



Vinterdäck till cykel

Ett jämförande test

Mattias Hjort

VTI notat 20-2018

Vinterdäck till cykel

Ett jämförande test

Mattias Hjort

Författare: Mattias Hjort, VTI, www.orcid.org/0000-0002-8242-3407

Diarienummer: 2018/0326-262

Publikation: VTI notat 20-2018

Omslagsbilder: Niclas Gyllensvaan och Jan Wenäll/VTI

Utgiven av VTI, 2018

Förord

Den här studien har varit möjligt att genomföra tack vare finansiellt stöd från Länsförsäkringsbolagens forskningsfond. För det stödet är vi mycket tacksamma! VTI har de senaste åren genomfört ett par olika studier av cykeldäcks väggrepp, bland annat mätning av isgrepp för olika däck i VTI:s däckprovningsanläggning (VTI rapport 875, 2015) och modellering av ett cykeldäcks friktionsegenskaper på torr asfalt (VTI rapport 952, 2018). Idén att göra en större undersökning av egenskaperna för olika dubbdäck till cykel kom från Länsförsäkringar genom Mari Sparr, och studiens upplägg har diskuterats fram i samråd mellan VTI och Länsförsäkringar.

Mattias Hjort har varit projektledare och huvudansvarig för genomförande och analyser av resultaten, samt författat rapporten. Jan Wenäll och Harry Sörensen har lagt ner ett stort jobb både när det gäller planering och genomförande. Fredrik Gustafsson har varit assisterande försöksledare. Utöver Mattias så har Katja Kircher, Jonny Genzel och Niclas Gyllensvaan ställt upp som testförare. Katja har även bidragit med försöksupplägg och tolkning av resultaten. Ett stort tack till alla medverkande.

Tack också till Anna Niska, VTI, för granskning av rapporten, och till Monica Lomark för språkliga och layoutmässiga korrigeringar.

Linköping, oktober 2018

Mattias Hjort
Projektledare

Kvalitetsgranskning

Intern peer review har genomförts 17 oktober 2018 av Anna Niska. Mattias Hjort har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus. Forskningschef Anders Lindström har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 17 oktober 2018. De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarens egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning.

Quality review

Internal peer review was performed on 17 October 2018 by Anna Niska. Mattias Hjort has made alterations to the final manuscript of the report. The research director Anders Lindström examined and approved the report for publication on 17 October 2018. The conclusions and recommendations expressed are the author's and do not necessarily reflect VTI's opinion as an authority.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	7
Summary	9
1. Inledning	11
1.1. Bakgrund.....	11
1.2. Syfte	11
1.3. Översikt av utförda tester.....	11
2. Mätmetoder	12
2.1. De testade cykeldäcken.....	12
2.2. Testcyklar.....	14
2.3. Bromstester	15
2.4. Handlingtester	16
3. Tester på is.....	18
3.1. Testordning	18
3.2. Resultat bromstester	19
3.2.1. Inverkan av däcktryck.....	21
3.3. Resultat handlingtest	22
4. Tester på asfalt	24
4.1. Väggrepp.....	24
4.2. Slitage	27
5. Rullmotstånd	29
5.1. Inverkan av däcktryck.....	34
6. Sammanfattning av resultaten	36
Referenser	39
Bilaga 1 Rullmotståndsmätning	41
Bilaga 2 Broms på is: individuella resultat	43
Bilaga 3 Handlingtester på is: individuella resultat	49
Bilaga 4 Bromstester på asfalt: individuella resultat	53

Sammanfattning

Vinterdäck till cykel – ett jämförande test

av Mattias Hjort (VTI)

Syftet med denna studie har varit att jämföra väggreppet för olika dubbade cykeldäck, samt ett par odubbade vinterdäck, genom tester med cyklist. Utöver väggrepp så testades även andra egenskaper som kan vara viktiga för en cyklist, så som rullmotstånd och slittålighet.

Däckens väggrepp på is testades genom bromstester och manövreringstester inomhus i en ishall. Fyra olika testförare användes för att fånga upp skillnader i förarbeteende samt för att få en variation av cyklistens vikt. Däckens rullmotstånd mättes genom utrullningsförsök inomhus. Slutligen testades väggreppet på torr och våt asfalt genom bromstester utomhus. Mellan de olika testerna så undersöktes dubbdäcken med avseende på antal tappade dubbar i syfte att utröna dubbdäckens slittålighet. Totalt testades sju olika dubbdäck, två dubbfria vinterdäck och ett sommardäck.

Bromstesterna på torr och våt asfalt kunde inte påvisa någon skillnad i prestanda mellan de olika däcken. Vinterdäcken, dubbade likväl som dubbfria, hade lika bra grepp på asfalt som det testade sommardäcket. När det gäller isgrepp så var det de två däcken med flest dubbar, 240 stycken, som var klart bättre än de övriga.

Rullmotståndstesterna visade på skillnader mellan de olika däcken och det är inte mängden dubbar utan snarare gummiblandning och punkteringsskydd som har störst påverkan på rullmotståndet.

Slitagetesterna indikerade att några av de testade modellerna kan vara särskilt benägna att tappa dubbar, men då testerna endast inkluderade två exemplar av varje däckmodell så går det inte att dra säkra slutsatser angående slittålighet.

Summary

Winter tyres for bicycles – a comparative test

by Mattias Hjort (VTI)

The purpose of this study has been to compare the winter road grip of various bicycle tyres, as well as a pair of unstudded winter tyres, through cycling tests. In addition to grip, other characteristics that could be important to a cyclist, such as rolling resistance and wear resistance, were also tested.

The tyre's grip on ice was tested by brake tests and manoeuvring tests indoors in an ice hockey rink. Four different test drivers were used to capture differences in driver behaviour, as well as to get a variation in the cyclist's weight. The tyre rolling resistance was measured by indoor coast-down tests. Finally, the grip was tested on dry and wet asphalt by outdoor brake tests. Between the various tests, the studded tyres were examined with regard to the number of lost studs. In total, seven different studded tyres, two unstudded winter tyres and a summer tyre were tested.

The brake tests on dry and wet asphalt could not show any difference in performance between the different tyres. The winter tyres, studded as well as unstudded, had as good grip on asphalt as the tested summer tyre. In the case of ice grip, the two tyres with the highest number of studs, 240, were clearly superior to the others.

The rolling resistance tests showed differences between the different tyres and it is not the number of studs but rather the rubber properties and the puncture protection that has the greatest impact on the rolling resistance. The wear tests indicated that some of the tested models may be particularly prone to losing studs, but as the tests included only two samples of each tyre model, it is not possible to draw certain conclusions regarding wear resistance.

1. Inledning

1.1. Bakgrund

Cyklister utgör sedan 2008 den största gruppen svårt skadade vägtrafikanter. 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 vintercyklisterna, skulle flera cykelolyckor antagligen kunna undvikas.

Tidigare mätningar av dubbade cykeldäcks väggrepp på is i VTI:s däckprovsningsanläggning har visat att det kan vara stora skillnader i grepp mellan olika däckmodeller (Hjort och Niska 2015). Exakt vilka egenskaper från dessa mätningar som är särskilt viktiga för att en cyklist ska kunna hålla balansen och undvika olyckor vet vi dock inget om. I rapporten så konstaterades att ”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”.

1.2. Syfte

Syftet med denna studie har varit att genomföra tester med cyklister såsom föreslagits i vår tidigare studie och jämföra väggreppet på is för olika dubbade cykeldäck, samt ett par odubbade vinterdäck. Utöver väggrepp på is och asfalt så har det i studien även ingått att testa andra egenskaper som kan vara viktiga för en cyklist, såsom rullmotstånd och slittålighet.

1.3. Översikt av utförda tester

Däckens väggrepp på is testades genom bromstester och manövreringstester, inom fordonsdynamiken kallat handlingstester, inomhus i en ishall. Fyra olika testförare användes för att fånga upp skillnader i förarbeteende, samt att få en variation av cyklistens vikt. Däckens rullmotstånd mättes genom utrullningsförsök inomhus. Slutligen testades väggreppet på torr och våt asfalt genom bromstester utomhus. Försöksupplägget för de olika testerna/momenten beskrivs mer detaljerat i respektive resultatkapitel och mätmetoderna beskrivs i avsnitt 2.3 och 2.4. Mellan de olika testerna så undersöktes dubbdäcken med avseende på antal tappade dubbar i syfte att utröna dubbdäckens slittålighet. Testresultaten presenteras kort i kapitel 3 till 5 medan innebörden av dessa diskuteras utförligare i kapitel 6. Utförliga testresultat uppdelat på de individuella testförarna presenteras i bilagorna.

Alla däck testades med samma däcktryck, 4,5 bar, oavsett däckmodell och förarvikt. Baserat på det rekommenderade däcktrycket för de olika däcken (se avsnitt 2.1) så fann vi detta däcktryck vara mest representativt för jämförelser mellan däcken. För bromsning på is genomfördes även tester med olika däcktryck för två av däcken, och för ett av däcken så mättes även rullmotståndet vid olika däcktryck.

2. Mätmetoder

2.1. De testade cykeldäcken

De däck som ingått i studien valdes ut i samråd med uppdragsgivaren med intentionen att vara representativa för de mest populära dubbdäcken för cykel på marknaden. För att rättvist kunna jämföra däcken behövde de vara av så lika dimensioner som möjligt och kunna användas på samma cykel. Vi begränsade urvalet till däck med en bredd mellan 35 och 40 mm, och en fälgdiameter på 622 mm, dvs. ett klassiskt 28-tums-hjul till en normal stadscykel. Sju olika dubbdäck och två odubbade vinterdäck valdes ut, och som jämförelse inkluderas också ett sommardäck i testerna. De utvalda däcken och dess specifikationer listas i Tabell 1 och Tabell 2. Däcken köptes in via en lokal cykelhandlare Linköping förutom däcken från Biltema, Clas Ohlson och Jula vilka köptes direkt i butik från respektive butikskedja.

I tabellerna listas bl.a. följande:

- Antal dubbar för ett nytt däck (för dubbdäck).
- Rekommenderat lufttryck (taget från specifikationen på däckets sidvägg).
- Dubbutstick (för dubbdäck) mätt efter inkörning av däcken.
- Lateralt avstånd från däckets centrumlinje till de dubbar som sitter placerade längst ut i sidled (för dubbdäck).
- Kodnr. En numrering av däcken som användes för att kunna planera ordningen som däcken testades i (se avsnitt 3.1). Tilldelningen av kodnummer var helt slumpvis.

Tabell 1 De testade dubbdäcken.

Tillverkare	Modell	Storlek	Bredd (mm)	Antal dubbar	Rek. Lufttryck (bar)	Dubb-utstick (mm)	Avstånd centrum till yttre dubb (mm)	Kodnr
Suomi Tyres	W240	40-622	40	240	4,5	1.0	17	8
Suomi Tyres	W106	37-622	37	106	4,5	1.0	6	4
Schwalbe	Marathon Winter (Raceguard)	35-622	35	240	2,5 – 6,0	1.4	14	3
Schwalbe	Winter (K-Guard 3, Active)	35-622	35	120	2,5 – 6,0	1.4	8	2
Biltema		37-622 (28x1-5/8 x 1-3/8)	37	144	5,1	2.2	14	6
Clas Ohlson	Innova	700x38C	38	110	3,4 – 5,0	1.3	9	10
Jula	Kenda Klondike	37-622	37	100*	3,4 – 5,9	1.3	9	5

Tabell 2 De testade dubbfria däck.

