detta sätt tas bort och ersätts av en ny, eftersom åldring av isen har visat sig påverka friktionen.



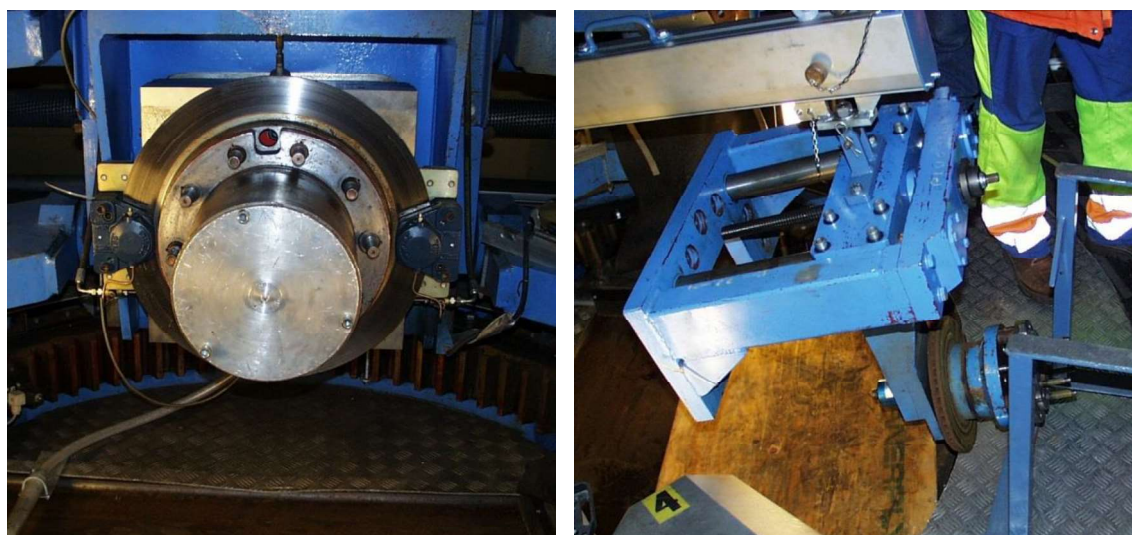
Figur 1. Översiktsbild av VTI:s däckprovvningsanläggning. Källa: VTI notat 58-2005.



Figur 2. Ursprunglig mätrigg i VTI:s däckprovvningsanläggning. Källa: VTI notat 58-2005.
Foto: Olle Nordström.

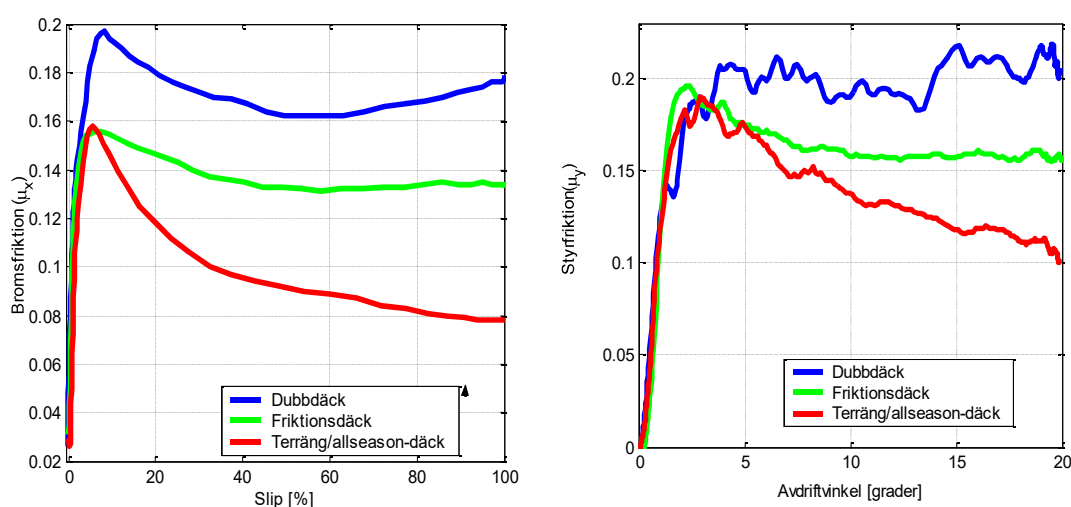
I långa banan har tidigare testats såväl lastbilsdäck som personbilsdäck, och mät hjulet har två olika hjulnav beroende på vilket, se Figur 3. I varje hjulnav sitter en pulsräknare som används för att mäta hjulets rotationshastighet, vilket i sin tur ger ett värde på hjulslipet under bromsförloppet. Slip är ett mått på graden av hjullåsning, där 0 procents slip motsvarar ett

obromsat frirullande hjul, och 100 procents slip motsvarar ett fullständigt låst hjul. Vid mätning av ett däcks bromsegenskaper på is i långa banan bromsas hjulet successivt från 0 till 100 procents slip för att erhålla en friktionskurva som beskriver däckets friktionsvärde för hela slipområdet. En pulsgivare som mäter hjulets hastighetsändring vid bromsning är alltså nödvändig för tester i långa banan. För att kunna genomföra mätningar av cykeldäck i långa banan behövdes en helt ny lösning för hjulupphängning och pulsräknare och dessutom en separat bromsanordning (se avsnitt 2.2.2).



Figur 3. De två olika hjulnav som tidigare används i däckprovsningsanläggningen. Lastbilsnav till vänster och personbilsnav till höger. Foto: Mattias Hjort.

För jämförelser av olika däck mäts vanligtvis bromsning med rakt hjul, samt rena styrtester utan bromsning där hela mättriggen roteras, vilket skapar en avdriftvinkel för hjulet. Denna varierar mellan noll grader upp till ett värde som motsvarar ett sladdförlopp, vanligtvis mellan 10 till 20 grader. Detta genererar så kallade slipkurvor – typiska sådana för personbilsdäck visas i Figur 4.



Figur 4. Typiska friktionskurvor på slät is för olika typer av personbilsdäck. Till vänster visas bromsfriktionen som funktion av slipet, och till höger styrfriktion som funktion av avdriftvinkeln. Källa: Hjort, 2005.

Slipkurvorna visar hur friktionskrafterna varierar med mängden pålagd broms (slip) samt pålagd styrvinkel. En friktionskraft verkar rakt motsatt rörelseriktning, och det är vanligt att dela upp kraften i två komponenter: en kraft i hjulets riktning och en vinkelrätt mot hjulets riktning. Vid raka bromstester verkar friktionskrafterna i hjulriktningen och vid styrtester huvudsakligen vinkelrätt mot hjulet, så kallad sidkraft. Ofta divideras friktionskrafterna med den pålagda hjullasten vilket ger så kallad normerad friktionskraft, eller kort och gott friktionstal. I denna rapport avser bromsfriktion den normerade bromskraften mätt vid rak bromsning, och styrfriktion den normerade sidkraft som uppstår vid en pålagd avdriftvinkel.

Som framgår av den vänstra grafen så finns ett tydligt maximum när det gäller bromskraften. Denna brukar på slät is inträffa vid ca 10 procent slip. Om ytterligare bromsmoment läggs på bromsarna kommer slipet att öka och friktionskraften kommer då att minska. Detta leder ofrånkomligen till hjullåsning, vilket för odubbade däck innebär en markant minskning av bromskraften. Som framgår av figuren så är det stor skillnad mellan olika typer av däck. Ett allseason-däck kan ibland generera lika stor maximal bromskraft som ett renodlat odubbade vinterdäck (friktionsdäck), men förlorar väldigt mycket mer av bromskraften vid hjullåsning. Dubbdäck tappas normalt mindre bromskraft vid hjullåsning då dubbarna river i isen. Den största faran med att låsa hjulen vid inbromsning är dock inte att bromssträckan blir längre, utan att förmågan att generera sidkraft vid pålagd avdriftvinkel försvinner. Om framhjulen låser vid inbromsning innebär det att styrförmågan försvinner, och om bakhjulen låser så blir fordonet instabilt och börjar rotera, en så kallad sladd.

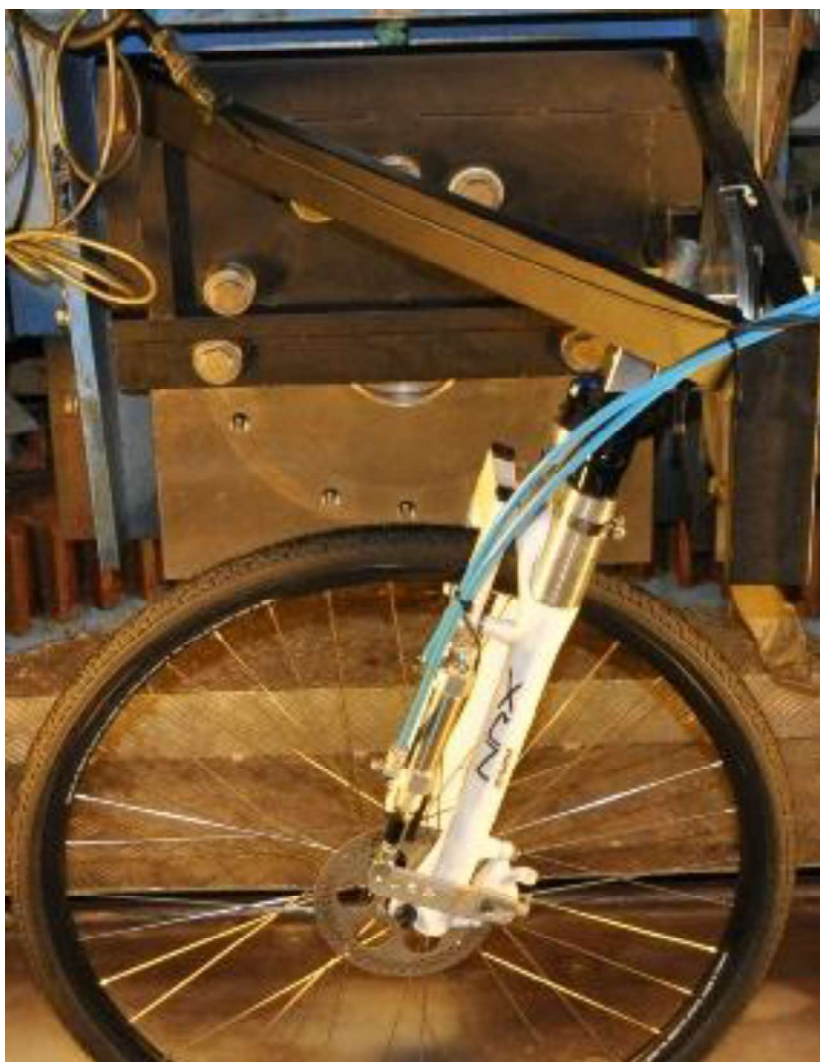
Låsningfria bromsar (ABS) har för person- och lastbilar minskat problemen med hjullåsning och skillnaderna mellan däcken blir därför inte lika tydliga vid inbromsning som utan ABS-bromsar. Ett däck som förlorar stora delar av sin maximala friktion vid låsning medför dock en större utmaning för systemet att hantera, och leder till en minskning av prestanda. Ett viktigt mått vid jämförelse av olika däck är därför den så kallade bromsstabiliteten, vilken definieras som kvoten mellan bromskraft vid låst hjul och den maximala bromskraften. Ju högre bromsstabilitet, desto bättre förutsättningar har ABS-systemet. Från en studie av isgrepp för olika typer av vinterdäck till personbilar, med liknande is som för denna cykelstudie, är bromskraften vid låst hjul på slät is i genomsnitt 3 gånger så stor för dubgade vinterdäck som för typiska sommardäck. För odubbade vinterdäck av centraleuropeisk typ var motsvarande relation 2 gånger och för odubbade vinterdäck av nordisk typ, ca 2,5 gånger (Hjort och Bruzelius 2015). För cyklar så finns dock inga låsningsfria bromsar och både maximal bromskraft samt bromskraft vid låst hjul är värda att studera, liksom bromsstabiliteten.

I den högra grafen i Figur 4 visas sambandet mellan sidkraft (kraften lateralt mot hjulets riktning) och hjulets avdriftvinkel. Denna kurva påminner om den för bromskraften. Odubbade däck har normalt ett tydligt maximum för en avdriftvinkel på 2 till 3 grader, och en ökning av vinkeln leder till minskad sidkraft. För dubgade däck finns normalt ingen sådan minskning upp till 20 grader, då dubbarna genererar sidkraft oavsett avdriftvinkel. Det bör påpekas att en personbil normalt har en utväxling på 16 gånger mellan hjulvinkel och rattvinkel, så 3 graders avdriftvinkel motsvarar här ca 50 graders rattvinkel. För cyklar finns dock ingen sådan utväxling vilket innebär att maximal sidkraft borde inträffa för väldigt små styrvinklar. Det är därför troligt att för en cyklist på is är det väldigt svårt att anpassa styrningen för maximal styrkraft, och sidkrafterna vid något större styrvinklar borde därför vara mer relevanta för jämförelse mellan de olika däcken. I denna studie fick vi begränsa oss till 5 graders avdriftvinkel för cykelhjulen för att hinna med både bromsning och styrning under samma mätning. Vi har därför valt sidkraften vid 5 grader som mått på styrprestanda för däcken.

2.2.2. Anpassning av "långa banan" för test av cykeldäck

2.2.2.1. Hjulupphängning

Först och främst behövdes en ny upphängningsanordning för att kunna montera cykelhjulet i den ursprungliga mättriggen till långa banan (se Figur 6). Vi resonerade oss fram till att den bästa lösningen var att köpa en färdig framgaffel som cykelhjulen sedan enkelt kan monteras i. För att underlätta testförfarandet konstaterade vi att de däck som ska studeras behöver vara färdigmonterade på fälgar, så att hela hjulen byts ut mellan respektive test. För att kunna montera framgaffeln i den ursprungliga mättriggen till långa banan konstruerades ett särskilt stativ för detta (se Figur 5).

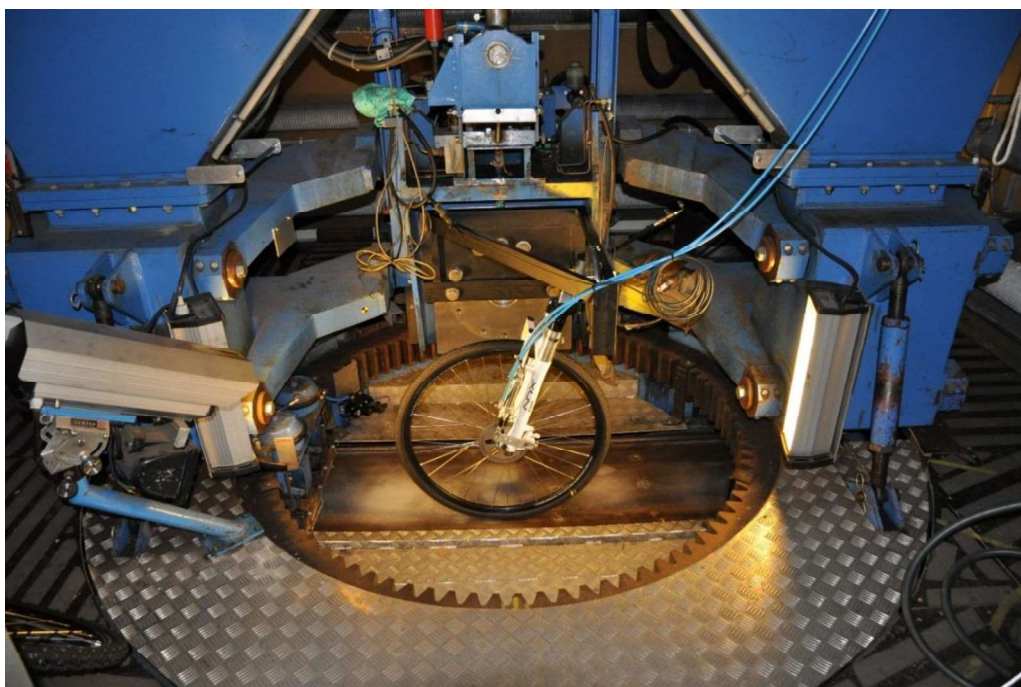


Figur 5. Det nya hjulnav som konstruerades för cykeldäcksmätningarna i långa banan. Foto: Mattias Hjort.

Framgaffeln monteras längs en skena på stativet, vilket gör det möjligt att flytta cykelhjulet i sidled mellan mätningarna. Denna konstruktion gör det möjligt att mäta i olika longitudinella "spår" tvärs mätbalken. Vi ville undvika att i de upprepade testerna köra med cykeldäcket i samma spår på isytan, eftersom en körning med dubbdäck sliter på isen och påverkar dess egenskaper, vilket i sin tur kan påverka mätresultaten.

Stativet var också konstruerat så att cykelhjulet kunde ställas i en vinkel i förhållande till underlaget, så kallad "cambervinkel" (se även Figur 7 i avsnitt 2.2.4). Liksom vid tester med

bil- och lastbilsdäck vrids hela mätriggen automatiskt under en mätning så att även styrkrafterna kan mätas.



Figur 6. Långa banan anpassad för mätning av cykeldäck. Foto: Mattias Hjort.

2.2.2.2. *Bromsning*

Ytterligare en anpassning av långa banan som var nödvändig, var att konstruera en specifik bromsanordning för cykelhjulet. En utmaning var att inte bromsa cykelhjulet för snabbt, utan att få en mjuk inbromsning så att en slipkurva för hela slipområdet kan erhållas från mätningen. Tidigare studier med bildäck har visat att det är viktigt att bromskraften inte appliceras för snabbt i sådana här tester, för att ett riktigt värde på friktionsmaximum ska kunna erhållas. För personbilsdäck uppnås friktionsmaximum normalt vid ca 10 procent slip (0 procent motsvarar ett obromsat frirullande hjul och 100 procent motsvarar ett låst hjul).

Vi valde slutligen en skivbroms kopplad till en pneumatisk cylinder som möjliggjorde en automatisk bromsning under mätförloppet. Denna lösning var något mer komplicerad än exempelvis en manuell bromsning med fälgbroms, men innebar en större noggrannhet och repeterbarhet av den anlagda bromskraften.

2.2.2.3. *Pulsgivare*

Eftersom det krävdes en helt ny upphängningsanordning för cykelhjulen, behövdes också en ny lösning med pulsgivare för att kunna mäta hastighetsändringen på cykelhjulet under mätning. Olika lösningar diskuterades och vi landade slutligen i att välja en optisk pulsgivare, vilket var möjligt genom att ha en perforerad bromsskiva monterad i cykelnnavet. En optisk pulsgivare ger ingen extra friktion vilket är en fördel vid tester med cykeldäck då det är relativt små krafter som ska mätas. Vidare kunde givaren placeras på framgaffeln istället för att sättas fast i fälgen. Varje däck kunde då monteras på egen fälg, vilket medgav snabba däckbyten.

Med ett nytt hjul och en ny konstruktion av pulsmätare var det också nödvändigt med ett särskilt datorprogram/mjukvara för att kunna göra tester av cykeldäck. Programmet styr mätförloppet med automatisk bromsning och styrning av hjulet vid förutbestämda lägen längs mätbalken. Programmet registrerar också hjulhastighet, balkhastighet samt de krafter som verkar mellan däck och vägbanan i längsled, sidled och vertikalled, uppmätt av långa banans kraftgivare.

Förstärkningen av de krafter som kraftgivaren mäter behövde också ökas en faktor hundra jämfört med de tidigare inställningar som använts för personbilsdäck och lastbilsdäck. Detta eftersom krafterna på ett cykelhjul är betydligt mindre än för bilar och lastbilar. En ny kalibreringsutrustning tillverkades för att kunna applicera tillräckligt små krafter vid kalibrering. Vidare undersöktes den drift som kraftgivare av det slag som används i långa banan (piezoelektriska givare) är behäftad med. Omfattande mätningar visade att det förekommer en drift av uppmätt kraft i sidled. Denna drift är dock relativt liten, och dessutom linjär i tiden, och är därför möjlig att kompensera för i efterhand.

2.2.3. Inställningar av parametrar och kontroller innan däcktesterna

Innan mätning, behöver man ställa in följande parametrar:

- lufttryck i däck
- anläggningstryck mot ytan, dvs. hjullast
- hur snabbt bromskraften ska appliceras
- banans hastighet
- isens temperatur.

Lufttrycket i däck valdes till 4,5 bar som standard för alla däck. För några däck testades även några lägre däcktryck (se vidare avsnitt 2.2.4).

Hjullasten kan i långa banan ställas in med ett halvt kilos noggrannhet. Lasten på cykelns framhjul är normalt ungefär hälften av totalvikten av förare plus cykelvikt. Under bromsning på hög friktion flyttas en del av lasten på bakhjulet över till framhjulet. På is är lastförflyttningen betydligt mindre, och vi ansåg det rimligt att använda en hjullast motsvarande 40 kg. Vanligtvis används betydligt större krafter vid däckmätningar i långa banan. För att kunna registrera de relativt små krafter som genereras vid tester av cykeldäck, kompletterades mätsystemet med en förstärkare. Vi gjorde ett flertal kalibreringstester innan de faktiska försöken och justerade därefter inställningar i mätsystemet för att kunna erhålla korrekta mätvärden.

Hur snabbt bromskraften appliceras justeras med en variabel luftventil. Innan mätningarna påbörjades gjordes utförliga tester för att hitta en lämplig inställning som resulterar i ett lagom snabbt bromsförlopp.

