

Utveckling av testtrigg för mätning av däckfriktion mot vinterväglag

THORBJÖRN ALDGÅRD
DAVID JOHANSSON

CIVILINGENJÖRSPROGRAMMET
Maskinteknik

Luleå tekniska universitet
Institutionen för Tillämpad fysik • Maskin- och materialteknik
Avdelningen för Maskinelement



Förord

Detta examensarbete utgör en del i ett större forskningsprojekt för att öka kunskapen inom ämnesområdet vinterväglag. Syftet med examensarbetet är att konstruera en testtrigg som en start på forskningsprojektet. Testtriggen skall möjliggöra forskning på sambandet mellan olika egenskaper hos däck och vinterväglag. Examensarbetet har utförts distribuerat på Luleå tekniska universitet, institutionen för maskinteknik och Tribolab, och på Caran i Göteborg under tidsperioden oktober 2005 till mars 2006.

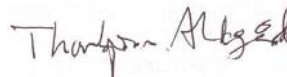
Ett flertal personer har engagerat sig i arbete och förtjänar ett erkännande. Vid Caran är det främst vår handledare Stefan Brnic för sitt stöd och bidrag av erfarenhet men också vår kontaktperson David Zeeberg. Initiativtagare till projektet är Roland Larsson som även är vår examinator och handledare tillsammans med Elisabeth Kassfeldt vid Luleå tekniska universitet. Vill även tacka annan berörd personal vid universitetet och Caran som engagerat sig och visat intresse i projektet. Tack!

Slutligen vill vi tacka våra familjer för stöd och tyckande.

Luleå, 2006-04-07



.....
David Johansson



.....
Thorbjörn Aldgård

Sammanfattning

Detta examensarbete har bedrivits distribuerat vid Luleå tekniska universitet samt i Göteborg på konsultfirman Caran som ett produktutvecklingsprojekt. Uppdraget var att utifrån en kravspecifikation utveckla en testtrigg för att utföra mätningar på däckfriktion mot vinterväglag, detta som en följd av att däcktillverkaren Michelin och Luleå tekniska universitet, nyligen startat ett samarbete. Tanken med att utveckla testtriggen är att avdelningen maskinteknik på Ltu, Luleå tekniska universitet, skall erhålla de grundliga kunskaper om hur ett däck fungerar med alla dess ingående parametrar för att sedan leda arbetet till nästa nivå.

Examensarbetets mål var att utveckla en testtrigg som möjliggör snabba tester av däck samtidigt som väglaget skall kunna karakteriseras. Syftet med att utveckla testtriggen är att kunna utvärdera vilken typ av däck som passar bäst för det väglaget som råder för dagen och att finna sambandet mellan väglagets egenskaper som t.ex. temperatur, luftfuktighet, hårdhet, topografi, etc. och däckets såsom mönstergeometri, gummiblandning, etc.

En kravspecifikation utarbetades för testtriggen där alla krav som ställs på testtriggen listades. De krav som anses viktigast är att testet skall ha god repeterbarhet med minsta möjliga antal inverkande faktorer som möjligt. Testet skall vara snabbt att genomföra så att ett flertal däck kan testas på en relativt kort tid. En person skall lätt kunna utföra testerna själv utan att oergonomiska situationer uppstår vid hjulbyten och iordningställande. Utifrån dessa krav utarbetades ett antal olika koncept som alla mer eller mindre uppfyllde kraven för testtriggen. Av dessa koncept valdes ett ut för att undersöka dess relevans och genomförbarhet.

Det slutgiltiga konceptet bygger på en gammal teori som är utvecklad på Ltu kallad ”Jumping ball” där syftet är att undersöka oljor och fetters friktionshämmande egenskaper. Konceptet består av två skenor med ställbar vinkel mot väglaget. Hjulet vilar på en uppläggningsram som är monterad på en släde vars hjul rullar inuti skenorna. När hjulet studsar mot väglaget lämnar det samtidigt uppläggningsramen. Ett moment uppstår kring kontaktytan som förenklat kan betraktas som en linje. Beroende på hur mycket friktion som uppstår mellan däck och väglaget så kommer däck att rotera med en viss hastighet. Denna rotationshastighet mäts med hjälp av en kamera och kan översättas till friktion.