Tillverkare	Modell	Storlek	Bredd (mm)	Rek. Lufttryck (bar)	Kodnr
Dubbfria vinterdäck					
Suomi Tyres		37-622	37	Max 5,0	7
Continental	Top Contact Vinter	37-622	37	Max 6,0	1
Sommardäck					
Schwalbe	Maraton Plus	40-622	40	3,5 – 6,0	9

Värt att notera när det gäller dubbdäcken, är att två modeller har så många som 240 dubbar medan de andra däckerna har ungefär halva det antalet. De två dubbdäcken från Schwalbe, ett med 120 dubbar och ett med 240, har till synes identiska slitbanor. Det med färre dubbar har endast dubbar monterade i vartannat hål. Däcken från Schwalbe har olika nivåer av punkteringsskydd. Deras första nivå utöver vanligt grundskydd är benämnd K-guard och innehåller ett extra lager av kevlarförstärkt gummi. Punkteringsskyddet ska inte påverka däckets vägggrepp men kan leda till ett högre rullmotstånd. Schwalbedäcket med 120 dubbar är utrustat med K-Guard medan det med 240 dubbar har ett nylonbaserat punkteringsskydd benämnt Raceguard vilket är framtaget för att ge lågt rullmotstånd. Detta däck finns också med ett kraftigare punkteringsskydd benämnt Smartguard.

Däcken har olika specifikationer när det gäller vilket däcktryck som ska användas. En del har ett fixt värde, några andra anger ett intervall, och sedan finns det de som anger ett maxvärde. Några fler instruktioner ges normalt inte, varken på däckerna eller på tillverkarnas hemsidor. Undantaget är Schwalbe som på sin hemsida skriver på att det är svårt att ge generella rekommendationer när det gäller däcktryck, men att grundregeln är ju större last på hjulet (cykel + cyklist + bagage) desto högre däcktryck. Exakt däcktryck är alltid en personlig avvägning mellan rullmotstånd och komfort. Högre däcktryck ger lägre rullmotstånd, mindre däckslitage och mindre risk för punktering. Lägre däcktryck leder å andra sidan till högre komfort och bättre vägggrepp ner till en viss gräns. Schwalbe ger en väldigt generell guide till lämpligt lufttryck baserat på däckbredd. För 37 mm breda däck rekommenderar man däcktryck enligt Tabell 3, men förbehållet att trycket aldrig är lägre eller högre än min- och max-värdena tryckta på däckets sidvägg.

Tabell 3 Schwalbes generella däcktrycksråd för ett 37 mm brett däck enligt deras hemsida <https://www.schwalbe.com/en/luftdruck.html>.

Cyklistens vikt	60 kg	85 kg	110 kg
Däcktryck	4,0 bar	5,0 bar	6,0 bar

Baserat på de givna specifikationerna angående däcktryck för de olika testdäckerna valde vi att använda ett och samma däcktryck, 4,5 bar för alla däck. Av praktiska skäl användes samma däcktryck oavsett testförarens vikt.

Tabell 4 Bilder på de olika dubbdäcken. Foto: Jan Wenäll.

						
Suomi Tyres W240 Kod: 8	Suomi Tyres w106 Kod: 4	Schwalbe Marathon Winter Kod: 3	Schwalbe Winter Kod: 2	Biltema Kod: 6	Clas Ohlson Innova Kod: 10	Jula Kenda Klondike Kod: 5

Tabell 5 Bilder på de dubbfria däcken, där det längst till höger är ett sommardäck. Foto: Jan Wenäll.

		
Suomi Tyres dubbfritt Kod: 7	Continental Top Contact Vinter Kod: 1	Schwalbe Marathon Plus Kod: 9

2.2. Testcyklar

Identiska cyklar av märke Strömholm köptes in, en cykel för varje däckmodell, se Figur 1. Denna cykel valdes på grundval att den var representativ för den valda däckdimensionen, hade fotbroms och var relativt billig. Anledningen att välja identiska cyklar var ett det ansågs viktigt för jämförbarheten av resultaten. Först efter att inkörningen genomförts så upptäcktes dock att en av cyklarna hade en annan ramdesign jämfört med de övriga. Skillnaden var dock liten och cykelvikten jämförbar, och denna avvikelse bedöms inte ha påverkat utfallet av resultaten. Däcken monterades av en lokal cykelhandlare och alla kördes in 20 km på asfalt innan testerna påbörjades.



Figur 1 Cykelmodell för de genomförda testerna. Foto: Jan Wenäll.

2.3. Bromstester

Bromstesterna genomfördes där föraren från en given hastighet försöker bromsa med maximal bromsverkan antingen med bakhjulet (fotbroms) eller med framhjulet (handbroms), se avsnitt 3.2 för en beskrivning av uppdelningen mellan broms med bak- respektive framhjul. Maximal bromsverkan var under förutsättning att föraren kunde hålla balansen och inte falla omkull eller sätta ner foten. Den genomsnittliga retardationen, a , under en del av bromssträckan mättes med en för ändamålet konstruerad utrustning, och är det prestandamått som användes för jämförelse mellan däck. Ett högre retardationsvärde innebär att bättre väggrepp och kortare bromssträcka jämfört med ett lägre värde.

För att mäta retardationen mättes ingångs- och utgångshastighet vid bromsningen med två laserbaserade mätinstrument placerade på ett givet avstånd från varandra (se Figur 3 och Figur 7). Från ingångs- och utgångshastighet v_1 och v_2 kan genomsnittsretardationen över sträckan s beräknas enligt:

$$a = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2s}$$

Testet förutsätter att full bromsverkan appliceras under hela inbromsningsförloppet och det är därför viktigt att föraren har applicerat bromsen och uppnått full bromsverkan när ingångshastigheten mäts. Laserstrålarna placerades på samma höjd som cykelkorgen, vilken kläddes med silvertejp för att säkerställa att samma del av cykeln bryter strålarna vid varje passage.

Bromstesterna på is genomfördes från en initial hastighet på ungefär 15 km/h, och på asfalt från ungefär 25 km/h. En cykeldator med display monterad på styret användes som hjälp för föraren att avgöra ingångshastigheten. Förutsatt att testföraren uppnått full bromsverkan vid mätningen av ingångshastigheten så ska den genomsnittliga retardationen endast påverkas marginellt av mindre avvikelser i ingångshastighet. För bromstesterna på is så placerades de två hastighetsmätarna på ett avstånd av 5,5 meter emellan, och utgångshastigheten var ungefär 10 km/h. För bromsning på

hög friktion var avståndet mellan hastighetsmätarna 3,5 meter och utgångshastigheten var ungefär 15 km/h.

Samma mätuppställning har också använts för mätning av rullmotståndet (se kapitel 5). För de testerna var avståndet mellan hastighetsmätarna 10 meter.

2.4. Handlingstester

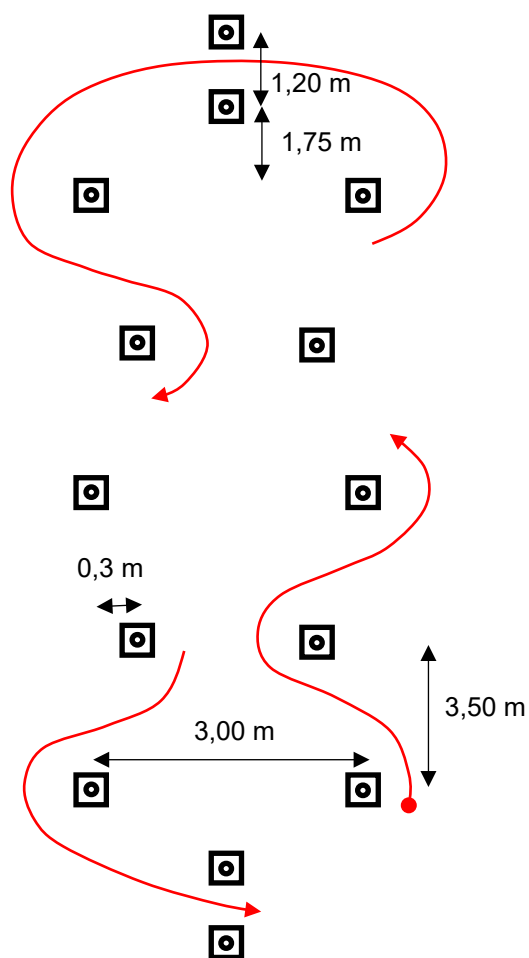
Manövrerbarheten med cykeln på isigt underlag gjordes med ett så kallat handlingstest. Förfarandet är vedertaget vid test av bildäck och innebär att föraren kör en utmanande bana på så kort tid som möjligt, och därefter ger en subjektiv bedömning enligt en sifferskala av hur välkontrollerat däckets upplevdes. Normalt är inte kort varvtid det viktigaste för denna typ av test utan det subjektiva omdömet väger tyngst. Detta förutsätter normalt erfarna testförare som på ett konsekvent sätt kan gradera däck. Denna typ av test fångar upp både broms- och styrförmåga, samt kontrollerbarhet vid körning på gränsen till däckens greppsgräns, något som är svårt att göra med ett objektivet test. För en bil innebär det att däckens inverkan på fordonets över- och understyrningstendenser, samt möjligheten att häva eller kontrollera en sladdsituation analyseras.

Handlingstester med cykel på is är inte något som vi sett i litteraturen. Dock borde det kunna vara mycket användbart för att utvärdera cykelstabilitet för olika däck på hala underlag. En lämplig slalombana för ändamålet med koner uppställda på isen, för att kunna cykla igenom i hastigheter mellan 3 till 10 km/h, togs fram på plats i den ishall där försöken utfördes. Konernas placering beskrivs i Figur 2. En viktig aspekt vid utformandet av banan var att hålla färdhastigheten på en sådan nivå att testförarna inte skulle skada sig vid en omkullcykling med de skydd de var utrustade med (hjälm, knäskydd, armbågsskydd och handledsskydd). Cyklarnas sadelhöjd sattes tillräckligt lågt för att föraren snabbt skulle kunna sätta ner foten om denne skulle förlora balansen. Banans totala längd var ungefär 40 meter och medelhastigheten för tre efterföljande varv (inklusive eventuella stopp vid förlust av balans) varierade mellan 4 och 6 km/h beroende på däck och testförare.

Banan testar cykelstabilitet både vid broms och acceleration, samt styrning och lutning av cykeln.

Testföraren blev instruerad att cykla banan tre varv så fort som möjligt efter egen förmåga och hänsyn till sin säkerhet. Varje däck testades vid fyra olika tillfällen av respektive förare. Det innebär att totalt 16 handlingstester gjordes för varje dubbdäck (något färre för de dubbfria däck). Testerna utfördes blint, vilket betyder att testföraren var ovetande om vilket däck som testades.

Försöksledaren mätte totala tiden för de tre varven, noterade antal fel (fotnedsättningar eller påkörning av kon) varefter testföraren (ovetandes om tiden) fick ge ett omdöme om däckets upplevda kontroll på en skala 1 till 7, där 1 är lägst betyg och 7 högst. Då det i princip krävdes en full testomgång med alla däck för en testförare innan denne hade tillräcklig erfarenhet för att kunna bedömas däck enligt skalan så användes enbart resultaten från testomgångarna två till fyra vid utvärderingen.



Figur 2 Slalombana för handlingtest på is. Foto: Jan Wenäll.

3. Tester på is

Testerna på is utfördes i Mjölby ishall under tre dagar. Lufttemperaturen var ca +5°C, och istemperaturen ca -4°C. Isfriktionen mättes sporadiskt med VTI:s portabla friktionsmätare, PFT (se Wälivaara 2007 för en beskrivning). Uppmätta PFT-friktionsvärden låg mellan 0,13 och 0,16. Från de initiala testerna konstaterade vi att de dubbfria däckens var betydligt svårare att hantera på isen och valde därför med anledning av testförarnas säkerhet att begränsa antalet tester med de dubbfria däckens på is. Fokus har därför varit på dubbdäcken och att jämförelsen dem emellan blir korrekt. Tester med de dubbfria däckens genomfördes endast av ett par testförare och vid separata tillfällen. Jämförelse mellan dubgade och dubbfria däckens väggrepp är därför förenade med större osäkerheter än vad de individuella mätseriernas feluppskattningar ger intryck av.

3.1. Testordning

Testordningen på is är mycket viktig, och med en balanserad ordning kan inverkan av inlärnings-effekter och varierande isfriktion minimeras. Vi använde en vedertagen metod för balansering av dubbdäckens testordning för de olika förarna benämnd "latinsk kvadrat" (se Box m.fl., 1978). Då det behövdes en extra ordningsrad för att alla förarna skulle få 4 testomgångar adderades en slumpad rad i botten på varje matris (H och O).