Vid tester med bildäck körs banan vanligtvis vid en hastighet av 30 km/h. I långa banan kan hastigheten regleras med stor noggrannhet. Vid test av cykeldäck ansåg vi att 18 km/h (5 m/s) var den mest lämpliga hastigheten med tanke på att det motsvarar "normal cykelhastighet".

Isens temperatur valdes till -3°C. Detta är den istemperatur som vi normalt använder vid tester i långa banan. Det ger en isyta med en friktion som påminner mycket om den i en ishall. En sådan is är hal, men den går att gå på utan att halka omkull.

2.2.4. Val av däck och genomförande av däcktester

De olika däcken till friktionstesterna valdes ut genom att vi som "tänkta köpare" sökte produktinformation i butiker, hos cykelhandlare och på hemsidor på nätet. Detta gjordes i oktober 2013, innan vintersäsongen. I valet av dubbdäck strävade vi efter att däcken skulle representera olika modeller från olika tillverkare, olika antal dubb och olika prisklass. Vi samarbetade med en lokal cykelhandlare som kunde erbjuda ett flertal olika märken av dubbdäck och införskaffade också två typer av vanliga, odubbade sommarcykeldäck, för jämförande tester. Endast cykeldäck av en "standarddimension" på 28 tum ingick i försöket. Betydelsen av att göra friktionsmätningar även med andra typer av däck och i andra dimensioner diskuteras i avsnitt 5.4.1.1.

Vid försök med bildäck används alltid ett referensdäck för att emellanåt kontrollera isens egenskaper och vi valde i detta fall att ha ett odubbbat cykeldäck som referensdäck. Vi valde att också inkludera ett annat odubbbat cykeldäck bland testdäcken. I Tabell 1 listas de däck som ingick i friktionstesterna. Fotografier och ytterligare information återfinns i bilaga 1. För att underlätta testförfarande införskaffade vi också fälgar till var och ett av de sex olika däcken. Antalet däck begränsades av det praktiska upplägget, dvs. vi valde så många däck som vi ansåg var möjligt att hinna med under det planerade testförfarande. Ursprungligen hade vi tänkt att testa två exemplar av varje specifikt dubbdäck. Detta fick dock revideras efterhand som projektet fortlöpte och vi närmare undersökt hur många tester som var möjligt att genomföra på samma is innan den behövde nyläggas. Vi valde då att prioritera så många olika däck som möjligt i denna första undersökning.

Tabell 1. Beskrivning av de däck som användes vid friktionstesterna i långa banan. De däcktryck som anges i tabellen är rekommenderat tryck enligt märkningen på däcken, eller min- och maxtryck i de fall ett intervall anges.

ID	Däckbeskrivning	Märke/modell	Antal dubb	Rek. däcktryck
O1	Odubbbat testdäck (referensdäck)	Cheng Shin	0	3,4 - 5,1 bar
O2	Odubbbat testdäck	Schwalbe Active Citizen	0	2,6 - 5,0 bar
H1	Billigt halvdubbatt däck	Biltema	158	4,8 bar
H2	Dyrare halvdubbatt däck	Suomi Tyres Hakkapeliitta W106	106	4,5 bar
F1	Dyrare fulldubbatt däck	Suomi Tyres Hakkapeliitta W240	240	4,5 bar
F2	Dyrare fulldubbatt däck	Schwalbe Marathon Winter	240	2,0 – 5,0 bar

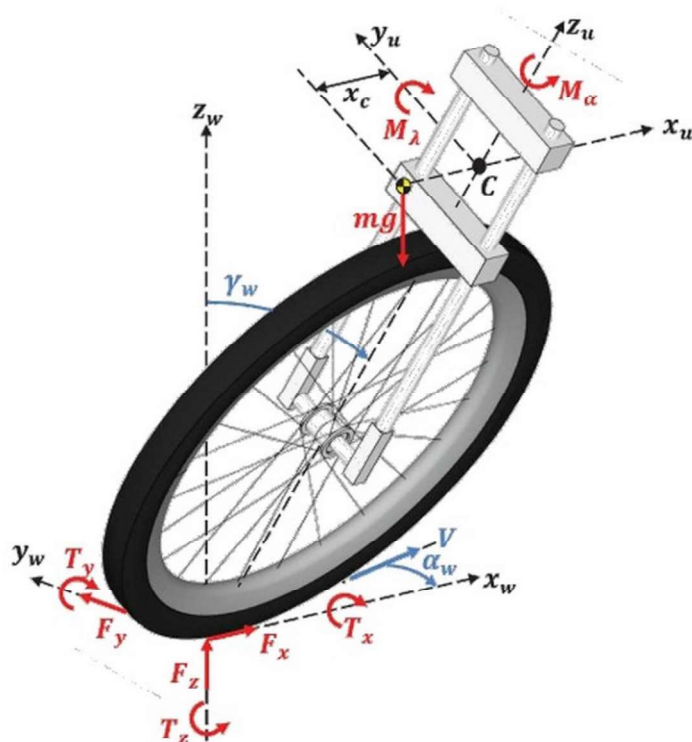
Precis som personbilsdäck så har nya cykeldäck en tunn plastig hinna som behöver slitas ned innan däcken ger det tänkta greppet. Därför körs alla däck in en viss sträcka på asfaltväg innan tester. För tester med dubbade personbilsdäck så är avsikten med inkörningen också att dubben ska fästas ordentligt i däcken. För personbilsdäck bör nya dubbdäck köras på barmark upp till 100 mil innan kraftigare inbromsning kan göras utan att tappa dubb. I vilken omfattning en liknande inkörning av dubb också är nödvändig för cykeldäck vet vi inte med säkerhet. Cykelhandlaren rekommenderade dock att däcken skulle köras in på asfalt i ungefär 2 mil inför våra tester. För detta ändamål, rekryterade vi därför cyklister som ”körde in” de införskaffade däcken i minst 2 mil. Vi köpte och körde in två däck av varje modell, men använde sedan endast ett av exemplaren i själva testerna.

Testerna av de olika cykeldäckens friktionsegenskaper på is i ”långa banan” genomfördes under tre dagar. Testerna gjordes på en slät isbeläggning med en temperatur på -3°C och vid en luftfuktighet på 50 procent. Trots samma temperatur och luftfuktighet, kan isens beskaffenhet variera från dag till dag och vid olika tidpunkter. Därför testades samtliga däck under alla de tre testdagarna, men med olika inbördes ordning (se testschema i Tabell 2). I början, i mitten och i

slutet av varje testdag gjordes mätningar med referensdäcket för att kontrollera isens egenskaper. Innan testdagarna gjordes också en del förberedande försök under en heldag. Här fastställdes vilka inställningar som skulle göras för att få ett lagom snabbt bromsförlopp. Vidare undersöktes om det fanns någon inverkan av olika spårval, samt repeterbarhet för mätningarna. Spårvalet visade sig i viss mån kunna påverka mätresultatet och därför valdes olika spår för varje mätning med samma däck, se Tabell 3.

För varje däcktest mätte vi både *bromsfriktion* respektive *styrfriktion*, såväl maximala värden (peak) på friktionen som värden på friktionen vid fullt låst hjul erhöles. Bromsfriktionen mäts genom att från frirullande hjul gradvis applicera ett ökat bromsmoment till dess att hjulet låser. Detta förlopp bör ta minst en halv sekund för att maximal bromsfriktion ska hinna utvecklas. Styrfriktionen mäts genom att hjulet sakta vrids till 5 graders hjulvinkel, vilken sedan bibehålls någon sekund. Med styrfriktion menas den friktion som verkar i sidled (vinkelrätt mot hjulets riktning) när en hjulvinkel appliceras. Styrfriktionen vid 5 graders vinkel är det mått som vi använt för utvärdering av stymprestanda.

Först gjordes mätningar med ett helt vertikalt stående hjul och sedan med ett något lutande hjul, dvs. med en cambervinkel (se Figur 7). Detta för att studera friktionsegenskaperna som motsvarar cykling rakt fram respektive i kurva där cykeln lutas något. I dessa tester valde vi en cambervinkel på 10 grader. Den maximala lutningen av en cykel, utan att pedalen slår i marken och som de flesta cyklisterna klarar av är 25 grader (Shepherd, 1994).



Figur 7. Principskiss av cambervinkel (γ_w) vid lutning av ett cykelhjul. Källa: Wijlens, 2012.

Efter varje mätning med ett dubbdäck, bytte vi spår på isen på balken i långa banan genom att flytta cykelhjulet något sidledes. Konstruktionen av mättriggen och bredden på balken gjorde det möjligt att mäta i sju olika spår tvärs balken. Detta gjordes för att förutsättningarna mellan de olika mätningarna skulle vara så lika som möjligt, dvs. så att alla mätningar görs på "örörd is". Vid körningar med dubbdäck rivs isen upp och underlagets friktionsegenskaper kan därmed påverkas. Det gick inte att konstruera ett helt balanserat mätschema med avseende på de olika spåren, och det gick inte alltid att undvika att två mätningar med dubbade däck utförs i samma spår. Testschemat i Tabell 2 och Tabell 3 ansågs vara den bästa kompromissen.

Vid däcktesterna valde vi ett lufttryck på 4,5 bar, som standard. Vi valde det högsta gemensamma däcktrycket för de utvalda däcken som låg under maxtryck enligt tillverkarnas rekommendationer (se Tabell 1). Avslutningsvis under varje mättag mätte vi lufttryckets inverkan på friktionsegenskaperna, för de däck som då var monterat i långa banan, dvs. ett dubbat däck med 240 dubbar (F2), det odubbade referensdäcket (O1) samt ett dubbat däck med 106 dubbar (H2). De olika lufttryck vi studerade var sänkningar från 4,5 bar till 3,0 bar respektive 1,5 bar.

Tabell 2. Testschema vid friktionstesterna i långa banan under de tre mättagarna.

Dag 1		Dag 2		Dag 3	
Däck	Spår	Däck	Spår	Däck	Spår
REF	7	REF	7	REF	7
REF	7	REF	7	REF	7
REF	7	REF	7	REF	7
O1	5	F2	1	F1	1
H1	1	O2	5	F2	3
F1	2	H2	2	O2	2
H2	3	F1	3	H1	2
O2	6	H1	4	O1	1
F2	4	O1	6	H2	4
REF	7	REF	7	REF	7
REF	7	REF	7	REF	7
Cambervinkel 10 grader		Cambervinkel 10 grader		Cambervinkel 10 grader	
O1	5	O2	5	H1	5
O2	6	O1	6	F1	6
H1	6	F2	5	O1	4
F1	5	H2	6	O2	7
REF Rakt!	7	F1	4	H2	4
H2	7	REF Rakt!	7	REF Rakt!	7
F2	4	H1	7	F2	7
Olika lufttryck. Rakt		Olika lufttryck. Rakt		Olika lufttryck. Rakt	
F2: 1.5 bar	1	O1: 1.5 bar	1	H2: 1.5 bar	1
F2: 3.0 bar	2	O1: 3.0 bar	2	H2: 3.0 bar	2
F2: 4.5 bar	3	O1: 4.5 bar	3	H2: 4.5 bar	3

Tabell 3. Spårval för de olika däckten.

Däck	Utan camber			Med camber		
	Dag 1	Dag 2	Dag 3	Dag 1	Dag 2	Dag 3
O1	5	6	1	5	6	4
O2	6	5	2	6	5	7
H1	1	4	2	6	7	5
H2	3	2	4	7	6	4
F1	2	3	1	5	4	6
F2	4	1	3	4	5	7

3. Historik och fakta kring dubbdäck för cykel

3.1. Utvecklingen av cykeldäck

Ordet cykel är en förkortning av äldre bicykel som betyder tvåhjulning (Nationalencyklopedin, 1990). Den första tvåhjulningen var helt gjord i trä och uppfanns av *de Sivrae*, år 1790 i Paris. På denna sparkade man sig fram och det gick inte att vrida på framhjulet. Det dröjde till 1816 innan cykeln, genom tysken *Karl Drais von Sauerbronn*, fick ett vridbart framhjul som gjorde det möjligt att styra och bättre hålla balansen. Det definitiva genombrottet för cykeln kom då *J.K. Starley* började tillverka ”säkerhetscykeln” Rover, 1855. Den hade i allt väsentligt samma huvuddrag som den moderna cykeln: ram av tunna stålrör, två lika stora hjul med radiellt fastsatta tunna ekrar, kedjedrift av bakhjulet och styrbart framhjul samt kullagrade axlar.

Det luftfyllda gummidäcket patenterades redan 1845, men kom till användning först sedan det återuppfanns 1888 av John Dunlop (Nationalencyklopedin, 1990). Däckets funktion är bland annat att ge grepp mot underlaget, dämpa vibrationer och skydda hjulet mot slitage (Wikipedia, 2012). Det är vanligast med luftfyllda däck men däck kan även vara fyllda med till exempel vätska eller vara solida. Cykeldäck är oftast försedda med en luftfylld innerslang.

De vanligaste dimensionerna på cykelhjul – och därmed också på däcken – är på nya cyklar: 507 mm (24 tum), 559 mm (26 tum) och 622 mm (28 tum) i diameter. För mindre cyklar som barncyklar eller minicyklar finns även mindre dimensioner.

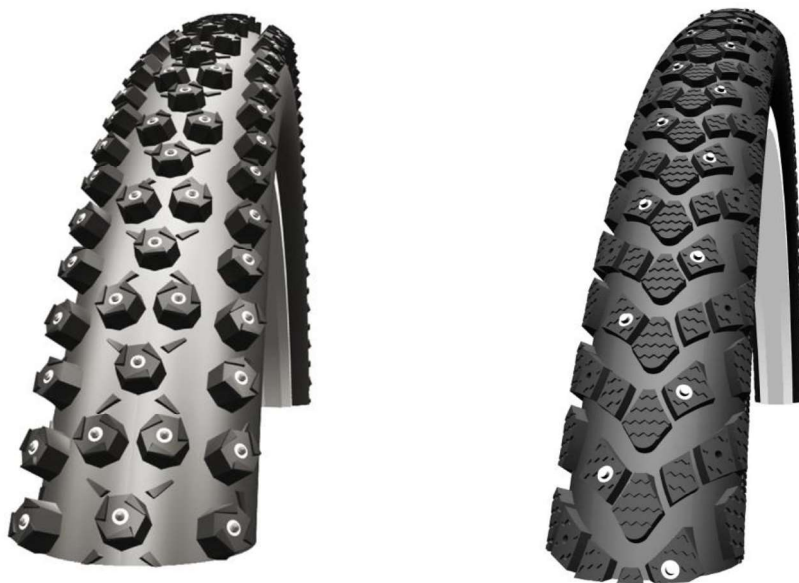
3.1.1. Dubbdäck för cykel

Användningen av dubbdäck på cykeln har ökat under senare år i och med att vintercykling blivit mer populärt. Hur stor dubbdäcksanvändningen är, finns det dock inga tillförlitliga siffror på. Enligt en enkätstudie i Luleå och Linköping som VTI genomförde 1999, var det då knappt 4 procent av de svarande som angav att de utrustade cykeln med dubbdäck (Bergström, 1999). I Umeå har man i andra, senare studier (Niska, 2007 och Niska, 2012), kunnat se en mer frekvent dubbdäcksanvändning – uppemot var femte vintercyklande Umeåbo tycks använda dubbdäck på cykeln. Enligt branschorganisationen Svensk Cykling har försäljningen av dubbdäck skjutit i höjden rejält de senaste åren. Under 2012 handlade det om en ökning på mellan 20–70 procent, jämfört med 2011 och då hade försäljningen redan under de föregående fem åren ökat med flera hundra procent (Svensk Cykling, 2012). Sedan dessa har försäljningen av dubbdäck fortsatt att öka i takt med att allt fler börjat cykla på vintern (Svensk Cykling, 2014).

Den vanligaste dimensionen på dubbdäck är 26” och 700c – motsvarar ungefär 28” (White, 2012). Det finns en uppsjö av olika märken och modeller av dubbdäck för cyklar. De brukar ofta delas in i ”fulldubbade” respektive ”halvdubbade” däck (se Figur 8). Enligt tips från cykelentusiaster ska man satsa på fulldubbade däck, med minst 240 dubbar – och de ska vara spridda över hela däcksytan, även ut på kanterna, eftersom de ger betydligt bättre fäste: ”du kan tvärnita på ren is” (DN, 2011).

De vanligaste högkvalitetsmärkena tycks vara Schwalbe, Continental och Suomi Tyres (tidigare Nokian) – det är åtminstone de märken som förekommer mest frekvent i diskussionsforum och i rekommendationer från cykelhandlarna. Fördelen med Schwalbe och Suomi Tyres jämfört med andra märken, sägs vara att de har dubbar av karbidstål. Karbiddubbarna är hårdare och alltså mer nötningståliga jämfört med övriga dubbar. Andra rekommenderar Continental med ståldubbar, då de sägs ha bättre grepp på is än karbiddubbarna (Vintercykel.se, 2015). Förutom dubben, skiljer sig ett dubbdäck från ett vanligt cykeldäck genom en mjukare gummiblandning, vilket gör att däcken fäster bättre när det är kallt (DN, 2011). Gummi hårdnar när det blir kallt, vilket minskar greppet, men en mjukare gummiblandning kompenserar för kylan. Enligt en artikel i DN (2011) ligger priset på dubbdäck från kända tillverkare som Schwalbe, Nokian och

Continental oftast i intervallet 500–1 000 kronor. Ett par av bra kvalitet kan man få paketpris på för 1 000–1 200 kronor. Budgetdäck finns från 279 kronor på till exempel Biltema. Sedan 2011 tycks priset på dubbdäck ha minskat snarare än ökat, vilket antagligen hänger ihop med ökat utbud och efterfrågan.



Figur 8. Fulldubbade (t.v.) respektive halvdubbade (t.h.) cykeldäck. De fulldubbade däcken har i detta fall 361 dubbar medan de halvdubbade har 120 dubbar. Källa: <http://www.skeppshult.se/sv/nyheter/dubbat-och-klart>.

3.2. Forskningsbehovet vad gäller cykeldäck

Då vi började fundera kring möjligheten att använda VTI:s däckprovningsanläggning ”långa banan” för tester av cykeldäck, undersökte vi först om det fanns något intresse för denna typ av studier. En representant för cykelhandlarna (Klas Elm, Svensk Cykling) menade att intresset för tester av dubbade cykeldäck borde vara stort, med tanke på att försäljningen ökat så kraftigt de senaste åren. Genom att ge leverantörerna ytterligare vetenskapliga argument för användningen av dubbdäck, kan försäljningen möjligtvis ökas ytterligare. Det torde då vara de stora internationella företagen (inte de nationella agenterna) som är de intresserade mottagarna.

Även Krister Spolander, känd profil inom cykelforskningsområdet och representant för en av våra cykelorganisationer, ser en stor nytta med att testa friktionsegenskaperna hos dubbdäck för cykel. Då cykeln är ett instabilt fordon har det stor betydelse hur däckets uppför sig i förhållande till underlaget. Han poängterar också att det är viktigt att samtidigt göra mätningar av rullmotståndet, eftersom dubbdäck på barmark ofta innebär så stort rullmotstånd att det tar bort cykelglädjen. Det verkar som att variationen är stor mellan olika däck, när det gäller friktion och rullmotstånd. Med tanke på det, borde det finnas en efterfrågan hos konsumenterna med oberoende och evidensbaserad information om friktionsegenskaperna hos olika dubbdäck relativt odubbade däck och gärna då i kombination med information om rullmotståndet.

I Tabell 4 ges exempel på frågeställningar vad gäller cykeldäck som kan vara intressanta att studera närmare. Tabellen bygger på interna diskussioner inspirerade av frågor som dykt upp i samband med tidigare studier, i enkäter och fokusgrupper, i diskussionsforum och tidningsartiklar, etc.

Tabell 4. Potentiella forskningsfrågor gällande cykeldäck.

Frågeställning	Kan tester i långa banan besvara frågan?	Kommentarer
Hur skiljer sig olika däck åt vid olika väglag?	Delvis	Friktionsegenskaperna kan studeras. Sedan behövs kompletterande studier för att titta på andra egenskaper
Stabilitet och grepp med olika bredd på däck, olika lufttryck	Delvis	Behöver kompletteras med stabilitetsstudier
Rullmotstånd med olika typer av däck + jämföra dubbat med odubbat	Nej	
Hur hårt ska man pumpa däck vintertid för att få bättre grepp?	Ja	
Har dubbdäck någon effekt? Hur stor?	Ja	Endast effekten på is kan studeras i långa banan, ej på snö!
Andra "tillfälliga lösningar" för bättre grepp – snökedjor, klisterremsor, autosockar	Ja	Behöver kompletteras med studier av t.ex. rullmotstånd
Buntband istället för dubbar?	Ja	
Ska man ha dubbdäck både fram och bak, eller räcker det att ha det bara på framhjulet?	Nej	Kräver någon typ av stabilitetsstudie – cykla i ishall?
Hitta ett däck med bra grepp och ändå inte så stort rullmotstånd	Delvis	Behöver kompletteras med studier av rullmotstånd
Identifiera antalet och vilka typer av olyckor som kan relateras till förlorat väggrepp	Nej	Det pågår/har redan gjorts sådana studier, men mer kunskap behövs

Sammanfattningsvis kan sägas att det finns ett stort behov av att studera cykeldäckens friktionsegenskaper, men då helst i kombination med att också studera rullmotståndet. I det här projektet har vi endast studerat cykeldäcks friktionsegenskaper på is och inte rullmotståndet, vilket diskuteras vidare i avsnitt 5.4.2.