Det slutgiltiga konceptet uppfyller alla de högst värderade kraven väl. Några av de lägre värderade kraven och önskemålen gavs avkall på.

Abstract

This master thesis is a product development project that has been carried out in Luleå at the University of Technology and at Caran in Gothenburg. The assignment was to develop a test rig for measurements of friction between a tire and the surface of different winter roads on the basis of a list of requirements. Since recently Luleå University of Technology (LTU) cooperates with Michelin. The idea with this master thesis is that the division of machine elements at LTU will receive the fundamentals in tires and their including parameters to lead the project to next level.

The objective for this work is to develop a testrig that enables a quick procedure, which contains the test itself, and characterization of the surface. The purpose in developing the testrig is to evaluate which type of tire that suits best for the current road conditions and to find the relation between the characteristics of the surface such as temperature, humidity, hardness, topographic, etc. and the characteristics of the tire for example geometrics of the pattern, the constitution of the rubber mixture, etc.

A specification of requirements was prepared containing all demands set on the test rig. Among all demands the most important ones to fulfill is to achieve superior repeatability, the fewer factors influencing the test results the better. The test procedure must be rapid so a number of tires can be tested during a relatively short period of time. It must be possible to carry out the test by one operator without being exposed to non ergonomic situations. On the basis of these demands a number of different concepts were prepared, all of them more or less fulfilling the list of demands. Out of these concepts, one was chosen for investigation of its relevance and viability.

The selected concept is based on an old device called “Jumping ball” whose purpose is to evaluate the obstruction of friction for different oils and greases. The concept consists of two rails with an adjustable angle towards the surface. The wheel rests on a frame on a slider whose wheels runs inside the rails on its way down towards the ground. When the wheel bounces, it immediately leaves the frame. A moment is engendered around the contact patch which simplified can be regarded as a line. The wheel will start to rotate and the velocity of the rotation is dependent of the amount of friction that occurs in the contact between the tire and the surface. The rate of rotation will be recorded with a high-resolution camera, transmitted to a computer and translated to the coefficient of friction.

The final concept fulfills all the high valued requirements with satisfaction. Some of the low valued requirements were renounced.

Innehållsförteckning

Förord	i
Sammanfattning	ii
Abstract	iii
Innehållsförteckning	iv
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Uppdragsgivare	1
1.3 Problembeskrivning	2
1.4 Mål	2
2 Arbetsmetod	3
3 Teori	4
3.1 Friktion	4
3.2 Väglag	5
3.3 Friktion vid bilkörning	6
4 Egenskaper hos däck	7
4.1 Gummi – Däckets byggsten	7
4.2 Däckfriktion	7
4.3 Däckdesign och gummiblandningar	8
4.4 Beteende hos däck	9
4.5 Däcktester och utveckling	9
5 Vinterväglag	10
5.1 Definition av vinterväglag i praktiken	10
5.2 Snö- och iskristallers yta	10
5.3 Snö och is på våra vägar	10
5.4 Karakterisering av vinterväglag	11
6 Friktionsmätare idag – benchmarking	12
6.1 Studiebesök	12
6.2 Undersökning på Internet	15
7 Mätmetoder däckfriktion	17
7.1 Fixed Slip	17
7.2 Variabelt Slip	17
7.3 Retardationsmetoden	17
7.4 Portable Skid Resistance Tester – Pendulum Tester	18
8 Kravspecifikation 1 – testutrustning	19
8.1 Krav och framtidspekulationer	19
8.2 Utvärdering av kravspecifikation 1	21
9 Kravspecifikation 2, testutrustning	22
9.1 Kravtabell	22
9.2 Kostnadskrav	24
9.3 Tillverkning	24
9.4 Viktningsmatris	24
10 Konceptgenerering	25
10.1 Brainstorming	25
10.2 Förstudiekoncept	26
10.3 Slutkoncept	28
11 Konceptviktning och utvärdering	30