Tabell 6 Testordning för dubbdäcken: latinska kvadrater.

A	2	6	4	10	3	8	5
B	3	8	5	2	4	10	6
C	4	10	6	3	5	2	8
D	5	2	8	4	6	3	10
E	6	3	10	5	8	4	2
F	8	4	2	6	10	5	3
G	10	5	3	8	2	6	4
H	2	3	4	5	6	8	10

I	3	6	8	2	4	10	5
J	4	8	10	3	5	2	6
K	5	10	2	4	6	3	8
L	6	2	3	5	8	4	10
M	8	3	4	6	10	5	2
N	10	4	5	8	2	6	3
O	2	5	6	10	3	8	4
P	8	5	3	10	2	6	4

Varje testförare fick en individuell testordning baserat på slumpvis utvalda rader i kvadraterna., se Tabell 7. Testerna utfördes blint vilket innebär att testföraren inte visste vilket däck som satt på cykeln.

Tabell 7 Testförare och testordning för broms- respektive handlingtest på is.

Testförare	Kön	Vikt med utrustning	Is: broms	Is: handlingtest
T1	Man	75 kg	A, E	A, E, I, J
T2	Kvinna	67 kg	B, F	B, F, K, L
T3	Man	85 kg	D, H	D, H, M, M
T4	Man	125 kg	C, G	C, G, O, P

3.2. Resultat bromstester



Figur 3 Bromstest på is. Foto: Jan Wenäll.

Vid bromsning med hjullåsning med ett odubbat däck så försvinner i praktiken däckets förmåga att ta upp krafter i sidled vilket leder till att cyklisten antingen tappar balansen (om låsning på framhjulet) eller råkar ut för en sladd där cykeln roterar kring den vertikala axeln (om låsning på bakhjulet). Med dubbdäck så går det ofta att låsa bakhjulet på is och ändå hålla cykeln under kontroll. Vid låsning av framhjulet på is så visade det sig att även de flesta av dubbdäcken får problem med sidostabiliteten.

Därför gjordes två olika bromstester på is: ett med enbart broms på bakhjul (fotbroms) och ett med enbart broms på framhjul (handbroms). Det förra testet ger en bild av vad däckets förmåga att ta upp krafter i sidled är vid full broms, och det andra visar på hur bra sidostabiliteten är vid bromsning på is. Vid varje bromstest gjordes för varje däck en serie med 5 bromsningar. Resultaten för dubbdäcken presenteras i Tabell 8. Retardationen som anges är ett medelvärde av de 5 bromsningar som utfördes av de olika förarna, dvs. totalt 20 bromsningar. Om retardationen för två olika däck skiljer mindre än 0,01 så har vi gett dem samma ranking.

Tabell 8 Resultat bromstest på is: dubbdäck.

Tillverkare	Modell	Kodnr	Broms med bakhjul		Broms med framhjul	
			Retardation (m/s ²)	Ranking	Retardation (m/s ²)	Ranking
Suomi Tyres	W240	8	0,909	2	0,626	2
Suomi Tyres	W106	4	0,838	5	0,513	6
Schwalbe	Marathon Winter	3	1,007	1	0,669	1
Schwalbe	Winter	2	0,913	2	0,545	4
Biltema		6	0,715	7	0,504	6
Clas Ohlson	Innova	10	0,835	5	0,609	3
Jula	Kenda Klondike	5	0,863	4	0,543	4

De dubbfria däcken hade tydligt lägre grepp på is jämfört med de dubbade och det bedömdes som alltför svårt och farligt att utföra bromsning med framhjulet för dessa däck. Därför gjordes mätningar enbart med bakhjulsbroms. Dessa tester utfördes av tidsskäl dessutom endast av testförare 1 och 2, varför resultaten är mer osäkra än de för dubbdäcken. De dubbfria däcken jämfördes därför endast

inbördes. Resultaten presenteras i Tabell 9. Retardationen som anges här är ett medelvärde av de 5 bromsningar som utfördes av de två förarna, dvs. totalt 10 bromsningar.

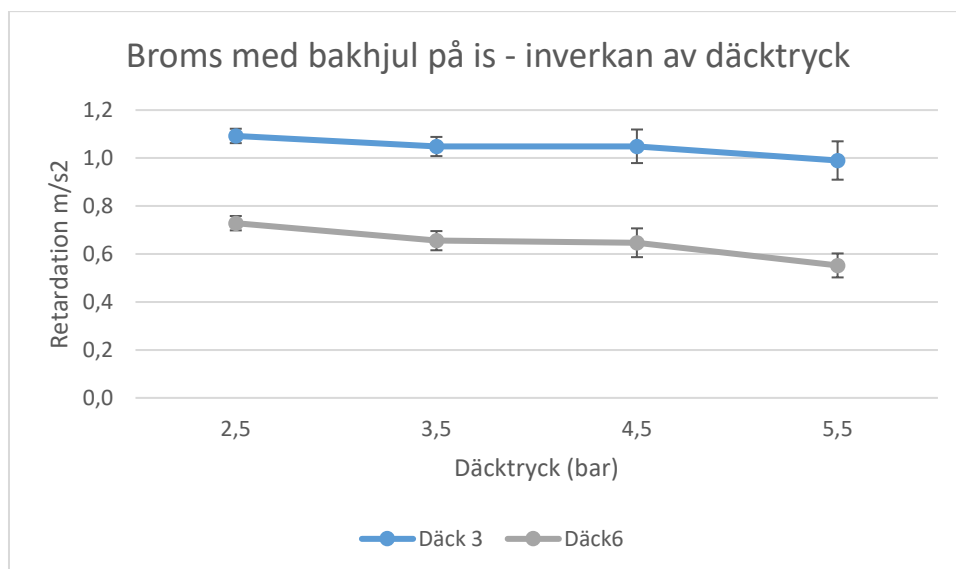
Det är en tydlig skillnad i bromsprestanda mellan de tre testade däcken där sommardäcket uppnår lägst resultat. Nivån är dock klart lägre än för det sämst presterande dubbdäcket. Det som inte framgår från de kvantitativa resultaten är hur känsliga dubbfria däck är för hjullåsning. Alltför aggressiv applicering av bromsen leder onekligen till hjullåsning med förlorad balans som följd. I detta avseende är de dubbade däcken betydligt mindre känsliga vid broms med bakhjulet.

Tabell 9 Resultat bromstest på is: dubbfria däck.

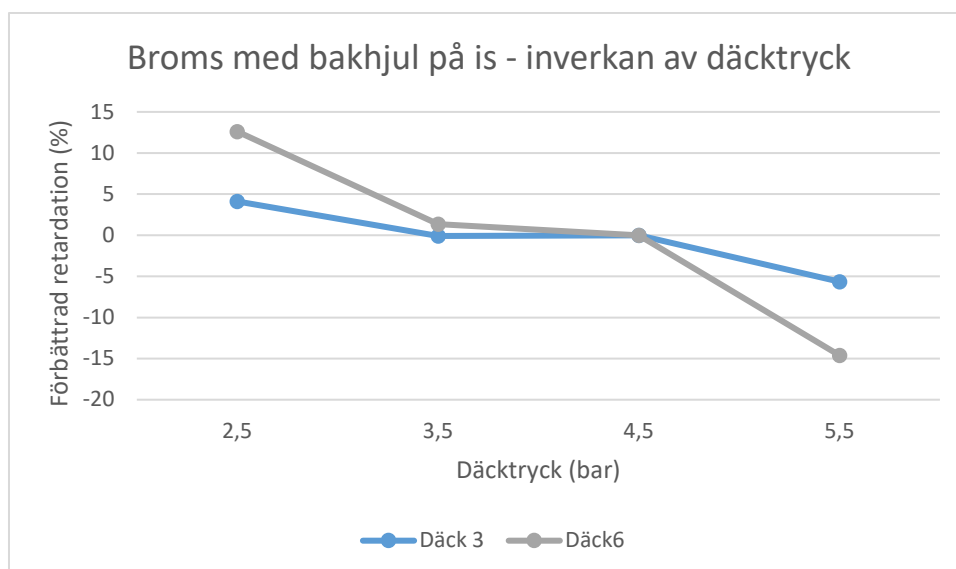
Tillverkare	Modell	Kodnr	Broms med bakhjul	
			Retardation (m/s ²)	Ranking
Dubbfritt vinterdäck				
Suomi Tyres		7	0,549	2
Continental	Top Contact Vinter	1	0,596	1
Sommardäck				
Schwalbe	Maraton Plus	9	0,511	3

3.2.1. Inverkan av däcktryck

Två av däcken, Schwalbe Marathon Winter och det från Biltema, testades också med olika däcktryck. Endast bromstester med bakhjulet utfördes och resultaten presenteras nedan i Figur 4 och Figur 5. Dessa två däck valdes ut då det var de som presterade bäst respektive sämst vid bromstesterna med 4,5 bars däcktryck. Som framgår av figurerna leder ett lägre däcktryck generellt till en förbättring av isgreppet och ger därmed en högre retardation. Dock är förbättringen liten i förhållande till den stora skillnaden i prestanda däcken emellan. Det är noterbart att däck 3 från Schwalbe verkar mer okänsligt för förändringar i däcktrycket jämfört med däck 6 från Biltema, för vilket bromsprestandan varierar med ungefär $\pm 15\%$ inom däcktrycksintervallet 2,5 och 5,5 bar.



Figur 4 Bromsförmåga på is, inverkan av däcktryck. Däck 3 (Schwalbe Marathon Winter) jämfört med däck 6 (Biltema).



Figur 5 Bromsförmåga på is, inverkan av däcktryck – skillnad i procent i förhållande till "standardtrycket" 4,5 bar. Däck 3 (Schwalbe Marathon Winter) jämfört med däck 6 (Biltema).

3.3. Resultat handlingstest



Figur 6 Handlingstest på is. Foto: Jan Wenäll.

Resultaten av handlingstesterna sammanfattas i Tabell 10 för dubbdäcken och Tabell 11 för de dubbfria däcken. I bilaga 3 presenteras de individuella testrundorna för respektive förare. Det framgår av Tabell 10 att de olika testförarna är väldigt lika i sina rankingar av dubbdäcken, även om de numeriska omdömena kan skilja testförarna emellan. Det är också en mycket stor överensstämmelse mellan det objektiva mätvärdet (varvtiden) och det subjektiva omdömet. Samstämmigheten mellan de objektiva och subjektiva mätvärdena stärker resultaten, och vi konstaterar att den i denna studie använda mätmetoden för däckens handlingsegenskaper är användbar för jämförelse av däckens väggrepp på is.

Det finns flera olika sätt att utvärdera resultaten. De subjektiva resultaten kan värderas utifrån medelvärdet av förarnas omdömen, eller alternativt den individuella rankingen däcken emellan baserat på omdömet från varje förare. Vi konstaterar dock att oavsett vilken metod som används så blir resultatet detsamma. Bland dubbdäcken så framstår däck 8 och 10 som klart bäst, och deras värden är så lika att det inte går att placera det ena framför det andra. Efter dessa följer däck 3 och 6, där båda bedöms ha likvärdiga handling-prestanda. De tre återstående däcken placerar sig på plats 5 till 7 när det gäller handling, där däck 4 är bäst utav dessa och däck 2 entydigt sämst.

Tabell 10 Resultat av handlingstesterna för respektive testförare (TF): dubbdäck. "Omdöme" anger testförarnas upplevelse av kontroll med respektive däck på en skala 1 till 7, där 1 är lägst betyg och 7 högst.