4. Resultat från friktionstester i långa banan

Testerna utfördes under tre dagar enligt testschemat beskrivet i Tabell 2. Varje däck testades tre olika dagar, vilket innebär tre mätresultat per däck och testad egenskap. Resultaten presenteras i sin helhet i bilaga 2 och jämförande diagram mellan de olika däcken återfinns i bilaga 3. I det här kapitlet redovisas och analyseras ett urval av testresultaten. Först presenteras resultaten från mätningarna utan cambervinkel, och sedan resultaten med 10 graders cambervinkel. I avsnitt 5.1 sammanfattas resultaten och den praktiska betydelsen diskuteras.

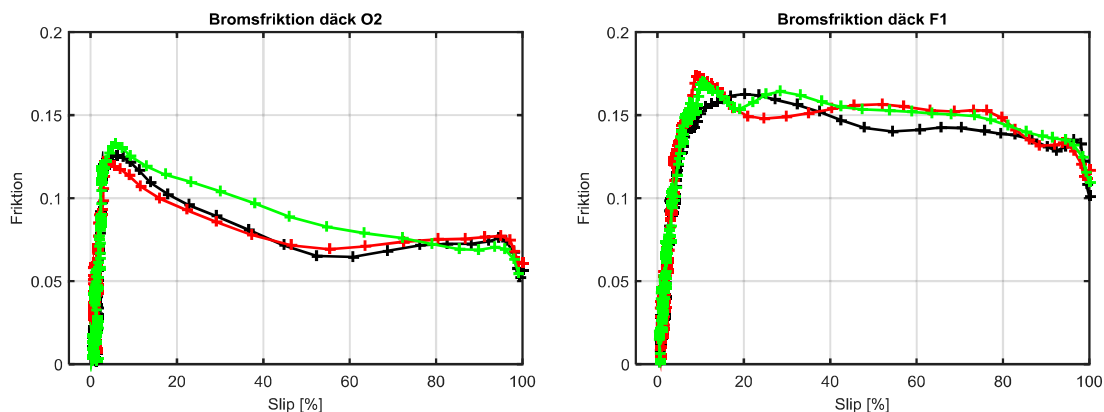
För de odubbade däcken är testvariationen liten (se exempel i Figur 9), och beror mest på skillnader i isfriktion från dag till dag, alternativt också beroende på longitudinellt spår som användes. För dubbdäck så finns det för bromstesterna en slumpvariation som beror på hur många dubbar som var i kontakt med isen under inbromsningsförloppet (som är relativt snabbt). Detta är inget som är unikt för testmetoden, utan bör väl återspegla en verklig inbromsning med cykel på halt underlag. Dock går det, trots det relativt få antal repetitioner som gjordes, att se tydliga skillnader mellan olika typer av däck.

Mätningarna utfördes vid 100 Hz samplingsfrekvens och data har filtrerats med ett 10 Hz fyrpoligt Butterworth lågpasfilter.

4.1. Tester med vertikalt stående hjul – utan cambervinkel

4.1.1. Bromsfriktion

I Figur 9 visas slipkurvorna från bromsmätningarna för ett av det odubbade cykeldäcken samt ett av de fulldubbade. Det odubbade däckets slipkurva som påminner om de för odubbade bildäck. Detta innebär en tydlig friktionstopp vid ett lågt slipvärde (ofta under 10 procent slip), och där friktionskraften minskar kraftigt med ökat slipvärde. Det dubbdäcket har också en friktionstopp vid ca 10 procent slip, men friktionen minskar endast marginellt vid högre slipvärden. Slipkurvans form påminner om en för ett dubbat bildäck (se Figur 4 i avsnitt 2.2.1).

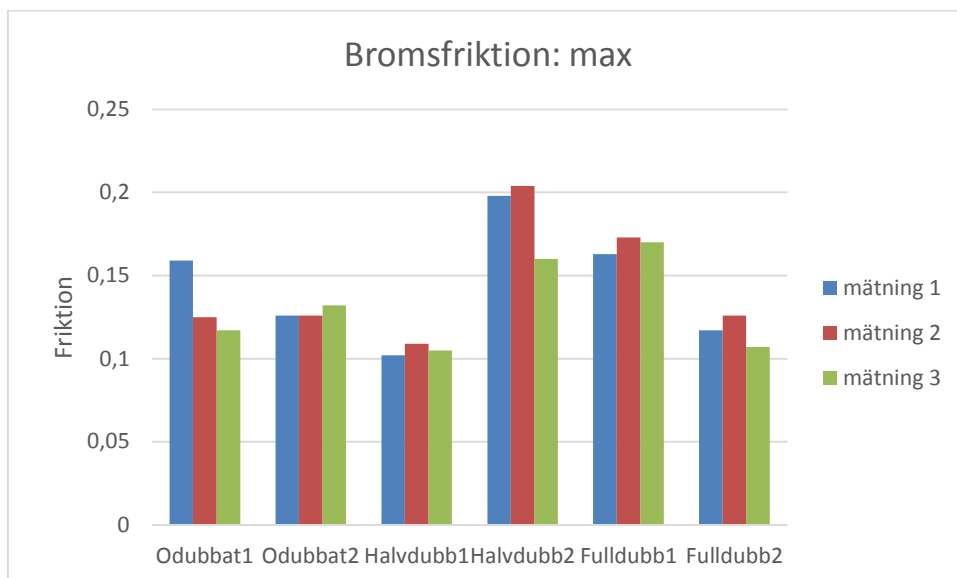


Figur 9. Exempel på slipkurvor för bromsning med odubbade cykeldäck (vänster) och fulldubbat cykeldäck (höger). Varje mätning upprepades tre olika dagar: dag 1 (svart), dag 2 (röd), dag 3 (grön).

Ett däck med en tydlig topp är mer benäget att låsa vid inbromsning, vilket leder till förlust av sidkrafter och därmed orsakar en sladd, eller allmän instabilitet hos cykeln. Vid hjullåsning sjunker också friktionen ytterligare ca tre till fyra hundradelar, vilket beror på att vatten bildas mellan däck och is. Detta fenomen drabbar både odubbade och dubbdäck lika. I graferna ser det ut som att denna vattenbildning sker redan vid ca 95 procent slip. Så är dock inte fallet, utan är en effekt av den lågpasfiltrering som applicerats på mätsignalen, vilken "smetar ut" kurvorna så att mätvärden för ett visst slipvärde påverkas av mätvärden för närliggande slipvärden.

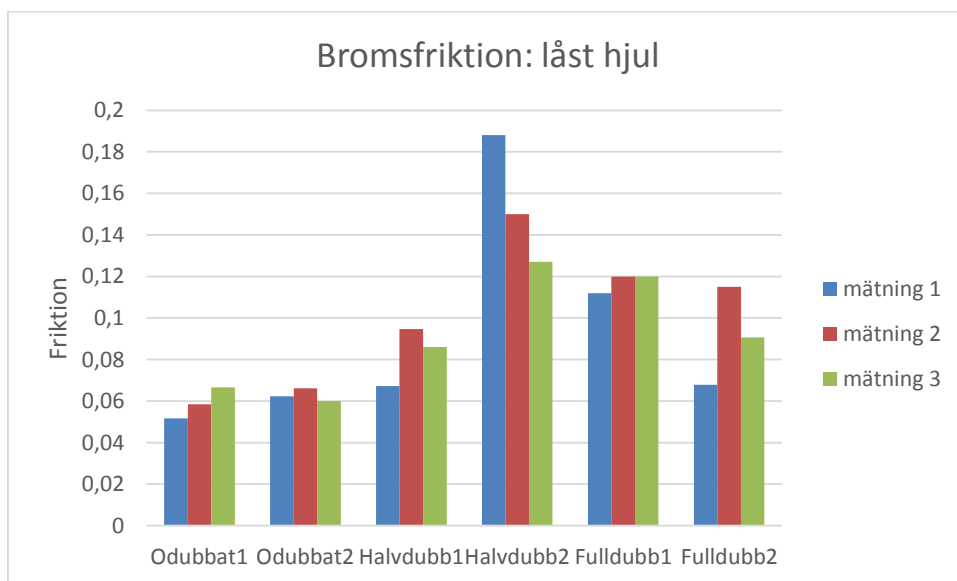
Det som är viktigt vid jämförelse mellan däcken är i första hand inte den absoluta skillnaden i friktion, utan den relativa. En halvering av friktionen innebär en dubbelt så lång bromssträcka, samt att endast halva pedal- eller handbromskraften leder till låsning av hjulet.

Den maximala bromsfriktionen för alla de testade däcken visas i Figur 10. Det framgår att det är stor variation mellan de olika dubbdäcken när det gäller den maximala bromsfriktionen. Två av dubbdäcken har faktiskt lägre maxfriktion än de odubbade däcken. De andra två presterar dock klart bättre. Det är ingen tydlig skillnad mellan hur halvdubbade och fulldubbade däck presterar här.



Figur 10. Maximal bromsfriktion för samtliga testade däck, utan cambervinkel – alla repetitioner.

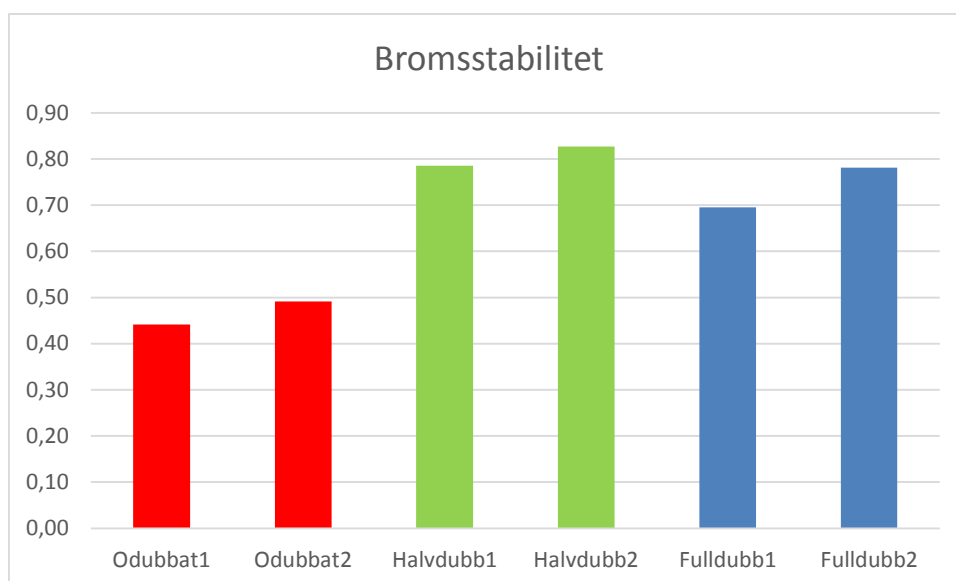
Vid låst hjul är bromsfriktionen för dubbdäcken tydligt högre än för de odubbade däcken (se Figur 11). Två av dubbdäcken, ett halvdubbat och ett fulldubbat, har en friktionskraft som är minst dubbelt så stor som för de odubbade. Skillnaden mellan dubbat och odubbat är för cykeldäcken i linje med vad vi sett för personbilsdäck under samma isförhållanden. Dock så bör skillnaden mellan däcken vid verklig cykling bli större än för personbilar då cyklar saknar låsningsfria bromsar.



Figur 11. Bromsfriktion vid låst hjul utan cambervinkel – alla repetitioner.

4.1.2. Bromsstabilitet

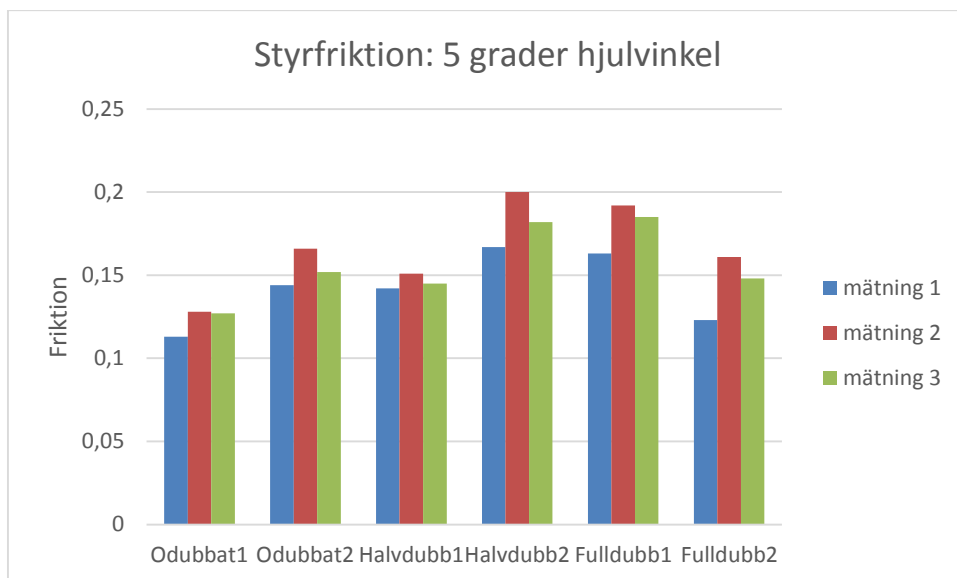
Ett mått som för personbils- och lastbilsdäck används för beskriva bromsprestandan utöver maximal bromsfriktion och friktionen vid låst hjul, är den så kallade bromsstabiliteten. Den definieras som kvoten mellan friktionen vid låst hjul och den maximala friktionen. Vid låga friktionsförhållanden, där det är lätt att applicera för stort bromsmoment, är bromsstabiliteten ett mått på hur lätt det är att få hjullåsning. För bilar har bromsstabiliteten fått en minskad betydelse i och med att låsningsfria bromsar (ABS) blivit standard. För cyklar lär däremot bromsstabilitet vara en viktig faktor för cykelns stabilitet. Hur pass viktig är dock svårt att säga. Vid riktigt hala förhållanden så hinner aldrig den maximala friktionskraften utvecklas vid bromsning utan hjulet går direkt till låsning. Den maximala friktionen har då ingen praktisk betydelse utan är endast intressant ur ett vetenskapligt perspektiv. Då kan istället friktionsvärdet vid låst hjul vara den viktigaste faktorn för stabiliteten. Våra mätningar visar att bromsstabiliteten är, som väntat, betydligt högre för de dubbade däck än för de odubbade (se Figur 12).



Figur 12. Bromsstabilitet vid bromsning med vertikalt stående hjul – utan cambervinkel (genomsnitt för de olika däck).

4.1.3. Styrfriktion

Vid varje däcktest mätte vi inte enbart bromsfriktionen utan även styrfriktionen. I Figur 13 visas resultaten från dessa mätningar med vertikalt hjul, utan cambervinkel. Vid mätning av sidkraften vid 5 graders hjulvinkel så är det två dubbade däck från samma tillverkare (Suomi Tyres Hakkapeliitta) som sticker ut prestandamässigt. Trots olika konstruktioner, ett halvdubb och ett fulldubb, så är styrfriktionen praktiskt taget identisk för dessa två däck. Värt att notera är också att skillnaden mellan det bästa och det sämsta däck är mindre än 50 procent. Dessa skillnader blir dock betydligt större med cambervinkel, vilket visas i Figur 15 i avsnitt 4.2.

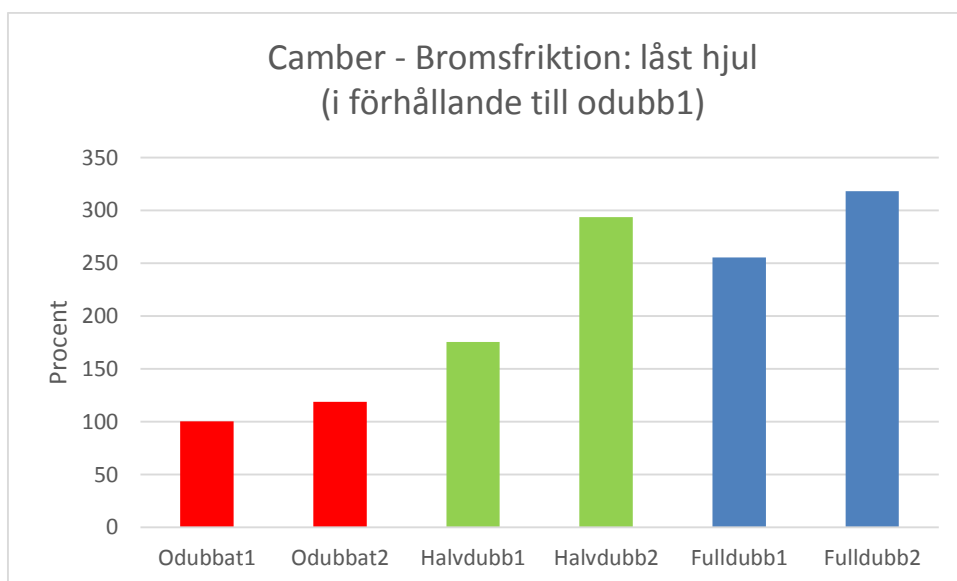


Figur 13. Max styrfriktion vid styrning med 5 graders hjulvinkel med vertikalt stående hjul – utan cambervinkel, för alla mätningar med samtliga däck.

4.2. Tester med lutande hjul – med cambervinkel

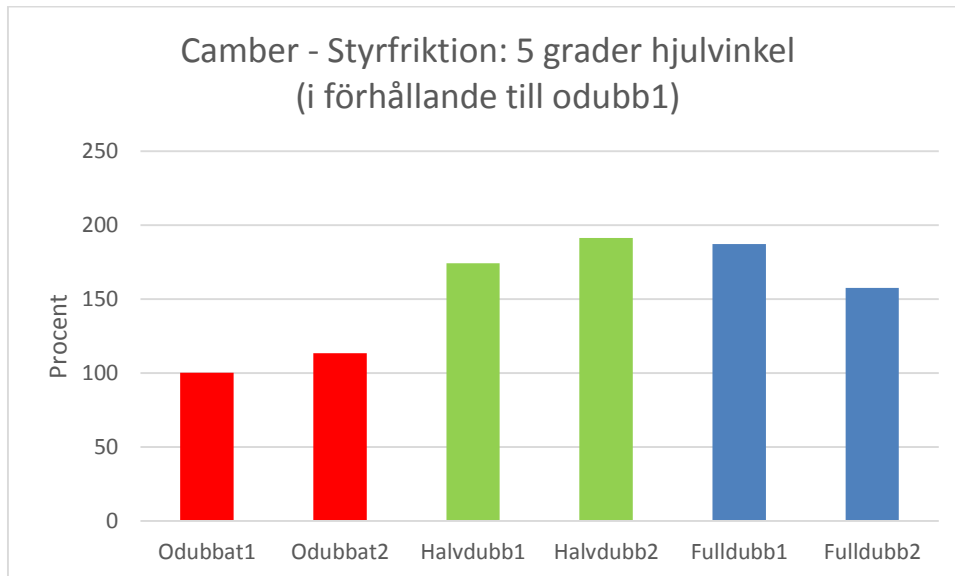
Mätningarna upprepades med en 10 grader cambervinkel applicerad på hjulet. Resultaten visar att prestandaskillnaderna mellan odubbade och dubbdäck generellt blir större med cambervinkel. Samtliga mätvärden och diagram finns i bilagorna 2 och 3. Vi fokuserar här på de två mest intressanta måtten för cykelns stabilitet: bromsfriktion vid låst hjul och tillgänglig styrfriktion. Prestanda i förhållande till det första odubbade däck, referensdäcket, presenteras i Figur 14 och Figur 15 nedan.

Våra mätningar visar att bromskraften vid låst hjul med cambervinkeln är uppemot tre gånger så stor för dubbdäcken som för de odubbade däck. Undantaget är ett av de halvdubbade däck (H1). Detta däck presterar tydligt bättre än de odubbade, men samtidigt klart sämre än övriga dubbdäck.



Figur 14. Bromsfriktion vid låst hjul med cambervinkel – prestanda i förhållande till referensdäcket, Odubbat1.

Den maximala sidkraften vid styrning med camber är för dubbdäcken uppemot dubbelt så stor som för de odubbade däcken. De halvdubbade däcken presterar här minst lika bra som de fulldubbade däcken, vilket är något förvånande då de halvdubbade saknar dubbar som är vinklade utåt sidorna (se figurer i bilaga 1). Valet av cambervinkel – i detta fall 10 grader – har sannolikt betydelse för vilken verkan de utåtriktade dubbarna ger. Detta diskuteras vidare i avsnitt 5.4.1.3.