11.1	Gallring av koncept	30
11.2	Konceptviktning	30
11.3	Kombinerade koncept	31
11.4	Utvärdering.....	32
12	Slutgiltigt koncept	33
12.1	Detaljerad funktionsbeskrivning	33
12.2	Förutsättningar för experiment.....	35
12.3	Teoretisk modell.....	37
12.4	Simulerad modell	41
12.5	Kostnadskalkyl.....	42
13	Diskussion och slutsatser	43
14	Referenser.....	44
	Bilaga I – Projektplanering	46
	Bilaga II – Kalibreringsprotokoll	47
	Bilaga III – Förstudiekoncept.....	48
	Bilaga IV – Huvudkoncept.....	50
	Bilaga V – Viktningsmatris gallrade koncept	60
	Bilaga VI – Viktningsmatris, jämförande	63
	Bilaga VII - Masströghetsmoment	66
	Bilaga VIII - Ritningar	69

1 Inledning

Detta kapitel beskriver problemets bakgrund, problemet i sig och vad som skall lösas. En enklare presentation av uppdragsgivare och vilka mål som skall uppfyllas ges.

1.1 Bakgrund

Pascal Ehret på Michelin tog vintern 2005 kontakt med Roland Larsson på Tribolab vid avdelningen Maskinelement på Ltu, Luleå tekniska universitet. Frågan som ställdes var om Ltu kunde tänka sig att påbörja ett forskningsprojekt på vinterväglag och hur däckets egenskaper påverkar väggreppet. Luleås geografiska läge är optimalt, långt norrut, lång vinter, närhet till den allt mer växande biltestindustrin i inlandet och här finns mycket kunnande.

Vid Ltu finns två forskargrupper med stor kompetens inom områdena friktion, provning och snö/is-karaktärisering. Den ena gruppen finns inom avdelningen för maskinelement. Där drivs med stor framgång forskning inom tribologi, d.v.s. läran om friktion, nötning och smörjning. Där finns förutom en stor forskargrupp också ett av Europas bäst utrustade laboratorium för tribologiska studier, Tribolab. Gruppen har gott internationellt rykte och är en av Europas största inom området. Den andra gruppen finns inom avdelningen för byggkonstruktion. Här finns motsvarande mångåriga kompetens och erfarenhet inom snö- och iskaraktärisering, erfarenhet finns dessutom av istillverkning för biltestning. Tillsammans ger dessa grupper mycket bra förutsättningar för kvalificerade vetenskapliga studier av däckfriktion och dess relation till vägunderlagets egenskaper.

Som en del i detta forskningsprojekt kunde några examensarbeten utformas. Detta examensarbete består av utveckling och modellering av en mobil testtrigg för att testa olika däckers friktion mot olika vinterväglag på ett snabbt och relativt enkelt sätt.

1.2 Uppdragsgivare

Nedan är de inblandade uppdragsgivarna kort presenterade. Dessa är Ltu, åt vilka uppdraget utförs, och Caran där en av examensarbetarna utförde arbetet.

1.2.1 Luleå tekniska universitet – Tribolab

Tribolab är en verksamhet under avdelningen maskinelement på institutionen för tillämpad fysik, maskin- och materialteknik. De bedriver tribologisk provning och karaktärisering av material under olika driftsförhållanden i syfte att minska antalet haverier och skador inom industrin tack vare reducerat slitage och förbättrad smörjning. Tribolab utför också beräkningar och modelleringar kopplat till laborativa tester.