	Tid (s)					Omdöme					Ranking (baserat på omdöme)				
Däck kodnr	TF 1	TF 2	TF 3	TF 4	Medel	TF 1	TF 2	TF 3	TF 4	Medel	TF 1	TF 2	TF 3	TF 4	Medel
8	69,4	92,2	86,7	79,4	81,9	6,7	5,0	7,0	6,5	6,3	1	3	1	1	1,5
4	73,5	98,9	95,2	84,3	88,0	5,0	4,7	6,0	4,0	4,9	5	5	4	3	4,3
3	73,7	87,1	93,3	81,9	84,0	5,7	7,0	5,3	5,0	5,8	3	1	5	3	3,0
2	90,3	101,9	101,7	97,2	97,8	3,0	3,0	4,3	1,3	2,9	7	7	7	7	7,0
6	71,8	92,5	92,5	83,5	85,1	6,3	5,0	7,0	4,0	5,6	2	3	1	5	2,8
10	71,6	88,8	89,2	78,3	82,0	5,7	6,0	7,0	7,0	6,4	3	2	1	1	1,8
5	89,8	99,9	101,4	90,1	95,3	3,3	3,3	5,3	3,0	3,8	6	6	5	6	5,8

Handlingstesterna med de dubbfria däcken utfördes av tids- och säkerhetsskäl endast av testförare 1, 2 och 3, och endast två mätserier per testförare (jämfört med fyra för dubbdäcken) varför resultaten är mer osäkra än de för dubbdäcken. De dubbfria däcken jämfördes därför endast inbördes. Även om samma bedömningsskala använts för de dubbfria däcken som för de dubbade är det inte självklart att resultaten skulle gå att jämföra grupperna emellan då dubbdäcken testades för sig och de odubbade för sig.

Tabell 11 Resultat av handlingstesterna för respektive testförare (TF): dubbfria däck. "Omdöme" anger testförarnas upplevelse av kontroll med respektive däck på en skala 1 till 7, där 1 är lägst betyg och 7 högst.

	Tid (s)					Omdöme					Ranking (baserat på omdöme)				
Däck kodnr	TF 1	TF 2	TF 3	TF 4	Medel	TF 1	TF 2	TF 3	TF 4	Medel	TF 1	TF 2	TF 3	TF 4	Medel
7	103,0	99,1	107,1		103,1	1,0	4,0	3,0		2,7	3	1	3		2,3
1	98,8	89,9	97,1		95,3	2,5	3,5	4,0		3,3	1	2	1		1,3
9	86,8	95,0	104,0		95,3	2,0	3,0	3,5		2,8	2	3	2		2,3

4. Tester på asfalt

4.1. Väggrepp

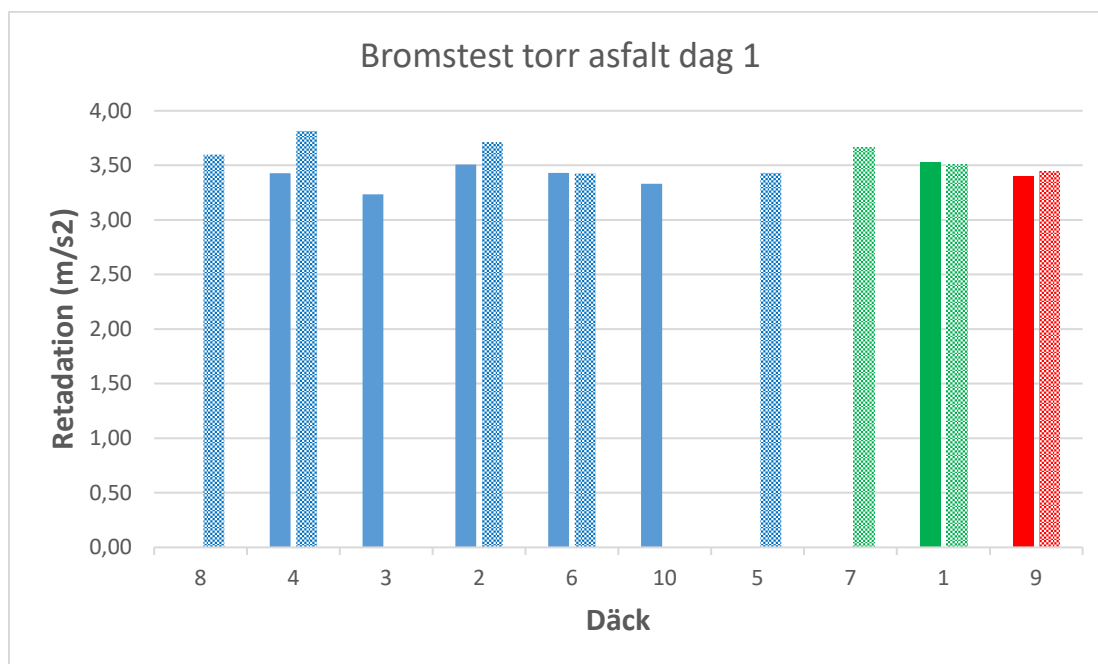
Bromsning på torr och våt asfalt utfördes av två av testförarna, TF 1 och TF 3 på VTI:s krockgård. För varje underlag och däck utförde testförarna en serie med 5 bromsningar med bakhjulet. Då testerna av däcken fick utföras under två separata dagar, och då vindförhållanden var olika mellan dagarna så delas resultaten upp i respektive dag (dag 1 i Figur 8 och Figur 10, dag 2 i Figur 9 och Figur 11). Tester med sommardäcket utfördes båda dagarna som referens. Det är tydligt att det blåste mer motvind dag 1, med generellt större retardationer, jämfört med dag 2. I bilaga 4 presenteras de individuella resultaten för respektive testförare.



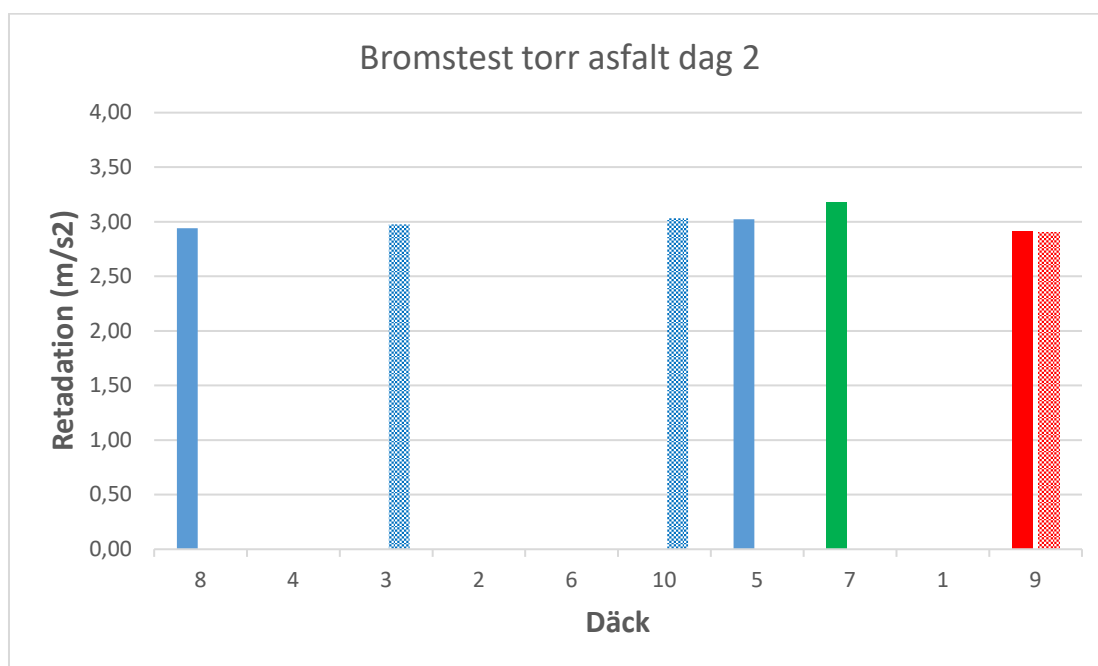
Figur 7 Bromstester på torr och våt asfalt. Foto: Jan Wenäll.

Som framgår i stapeldiagrammen så är det ingen noterbar skillnad i bromsprestanda mellan de olika däcken. Dubbdäcken och de dubbfria vinterdäcken presterar väl så bra som sommardäcket. Vi drar slutsatsen att väggreppet på asfalt är tillräckligt bra för alla de testade däcken och att det inte ska vara

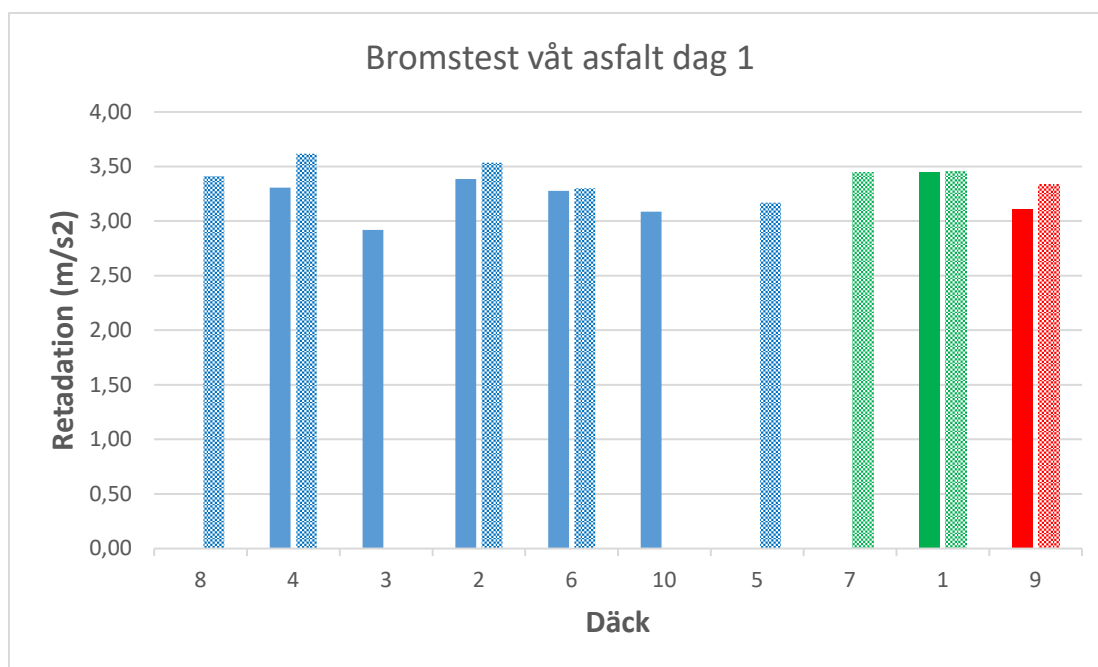
någon risk för förlorat väggrepp på dessa underlag. De testade däcken bedöms därför som helt likvärdiga ur den aspekten.



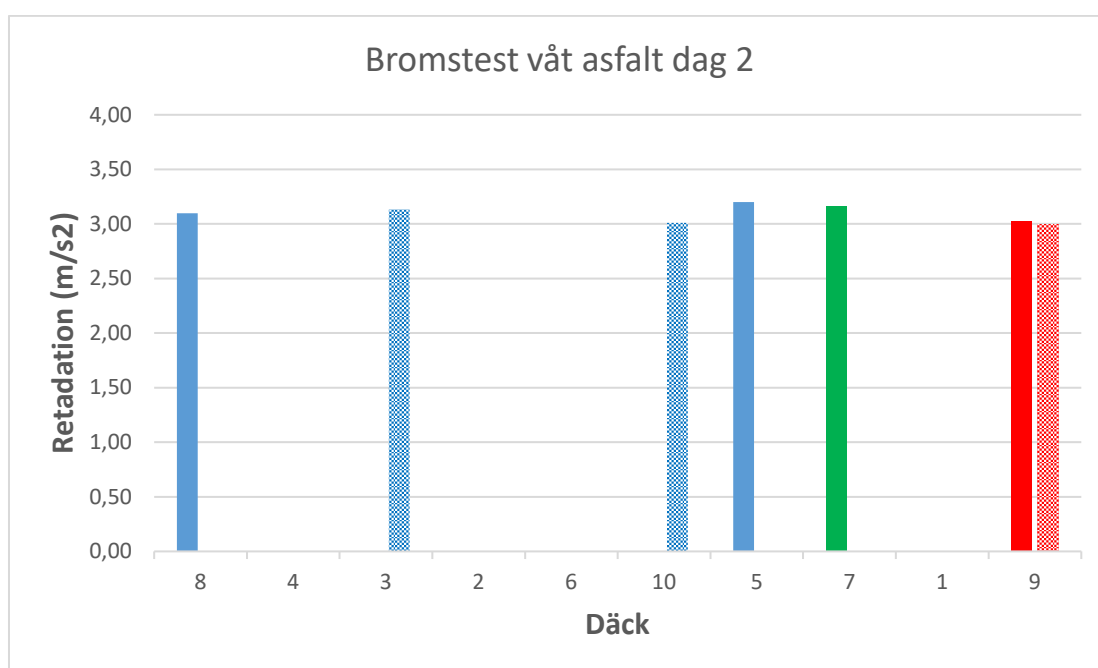
Figur 8 Bromstest på torr asfalt dag 1. Dubbdäck (blå staplar) jämfört med odubbade vinterdäck (gröna staplar) och ett sommardäck (röda staplar). TF 1: fyllda staplar; TF 3: skuggade staplar.