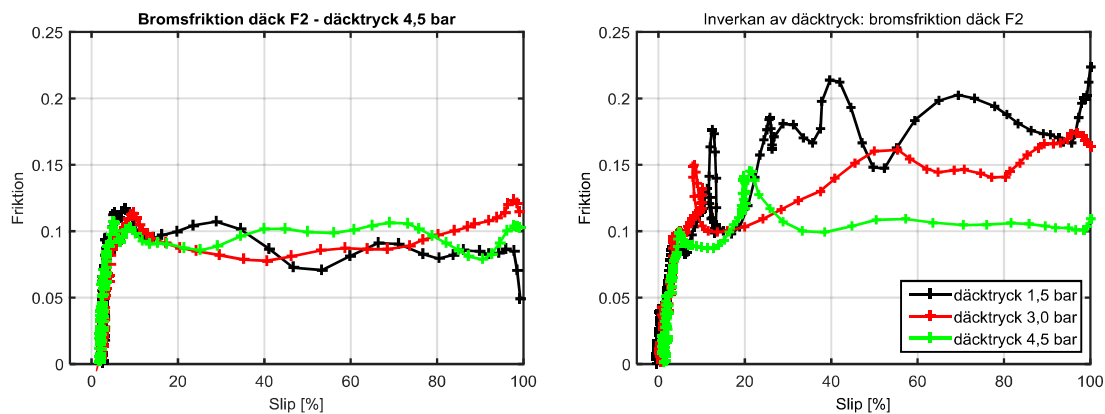
Figur 15. Max styrfriktion vid styrning med 5 graders hjulvinkel och 10 graders cambervinkel - prestanda i förhållande till referensdäcket, Odubbat1.

4.3. Tester med olika lufttryck i däcken

Tester med tre olika däcktryck utfördes med ett testdäck i slutet på varje mättag. Då isen till stora delar blivit sönderkörd från tidigare mätningar med dubbdäcken var det inte möjligt att utföra flera repetitioner med samma däcktryck. Resultaten från dessa mätningar ska därför tolkas varsamt. Det går dock att göra några intressanta observationer. Dessa tester gjordes utan cambervinkel.

Mätresultaten presenteras i sin helhet i bilaga 2 (se

Tabell 10 och Figur 26 och Figur 27). Generellt uppnås en liten ökning av broms- och styrkrafter när däcktrycket minskas. Då för lågt däcktryck leder till ett sladdrigt beteende vid styrning är det omöjligt att avgöra vilket däcktryck som är optimalt enbart utifrån en utvärdering av mätningarna i långa banan. Undantaget verkar dock vara bromsprestanda för det fulldubbade däck F2. Detta däck underpresterade i bromsmätningarna utan cambervinkel, och de genererade bromskrafterna var där inte bättre än de odubbade däcken. En minskning av däcktrycket från 4,5 bar till 3,0 bar ger emellertid en stor förbättring, vilket framgår av Figur 16 som följer.



Figur 16. Slipkurvor för rak bromsning med ett fulldubbade cykeldäck, F2: tre mätningar med 4,5 bar däcktryck (vänster), olika däcktryck (höger).

Resultaten indikerar att olika dubbdäck kan behöva specifika däcktryck för att komma till sin fulla rätt. Inverkan av olika däcktryck diskuteras vidare i avsnitt 5.4.1.2.

5. Diskussion

5.1. Praktisk betydelse av resultaten från mätningarna

I denna undersökning har vi mätt cykeldäcks väggrepp på blank is, där underlaget är plant. Detta är ett vinterväglag som för cyklister innebär en relativt stor risk för halkrelaterade singelolyckor. Det finns andra vinterväglag som också är viktiga ur halksynpunkt, speciellt snö och ojämn is. Blank is är det grundläggande underlaget för att få en första förståelse av hur vinterväggreppet varierar för olika däck. Blank is kan dock ha väldigt skiftande egenskaper, där friktionsnivån kan variera avsevärt beroende på istemperatur, luftfuktighet och kristallstruktur. Hur stor skillnad i väggrepp som erhålls för olika däck beror starkt på isens egenskaper. Ju fuktigare isytan är, desto halare blir den. För riktigt hal is, ofta benämnd våt is, vet vi från mätningar på bildäck att däckgummit ger allt mindre grepp och den relativa inverkan av dubbar blir allt större. Vid torrare och kallare is ökar greppet mellan gummi och is, och dubbarna får en minskande inverkan på väggreppet. I VTI:s däckprovningsanläggning kan is med likvärdiga egenskaper produceras dag efter dag, varför olika däcks isfriktion kan jämföras för en önskvärd typ av is. För dessa mätningar har vi använt en is med temperatur -3°C och en luftfuktighet på ca 50 procent. Lufttemperaturen har varierat mellan -1° till $+1^{\circ}\text{C}$. Detta ger en isyta med en friktion som påminner mycket om den i en ishall. En sådan is är hal, men det går att gå utan att halka omkull. För dessa förhållanden har vi sett följande skillnader mellan de 6 testade däcken:

- Dubbade cykeldäck har generellt bättre isgrepp än odubbade cykeldäck.
- Dubbdäcken har avsevärt bättre bromsstabilitet än de odubbade, vilket inverkar positivt på den allmänna stabiliteten hos cykeln vid bromsning på is.
- För de testade däcken så mättes upp till 2,5 gånger högre friktion vid låst hjul för dubbdäck jämfört med odubbade. Bromssträcken blir då knappt hälften så lång och det går att applicera 2,5 gånger så stor kraft på bromsen utan att få sladd¹.
- Dubbdäcken producerar generellt större sidkraft vid styrning på isen jämfört med de odubbade. Vid lutning av cykeln (cambervinkel) så ökar skillnaderna mellan dubbat och odubbade, där upp till dubbla storleken på sidkraften genereras av några av dubbdäcken.
- Med ett minskat däcktryck i dubbdäcken uppnås generellt en liten ökning av broms- och sidkrafter. Då för lågt däcktryck leder till ett sladdrigt beteende vid styrning är det omöjligt att avgöra vilket däcktryck som är optimalt bara från utvärdering av mätningarna. Vi observerade dock att för ett av dubbdäcken så förbättrades bromsprestanda (och därmed stabilitet) avsevärt vid en sänkning av däcktrycket från 4,5 bar till 3,0 bar. Detta indikerar att rätt däcktryck kan vara viktigt för att få ut optimal prestanda ur ett dubbdäck.

Generellt såg vi stora skillnader i isgrepp mellan de olika dubbdäcken. Då alla däcken testades med samma däcktryck, 4,5 bar, så är det inte säkert att de olika däcken testades under sina optimala förhållanden, så huruvida dessa skillnader skulle bestå vid tester med andra däcktryck går inte att säga. Detta är något som behöver studeras närmare i en kommande studie. Från

¹ För cykel så är inte bromssträcka vid inbromsning den viktigaste egenskapen. Det är rimligt att anta att kraftig inbromsning på hal is kommer att leda till låst hjul, och friktionen vid låst hjul ger därför ett mått på bromssträcken. Hög friktion vid låst hjul är dock troligtvis ännu viktigare ur en annan aspekt, nämligen förmågan att undvika sladd (vilken leder till instabilitet). Ett högre friktionstal vid låst hjul innebär man kan trampa hårdare på bromsen utan att få sladd.

resultaten går det inte att säga att fler dubbar alltid är bättre på plan, blank is. Gummiblandning och dubbutformning verkar kunna ha en stor inverkan på isgreppet.

Det tål att upprepas att hur stor skillnad som erhålls vid test av isgrepp mellan olika däck är starkt beroende av isens egenskaper. Om mätningarna utförts på en halare is så hade skillnaderna i isgrepp mellan dubbade och odubbade däck varit än större, och hade en strävare is använts så hade skillnaderna minskat.

5.2. Jämförelse med resultat från andra studier

När projektet påbörjades kunde vi inte hitta resultat från några andra objektiva och oberoende tester. Den enda information som vi fann kring bedömningen av olika dubbdäck för cyklar, var på försäljares hemsidor, bloggar etc. och där rekommendationerna endast baseras på användares erfarenheter. Även om det är värdefullt att också ta hänsyn till praktiska aspekter som noteras av användarna själva, är den bedömningen subjektiv och kan variera stort från person till person och från ett tillfälle till ett annat.

Under hösten 2014 presenterade emellertid Testfakta ett konsumenttest av vinterdäck för cykel vilket uppmärksammades i ett antal tidningar: "Bästa cykeldäcket för vinterhalkan" (Testfakta, 2014). Det finska laboratoriet Wheel Energy hade på uppdrag av Testfakta gjort tester på sju olika dubbdäck för cykel. Ett vanligt sommardäck testades också, för att ha som referens. Liksom i vår studie begränsades urvalet till cykeldäck som passar till 28-tums hjul. Wheel Energy testade däcken på tre olika underlag: is, snö och is, samt asfalt, där de undersökte följande:

- hur bra däcket är att bromsa med, det vill säga bromssträckan (bromsfriktion)
- hur bra däcket är att starta med (slirfriktion)
- väggreppet vid sväng (den kraft som krävs innan däcket släpper i sidled vid tio grader vinkel).

Laboratoriet mätte även rullmotståndet på asfalt och packad snö. Ett urval av resultaten från Testfaktas tester presenteras i Tabell 5. Vid alla mätningar användes en belastning på 50 kg och ett däcktryck på 3 bar. Belastningen var med andra ord något högre än den som vi använde vid testerna i långa banan (40 kg) och däcktrycket något längre än de 4,5 bar som vi använde som standard.

Alla de dubbdäck vi testat återfinns även i Testfaktas tester. Det är intressant att notera att de valt ut samma däck som vi. Liksom våra mätningar visar Testfaktas studie att antalet dubbar inte är avgörande för väggreppet. "Det beror helt enkelt på hur många dubbar som får kontakt med underlaget vilket hänger ihop med dubbarnas placering och att själva däcket är flexibelt och följsamt" (Testfakta, 2014). Testvinnaren i Testfaktas tester blev Schwalbe Marathon Winter. Det var det däck – F2 – som underpresterade i våra bromsmätningar utan cambervinkel (se avsnitt 4.1.1) men presterade bättre vid ett lägre däcktryck (se avsnitt 4.3).

Förutom att testparametrarna (däcktryck och belastning) var olika, skiljer sig också testförfarandet jämfört med vår studie. Vi har inte lyckats få information om exakt hur testerna vid Wheel Energy genomförts – det framgår inte av texten och någon ansvarig har i skrivandets stund inte kunnat nås. Information på Wheel Energys hemsida indikerar att man gjort statiska mätningar samt rena glidtester vid väldigt låg glidhastighet på en fix kontaktyta. Detta motsvarar inte fullt de krafter som verkar på ett rullande hjul, och om detta stämmer kan resultaten betraktas som tveksamma för is och snötester. Detta då en vattenfilm snabbt kommer

att bildas i kontaktytan vid glidning, vilket effektivt minskar det grepp som gummit själv kan skapa och jämförelsen mellan dubbade och odubbade däck blir inkorrekt.

Resultaten från sidkraftmätningarna på is avviker starkt från våra mätningar. Sidkraften för det odubbade däck, 8 N, motsvarar med 50 kg hjullast en friktion på 0,016 medan dubbdäcken uppvisar en friktion mellan 0,10 och 0,28. Att ett odubbade däck skulle generera så extremt låg friktionskraft när de dubbade däck har ett grepp som motsvarar is på en ishockeyrink är orealistiskt. Sannolikt beror detta på att statiska tester inte tillräckligt väl beskriver de faktiska förhållanden som råder med ett rullande hjul, vilket alltså kräver dynamiska tester.

För bromssträcka på is så är skillnaden mellan dubbat och odubbade som mest en faktor 2,6 till dubbarnas fördel. Detta stämmer väl överens med resultaten från våra tester, givet att bromsningen utförs med låst hjul.

Inför våra fortsatta studier av cykeldäcks friktionsegenskaper skulle det vara värdefullt med en diskussion med laboratoriet i Finland avseende testmetoder.

Tabell 5. Ett urval av resultat från Testfaktas jämförelse av olika cykeldäck. Källa: Testfakta, november 2014.

	Schwalbe	Biltema	Suomi Tyres W106	Suomi Tyres W240	Schwalbe Marathon Winter
	Odubbade sommardäck (O2)	Halvdubbade (H1)	Halvdubbade (H2)	Fulldubbade (F1)	Fulldubbade (F2)
Bromssträcka på is (m)	13,6	7,0	6,8	6,7	5,2
Bromssträcka på snö och is (m)	7,4	2,8	3,6	3,5	3,0
Rullmotstånd barmark (asfalt) (W)	65,6	88,6	88,9	92,3	76,5
Kraft i sidled innan däck släpper på is (N)	8	49	104	78	141
Kraft i sidled innan däck släpper på barmark (N)	267	242	280	271	268
Kommentar från Testfakta	Referens	Dåligt grepp på isig vägbanan. Dubbarna lossnar lätt.	Bra prestanda men något högre rullmotstånd	Högre rullmotstånd. Dåligt grepp på isig vägbanan	Bäst i test

En annan relevant studie som vi fått kännedom just i slutet av projektet, är en mastersuppsats vid NTNU i Norge (Räkilä, 2015). I den studien gjordes bromstester på packad snö med två instrumenterade cyklar med olika däck varav det ena motsvarade ett fulldubbade och det andra ett halvdubbade cykeldäck. Bromstesterna gjordes på hårt packad snö respektive på en löst packad och slaskigare snöyta. Testerna indikerade en något högre friktionskoefficient på den hårt packade snön med det fulldubbade däck jämfört med det halvdubbade. För den lösare packade snöytan var det ingen större skillnad mellan de olika däck. Syftet med studien var egentligen inte att jämföra olika däck, utan framförallt att se hur väl friktionsvärden från de mätutrustningar (TWO och T2GO) som används i Norge för uppföljning, representerar friktionen med ett

cykeldäck. Enligt norska standardkrav får friktionstalet på en cykelbana under vintern inte understiga 0,3 och det åligger entreprenören att kontrollera och dokumentera att friktionskraven uppfyllts (Kroken, 2014). Studien indikerar att de mätmetoder som används för uppföljning av friktion inte riktigt representerar de friktionsvärden som uppnås med ett cykeldäck, åtminstone inte på snöväglag (Räkilä, 2015).

5.3. Dubbdäckens möjlighet att bidra till att minska antalet cykelolyckor

Med tanke på den stora andelen cykelolyckor som kan relateras till halka på snö och is, har dubbade cykeldäck en ganska stor potential att kunna bidra till att minska antalet cykelolyckor. I den gemensamma strategin för Säkrare cykling till år 2020 bedömdes potentialen vara 15–20 procent (Trafikverket, 2014).

I olycksdatabasen STRADA som denna potentialbedömning och de flesta andra olycksstudier baseras på, går det inte att urskilja vilka olyckor som inträffat på snö respektive is, eftersom snö och is där är sammanslaget i en och samma parameter. Det går då naturligtvis inte att säga vilken egenskap isen eller snön haft vid de registrerade olyckstillfällena. Någon uppgift om däckens på den cykel som varit inblandad i olyckan finns inte heller. Därför är det mycket svårt att med någon större noggrannhet uppskatta hur många cykelolyckor som skulle kunna undvikas om alla vintercyklister hade dubbdäck. Liksom tidigare nämnts gäller att ju halare förhållanden desto större betydelse har dubbarna för väggreppet medan gummiblandning och däckmönster får betydelse vid torrare och kallare is eller vid snötäckt vägbana.

Våra mätningar har emellertid visat att de dubbade cykeldäcken har generellt bättre isgrepp och framförallt en avsevärt bättre bromsstabilitet än de odubbade däck. En kortare bromssträcka vid inbromsning kan vara viktigt i en konfliktsituation, särskilt i anslutning till korsningar. Den största vinsten med dubbdäcken är nog annars den förbättrade bromsstabiliteten och möjligheten att undvika sladd. Det innebär att i konfliktsituationer då cyklisten behöver göra en undanmanöver, eller vid sväng på halt underlag, är risken mindre att man cyklar omkull om cykeln är utrustad med dubbdäck.

För en mer exakt bedömning av dubbdäckens potential att minska antalet cykelolyckor behövs en närmare studie av händelseförlopp vid cykelolyckor på is- och snöhalka. Sådan information skulle till viss del kunna erhållas med ytterligare detaljstudier av informationen i olycksbeskrivningarna i STRADA-databasen. Då vi sedan tidigare studier vet att den informationen är knapphändig behövs dock andra typer av studier, t.ex. observationsstudier och djupintervjuer – åtminstone som komplement – för att kunna beskriva händelseförloppet.

5.4. Fortsatta studier

Av de frågeställningar vad gäller cykeldäck som vi i inledningen av projektet ansåg vara intressanta att studera närmare (se Tabell 4, i avsnitt 3.2) har vi i det här projektet kunnat besvara en del. Det återstår dock en del frågeställningar att besvara för kunna ge tydligare rekommendationer till cyklisterna gällande cykeldäck vid vintercykling, baserade på objektiva fakta/studier.

5.4.1. Ytterligare tester i långa banan

Ombyggnaden av långa banan och den testmetoden som tagits fram i projektet visade sig fungera bra för jämförande tester av cykeldäck. Mätresultaten var repeterbara, med liknande slipkurvor för upprepade mätningar med samma däck. För att fördjupa kunskapen ytterligare kring cykeldäcks friktion på vinterväglag bör mer omfattande mätningar genomföras i långa banan. Några exempel på ytterligare tester ges nedan.

5.4.1.1. *Däck av andra typer och dimensioner*

De tester vi hittills gjort har varit av begränsad omfattning och endast ett urval av dubbdäck har testats. Fler tester på flera olika typer av däck behövs för en ökad förståelse av betydelsen av antal dubb, dubbutformning, gummiblandning, däckmönster, etc. för greppet på is. Idag finns också odubbade vinterdäck för cykel och det skulle vara intressant att också studera hur dessa presterar i förhållande till dubbdäcken. För att säkerställa att de uppmätta skillnaderna är relaterade till däcktypen behöver också fler ”individer” av samma däcktyp testas, för utesluta en inbördes variation (en variation inom populationen). I det här projektet hade vi ursprungligen tänkt att testa två exemplar av varje specifikt dubbdäck. Detta fick dock revideras efterhand som projektet fortlöpte och vi närmare undersökt hur många tester som kunde utföras på samma is innan den behövde nyläggas. Vi valde då att prioritera så många olika däck som möjligt.

I försöken vi gjorde inkluderade vi enbart nya däck. Det är troligt att friktionsegenskaperna förändras hos åldrade däck och därför skulle testerna också utvidgas till att omfatta däck som är några år gamla (använda och icke använda). Det skulle också vara intressant att studera hur ”strumpor”, snökedjor och liknande tillägg som finns på marknaden för att förbättra friktionsegenskaperna på vanliga sommardäck presterar i förhållande till dubbdäcken.

I de tester vi genomfört valde vi att fokusera på en ”standarddiameter” på 28 tum. Enligt diskussionsforum etc. på internet, tycks det som att 26 och 28 tum är de vanligaste dimensionerna på dubbade cykeldäck. Vi vet inte med säkerhet vilken däckdimension som är vanligast förekommande i trafikmiljön, eftersom det inte nödvändigtvis behöver stämma överens med det mest sålda. Vi har dock antagit att 26 tums däck är vanligast bland mountainbikes och att 28 tum förekommer mer frekvent bland pendlare och andra vardagscyklister. Då vårt fokus är vardagscyklister valde vi att i detta första test studera 28 tums däck. Framöver skulle det vara värdefullt att kunna testa däck av olika dimensioner, bland annat eftersom utbudet av däcktyper då sannolikt skulle bli större. För mätresultaten har dock däckdimensionerna sannolikt mindre betydelse än andra däckparametrar. Möjligtvis att däckens bredd kan påverka resultaten, men detta är något som fortsatta studier får utvisa.

Den konstruktion som vi slutligen valde för hjulupphängning och pulsgivare innebär i princip inget hinder för att också mäta på cykeldäck av andra dimensioner. Möjligen kan det finnas en begränsning med den framgaffel som vals genom att det inte går att välja större dimensioner än 28 tum. Vi hade problem med ett däck i denna undersökning, vars diameter var något för stor och skrapade i framgaffeln. Bredden på däckets kan också vara ett problem för framgaffeln ifall de är riktigt breda. En mängd olika dimensioner på däck förekommer och det tycks vara olika från tillverkare till tillverkare. Frågan är hur intressant det är att göra tester på alltför många olika dimensioner. Så här i ett inledande skede är det rimligt att välja en standarddimension att fokusera på, sedan får intresset från användare och tillverkare styra vilka ytterligare dimensioner som ska testas.

5.4.1.2. *Olika däcktryck*

Enligt cykelhandeln ska man pumpa till däckets maxtryck (Sportson, 2015). Resultaten från mätningarna i långa banan indikerar dock att det optimala däcktrycket för ett dubbdäcks isgrepp kan vara långt under däckets maxtryck. Fortsatta undersökningar behöver göras för att dra vidare slutsatser om däcktryckets betydelse.

5.4.1.3. *Annan cambervinkel eller styrvinkel*

För att studera friktionsegenskaperna som motsvarar cykling i kurva där cykeln lutar något, valde vi i dessa inledande studier en cambervinkel på tio grader. Huruvida det motsvarar en ”normal” lutning eller inte, vet vi inte. Från tidigare studier har vi funnit att den maximala lutningen av en cykel, utan att pedalen slår i marken och som de flesta cyklister klarar av är 25

grader (Shepherd, 1994). Det stativ som konstruerades för att kunna montera cykelhjulet i den ursprungliga mättriggen till långa banan, gör det möjligt att steglöst/stegvis ändra camber-vinkeln. I framtida studier skulle det vara intressant att studera hur olika cambervinklar påverkar skillnaderna mellan olika däck. Exempelvis är det möjligt att det inte är tillräckligt med 10 graders lutning för att få någon extra effekt av fulldubbade däck med utåtriktade dubbar i jämförelse med halvdubbade däck utan de utåtriktade dubbarna. För att kunna bedöma relevansen av att testa olika cambervinklar, skulle det vara värdefullt att också studera den faktiska lutningen i olika situationer, för olika typer av cyklar och cyklister.