1.2.2 VW-Data Caran AB

Företaget bildades 2003 utifrån de verksamheter som tidigare var kända som Knight och Caran och är idag en av de stora aktörerna inom den svenska konsultbranchen. Det är inom produktutveckling som företaget har en stark position. Företaget har fullständiga resurser inom design, konstruktion och avancerad prototyp tillverkning, men också för utveckling av produktionsmetoder och verksamhetsstöd. Caran är mycket delaktigt inom utvecklingsarbetet i svensk bilindustri och med ovan nämnda resurser möjligheter till att "in house" ta fullt ansvar för konstruktion, utformning och analys av nya produkter och dess funktion.

1.3 Problembeskrivning

Att kunna erhålla ett värde på friktionen mellan ett däck och det specifika väglaget är idag önskvärt från däckleverantörer, biltillverkare och testindustrin.

Dagens testriggar för däck är främst konstruerade för att utföra sitt arbete stationärt i labbmiljö. De riggar som finns för tester "i fält" använder sig av ett s.k. referensdäck som alltid skall användas och är dessutom komplicerade att utföra ett däckbyte på om man vill jämföra olika däckers egenskaper.

Michelin bad Luleå tekniska universitet att utveckla en testtrigg som möjliggjorde snabba tester av däck samtidigt som väglaget skall kunna karakteriseras. Detta för att kunna utvärdera vilken typ av däck som passar bäst för väglaget som råder för dagen. Examensarbetet omfattar inte att utveckla karakteriseringsutrustningen till färdig produkt men förslag till vilka parametrar som bör studeras lämnas av examensarbetarna.

1.4 Mål

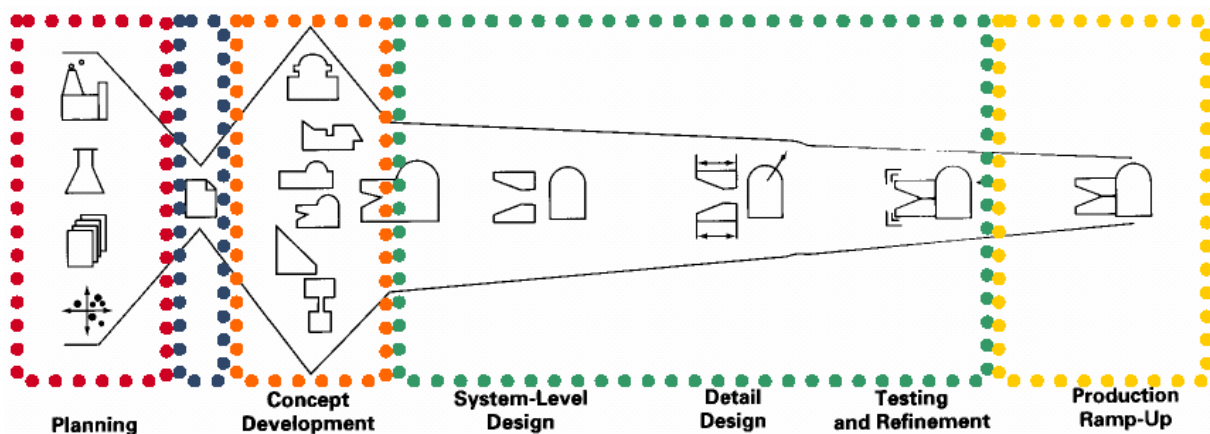
Examensarbetets mål är att genomföra en konceptstudie på en testtrigg för mätning av däckfriktion i vinterväglag. Konceptstudien skall leda fram till ett slutgiltigt koncept som uppfyller de krav och om möjligt de extra önskemål som ställs på projektet så gott som möjligt. Det slutgiltiga konceptet dimensioneras och ritas upp i ett 3D CAD-program.

2 Arbetsmetod

Detta kapitel beskriver översiktligt hur arbetet har utförts och vilka faser som examensarbetarna har gått igenom.

Arbetet inleddes med att en förstudie genomfördes för att undersöka vilka typer av testanordningar som existerar och testriggar inom andra områden som skulle kunna ge idéer s.k. related technology. Tillsammans med handledare i Luleå upprättades en kravspecifikation för testriggen, även innehållandes några önskemål från handledarnas sida. En inledande projektplanering upprättades också vid exjobbets början, se Bilaga I.