Figur 9 Bromstest på torr asfalt dag 2. Dubbdäck (blå staplar) jämfört med odubbade vinterdäck (grön stapel) och ett sommardäck (röda staplar). TF 1: fyllda staplar; TF 3: skuggade staplar.



Figur 10 Bromstest på våt asfalt dag 1. Dubbdäck (blå staplar) jämfört med odubbade vinterdäck (gröna staplar) och ett sommardäck (röda staplar). TF 1: fyllda staplar; TF 3: skuggade staplar.



Figur 11 Bromstest på våt asfalt dag 2. Dubbdäck (blå staplar) jämfört med odubbade vinterdäck (grön stapel) och ett sommardäck (röda staplar). TF 1: fyllda staplar; TF 3: skuggade staplar.

4.2. Slitage

När det gäller däckens slittålighet så har vi endast undersökt hur väl dubbarna sitter fast vid genomförandet av de övriga testerna. Dubbarna undersöktes dels efter inkörning av däck, dels efter istesterna, samt efter asfalttesterna. Resultaten listas i Tabell 12 och bilder på däck med flest tappade dubbar visas i Figur 12.

Egentligen är två exemplar av varje däck en för liten mängd för att kunna dra välgrundade slutsatser om däckens förmåga att behålla dubbarna. Baserat på de få däck vi har så är det dock tre däckmodeller som utmärker sig negativt: Schwalbes däck med 240 dubbar samt däck från Biltema och Jula. Att Schwalbedäcket med 120 dubbar, med en i övrigt till synes identisk slitbana som den med dubbla antal dubbar, inte tappade några dubbar alls gör att man frågar sig om skillnaderna i punkteringsskydden mellan däckerna också leder till skillnader när det gäller dubbarnas hållfasthet. Om så är fallet är dock inget som de utförda testerna varken kan bekräfta eller dementera.

Tabell 12 Antal tappade dubbar efter de olika testerna.

				Antal saknade dubbar					
				Efter inkörning		Efter istest		Efter asfalttest	
Tillverkare	Modell	Antal dubb	Dubb-utstick (mm)	Fram	Bak	Fram	Bak	Fram	Bak
Suomi Tyres	W240	240	1.0	0	0	0	0	0	3
Suomi Tyres	W106	106	1.0	0	0	0	0	0	0
Schwalbe	Marathon Winter	240	1.4	0	0	0	0	0	24
Schwalbe	Winter	120	1.4	0	0	0	0	0	0
Biltema		144	2.2	0	0	11	0	11	0
Clas Ohlson	Innova	110	1.3	0	0	0	0	0	2
Jula	Kenda Klondike	100*	1.3	5	0	6	1	6	16

Schwalbe Marathon
Winter
Kod: 3



Jula Kenda Klondike
Kod: 5: bak



Jula Kenda Klondike
Kod: 5: fram



Biltema:
Kod 6



Figur 12 Bilder på de tre mest slitna däckmodellerna. Foto: Jan Wenäll.



Figur 13 Några av de dubbar som lossnade vid bromstesterna på asfalt. Foto: Jan Wenäll.

5. Rullmotstånd

Rullmotstånd är den retarderande kraft som uppstår när ett hjul rullar och det kan vara stora skillnader mellan olika däck. Rullmotståndet påverkas också av olika driftförhållande där däckets lufttryck nog har enskilt störst inverkan. Ett högre däcktryck ger ett lägre rullmotstånd jämfört med ett lägre däcktryck. Andra faktorer som påverkar rullmotståndet är hjullast, hastighet, temperatur samt vägytans egenskaper. För att kunna jämföra rullmotståndet för de olika däcken i denna undersökning så genomfördes så kallade utrullningstest (coast-down) inomhus i VTI:s lokaler. Det är en välkänd metod för att mäta rullmotstånd i fält med verkligt fordon (se exempelvis Karlsson m.fl.2011, Hammarström m.fl. 2012). Genom att mäta ett fordon's retardation vid frirullning så kan den retarderande kraften bestämmas. Denna kraft består av rullmotstånd, luftmotstånd samt friktion i hjulnaven, och genom att mäta eller uppskatta de två senare krafterna kan rullmotståndskraften separeras. I de tester som gjordes här så utgjorde rullmotståndet typiskt 85 % av retardationskraften och de resterande 15 % jämt delat mellan navfriktion och luftmotstånd. De formler som används för beräkningarna beskrivs mer detaljerat i bilaga 1.

Rullmotståndet mättes inomhus i VTI:s krockhall där golvet är jämnt utan tydlig textur och temperaturen var 23 °C. Retardationen mättes precis som vid inbromsningstesterna med två laserbaserade hastighetsmätare. Dessa placerades på ett inbördes avstånd av $s=10$ meter. Genom att mäta ingångs- och utgångshastighet v_1 och v_2 kan genomsnittsretardationen a över denna sträcka beräknas enligt:

$$a = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2s}$$

En låg ingångshastighet valdes för att minimera luftmotståndets inverkan. Alltför låg hastighet kan dock leda till balansproblem där testförarens korrigeringar med styret kan innebära bromsande friktionskrafter som påverkar mätningen. En och samma testförare användes för alla mätningarna och genom att prova sig fram befanns 5,5 till 7,0 km/h vara ett lämpligt intervall för ingångshastigheten. Utgångshastigheten var normalt en till två km/h lägre, vilket ger en genomsnittlig hastighet på ca 5 km/h för mätningarna. Totalt genomfördes minst 40 mätningar med varje däck, varav 20 i ena riktningen och 20 i andra för att kompensera för eventuell längsgående lutning av underlaget. Mätningarna genomfördes med frambromsen bortkopplad.

Alla däck mättes med samma däcktryck, 4,5 bar. Testförarens vikt var 73,8 kg, och för att öka rullmotståndets andel av den totala bromskraften ökades förarvikten något genom att placera en vikt framtill i cykelkorgen och en vikt bak på pakethållaren. Dessa vikter vägde 9,4 kg vardera, och hade också en stabiliserande effekt på ekipaget. Cykelns vikt var 19,0 kg.

Cykelhjulens tröghetsmoment med avseende på dess rotationsaxel mättes ej specifikt för de olika däcken, utan ett representativt värde uppskattades med en enkel överslagsräkning. Den skillnad i tröghetsmoment som olika däck ger upphov till har en minimal inverkan på mätresultaten och motiverade därför inte exakt uppmätning av dessa. Cykelhjulets tröghetsmoment I antas beskrivas väl av det för en ring med massa m och radie R , där $I=mR^2$. Fälgens radie, 0,311 m, antas vara ett bra värde på ringens radie för både fram- och bakhjul. För framhjulet användes dess fulla massa, ca 2,2 kg, som ringmassa. Bakhjulet väger ca 3,2 kg, men då ungefär ett kilogram av hjulet är positionerat nära hjulnavet så antas det lägre värdet 2,5 kg bättre representera ringens massa. Cykeldata nödvändiga för beräkning av rullmotståndet från den uppmätta retardationen sammanfattas i Tabell 13.

Tabell 13 Cykeldata nödvändiga för beräkning av rullmotståndet.

Vikt cykel	19,0 kg
Vikt förare	73,8+2 x 9,4 = 92,6 kg
Vikt framhjul	ca 2,2 kg
Vikt bakhjul	ca 3,2 kg
Uppskattat tröghetsmoment framhjul	$I_f = 2,2 \times 0,311^2 \approx 0,21 \text{ kg m}^2$
Uppskattat tröghetsmoment bakhjul	$I_b = 2,5 \times 0,311^2 \approx 0,24 \text{ kg m}^2$
Rullradie R	0,350 m
Däcktryck	4,5 bar

Den retarderande kraften F beräknas utifrån uppmätt retardation a på horisontellt underlag genom

$$F = Ma$$

där den skenbara massan M är relaterad till totala massan m genom

$$M \equiv m \left(1 + \frac{(I_f + I_b)}{mR^2} \right)$$

I vårt fall är totala massan (cykel + förare) 111,6 kg och den skenbara massan 115,3 kg (dvs ca 3 % högre). Resultaten från retardationsmätningarna presenteras i Tabell 14, med 95 % konfidensintervall beräknade med variansanalys. Från den uppmätta retardationen har den retarderande kraften beräknats. Några osäkerheter i skattningen av tröghetsmomenten har inte inkluderats, utan de konfidensintervall som ges härstammar enbart från den statistiska osäkerheten av den uppmätta retardationen. För alla däck utom två genomfördes 20 mätningar i vardera riktningen. På grund av en felräkning så genomfördes endast 19 mätningar för två av däcken, vilket dock inte haft någon effekt på resultaten då felmarginalerna inte är generellt större för dessa däck jämfört med de övriga däcken. För att kontrollera metodens tillförlitlighet så genomfördes en upprepad serie mätningar med ett av däcken, Schwalbe Maraton Winter Plus. Detta däck mättes som nummer två i ordningen, samt än en gång efter att alla däck uppmätts. Resultaten av de två mätningarna skiljde sig åt ungefär en procent, vilket var inom den skattade felmarginalen, och därmed kan metodens tillförlitlighet betraktas som mycket bra. Däckens testordning antas inte ha någon inverkan på resultaten och utelämnas därför här.

Tabell 14 Uppmätt genomsnittsretardation för de olika däcken i rullmotståndsmätningen.

Dubbdäck				
Tillverkare	Modell	Antal repetitioner i vardera riktningen	Retardation (m/s ² x 100)	Retarderande kraft (N)
Suomi Tyres	W240	20	6,78 ± 0,11	7,82 ± 0,13
Suomi Tyres	W106	19	6,75 ± 0,07	7,78 ± 0,09
Schwalbe	Marathon Winter (Raceguard)	20	6,10 ± 0,09	7,03 ± 0,10
Andra mätningen		20	6,17 ± 0,10	7,11 ± 0,12
Schwalbe	Winter (K-Guard 3, Active)	20	7,15 ± 0,08	8,25 ± 0,10
Biltema		20	7,20 ± 0,06	8,30 ± 0,07
Clas Ohlson	Innova	19	6,94 ± 0,07	8,00 ± 0,08
Jula	Kenda Klondike	20	7,35 ± 0,09	8,47 ± 0,10
Dubbfria vinterdäck				
Suomi Tyres	Dubbfritt	20	6,32 ± 0,07	7,29 ± 0,09
Continental	Top Contact Vinter	20	5,11 ± 0,08	5,90 ± 0,09
Sommardäck				
Schwalbe	Maraton Plus	20	5,50 ± 0,08	6,34 ± 0,09

För att beräkna rullmotståndskraften måste navfriktionskraften och luftmotståndskraften bestämmas. Navfriktionskraften mättes för varje enskilt cykelhjul genom att mäta hjulets vinkelretardation $\dot{\omega}$ med lasermätare för hjulet frirullande utan hjullast (cykeln vänd upp- och ner), se Figur 14. Vinkelretardationen vid en vinkelhastighet som motsvarar färdhastigheten 5 km/h användes sedan för att beräkna den resulterande kraften F_f

$$F_f = \frac{I\dot{\omega}}{R}$$

där I är det uppskattade tröghetsmomenten för antingen fram- eller bakhjul. Mätningarna visar att för de fälgar som använts för dessa försök så förekommer en icke försumbar variation av navfriktionen mellan exemplaren, varför en uppmätning av detta slag är nödvändig för att få rättvisande rullmotstånd. I genomsnitt är den totala navfriktionskraften i vårt fall ca 0,5 N, varav ca 25 % härstammar från framhjulet och 75 % från bakhjulet.