För att utvärdera de olika däckens styrprestanda, använde vi i denna studie sidfriktionen vid 5 graders avdriftvinkel för cykelhjulen. Vi valde ett mätförarande där både bromsning och styrning skulle hinnas med under samma mätning, vilket inte gjorde det möjligt att välja en större vinkel. Det är troligt att något större styrvinklar är mer relevanta för jämförelser mellan olika däck och i fortsatta studier bör därför betydelsen av andra styrvinklar studeras.

5.4.1.4. *Andra väglag*

En begränsning med mätningarna i långa banan är att det endast är däckens friktionsegenskaper på is – inte på snö – som kan testas. Enligt White (2012) varierar det upplevda greppet mycket med olika däck på olika typer av snö (hårdhet, temperatur, etc.), vilket vi alltså inte kan studera i långa banan. Med tanke på att is inte tycks vara ett lika vanligt vinterväglag på cykelvägar som på bilvägar (Niska, 2012), kanske däckens prestanda på snö är av minst lika stor betydelse som för den på is. Å andra sidan tycks friktionsnivåerna många gånger vara tillräckliga på snö medan is innebär halka. På snö ger normalt inte dubbar något extra grepp, och däckets gummiblandning och mönsterutformning är istället det som har betydelse. Då dubbdäck är speciellt avsedda för att köras på vintern (till skillnad från de flesta andra odubbade cykeldäck) är det dock inte otänkbart att gummi och mönster är bättre anpassade även för snöförhållanden jämfört med odubbade däck. Det skulle därför vara intressant att följa upp dessa mätningar med en undersökning av snögreppet för dubbdäck. I en första studie av dubbdäcks väggrepp på hala vintervägar är dock is ett naturligt val.

I långa banan finns idag inte någon möjlighet att utföra tester på snö. Även om det rent tekniskt skulle gå att hitta lösningar för att tillverka snö till långa banan skulle det vara i princip omöjligt att få till en reproducerbar snöyta. Utöver is av olika slag går det dock att göra tester på asfalt i långa banan.

5.4.2. *Rullmotstånd*

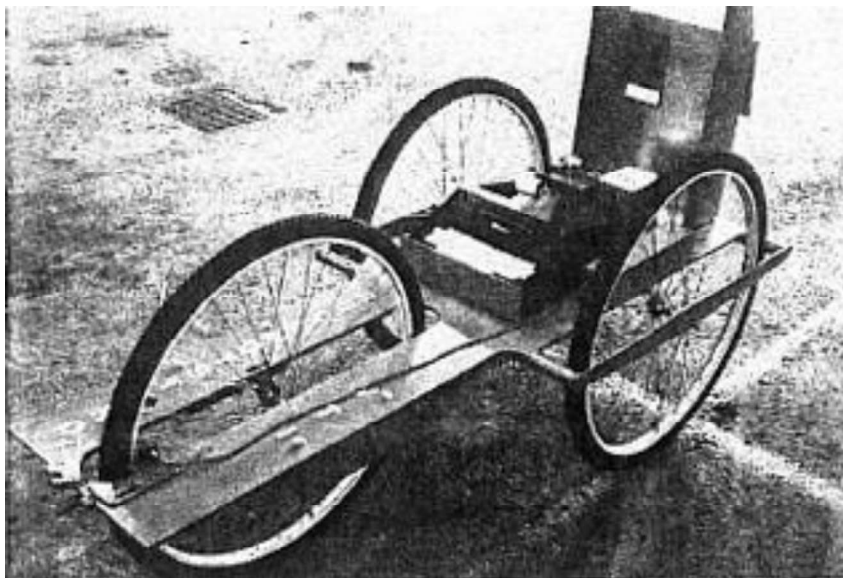
I kombination med att studera cykeldäckens friktionsegenskaper behöver även rullmotståndet studeras. I diskussioner med cyklister (t.ex. Niska, 2007) kan man konstatera att en av de största nackdelarna med dubbdäck på cykeln är att det blir mycket jobbigare att cykla. Dubbdäck väger mer och har större rullmotstånd än vanliga däck. VTI har tidigare mätt rullmotståndet i cykeldäck med hjälp av en ”rullmotståndsvagn” (se Figur 17), genom så kallade utrullningsprov (Arnberg et al., 1980). Proven gick till så att vagnen gavs en viss fart, fick rulla fritt och sedan sakta in av det naturliga rull- och luftmotståndet. Rullmotståndet beräknades genom ett mått på fartminskningen/retardationen, vilken beräknades med hjälp av att successivt registrera tid och tillryggalagd väg². Beräkningen gjordes direkt i en förprogrammerad mikrodator monterad på

² Ett hjul på vagnen var försett med ett pulsdon, motsvarande den hjulpulsgivare vi använde oss av i konstruktionen av långa banan. Vägavståndet mellan två pulser var inprogrammerat i datorn. Datorn själv mäter tiden mellan två pulser och beräknar hastigheten. Under retardationsförloppet fick man således en serie fallande hastigheter som datorn använder för att beräkna ett genomsnittligt mått på rullmotståndskoefficienten.

rullmotståndsvagnen. För att eliminera höjdskillnader mellan start- och slutpunkten och vindens inverkan, så körde man i båda riktningarna och bildade ett medelvärde av de båda körningarna.

Rullmotståndsvagnen på bilden är skrotad men då efterfrågan på forskning inom cykelområdet ökat den senaste tiden ser vi ett behov av att återuppbygga vagnen och då i en moderniserad tappning. Med en rullmotståndsvagn skulle det vara möjligt att också göra jämförande studier av olika beläggningar på cykelbanor. Rullmotstånd från underlaget är direkt kopplad till ansträngningen under färd, vilken har stor betydelse för valet att cykla eller inte. Genom att kunna mäta det rullmotstånd en viss beläggning på en cykelväg ger, finns alltså en möjlighet att kunna kvantifiera underlagets betydelse för cyklisters framkomlighet, vilket utgör ett viktigt beslutsunderlag för väghållare som vill främja en ökad cykling.

För att minska skadeutfallet vid singelolyckor har det föreslagits att cykelbanor ska göras mer stötdämpande genom att välja ett beläggningsmaterial liknande det som används på lekplatser. Studier vid KTH/SP och VTI har tittat närmare på frågan, ur ett konstruktionsperspektiv (t.ex. Kalman, Niska och Pettersson, 2015). Det finns emellertid en risk att en sådan typ av beläggning medför ett ökat rullmotstånd och därmed en ökad ansträngning hos cyklisten. Innan en omfattande användning av stötdämpande beläggningar kan förespråkas, behöver därför påverkan på rullmotståndet studeras – i tillägg till att studera beläggningarnas stötdämpande och skadeförebyggande effekt.



Figur 17. Rullmotståndsvagnen som användes för att mäta cykeldäcks rullmotstånd i Arnberg et al. (1980). (Bild hämtad från VTI rapport 201).

Genom att kombinera mätningar av rullmotståndet med friktionsmätningar, kan man få en ökad kunskap om kombinationen underlag och däck vilket är ett tämligen outforskat område när det gäller cykeltrafik. Däckens gummiblandning och framförallt antalet dubb påverkar inte bara friktionsegenskaperna utan även rullmotståndet och därmed cyklistens ansträngning. Vid VTI bedriver vi också ett antal projekt där vi mäter olika cykelytors friktion i fält. Kan vi kombinera den pågående forskningen om friktion på cykelvägar med olika däck med mätning av rullmotståndet, skulle vi kunna få bättre svar på hur cykeldäck, beläggningar och drift- och underhållsstrategier kan optimeras både mot framkomlighet (långt rullmotstånd) och trafiksäkerhet (god friktion).

5.4.3. Stabilitetstester

Stabilitet för cykel och bil är väldigt skilt från varandra. Stabilitet för en cykel är direkt kopplat till cyklistens förmåga att hålla balansen. För en personbil så handlar det om att undvika sladd

där bilen börjar rotera. För båda fallen har däckens väggrepp en stor betydelse, och mätningar av däckens slipkurvor är användbara för att dra slutsatser om stabilitet.

För cykeldäck skulle dock en kompletterande stabilitetstest med riktig cykel och cyklist på isigt underlag behöva göras för att med större säkerhet kunna utvärdera betydelsen av olika uppmätta egenskaper hos slipkurvorna. Sådana studier skulle också kunna ge värdefull kunskap om i vilka situationer man har mest nytta av ett dubbat cykeldäck – vid styrning eller vid bromsning – vilket ger underlag för att mer noggrant kunna beräkna dubbdäckens säkerhetspotential. Dessa kompletterande stabilitetsmätningar skulle kunna utföras i en ishall där ett antal ”vadderade” cyklister får cykla på en bana markerad med koner. Typiska prestandamått kan vara: Tid det tar att avverka ett varv, antal omkullkörningar, medelkörd sträcka mellan omkullkörningar. Det finns också andra tänkbara mått, och en mer detaljerad testplan behöver tas fram. En liknande studie har tidigare genomförts för jämförelse av olika skor på halt underlag (Strandberg, 1985).

5.4.4. Övrigt

Förutom de föreslagna stabilitetstesterna behövs ytterligare studier för att verifiera att de uppmätta friktionsnivåerna motsvarar cykling i verklig trafik, dvs. det grepp som cyklisterna upplever när de cyklar. Vid tolkning av mätresultaten från långa banan är det viktigt att veta hur de förhållanden som där gäller – framförallt när det gäller vägytans/isens egenskaper – stämmer överens med verkliga förhållanden. Liksom nämndes i avsnitt 5.3 finns inga detaljerade uppgifter om väglaget vid inträffade cykelolyckor. Vi vet inte heller hur vanligt förekommande olika typer av väglag är på cykelvägarna vintertid.

VTI bedriver sedan många år tillbaka forskning kring vinterväghållning och väglag på cykelvägar och effektsamband vad gäller cyklisters olyckor och framkomlighet. Det är viktigt att den forskningen knyts ihop med studier kring cykeldäckens friktionsegenskaper. I tidigare och pågående forskningsprojekt om vinterväghållning på cykelvägar har en stor mängd friktionsmätningar genomförts på cykelvägar (t.ex. Niska och Blomqvist, 2014). Nyligen genomförda friktionsmätningar i hög rumslig detaljupplösning visar att friktionen på autentiska cykelbanor vintertid varierar signifikant både betraktat i cm-skala och meter-skala, men effekten av dessa olika skalor för cyklister är dåligt utredd. Därför finns ett stort behov av att kunna relatera de uppmätta friktionsvärdena till de effekter som en cyklist upplever på en cykel med olika karaktäristika och på olika ytor. Hur stor behöver t.ex. en isfläck vara för att utgöra en risk för en cyklist och hur definierar vi egentligen halka ur ett cyklistperspektiv? Kunskapen om vilket friktionsmönster (fördelning och storlek av hala och sträva fläckar) som har betydelse för cyklister under olika betingelser har bäring mot både vinterväghållningsstrategier och cykeldäck. Med en ökad kunskap om olika cykeldäcks friktionsegenskaper och en ökad förståelse för i vilka situationer halka för cyklister uppstår, finns en möjlighet att identifiera vilka åtgärder som krävs under olika förhållanden för att minska antalet halkolyckor bland cyklister.

De slipkurvor för cykeldäck som vi tagit fram i det här projektet visar att, liksom för personbils och lastbilsdäck, förlorar cykeldäcken stora delar av sin maximala friktion när hjulet går i låsning. Låsningsfria bromsar (ABS) har för person- och lastbilar minskat problemen med hjullåsning och inneburit stora säkerhetsvinster. Ett motsvarande system för cyklar skulle vara värdefullt för att tillfullo kunna utnyttja cykeldäckens prestanda och sannolikt också leda till säkerhetsvinster för cyklisterna.

6. Slutsatser

En av de viktigaste slutsatserna från projektet är att den framtagna metoden, med en ombyggnad av långa banan, fungerar bra för jämförande tester av cykeldäck. Testmetoden gör det möjligt att ta fram underlag för oberoende och evidensbaserad information om det väggrepp som kan fås på is med ett dubbat cykeldäck i jämförelse med ett odubbade, både vid bromsning och i kurvor.

Utifrån de inledande mätningarna där vi jämfört väggreppet på blank is, på ett plant underlag med fyra olika dubbdäck och två odubbade cykeldäck, kan vi sammanfattningsvis dra följande slutsatser:

- dubbdäck har generellt bättre isgrepp än odubbade
- dubbdäcken har avsevärt bättre bromsstabilitet än de odubbade cykeldäcken
- det kan vara stora skillnader i isgrepp mellan olika dubbdäck
- fler dubbar behöver inte innebära ett bättre isgrepp
- för bromsning med låst hjul uppmättes upp till 2,5 gånger högre friktion med dubbdäck jämfört med ett odubbade däck
- dubbdäcken producerar generellt större sidkraft vid styrning på isen jämfört med de odubbade
- vid lutning av cykeln (cambervinkel) ökar skillnaderna mellan dubbat och odubbade, där upp till dubbla storleken på sidkraften genereras av några av dubbdäcken
- vid minskat däcktryck uppnås generellt en liten ökning av broms- och sidkrafter
- rätt däcktryck tycks vara viktigt för att få ut optimal prestanda ur ett dubbdäck.

För att fördjupa kunskapen ytterligare kring cykeldäcks friktion på vinterväglag bör mer omfattande mätningar genomföras i långa banan. Förslagsvis behövs fler studier som inbegriper:

- olika däcktryck
- fler typer av dubbdäck
- odubbade vinterdäck
- strumpor, snökedjor och liknande
- fler "individer" av samma däck, för att studera inbördes variation
- däck som är några år gamla (använda och icke använda), för att studera åldringseffekter
- odubbade däck av olika gummiblandning och/eller mönster.

Därutöver behövs jämförande tester med riktig cykel på isbana för ökad kunskap om hur stor vikt som ska läggas vid olika uppmätta parametrar. Förutom dessa tester behövs studier av däckens rullmotstånd. En uppdaterad version av VTIs tidigare rullmotståndsvagn bör konstrueras för detta. Vagnen möjliggör jämförande studier av olika beläggningar vilket också borde vara av intresse för forskningsområdet.

7. Rekommendationer

Utifrån de resultat vi hittills fått fram kan vi konstatera att det är väl värt att rekommendera cyklister att använda dubbdäck vid cykling på vinterväglag. Med bättre grepp och bättre bromsstabilitet finns goda möjligheter till säkerhetsvinster vid vintercykling. Subventioneringar och/eller kampanjer med sänkta priser på dubbdäck, skulle kunna vara ett bra sätt att främja vintercyklingen och samtidigt minska olyckorna. Den relativt stora spridningen i isgrepp mellan olika typer av dubbdäck till cykel motiverar att det även för cykeldäck vore värdefullt med någon form av reglering av marknaden med standardmärkning, baserat på prestandatest. Det behövs åtminstone tas fram tydligare rekommendationer baserade på oberoende studier och inte bara på användarnas erfarenheter. Rekommendationerna behöver vara målgruppsanpassade och anpassade efter typen av däck där exempelvis däcktrycket kan ha stor betydelse för att uppnå optimal prestanda.

Referenser

- Arnberg, P. W. et al (1980). **Cykeldäcks slitstyrka friktion och rullmotstånd. Utveckling av mätapparater och provning av tre barncykeldäck.** *VTI rapport 201*, Statens väg- och trafikinstitut. Linköping.
- Bergström, A. (1999). **Cykling vintertid – Väglagets betydelse för val av färdmedel.** *VTI meddelande 861*, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Dagens Nyheter, DN (2011). **Slipp vurpa med dubbdäck på cykeln.** Artikel publicerad 2011-10-21, 09:23, Stockholm.
- Hjort, M. (2005). **SUV-däcks väggrepp på is.** *VTI notat 58-2005*. Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping
- Hjort, M. och Bruzelius, F. (2015). **Test av is och snögrepp för olika typer av vinterdäck.** *VTI rapport x* (under preparation). Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Kalman, B., Niska, A. och Pettersson, T. (2015). **Säker cykelbana.** *VTI rapport x* (ej publicerad), Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Kroken, B. (2014). **Krav til vinterdrift av g/s-anlegg og universellutforming R610 (nye hb 111) og driftskontraktene.** Presentation vid Teknologidagene, 7 oktober 2014 i Trondheim.
- Nationalencyklopedin, 1990.
- Niska, A. (2007). **Cyklisters syn på cykelvägars standard. Fokusgrupper i Umeå och Linköping.** *VTI rapport 585*, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Niska, A. (2012). **Varmsandning på gång- och cykelvägar. Utvärderingar i Umeå av för- och nackdelar med metoden.** *VTI rapport 796*, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Niska, A. och Eriksson, J. (2013). **Statistik över cyklisters olyckor. Faktaunderlag till gemensam strategi för säker cykling.** *VTI rapport 801*, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Niska, A. och Blomqvist, G. (2014). **Sopsaltning av cykelvägar. Utvärdering av försök i Stockholm vintern 2013/14.** *VTI notat x* (ej publicerad), Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Nordström, O. (1994). **The VTI flat bed tyre test facility – A new tool for testing commercial tyre characteristics.** Reprint from SAE Technical paper series, SP 1003 – The influence of tire, axle and brake characteristics on truck braking and steering performance, paper 93306, pp. 13-23 (International truck and bus meeting and exposition, Detroit, Michigan, November 1-4, 1993). *VTI särtryck nr 220*. Statens väg och transportforskningsinstitut. Linköping.
- Räkilä, K. (2015). **Bicycle friction measurements on winter roads.** Presentation vid Transportforum i Linköping 8-9 januari 2015.
- Shepherd, R. (1994). **Road and Path Quality for Cyclists.** 17th ARRB Conference, part 5, Gold Coast, Queensland 15–19 August 1994. Conference proceedings, volume 17, part 5, pp. 133-47, Australian Road Research Board Ltd.
- Strandberg, L. (1985). **The effect of conditions underfoot on falling and overexertion accidents.** *Ergonomics*, Vol. 28, No. 1, pp 131-147. Taylor & Francis. London and Philadelphia.

Thulin, H. och Niska, A. (2009). **Tema Cykel - skadade cyklister. Analys baserad på sjukvårdsregistrerade skadade i STRADA.** *VTI rapport 644*, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.

Trafikverket (2014). **Säkrare cykling: Gemensam strategi för år 2014-2020.** Borlänge.

Wijlens J. (2012). **Modeling Tire-Road Contact of a Bicycle Tire.** Web presentation. URL: <http://www.slideshare.net/VeraB7/bicycle-tireroadcontact>

7.1.1. Webbssidor

Svensk Cyklings hemsida (2012 och 2014): www.svenskcykling.se. **Vintercykling fortsatt hett – dubbdäck och vinterservice rekordökar**, Publicerad 2014-01-14 samt **Dubbdäck och vinterservice för cyklar ökar igen**, Publicerad 2014-12-03.

Sportson (2015). **Tips & Tricks – Dubbdäcksskolan.** www.sportson.se/. Senast läst 2015-02-26.

Testfakta (2014). **Bästa cykeldäcket för vinterhalkan.** www.testfakta.se/tester/sport-och-fritid/. Publicerad 21 november 2014.

Vintercykel.se (2015). **Dubbdäck till cykel.** www.vintercykel.se/dubbade-cykeldack/. Senast läst 2015-02-26.

White, P. (2012). **Studded Bicycle Tires.** <http://www.peterwhitecycles.com/studdedtires.asp>. Senast läst 2012-05-31.

Wikipedia, 2012

7.1.2. Personliga kontakter

Klas Elm, Svensk Cykling – Telefonsamtal i mars 2012

Krister Spolander – Telefonsamtal i mars 2012

Bilaga 1 – Beskrivning av de testade cykeldäcken



Figur 18. Odubbat 1 (O1): Cheng Shin Spectra Regular Gleam.



Figur 19. Odubbat 2 (O2): Schwalbe Active Citizen.



Figur 20. Halvdubbat 1 (H1): Biltema dubbdäck. 158 dubbar.



Figur 21. Halvdubbat 2 (H2): Suomi Tyres Hakkapeliitta W106. 106 dubbar.



Figur 22. Fulldubbat 1 (F1): Suomi Tyres Hakkapeliitta W240. 240 dubbar.



Figur 23. Fulldubbat 2 (F2): Schwalbe Maraton Winter. 240 dubbar.

Tabell 6. Utförlig beskrivning av de testade däck.