En utvecklingsprocess kan utarbetas med hjälp av flertalet olika metoder som strukturerar upp genomförandet. figur 1 är en schematisk bild över hur arbetet med att utveckla testriggen har utformats.



figur 1 - Schematisk bild över utvecklingsarbetet, Ulrich & Eppinger (1995)

Konceptgenereringsfasen startades med hjälp av samarbetspartners på Caran och andra intressenter. Under perioden gjordes studiebesök för att få mer idéer och feedback till olika koncept. Slutligen fanns det ett flertal förslag till hur testriggen skulle kunna utformas. Dessa koncept granskades och utvärderades sedan noga. Därpå, i samråd med intresserade parter, valdes det koncept som bäst uppfyllde kravspecifikationen och intressenternas önskemål. Det slutgiltiga konceptet förfinades och granskades noga för att ta reda på om det var genomförbart och funktionsdugligt.

3 Teori

I Kapitlet beskrivs den grundläggande teorin gällande friktion, även väglagets karaktär och inverkan parametrarna vid däckfriktion behandlas.

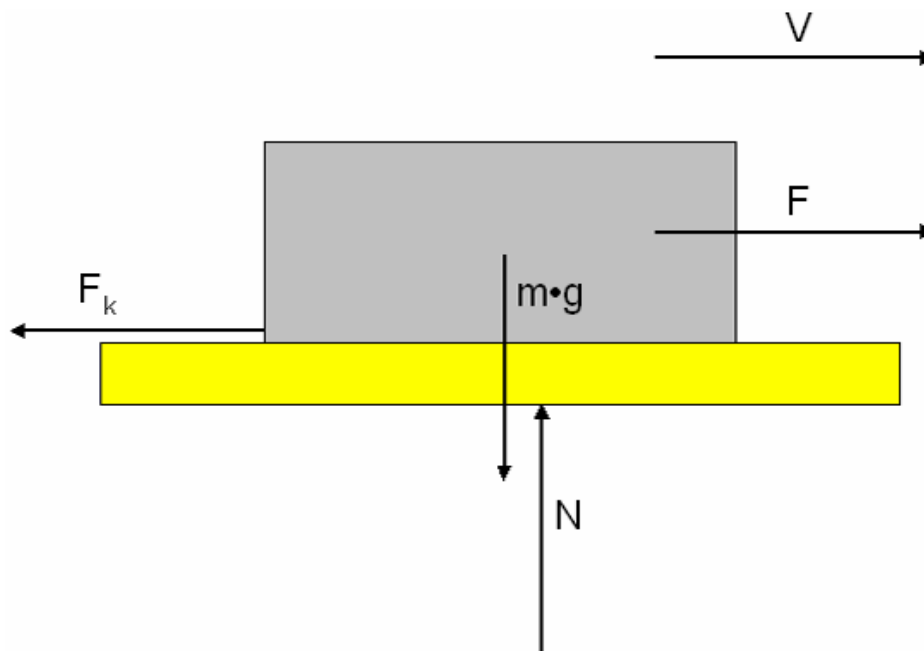
3.1 Friktion

Kontaktkrafter uppstår då två kroppar kommer i kontakt med varandra. Dessa kontaktkrafter består av normal- och friktionskrafter. Normalkraften är resultanten till en kropps tyngdkraft (betecknas N). Friktionskraft är en komponent som är parallell med ytan (betecknas F_k), se figur 2.

$$F_k = \mu * N$$

figur 2 - Formel för beräkning av friktionskraften.

Friktionskraftens riktning är alltid den motsatta till rörelseriktningen. Den friktion som uppstår då ett föremål glider över en yta kallas den kinetiska friktionskraften, F_k . Friktionskrafter uppstår även när det inte förekommer någon relativ rörelse, detta kallas för den statiska friktionskraften, F_s . Se figur 3 för friktionsprincipen.