Figur 14 Mätning av navfriktionskraften. Foto: Jan Wenäll.

Luftmotståndskraften antas vara oberoende av däckens, och då vi inte kan mäta den experimentellt får ett schablonmässigt värde bestämmas utifrån data i litteraturen. Baserat på data från Whitt och Wilson (1982), (se Bilaga 1), så uppskattar vi luftmotståndskraften till 0,58 N för en upprätt cyklist vid en relativ lufthastighet av 5 km/h.

I Tabell 15 listas de olika krafterna tillsammans med rullmotståndskoefficienten för de olika däckens. Några osäkerheter i skattningarna av navfriktions- och luftmotståndskraft har inte inkluderats, utan de konfidensintervall som ges härstammar enbart från den statistiska osäkerheten av den uppmätta retardationen.

Tabell 15 Uppskattad rullmotståndskraft och koefficient från rullmotståndsmätningarna.

Dubbdäck						
Tillverkare	Modell	Retarderande kraft (N)	Navfriktions-kraft (N)	Luftmotstånd (N)	Rullmotstånds-kraft (N)	Rullmotstånds-koefficient C_{rr}
Suomi Tyres	W240	$7,82 \pm 0,13$	0,53	0,58	$6,71 \pm 0,13$	$0,00613 \pm 11,6 \times 10^{-5}$
Suomi Tyres	W106	$7,78 \pm 0,09$	0,43	0,58	$6,77 \pm 0,09$	$0,00618 \pm 7,8 \times 10^{-5}$
Schwalbe	Marathon Winter (Raceguard)	$7,03 \pm 0,10$	0,47	0,58	$5,98 \pm 0,10$	$0,00546 \pm 9,1 \times 10^{-5}$
Andra mätningen		$7,11 \pm 0,12$	0,47	0,58	$6,06 \pm 0,12$	$0,00554 \pm 10,7 \times 10^{-5}$
Schwalbe	Winter (K-Guard 3, Active)	$8,25 \pm 0,10$	0,52	0,58	$7,15 \pm 0,10$	$0,00653 \pm 8,9 \times 10^{-5}$
Biltema		$8,30 \pm 0,07$	0,49	0,58	$7,23 \pm 0,07$	$0,00661 \pm 5,9 \times 10^{-5}$
Clas Ohlson	Innova	$8,00 \pm 0,08$	0,52	0,58	$6,90 \pm 0,08$	$0,00630 \pm 7,7 \times 10^{-5}$
Jula	Kenda Klondike	$8,47 \pm 0,10$	0,58	0,58	$7,31 \pm 0,10$	$0,00668 \pm 9,0 \times 10^{-5}$
Dubbfria vinterdäck						
Suomi Tyres	Dubbfritt	$7,29 \pm 0,09$	0,40	0,58	$6,32 \pm 0,09$	$0,00577 \pm 7,8 \times 10^{-5}$
Continental	Top Contact Vinter	$5,90 \pm 0,09$	0,68	0,58	$4,63 \pm 0,09$	$0,00423 \pm 8,3 \times 10^{-5}$
Sommardäck						
Schwalbe	Maraton Plus	$6,34 \pm 0,09$	0,61	0,58	$5,15 \pm 0,09$	$0,00470 \pm 8,0 \times 10^{-5}$

I Tabell 16 listas däckens rullmotstånd i förhållande till rullmotståndet för sommardäcket. Noterbart är att även om det dubbfria däck från Continental har lägst rullmotstånd utav alla de testade däcken, 10 % lägre än sommardäcket, så är det inte självklart att ett dubbfritt vinterdäck alltid ger lägre rullmotstånd än ett dubbat. Det fulldubbade Schwalbe-däcket har faktiskt med undantag för Continental-däcket lägst rullmotstånd av alla de testade vinterdäcken, ca 17 % högre än sommardäcket. Det andra dubbdäcket från Schwalbe med hälften så många dubbar har betydligt högre rullmotstånd, ca 40 % högre än sommardäcket. Det fulldubbade Schwalbedäcket är utrustat med ett punkteringsskydd kallat Raceguard gjort för att få ett lättrullat däck, medan det med färre dubbar har ett punkteringsskydd gjort av gummi, K-Guard. Här verkar valet av punkteringsskydd ha större påverkan på rullmotståndet än antalet dubbar. Vidare så har det två dubbdäcken från Suomi Tyres i princip identiska rullmotstånd trots att de har olika antal dubbar.

Tabell 16 Rullmotstånd: relativa skillnader mellan däck.

Tillverkare	Modell	Rullmotstånd i förhållande till sommardäcket
Dubbdäck		
Suomi Tyres	W240	+30 % ± 2 %
Suomi Tyres	W106	+31 % ± 2 %
Schwalbe	Marathon Winter (Raceguard)	+16 % ± 2 %
andra mätningen		+18 % ± 2 %
Schwalbe	Winter (K-Guard 3, Active)	+39 % ± 2 %
Biltema		+40 % ± 2 %
Clas Ohlson	Innova	+34 % ± 2 %
Jula	Kenda Klondike	+42 % ± 2 %
Dubbfria vinterdäck		
Suomi Tyres	Dubbfritt	+23 % ± 2 %
Continental	Top Contact Vinter	-10 % ± 2 %

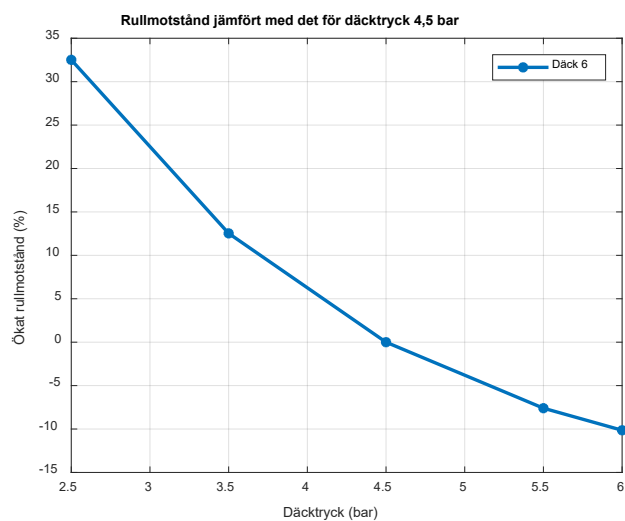
5.1. Inverkan av däcktryck

För att få en uppfattning om hur mycket rullmotståndet kan påverkas av däcktrycket så gjordes en serie mätningar¹ med däck 6 (Biltema) vid olika däcktryck. Resultaten presenteras nedan i Tabell 17, och visas grafiskt i Figur 15. Från figuren framgår att ett för lågt däcktryck har större inverkan på rullmotståndet än ett för högt. Vinsten med att höja däcktrycket minskar med ökat tryck, och man kan för detta däck minska rullmotståndet med 7,5 % genom att öka däcktrycket från 4,5 till 5,5 bar. Dock ska man vara medveten om att det ökade däcktrycket också inverkar negativt på isgreppet. För just detta däck så ledde en sådan ökning av däcktrycket till en minskning av bromsprestandan med 15 %, vilket framgår av Figur 5, på sidan 21.

¹Samma förutsättningar som för de tidigare mätningarna

Tabell 17 Däcktryckets inverkan på rullmotståndet
– däck 6.

Däcktryck (bar)	Förändring av rullmotståndet jämfört med det vid 4,5 bar
2,5	+ 32,5 %
3,5	+ 12,5 %
4,5	0
5,5	- 7,5 %
6,0	- 10 %



Figur 15 Däcktryckets inverkan på rullmotståndet.

6. Sammanfattning av resultaten

En översikt av däckens inbördes ranking för de olika testade egenskaperna ges i Tabell 18 för dubbdäcken och i Tabell 19 för de dubbfria däcken.

Tabell 18 Sammanfattning av inbördes ranking mellan dubbdäcken.

		Trafiksäkerhet						
Tillverkare	Modell	Broms is bak	Broms is fram	Handling is	Samman- vägt isgrepp	Broms asfalt	Rullmotstånd	Dubb- slitage
Suomi Tyres	W240	2	2	1	1	1	2	3
Suomi Tyres	W106	5	6	5	4	1	2	1
Schwalbe	Marathon Winter (Raceguard)	1	1	3	1	1	1	6
Schwalbe	Winter (K-Guard 3, Active)	2	4	7	4	1	5	1
Biltema		7	6	3	4	1	5	5
Clas Ohlson	Innova	5	3	1	3	1	4	3
Jula	Kenda Klondike	4	4	6	4	1	5	6

Bromstesterna på torr och våt asfalt kunde inte påvisa någon skillnad i prestanda mellan de olika däcken. Vinterdäcken, dubbade likväl som dubbfria, hade lika bra grepp som det testade sommardäcket. Vi drar därför slutsatsen att väggreppet på asfalt är tillräckligt bra för alla testade däck för att halka på dessa underlag inte ska vara någon risk.

När det gäller isgrepp så är det de två däcken med 240 dubbar som är i särklass bäst. Av dessa två så har däckets från Schwalbe det bästa greppet och sidostabiliteten vid rak bromsning, medan däckets från Suomi Tyres upplevdes stabilare i handlingstesterna. Båda däcken presterar dock mycket bra i alla grepprelaterade tester.

För de andra dubbdäcken så är resultaten från de olika istesterna inte lika entydiga. Exempelvis så har det andra Schwalbedäcket med 120 dubbar mycket bra prestanda vid rak bromsning med bakhjulet, men har klart sämre sidostabilitet vid bromsning med framhjulet, och är det däck som upplevs sämst i handlingstesterna. Ur en trafiksäkerhetssynpunkt värderar vi sidostabilitet vid framhjulsbromsning och handlingsegenskaperna högt. Därför håller vi däckets från Clas Ohlson på en tydlig tredjeplats bakom de två fulldubbade däcken när det gäller det sammanvägda isgreppet.

De övriga dubbdäcken är svåra att rangordna. Däckets från Biltema sticker ut med markant sämre bromsprestanda vid bakhjulsbromsning än de andra däcken, och är också sämst när det gäller sidostabilitet vid framhjulsbromsning. I gengäld upplevdes däckets som mycket stabilt i handlingstesterna. Överlag känns det dock inte som att det går att framhålla något av de återstående fyra dubbdäcken som bättre än de andra med avseende på det sammanvägda isgreppet.

Av de två dubbfria vinterdäcken så var däckets från Continental tydligt bättre än det från Suomi Tyres både när det gällde isgrepp och rullmotstånd. Isgreppet är dock fortfarande sämre än för de dubbade däcken. Det dubbfria vinterdäckets från Suomi Tyres hade ett isgrepp som var nästan helt jämförbart med sommardäcket. Det ska dock noteras att våra tester är utförda på en jämn isyta och att väggreppet på andra typer av vinterväglag inte kunnat bedömas i vår studie.

När det gäller rullmotståndet för dubbdäcken så är Schwalbedäcket med 240 dubbar det klart mest lättrullade. Anledningen till detta kan säkert tillskrivas att just detta testdäck har ett punkteringsskydd som är designat för att ge ett lättrullat däck, till skillnad från exempelvis Schwalbedäcket med 120 dubbar som är utrustat med en annan typ av punkteringsskydd. Det senare däcket har tydligt högre rullmotstånd trots färre antal dubbar. Hur de övriga dubbdäcken i testet är utrustade med avseende på punkteringsskydd framgår inte. De två dubbdäcken från Suomi Tyres sticker dock ut som klara tvåor bakom det fulldubbade Schwalbedäcket när det gäller lågt rullmotstånd.