ID	Däckbeskrivning	Märke/modell	Tillverkningsland	Antal dubb	Rek. däcktryck	Dimension ³ (ERTO)	Gummihårdhet ⁴ (Shore A)	Dubbutstick ⁵ (mm)
O1	Odubbat testdäck (referensdäck)	Cheng Shin	Kina	0	3,4 - 5,1 bar	37-622	58	-
O2	Odubbat testdäck	Schwalbe Active Citizen		0	2,5 – 4,5 bar	37-622	57	-
H1	Billigt halvdubbat däck	Biltema		158	4,8 bar	32-622	57	2,0
H2	Dyrare halvdubbat däck	Suomi Tyres Hakkapeliitta W106	Finland	106	4,5 bar	47-622	53	1,45
F1	Dyrare fulldubbat däck	Suomi Tyres Hakkapeliitta W240	Finland	240	4,5 bar	40-622	48	0,90
F2	Dyrare fulldubbat däck	Schwalbe Marathon Winter	Amerikanskt däck, made in Indonesia	240	2,0 – 5,0 bar	42-622	57	1,45

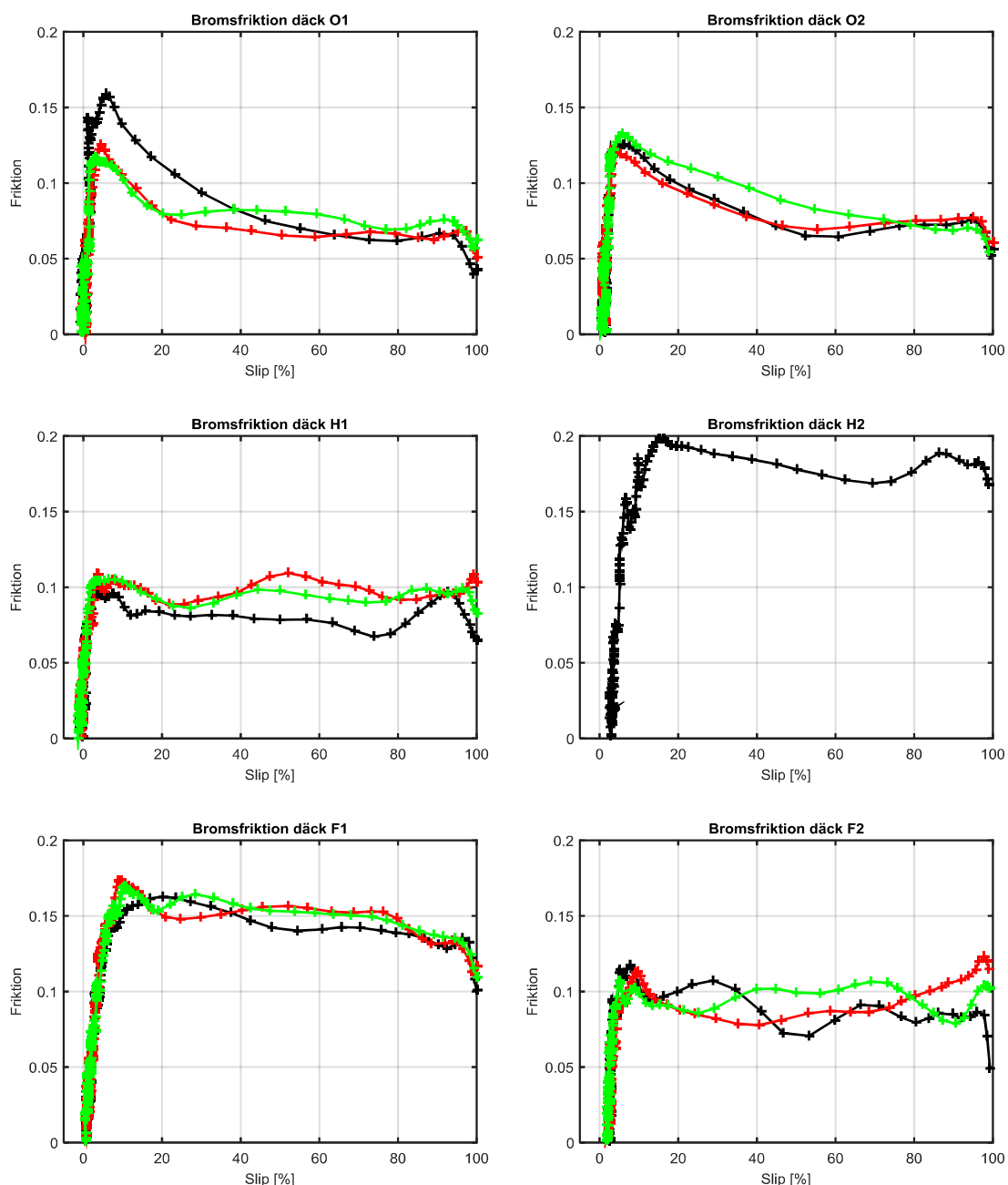
³ ERTO dimensionen anger profilbredd i mm, samt diametern på fälgbädden i mm⁴ Gummihårdheten mäts med en Shore A hårdhetsmätare och värdet avser medelvärde från fyra mätpunkter⁵ Dubbutsticket är medelvärde från 6 uppmätta dubbar

Bilaga 2 – Mätserier från däckprovsningsanläggningen

Tyvärr så skrapade däck H2 i mättriggen vid flera mätningar, varför det inte gick att producera meningsfulla slipkurvor för detta däck för ett antal mätningar. Det gick dock att ta fram värden på de studerade måtten för samtliga mätningar, med undantag för repetition nr 2 med cambervinkel. Mätningar vid olika lufttryck blev dock tyvärr inte meningsfulla med detta däck.

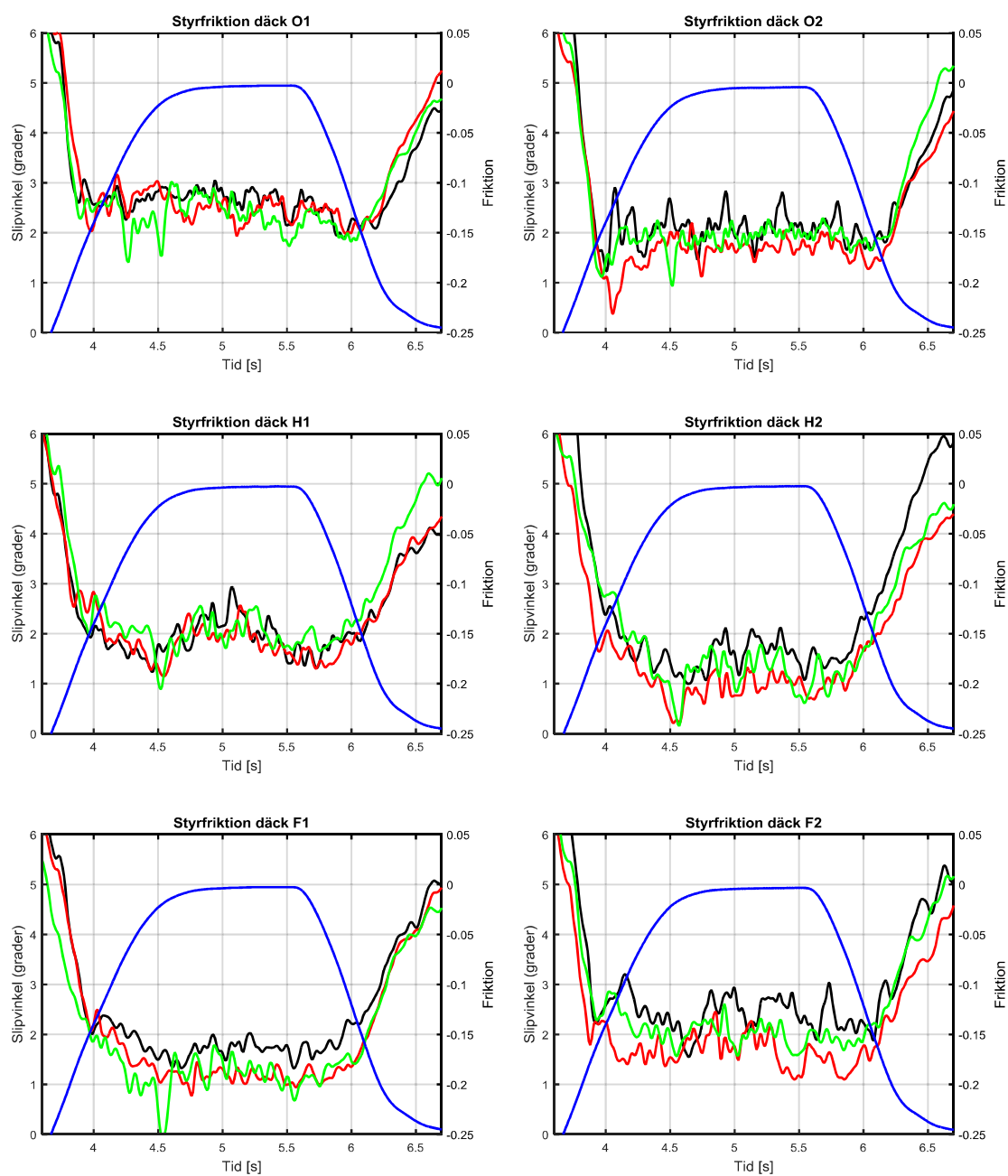
Utan cambervinkel

7.1.3. Rak bromsning



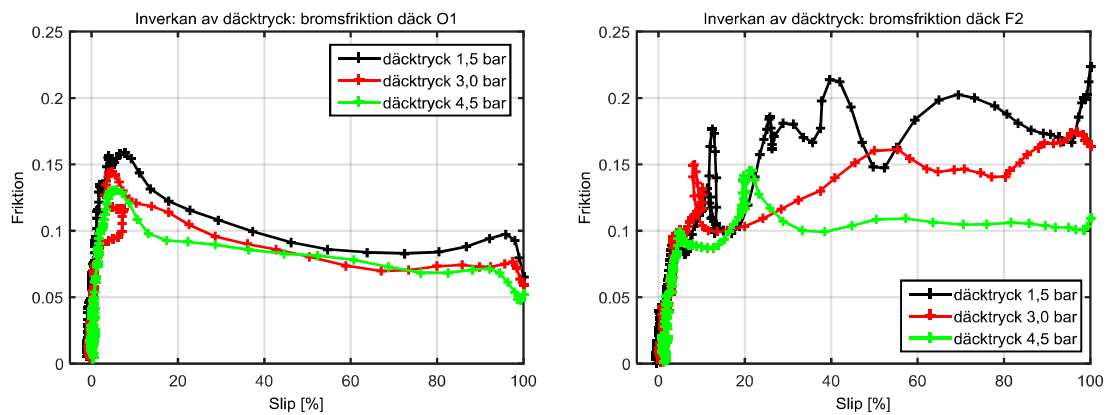
Figur 24. Rak bromsning (bromsfriktion) utan cambervinkel för de 6 testade däck. Varje mätning upprepades tre olika dagar: dag 1 (svart), dag 2 (röd), dag 3 (grön).

7.1.4. Ren styrning, 5 graders vinkel

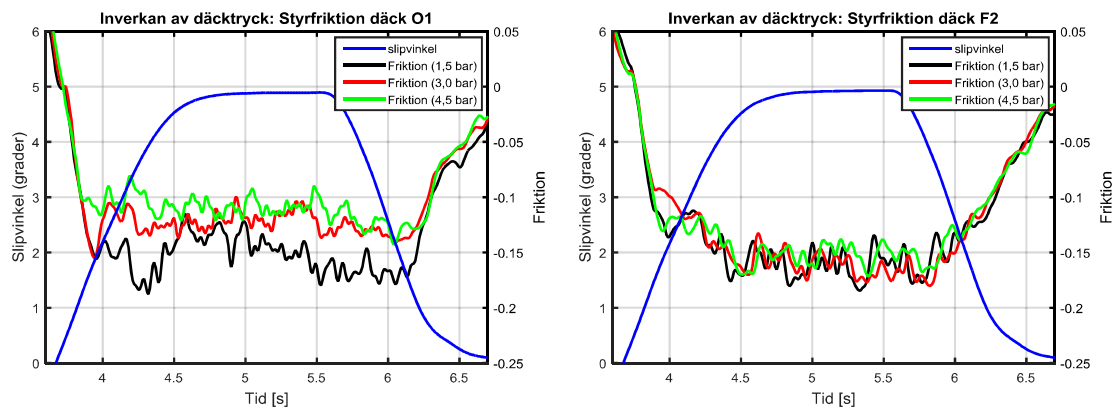


Figur 25. Styrfriktion (normerad) vid styrning med 5 graders slipvinkel, utan camber. Friktionen är skalad en faktor 100, och visas i samma diagram som slipvinkeln (blå). Varje mätning upprepades tre olika dagar: dag 1 (svart), dag 2 (röd), dag 3 (grön).

Inverkan av olika däcktryck



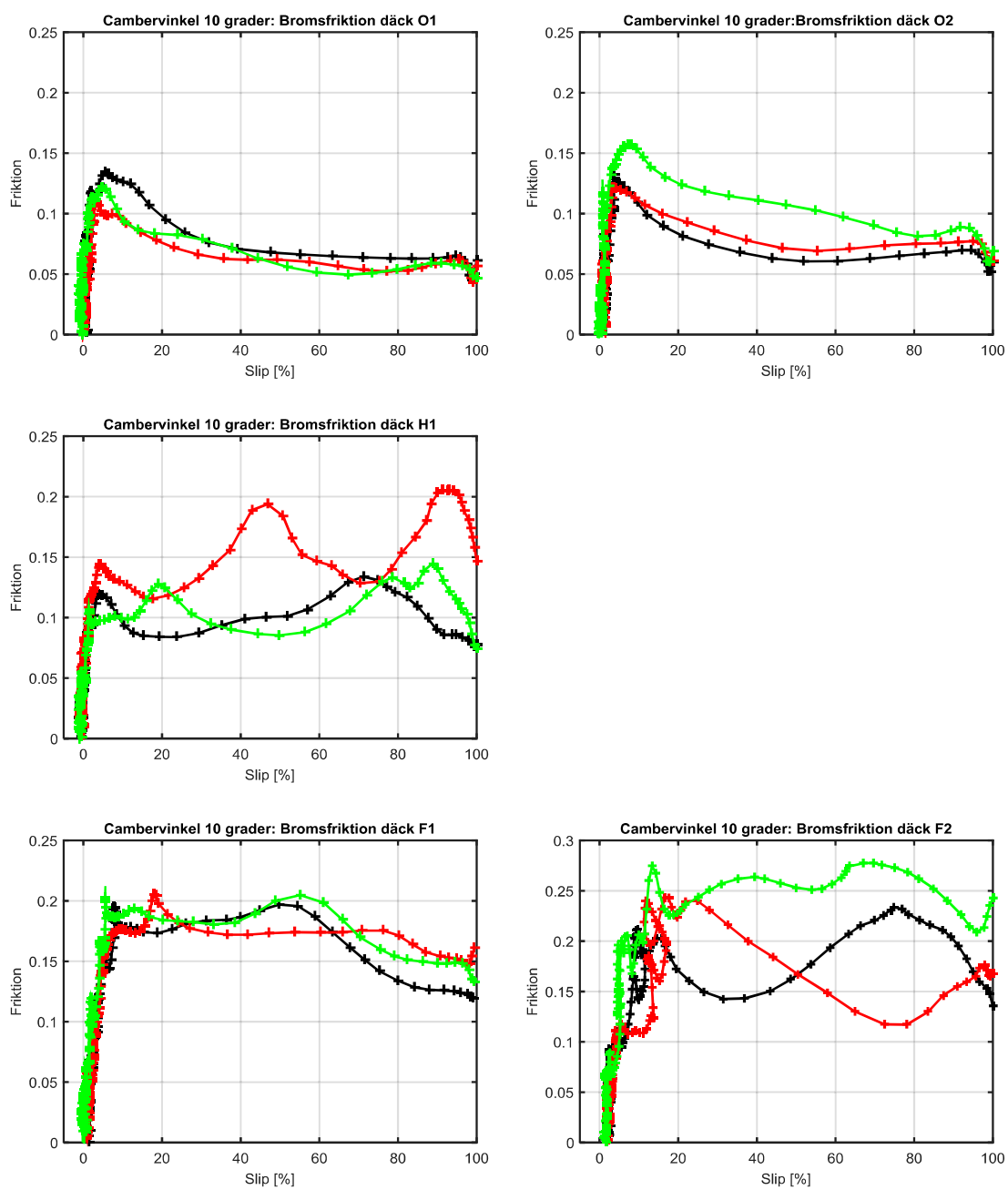
Figur 26. Inverkan av olika däcktryck på bromsfriktionen. Däck O1 (vänster) och däck F2 (höger).



Figur 27. Inverkan av olika däcktryck på styrfriktionen. Däck O1 (vänster) och däck F2 (höger).

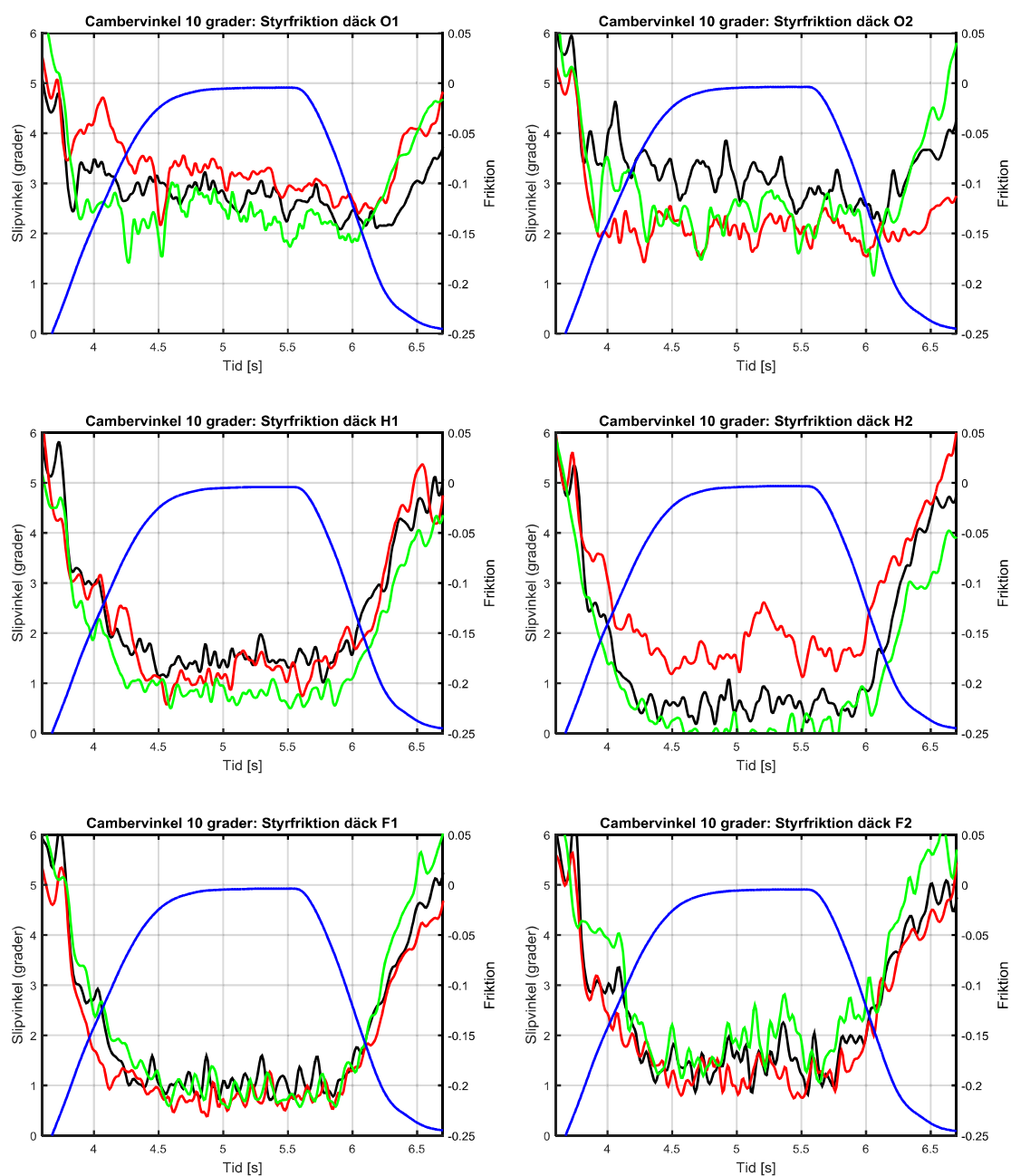
Med cambervinkel 10 grader

7.1.5. Rak bromsning



Figur 28. Rak bromsning (bromsfriktion) med cambervinkel för de 6 testade däcken. Varje mätning upprepades tre olika dagar: dag 1 (svart), dag 2 (röd), dag 3 (grön). Notera annorlunda skala för däck F2.

7.1.6. Ren styrning 5 graders vinkel med cambervinkel 10 grader



Figur 29. Styrfriktion vid styrning med 5 graders slipvinkel, med camber. Friktionen är skalad en faktor 100, och visas i samma diagram som slipvinkeln (blå). Varje mätning upprepades tre olika dagar: dag 1 (svart), dag 2 (röd), dag 3 (grön).

Tabell 7. Broms utan cambervinkel. Max bromsfriktion - alla mätningar.

		mätning 1	mätning 2	mätning 3	medel
O1	Odubbat1	0.159	0.125	0.117	0.134
O2	Odubbat2	0.126	0.126	0.132	0.128
H1	Halvdubb1	0.102	0.109	0.105	0.105
H2	Halvdubb2	0.198	0.204	0.16	0.187
F1	Fulldubb1	0.163	0.173	0.17	0.169
F2	Fulldubb2	0.117	0.126	0.107	0.117

Tabell 8. Bromsfriktion vid låst hjul utan cambervinkel.

Kod	Beskrivning	mätning 1	mätning 2	mätning 3	medel	i relation till O1	Bromsstabilitet
O1	Odubbat1	0.052	0.059	0.067	0.059	100 %	0.44
O2	Odubbat2	0.062	0.066	0.060	0.063	107 %	0.49
H1	Halvdubb1	0.067	0.095	0.086	0.083	140 %	0.78
H2	Halvdubb2	0.188	0.150	0.127	0.155	263 %	0.83
F1	Fulldubb1	0.112	0.120	0.120	0.117	199 %	0.70
F2	Fulldubb2	0.068	0.115	0.091	0.091	155 %	0.78

Tabell 9. Styrfriktion vid 5 grader hjulvinkel. Utan cambervinkel.