Det går att minska rullmotståndet något genom att öka däcktrycket. Dock ska man vara medveten om att detta också kan leda till minskat isgrepp. Det framgår från testerna att däck kan vara olika känsliga för variation av däcktrycket när det gäller just isgrepp. Exempelvis så påverkades däcket från Biltema betydligt mer av förändring av däcktrycket jämfört med Schwalbes däck med 240 dubbar.

Tabell 19 Sammanfattning av inbördes ranking mellan de dubbfria däcken.

			Trafiksäkerhet				
Tillverkare	Modell	Typ	Broms is bak	Broms is fram	Handling is	Broms asfalt	Rullmotstånd
Suomi Tyres	Dubbfritt	vinterdäck	2	-	2	1	3
Continental	Top Contact Vinter	vinterdäck	1	-	1	1	1
Schwalbe	Maraton Plus	sommardäck	3	-	2	1	2

När det gäller däckens slittålighet så har vi endast kunnat undersöka hur väl dubbarna sitter fast vid genomförandet av dessa tester. Egentligen är två exemplar av varje däck en för liten mängd för att kunna dra välgrundade slutsatser om däckens förmåga att behålla dubbarna. Baserat på de få däck vi har så är det dock tre däckmodeller som utmärker sig negativt: Schwalbes däck med 240 dubbar samt däcken från Biltema och Jula. Då Schwalbedäcket med 120 dubbar, med en i övrigt till synes identisk slitbana som den med dubbla antal dubbar, inte tappade några dubbar alls ställer man sig frågan om skillnaderna i punkteringsskydden mellan däcken också leder till skillnader när det gäller dubbarnas hållfasthet. Detta är dock ren spekulatation och inget som vi kan bekräfta från dessa tester.

Referenser

Box, G. E. P., Hunter, W. G., and Hunter, S. J. (1978), **Statistics for Experimenters**, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY.

Hammarström U., Karlsson R., Sörensen H., Yahya M-R. (2012). **Coastdown measurement with 60-tonne truck and trailer. Estimation of transmission, rolling and air resistance.** *VTI notat 15A-2012*, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.

Hjort M. och Niska A. (2015). **Kan dubbdäck på cykeln minska singelolyckorna? Friktionstester av cykeldäck i VTI:s stationära däckprovsningsanläggning.** *VTI Rapport 862*, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.

Karlsson R., Hammarström U., Sörensen H., Eriksson O. (2011). **Road surface influence on rolling resistance. Coastdown measurements for a car and an HGV.** *VTI notat 24A-2011*, 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.

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.

Whitt F. R. och Wilson D. G (1982). **Bicycling Science, second edition.** The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England.

Wälivaara, B. (2007). **Validering av VTI-PFT version 4. Mätningar på plana och profilerade vägmarkeringar.** *VTI notat 16-2007*, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Linköping.

Bilaga 1 Rullmotståndsmätning

Mekanisk energi (E) för objekt i rörelse består av en kinetisk (E_k) och en potentiell del (E_p).

$$E = E_k + E_p$$

Den kinetiska energin kan vidare delas upp i translationsenergi E_k och rotationsenergi E_r ,

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$
$$E_r = \sum_i \frac{I_i \omega_i^2}{2}$$

där m är objektets massa och v dess hastighet. De roterande delarna har tröghetsmoment I_i och roterar med vinkelhastighet ω_i . För en frirullande cykel så är det endast hjulen som roterar och med tröghetsmoment I_f och I_b för fram- respektive bakhjulet, och rullradien R så kan rotationsenergin skrivas:

$$E_r = \frac{(I_f + I_b)v^2}{2R^2}$$

Detta ger:

$$E_k = \frac{m \left(1 + \frac{(I_f + I_b)}{mR^2} \right) v^2}{2} = \frac{Mv^2}{2}$$

där vi definierat den skenbara massan M som:

$$M \equiv m \left(1 + \frac{(I_f + I_b)}{mR^2} \right)$$

Den mekaniska effekt P som verkar på cykeln vid en given tidpunkt är relaterad till kraften F som verkar på cykeln genom:

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{dE_k}{dt} + \frac{dE_p}{dt} = Fv$$

Anta att cykeln rullar på ett horisontellt underlag. Då är $dE_p/dt = 0$, vilket ger

$$Mv \frac{dv}{dt} = Fv$$

eller

$$F = Ma$$

där a är cykelns acceleration. Detta är Newtons välkända lag, fast med den skenbara massan M istället för cykelns massa m .

De krafter som verkar på cykeln är rullmotstånd F_{rr} , luftmotstånd F_a samt friktion i hjulnaven F_f . Rullmotståndskraften kan då lösas ut:

$$F_{rr} = Ma - F_f - F_a$$

Normalt anges rullmotståndet som en dimensionslös koefficient genom att normera med normallasten

$$C_{rr} = \frac{F_{rr}}{mg}$$

Den retarderande kraften som uppstår från friktion i hjulnavet är

$$F_f = \frac{\tau}{R}$$

där τ är det vridmoment som uppstår i navet då hjulet rullar. Om man känner hjulets tröghetsmoment I kan vridmomentet för ett hjul bestämmas experimentellt genom att mäta det olastade hjulets vinkelretardation $\dot{\omega}$

$$\tau = I\dot{\omega}$$

Detta måste göras separat för varje hjul.

Luftmotståndskraften kan för en cyklist beskrivas enligt

$$F_a = \frac{C_D A \rho v_{rel}^2}{2}$$

där

C_D är luftmotståndskoefficienten

A är objektets (cyklist + cykel) tvärsnittsarea

ρ är luftens densitet

v_{rel} är objektets relativa hastighet gentemot luften

Enligt Whitt och Wilson (1982) är representativa värden för en upprätt cyklist $C_D=1,0$, $A=0,5 \text{ m}^2$. Luftens densitet varierar med temperatur, lufttryck och luftfuktighet inom 1,1 -1,4 kg/m³. I normala fall är densiteten 1,2 kg/m³ vid temperaturen 20 °C.

Med dessa siffror kan luftmotståndskraften vid 20 °C uppskattas med följande formel

$$F_a = \frac{1,0 \cdot 0,5 \cdot 1,2 \cdot v_{rel}^2}{2 \cdot 3,6^2} = 0,0231 \cdot v_{rel}^2 \text{ (N)}$$

där cyklistens relativa hastighet gentemot luften anges i km/h.

Bilaga 2 Broms på is: individuella resultat

Här presenteras de individuella resultaten av bromsning på is för de fyra testförarna. Vid varje test så gjordes för varje däck en serie med 5 bromsningar med enbart broms på bakhjul respektive framhjul. I tabellerna så ges medelvärde av retardationen för dessa 5 bromsningar, R (m/s^2), 95 % konfidensintervall ki , standardavvikelse $stdav$, samt ranking från ett till sju. Om retardationen för två däck skiljer mindre än 0,01 så har vi gett dem samma ranking. Resultaten ges först för broms med bakhjulet (Tabell 20 till Tabell 23) och sedan för broms med framhjulet (Tabell 24 till Tabell 27). Dubbdäcken hanteras separat och därefter tester med de odubbade däcken (Tabell 28 och Tabell 29).

Tabell 20 Bromstest med bakhjul på is: testförare 1.

TF: 2	Test 1				Test 2				Genomsnitt båda testerna	
Däck kodnr	R	ki	stdav	rank	R	ki	stdav	rank	R	rank
8	0,950	0,028	0,023	3	0,879	0,099	0,080	4	0,914	4
4	0,833	0,068	0,055	6	0,817	0,057	0,046	5	0,825	6
3	1,093	0,040	0,032	1	0,970	0,100	0,080	3	1,032	1
2	0,952	0,043	0,035	3	0,980	0,089	0,072	1	0,966	3
6	0,638	0,049	0,039	7	0,693	0,067	0,054	7	0,665	7
10	0,870	0,055	0,044	5	0,813	0,079	0,063	5	0,842	5
5	1,006	0,056	0,045	2	0,982	0,047	0,038	1	0,994	2

Tabell 21 Bromstest med bakhjul på is: testförare 2.

TF: 1	Test 1				Test 2				Genomsnitt båda testerna	
Däck kodnr	R	ki	stdav	rank	R	ki	stdav	rank	R	rank
8	0,874	0,055	0,044	2	0,818	0,017	0,014	2	0,846	2
4	0,833	0,048	0,039	4	0,742	0,071	0,057	6	0,788	6
3	1,030	0,064	0,051	1	1,046	0,058	0,047	1	1,038	1
2	0,869	0,064	0,052	2	0,785	0,081	0,065	4	0,827	3
6	0,760	0,019	0,015	7	0,737	0,025	0,020	6	0,748	7
10	0,830	0,041	0,033	4	0,794	0,032	0,026	4	0,812	4
5	0,824	0,080	0,064	4	0,809	0,022	0,018	2	0,817	4

Tabell 22 Bromstest med bakhjul på is: testförare 3.

TF: 3	Test 1				Test 2				Genomsnitt båda testerna	
Däck kodnr	R	ki	stdav	rank	R	ki	stdav	rank	R	rank
8	0,910	0,049	0,040	3	0,897	0,055	0,044	3	0,903	3
4	0,818	0,078	0,063	5	0,854	0,123	0,099	5	0,836	5
3	1,027	0,090	0,072	1	1,007	0,033	0,027	1	1,017	1
2	0,979	0,034	0,027	2	0,981	0,029	0,024	2	0,980	2
6	0,669	0,084	0,068	7	0,610	0,071	0,057	7	0,639	7
10	0,818	0,100	0,081	5	0,809	0,020	0,016	6	0,813	6
5	0,906	0,071	0,057	3	0,874	0,187	0,151	4	0,890	4

Tabell 23 Bromstest med bakhjul på is: testförare 4.

TF: 4	Test 1				Test 2				Genomsnitt båda testerna	
Däck kodnr	R	ki	stdav	rank	R	ki	stdav	rank	R	rank
8	1,000	0,079	0,064	1	0,948	0,036	0,029	2	0,974	1
4	0,898	0,035	0,028	2	0,906	0,040	0,032	4	0,902	3
3	0,893	0,093	0,075	2	0,993	0,068	0,055	1	0,943	2
2	0,825	0,076	0,061	5	0,932	0,082	0,066	3	0,878	4
6	0,801	0,055	0,044	6	0,809	0,102	0,082	6	0,805	6
10	0,867	0,090	0,073	4	0,880	0,128	0,103	5	0,873	4
5	0,689	0,021	0,017	7	0,811	0,160	0,129	6	0,750	7

Tabell 24 Bromstest med framhjul på is: testförare 1.

TF: 2	Test 1				Test 2				Genomsnitt båda testerna	
Däck kodnr	R	ki	stdav	rank	R	ki	stdav	rank	R	rank
8	0,731	0,036	0,029	3	0,678	0,045	0,036	3	0,705	3
4	0,615	0,039	0,032	6	0,591	0,056	0,045	7	0,603	6
3	0,918	0,038	0,030	1	0,781	0,047	0,038	1	0,850	1
2	0,632	0,077	0,062	5	0,641	0,075	0,061	4	0,637	5
6	0,516	0,095	0,077	7	0,605	0,059	0,048	6	0,560	7
10	0,719	0,061	0,049	4	0,723	0,067	0,054	2	0,721	2
5	0,744	0,062	0,050	2	0,650	0,046	0,037	4	0,697	3

Tabell 25 Bromstest med framhjul på is: testförare 2.

TF: 1	Test 1				Test 2				Genomsnitt båda testerna	
Däck kodnr	R	ki	stdav	rank	R	ki	stdav	rank	R	rank
8	0,655	0,026	0,021	1	0,561	0,096	0,078	3	0,608	1
4	0,520	0,128	0,103	7	0,515	0,073	0,059	5	0,518	7
3	0,613	0,085	0,068	3	0,615	0,055	0,044	1	0,614	1
2	0,575	0,038	0,031	4	0,522	0,034	0,027	5	0,549	5
6	0,582	0,047	0,038	4	0,570	0,034	0,027	3	0,576	4
10	0,628	0,061	0,049	2	0,589	0,059	0,048	2	0,608	1
5	0,567	0,061	0,049	4	0,499	0,014	0,011	7	0,533	6

Tabell 26 Bromstest med framhjul på is: testförare 3.