Kod	Beskrivning	mätning 1	mätning 2	mätning 3	medel	i relation till O1
O1	Odubbat1	0.113	0.128	0.127	0.123	100 %
O2	Odubbat2	0.144	0.166	0.152	0.154	126 %
H1	Halvdubb1	0.142	0.151	0.145	0.146	119 %
H2	Halvdubb2	0.167	0.2	0.182	0.183	149 %
F1	Fulldubb1	0.163	0.192	0.185	0.180	147 %
F2	Fulldubb2	0.123	0.161	0.148	0.144	117 %

Tabell 10. Mätningar med olika däcktryck. Endast en mätning per däck och däcktryck.

Däck- tryck	Odubbat1			Fulldubb2		
	Max bromsfriktion	BromsfriktionLåst hjul	Styrfriktion 5 grader hjulvinkel	Max bromsfriktion	Bromsfriktion Låst hjul	Styrfriktion 5 grader hjulvinkel
1,5 bar	0.159	0.074	0.143	0.223	0.221	0.162
3,0 bar	0.144	0.068	0.118	0.175	0.154	0.161
4,5 bar	0.130	0.061	0.109	0.145	0.102	0.152

Tabell 11. Broms med cambervinkel. Max bromsfriktion - alla mätningar.

		mätning 1	mätning 2	mätning 3	medel
O1	Odubbat1	0.159	0.125	0.117	0.134
O2	Odubbat2	0.126	0.126	0.132	0.128
H1	Halvdubb1	0.102	0.109	0.105	0.105
H2	Halvdubb2	0.198	0.204	0.16	0.187
F1	Fulldubb1	0.163	0.173	0.17	0.169
F2	Fulldubb2	0.117	0.126	0.107	0.117

Tabell 12. Bromsfriktion vid låst hjul med 10 grader cambervinkel.

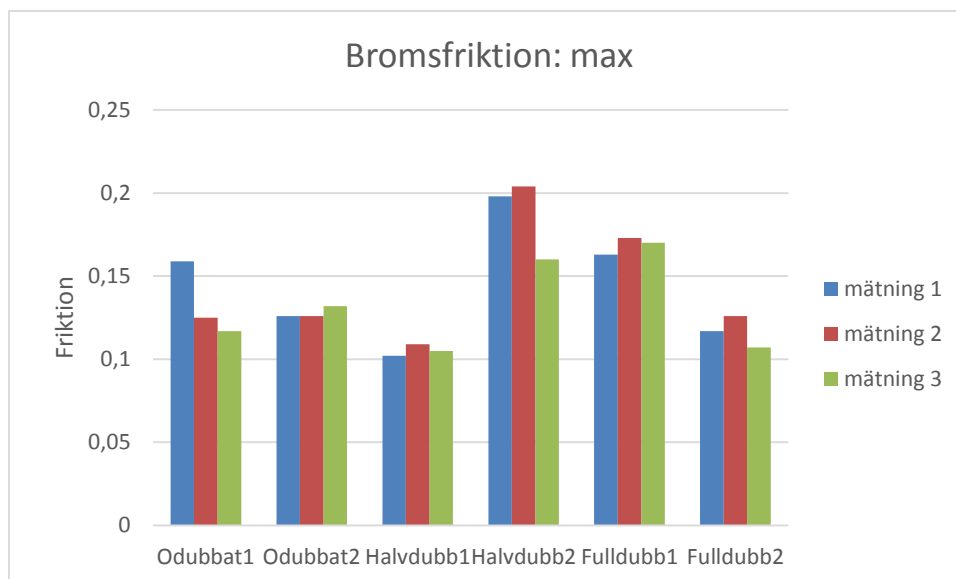
Kod	Beskrivning	mätning 1	mätning 2	mätning 3	medel	i relation till O1	Bromsstabilitet
O1	Odubbat1	0.061	0.056	0.0568	0.058	100 %	0.48
O2	Odubbat2	0.0635	0.0671	0.0755	0.069	119 %	0.50
H1	Halvdubb1	0.0827	0.139	0.0828	0.102	175 %	0.63
H2	Halvdubb2	0.16		0.18	0.170	293 %	0.83
F1	Fulldubb1	0.134	0.163	0.147	0.148	255 %	0.73
F2	Fulldubb2	0.135	0.165	0.253	0.184	318 %	0.73

Tabell 13. Styrfriktion vid 5 grader slipvinkel. Med 10 grader cambervinkel.

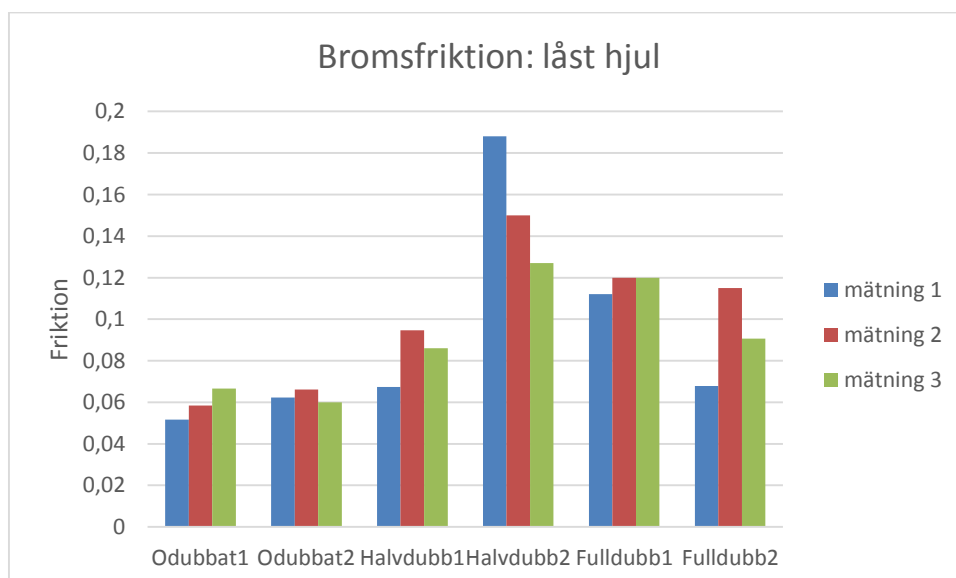
Kod	Beskrivning	mätning 1	mätning 2	mätning 3	medel	i relation till O1
O1	Odubbat1	0.111	0.0907	0.127	0.110	100 %
O2	Odubbat2	0.0933	0.146	0.133	0.124	113 %
H1	Halvdubb1	0.175	0.188	0.21	0.191	174 %
H2	Halvdubb2	0.22	0.158	0.25	0.209	191 %
F1	Fulldubb1	0.197	0.213	0.205	0.205	187 %
F2	Fulldubb2	0.175	0.189	0.154	0.173	158 %

Bilaga 3 – Alla jämförande diagram

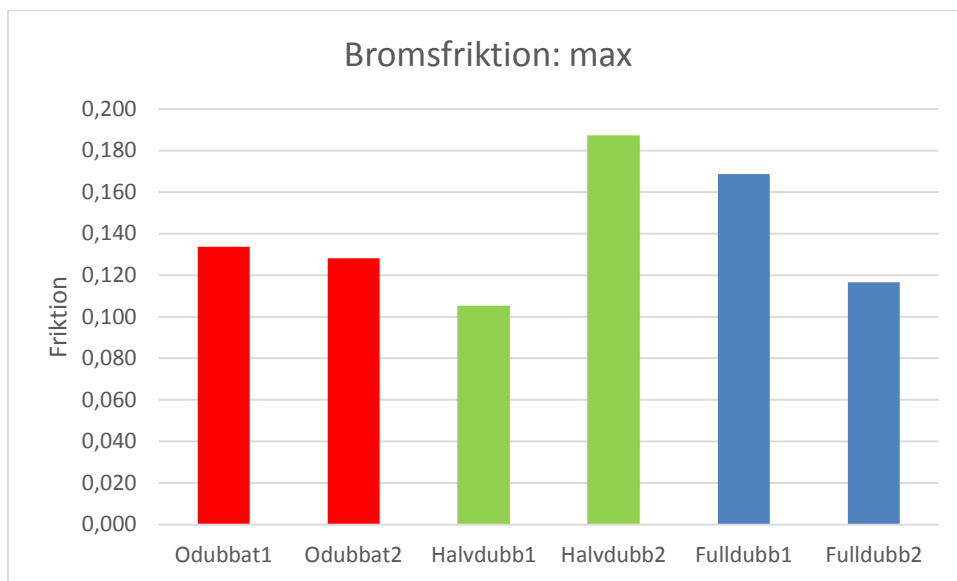
Bromsprestanda utan cambervinkel



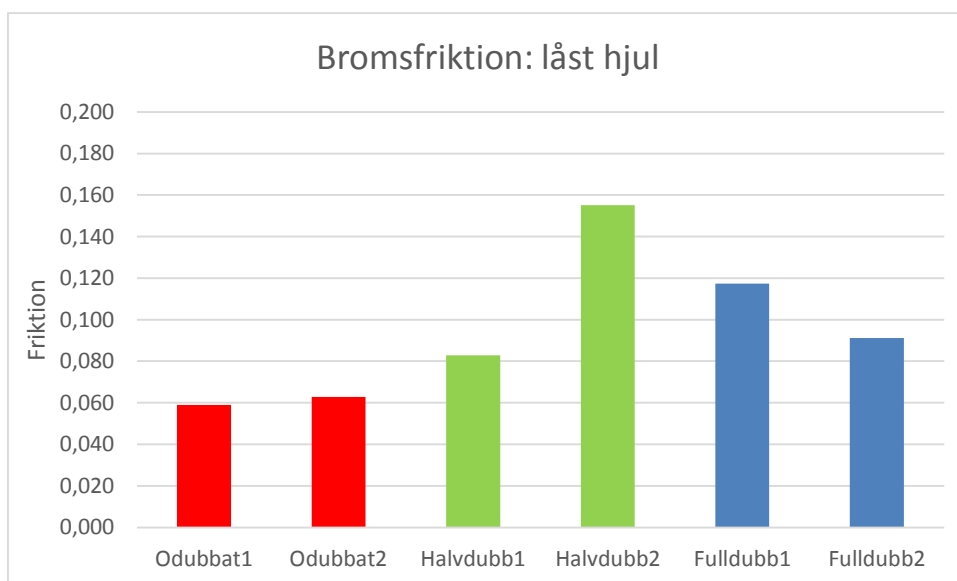
Figur 30. Broms utan cambervinkel. Max bromsfriktion – alla mätningar.



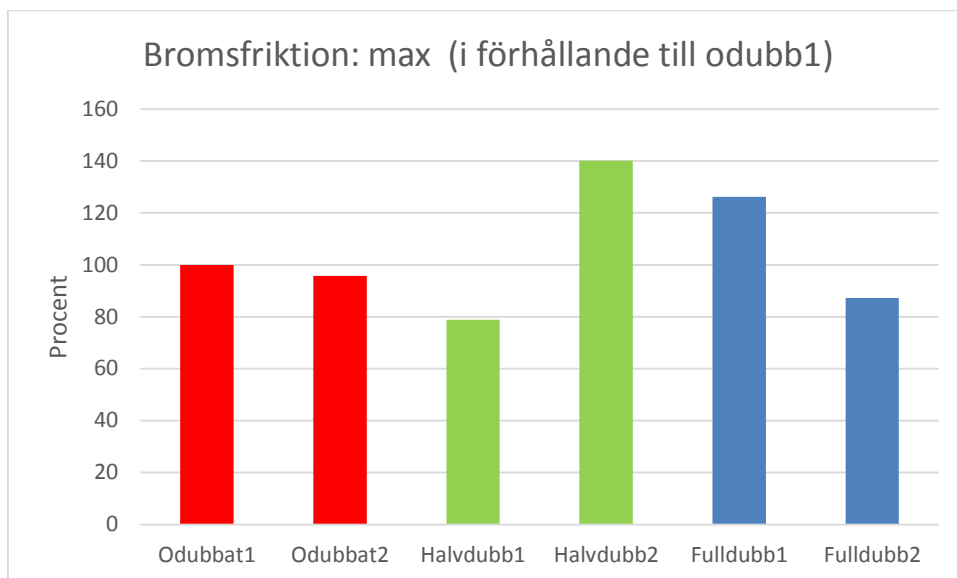
Figur 31. Broms utan cambervinkel. Bromsfriktion låst hjul – alla mätningar.



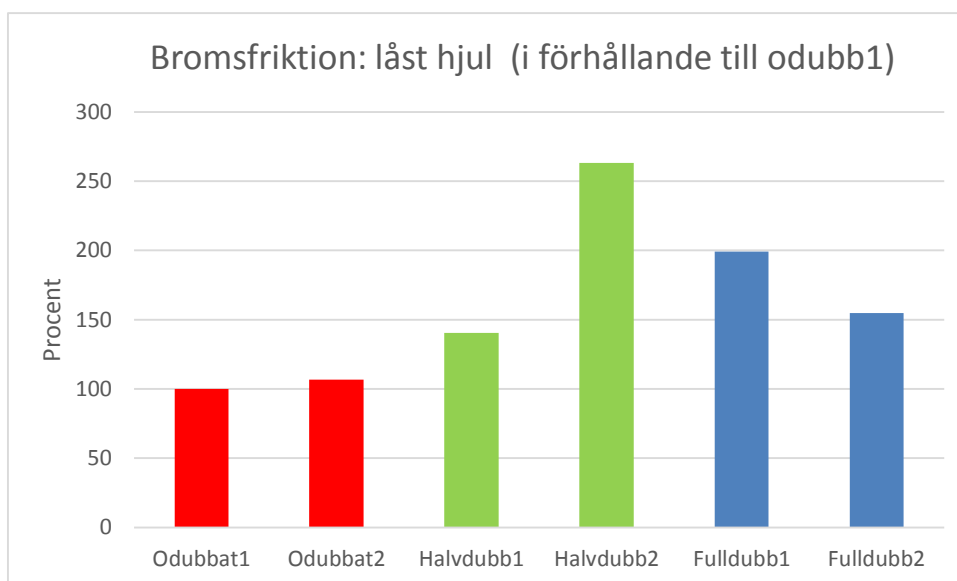
Figur 32. Broms utan cambervinkel. Max bromsfriktion – genomsnitt per däck.



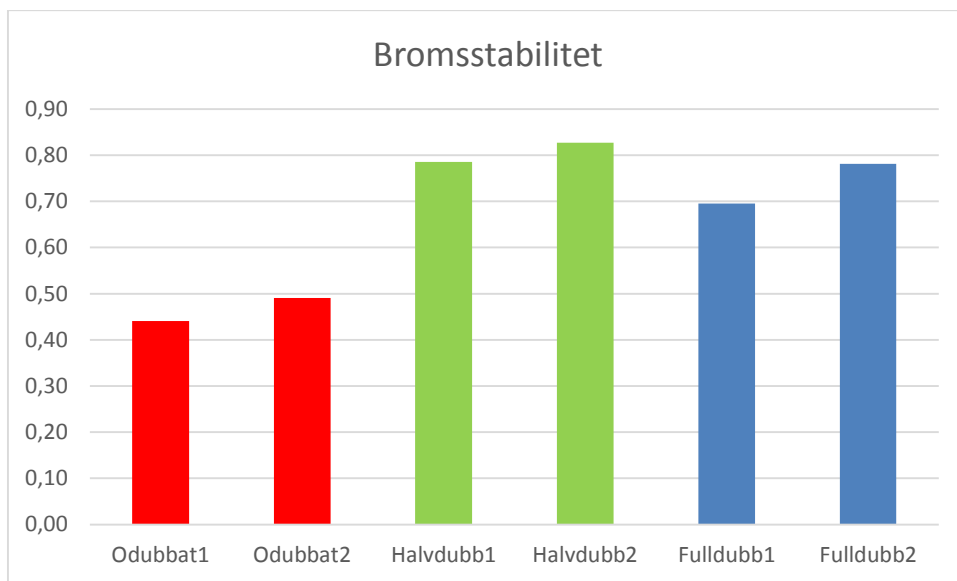
Figur 33. Broms utan cambervinkel. Bromsfriktion låst hjul – genomsnitt per däck.



Figur 34. Broms utan cambervinkel. Max bromsfriktion – prestanda i förhållande till odubb1.

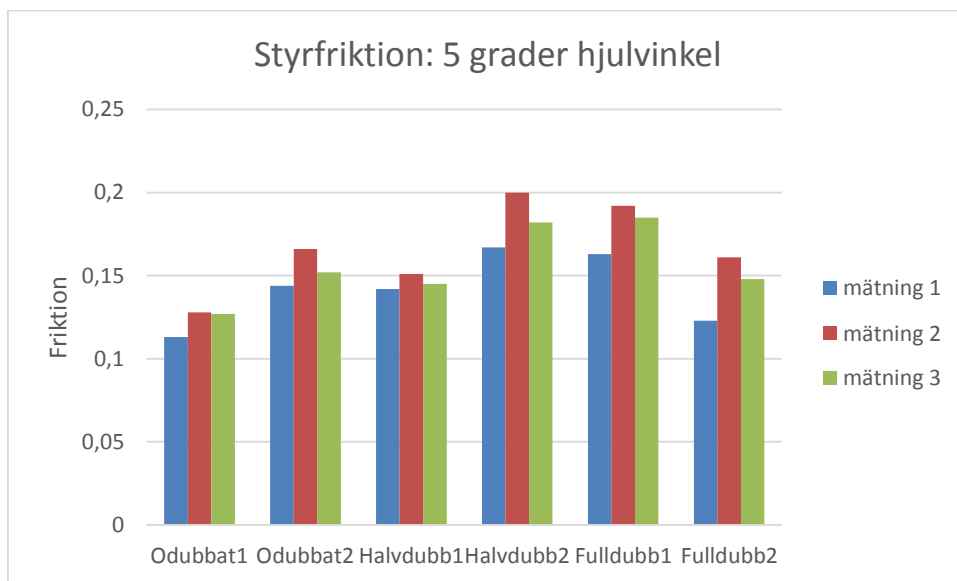


Figur 35. Broms utan cambervinkel. Bromsfriktion låst hjul – prestanda i förhållande till odubb1.

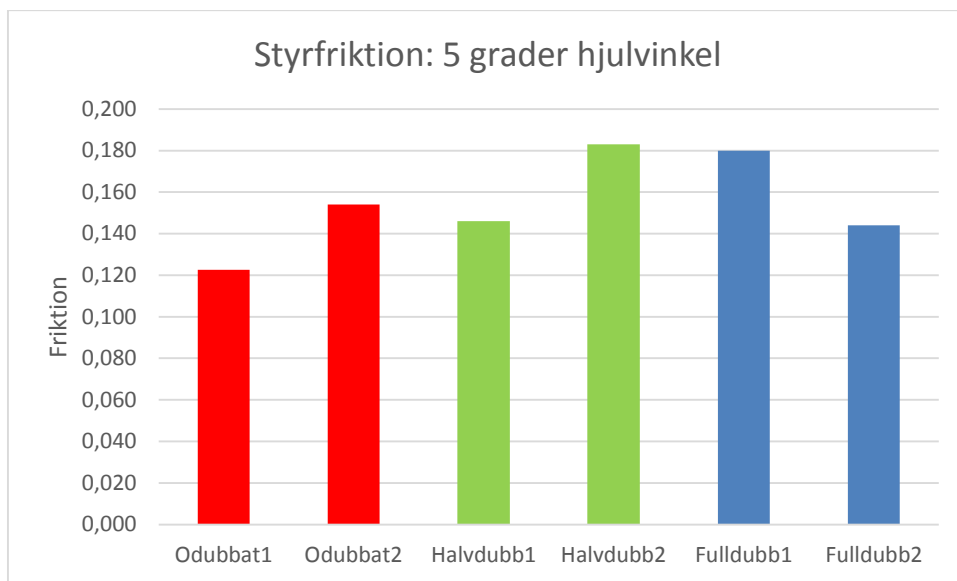


Figur 36. Broms utan cambervinkel. Bromsstabilitet.

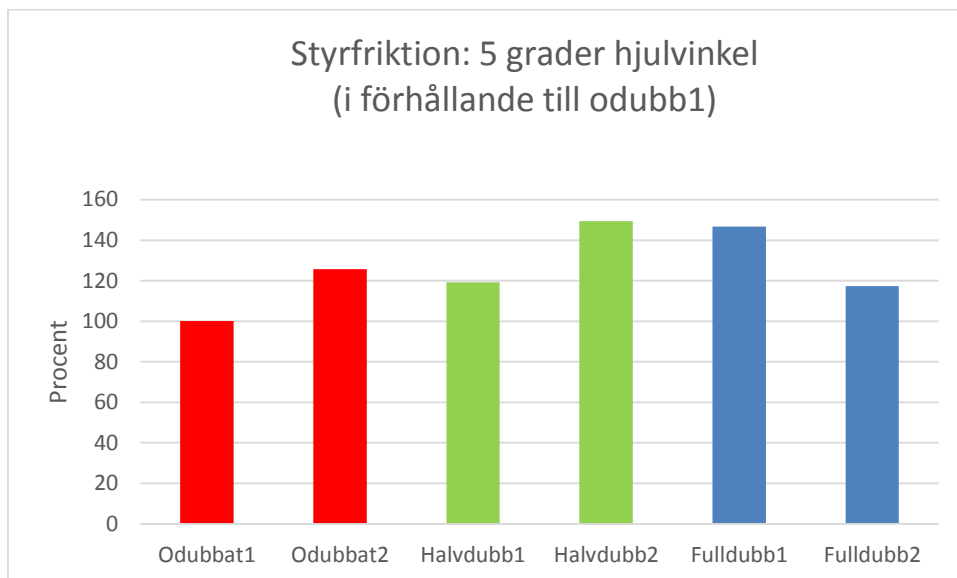
Styrprestanda utan cambervinkel



Figur 37. Styrning utan cambervinkel. Max styrfriktion – alla mätningar.