TF: 3	Test 1				Test 2				Genomsnitt båda testerna	
Däck kodnr	R	ki	stdav	rank	R	ki	stdav	rank	R	rank
8	0,519	0,051	0,041	3	0,511	0,067	0,054	3	0,515	3
4	0,414	0,041	0,033	6	0,363	0,046	0,037	7	0,388	7
3	0,580	0,082	0,066	1	0,631	0,077	0,062	1	0,606	1
2	0,510	0,108	0,087	3	0,419	0,054	0,043	5	0,464	4
6	0,401	0,055	0,044	7	0,406	0,105	0,084	6	0,403	6
10	0,560	0,038	0,030	2	0,551	0,038	0,031	2	0,555	2
5	0,456	0,115	0,093	5	0,433	0,094	0,076	4	0,445	5

Tabell 27 Bromstest med framhjul på is: testförare 4.

TF: 4	Test 1				Test 2				Genomsnitt båda testerna	
Däck kodnr	R	ki	stdav	rank	R	ki	stdav	rank	R	rank
8	0,620	0,027	0,022	1	0,733	0,188	0,151	1	0,676	1
4	0,535	0,137	0,110	3	0,549	0,038	0,030	4	0,542	4
3	0,591	0,034	0,027	2	0,624	0,043	0,034	2	0,607	2
2	0,513	0,086	0,069	4	0,549	0,035	0,028	4	0,531	5
6	0,418	0,155	0,125	7	0,538	0,144	0,116	6	0,478	7
10	0,522	0,067	0,054	4	0,583	0,117	0,094	3	0,552	3
5	0,454	0,055	0,045	6	0,539	0,077	0,062	6	0,497	6

Bromstester på is med de odubbade däcken utfördes endast med två förare på grund av tidsbrist, Endast bromsning med bakhjulet genomfördes då initiala tester visade på stora problem att hålla balansen vid framhjulsbroms med odubbade däck,

Tabell 28 Dubbfria däck - bromstest med bakhjul på is: testförare 1.

TF: 2	Test 1				Test 2				Genomsnitt båda testerna	
Däck kodnr	R	ki	stdav	rank	R	ki	stdav	rank	R	rank
Dubbfria vinterdäck										
7	0,625	0,144	0,116	2	0,506	0,136	0,109	2	0,566	2
1	0,715	0,165	0,133	1	0,641	0,084	0,068	1	0,678	1
Sommardäck										
9	0,623	0,113	0,091	2	0,461	0,032	0,026	3	0,542	3

Tabell 29 Dubbfria däck - bromstest med bakhjul på is: testförare 2.

TF: 1	Test 1				Test 2				Genomsnitt båda testerna	
Däck kodnr	R	ki	stdav	rank	R	ki	stdav	rank	R	rank
Dubbfria vinterdäck										
7	0,552	0,077	0,062	1	0,513	0,113	0,091	1	0,532	1
1	0,544	0,051	0,041	1	0,485	0,057	0,046	2	0,515	2
Sommardäck										
9	0,494	0,073	0,059	3	0,465	0,087	0,070	3	0,480	3

Bilaga 3 Handlingtester på is: individuella resultat

Varje däck testades vid fyra olika tillfällen av respektive förare. Testerna utfördes blint, så att testföraren var ovetande om vilket däck som testades. Försöksledaren mätte tiden, noterade antal fel (fotnedsättningar eller påkörning av kon) varefter testföraren (ovetandes om tiden) fick ge ett omdöme om däckets upplevda kontroll på en skala 1 till 7, där 1 är lägst betyg och 7 högst.

Tabell 30 Handlingstest med dubbdäck på is: testförare 1.

TF: 1	Test 1			Test 2			Test 3		
Däck kod nr	Tid	Fel	Omd	Tid	Fel	Omd	Tid	Fel	Omd
8	71,7	0	7	70,5	0	7	69,0	1	6
4	77,8	1	6	73,7	1	5	76,1	2	4
3	76,5	1	6	76,4	1	5	75,1	2	5
2	98,3	5	3	89,8	1	4	89,3	3	3
6	73,2	1	7	77,4	0	7	66,3	0	7
10	78,3	0	5	71,9	1	6	73,6	1	5
5	91,9	1	3	89,3	3	4	93,7	3	3
	Test 4			Medelvärde sista tre testerna					
Däck kod nr	Tid	Fel	Omd		Tid	Fel	Omd	Rank tid	Rank omd
8	68,8	1	7		69,4	0,7	6,7	1	1
4	70,8	0	6		73,5	1,0	5,0	4	5
3	69,7	1	7		73,7	1,3	5,7	4	3
2	91,7	4	2		90,3	2,7	3,0	7	7
6	71,7	2	5		71,8	0,7	6,3	2	2
10	69,5	1	6		71,6	1,0	5,7	2	3
5	86,5	4	3		89,8	3,3	3,3	6	6

Tabell 31 Handlingstest med dubbdäck på is: testförare 2.

TF: 2	Test 1			Test 2			Test 3		
Däck kod nr	Tid	Fel	Omd	Tid	Fel	Omd	Tid	Fel	Omd
8	102,1	1	5	89,8	0	4	94,6	0	6
4	103,0	0	5	92,7	1	5	106,7	0	4
3	88,2	0	7	83,6	0	7	92,7	0	7
2	105,5	0	4	95,4	0	3	110,2	0	3
6	96,6	0	5	91,4	0	5	96,6	0	5
10	94,3	1	6	80,8	0	6	98,6	0	6
5	104,2	1	4	95,5	0	2	97,3	0	5
	Test 4				Medelvärde sista tre testerna				
Däck kod nr	Tid	Fel	Omd		Tid	Fel	Omd	Rank tid	Rank omd
8	92,2	0	5		92,2	0	5,0	3	3
4	97,2	0	5		98,9	0	4,7	5	5
3	84,8	0	7		87,1	0	7,0	1	1
2	100,3	1	3		101,9	0	3,0	7	7
6	89,5	0	5		92,5	0	5,0	4	3
10	86,9	0	6		88,8	0	6,0	2	2
5	107,0	1	3		99,9	0	3,3	6	6

Tabell 32 Handlingstest med dubbdäck på is: testförare 3.

TF: 3	Test 1			Test 2			Test 3		
Däck kod nr	Tid	Fel	Omd	Tid	Fel	Omd	Tid	Fel	Omd
8	99,7	3	7	82,5	1	7	94,3	0	7
4	88,1	1	7	89,2	1	5	104,8	2	6
3	88,0	2	5	90,6	3	5	99,3	0	5
2	115,0	11	2	99,3	4	3	104,9	2	5
6	84,8	1	7	92,0	1	7	91,8	1	7
10	85,2	1	7	83,1	1	7	94,3	0	7
5	129,5	6	5	97,7	4	5	102,8	1	6
	Test 4				Medelvärde sista tre testerna				
Däck kod nr	Tid	Fel	Omd		Tid	Fel	Omd	Rank tid	Rank omd
8	83,3	0	7		86,7	0,3	7,0	1	1
4	91,6	0	7		95,2	1,0	6,0	5	4
3	90,1	0	6		93,3	1,0	5,3	4	5
2	100,8	1	5		101,7	2,3	4,3	7	7
6	93,7	0	7		92,5	0,7	7,0	3	1
10	90,1	2	7		89,2	1,0	7,0	2	1
5	103,7	3	5		101,4	2,7	5,3	6	5

Tabell 33 Handlingstest med dubbdäck på is: testförare 4.

TF: 4	Test 1			Test 2			Test 3		
Däck kod nr	Tid	Fel	Omd	Tid	Fel	Omd	Tid	Fel	Omd
8	74,1	1	6	74,6	0	6	88,8	0	7
4	83,2	4	2	76,4	1	5	91,2	1	5
3	73,0	1	4	75,1	0	6	88,5	3	5
2	94,3	3	1	87,8	1	2	113,5	1	1
6	69,4	0	6	75,5	0	6	95,3	0	3
10	70,1	0	7	78,4	0	7	82,8	0	7
5	79,7	2	2	87,5	1	1	97,7	0	7
	Test 4				Medelvärde sista tre testerna				
Däck kod nr	Tid	Fel	Omd		Tid	Fel	Omd	Rank tid	Rank omd
8	79,9	0	7		81,1	0,0	6,7	1	2
4	86,5	0	4		84,7	0,7	4,7	3	4
3	90,8	0	5		84,8	1,0	5,3	3	3
2	93,1	1	1		98,1	1,0	1,3	7	7
6	93,9	0	1		88,2	0,0	3,3	5	5
10	82,0	0	7		81,1	0,0	7,0	1	1
5	95,5	0	2		93,6	0,3	3,3	6	5

Bilaga 4 Bromstester på asfalt: individuella resultat

Här presenteras de individuella resultaten av bromsning på asfalt för de två testförarna, TF 1 och TF 3. Vid varje test så gjordes för varje däck en serie med 5 bromsningar med enbart broms på bakhjulet. I tabellerna så ges medelvärde av retardationen för dessa 5 bromsningar, R (m/s²), 95 % konfidensintervall ki , standardavvikelse $stdav$. Bromsningarna utfördes dels på torr asfalt samt på våt asfalt. Då testerna av däcken fick utföras under två separata dagar, och då vindförhållanden var olika mellan dagarna så delas tabellerna upp i respektive dag. Tester med sommardäcket utfördes båda dagarna som referens.

Tabell 34 Bromstester på torr asfalt.

Torr asfalt Dag 1	TF 1			TF 3		
Däck kod nr	R	ki	stdav	R	ki	stdav
8				3,60	0,15	0,12
4	3,43	0,09	0,07	3,81	0,20	0,16
3	3,24	0,11	0,09			
2	3,51	0,27	0,22	3,71	0,09	0,07
6	3,43	0,14	0,11	3,43	0,12	0,10
10	3,33	0,11	0,09			
5				3,43	0,23	0,19
Dubbfria vinterdäck						
7				3,66	0,18	0,15
1	3,53	0,14	0,11	3,51	0,17	0,14
Sommardäck						
9	3,41	0,08	0,07	3,45	0,16	0,13

Torr asfalt Dag 2	TF 1			TF 3		
Däck kod nr	R	ki	stdav	R	ki	stdav
8	2,94	0,09	0,07			
4						
3				2,98	0,14	0,11
2						
6						
10				3,03	0,12	0,10
5	3,02	0,14	0,11			
Dubbfria vinterdäck						
7	3,18	0,07	0,05			
1						
Sommardäck						
9	2,91	0,16	0,13	2,90	0,03	0,03

Tabell 35 Bromstester på våt asfalt.

Våt asfalt Dag 1	TF 1			TF 3		
Däck kod nr	R	ki	stdav	R	ki	stdav
8				3,41	0,15	0,12
4	3,31	0,13	0,10	3,62	0,11	0,09
3	2,92	0,14	0,11			
2	3,39	0,19	0,15	3,54	0,13	0,10
6	3,28	0,22	0,18	3,30	0,11	0,09
10	3,09	0,15	0,12			
5				3,17	0,13	0,11
Dubbfria vinterdäck						
7				3,45	0,08	0,06
1	3,45	0,11	0,08	3,45	0,11	0,09
Sommardäck						
9	3,11	0,17	0,14	3,34	0,16	0,13

Våt asfalt Dag 2	TF 1			TF 3		
Däck kod nr	R	ki	stdav	R	ki	stdav
8	3,10	0,08	0,07			
4						
3				3,13	0,12	0,10
2						
6						
10				3,01	0,13	0,10
5	3,20	0,13	0,10			
Dubbfria vinterdäck						
7	3,17	0,12	0,10			
1						
Sommardäck						
9	3,03	0,13	0,11	2,99	0,10	0,08

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