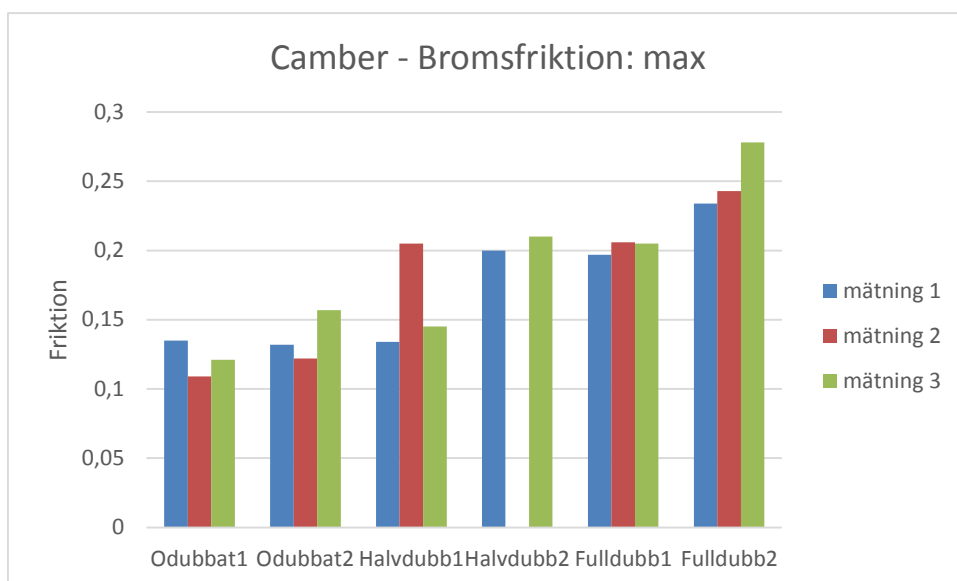


Figur 38. Styrning utan cambervinkel. Max styrfriktion – genomsnitt per däck.

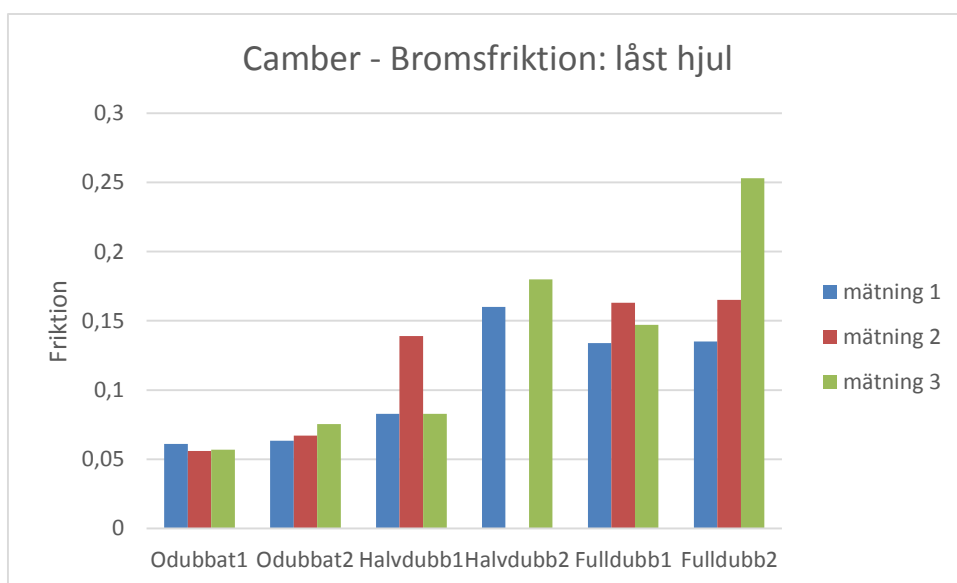


Figur 39. Styrning utan cambervinkel. Max styrfriktion – prestanda i förhållande till odubb1.

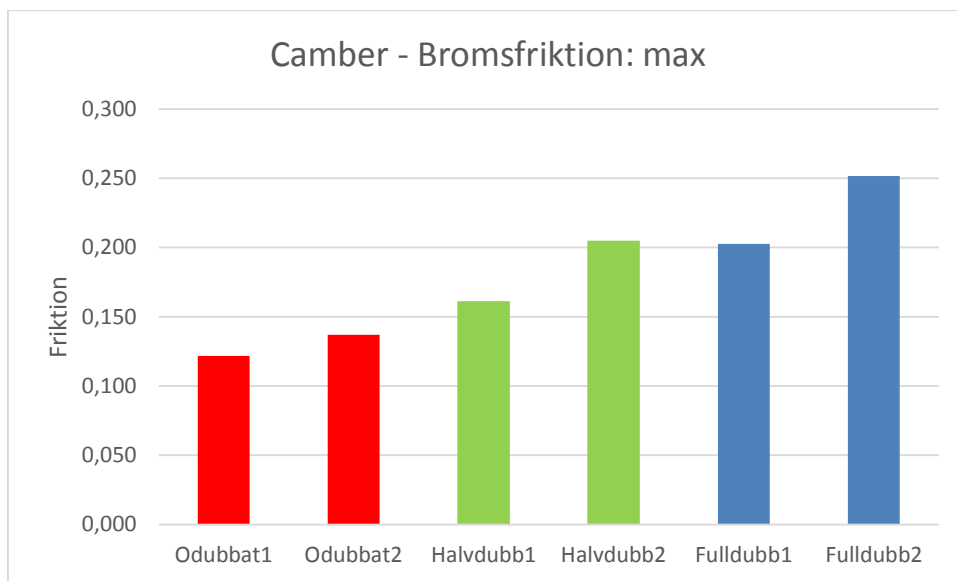
Bromsprestanda med cambervinkel



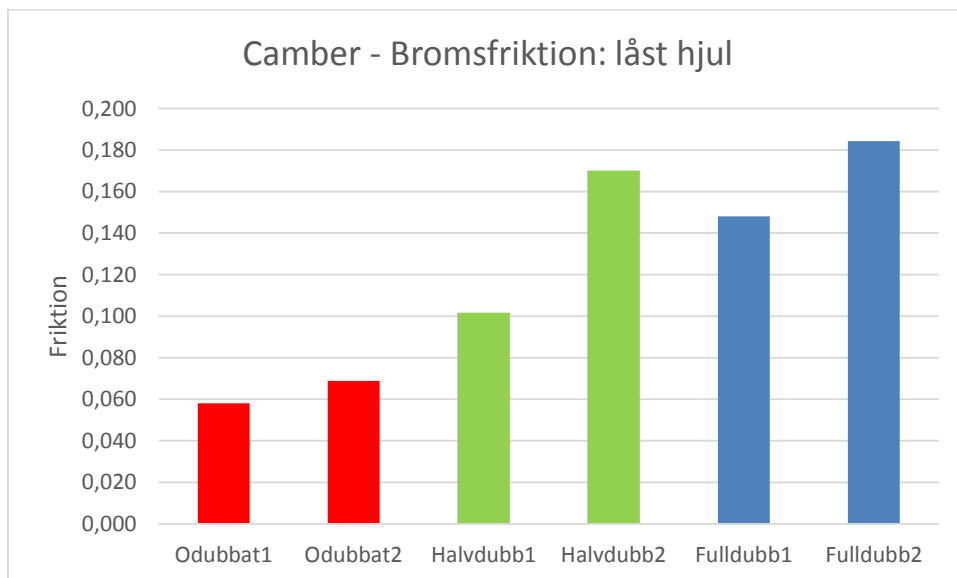
Figur 40. Broms med cambervinkel. Max bromsfriktion – alla mätningar.



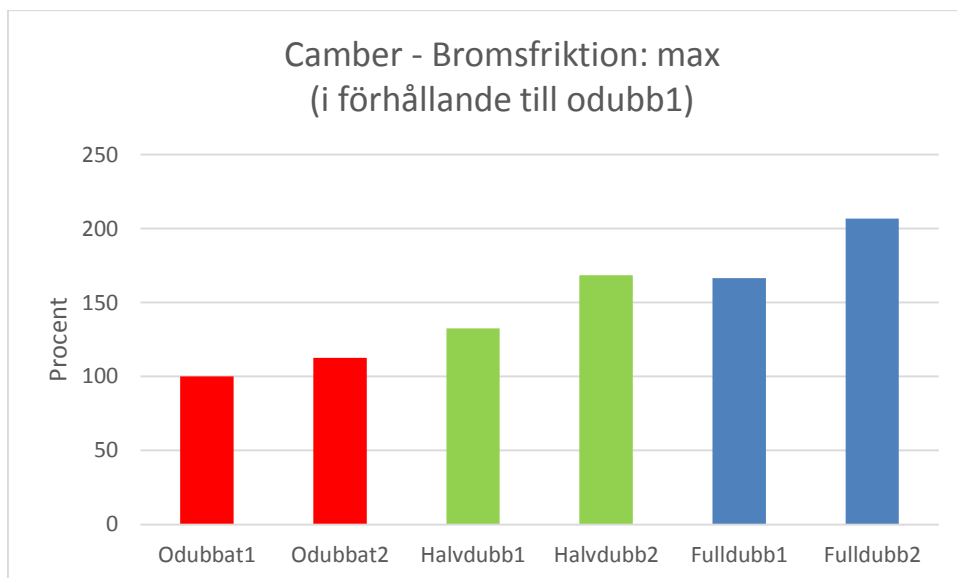
Figur 41. Broms med cambervinkel. Bromsfriktion låst hjul – alla mätningar.



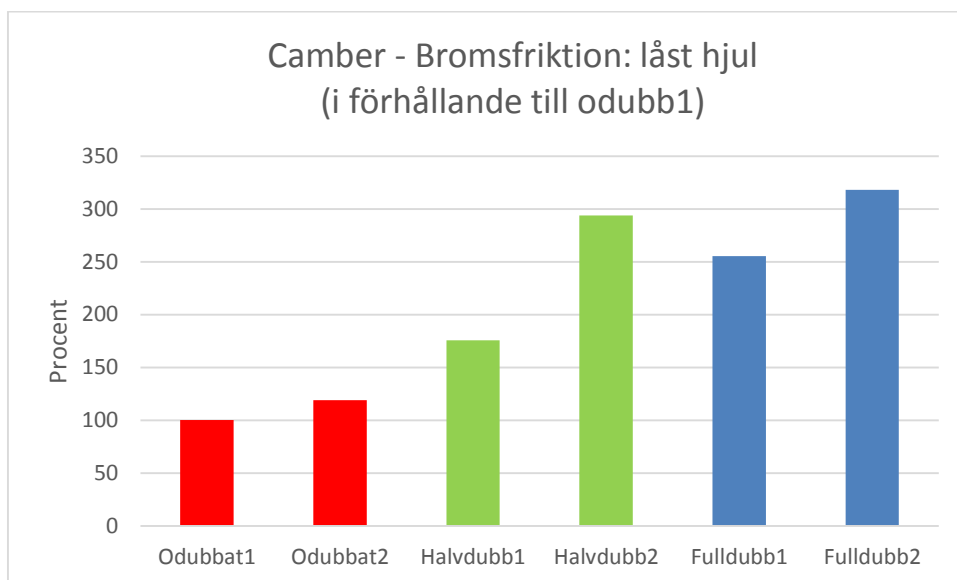
Figur 42. Broms med cambervinkel. Max bromsfriktion – genomsnitt per däck.



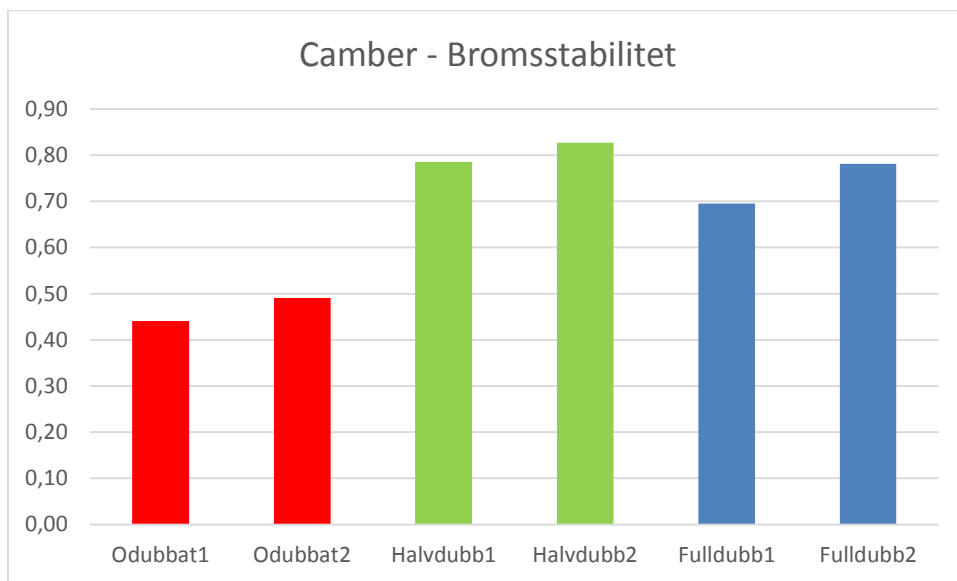
Figur 43. Broms med cambervinkel. Bromsfriktion låst hjul – genomsnitt per däck.



Figur 44. Broms utan cambervinkel. Max bromsfriktion – prestanda i förhållande till odubb1.

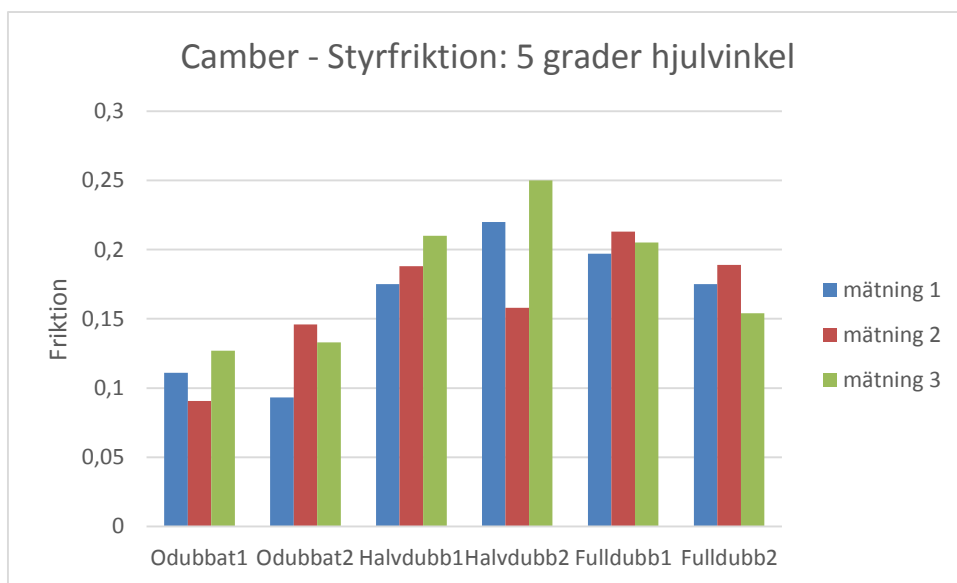


Figur 45. Broms utan cambervinkel. Bromsfriktion låst hjul – prestanda i förhållande till odubb1.

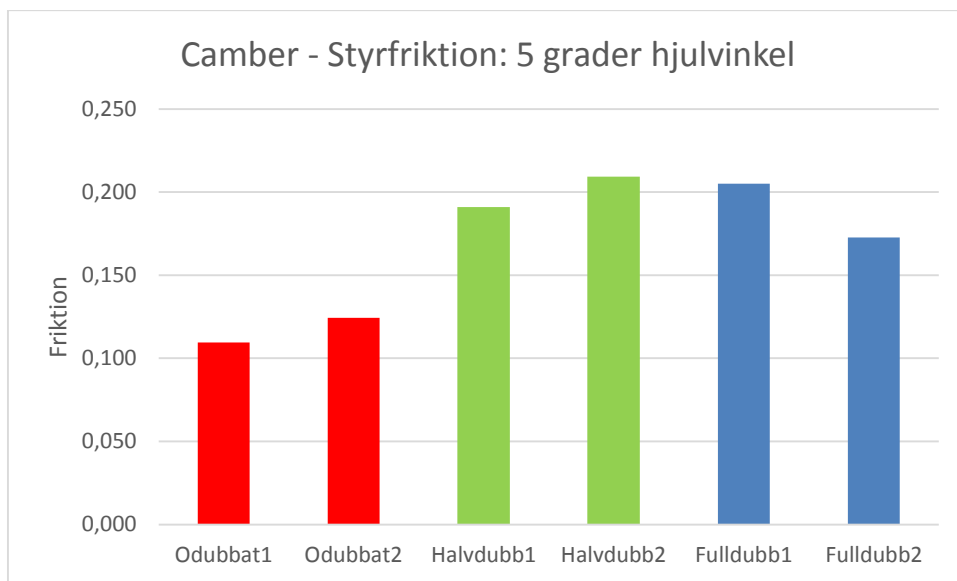


Figur 46. Broms med cambervinkel. Bromsstabilitet.

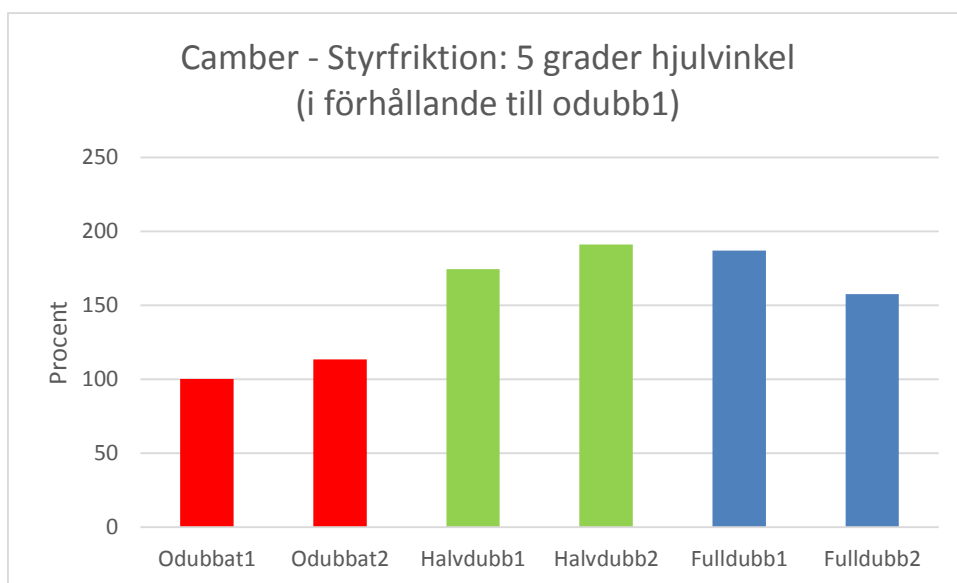
Styrprestanda med cambervinkel



Figur 47. Styrning med cambervinkel. Max styrfriktion – alla mätningar.



Figur 48. Styrning med cambervinkel. Max styrfriktion – genomsnitt per däck.



Figur 49. Styrning med cambervinkel. Max styrfriktion – prestanda i förhållande till odubb1.

VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut, är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut inom transportsektorn. Huvuduppgiften är att bedriva forskning och utveckling kring infrastruktur, trafik och transporter. Kvalitetssystemet och miljöledningssystemet är ISO-certifierat enligt ISO 9001 respektive 14001. Vissa provningsmetoder är dessutom ackrediterade av Swedac. VTI har omkring 200 medarbetare och finns i Linköping (huvudkontor), Stockholm, Göteborg, Borlänge och Lund.

The Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), is an independent and internationally prominent research institute in the transport sector. Its principal task is to conduct research and development related to infrastructure, traffic and transport. The institute holds the quality management systems certificate ISO 9001 and the environmental management systems certificate ISO 14001. Some of its test methods are also certified by Swedac. VTI has about 200 employees and is located in Linköping (head office), Stockholm, Gothenburg, Borlänge and Lund.

HEAD OFFICE
LINKÖPING
SE-581 95 LINKÖPING
PHONE +46 (0)13-20 40 00

STOCKHOLM
Box 55685
SE-102 15 STOCKHOLM
PHONE +46 (0)8-555 770 20

GOTHENBURG
Box 8072
SE-402 78 GOTHENBURG
PHONE +46 (0)31-750 26 00

BORLÄNGE
Box 920
SE-781 29 BORLÄNGE
PHONE +46 (0)243-44 68 60

LUND
Medicon Village AB
SE-223 81 LUND
PHONE +46 (0)46-540 75 00