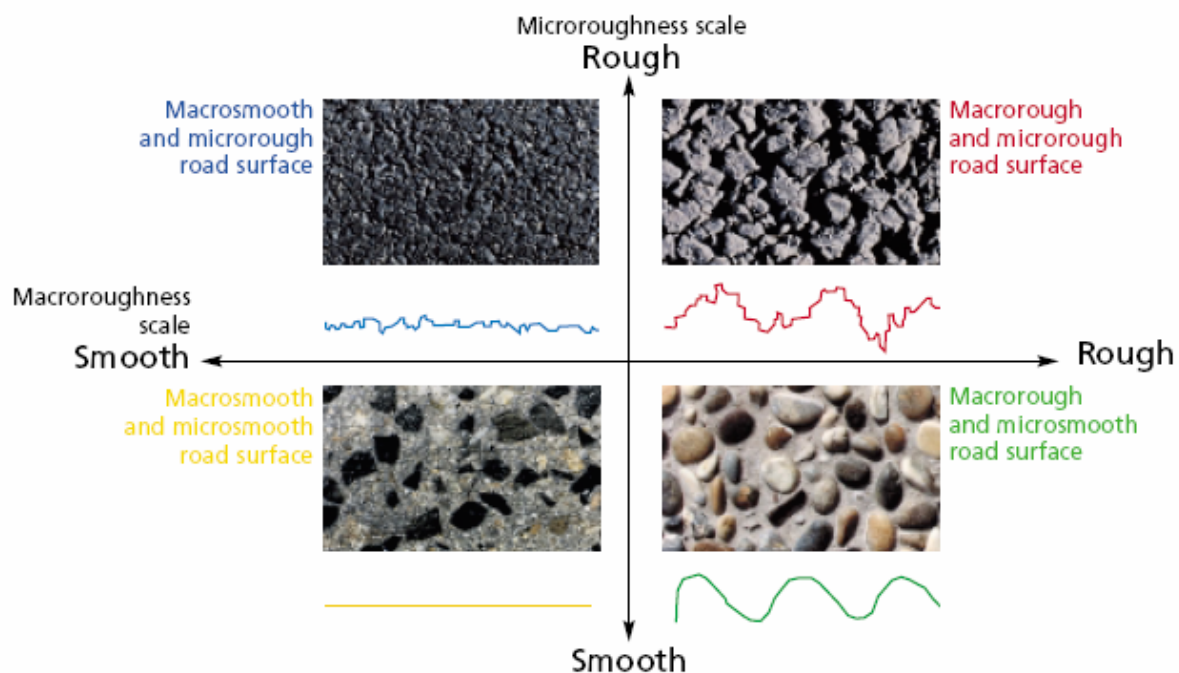
figur 3 - Princip för kinetisk friktion.

Friktionskoefficienten μ är en enhetslös och den är inte konstant för ett material utan är en karakteristisk enhet för egenskaperna som de två materialen/kropparna under vissa förhållanden har tillsammans.

3.2 Väglag

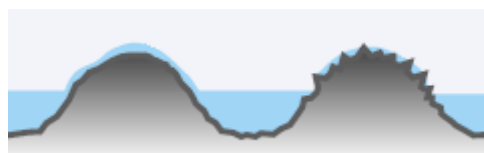
Vid utveckling av däck strävar tillverkarna efter att rullmotståndet dvs. friktionen mellan däck och väglag vid rotation skall vara så liten som möjligt. Detta leder till att bränsleförbrukningen blir låg och däckljudet i kupén blir lägre. Samtidigt eftersträvar tillverkarna att friktionen vid handling (acceleration, retardation och styrning) skall vara så stor som möjligt då det är dessa faktorer som utgör trafiksäkerheten. Detta är en balansgång som däcktillverkaren måste anpassa sig och sina produkter till.

Väglagets yta kan karakteriseras med mikro- och makrosläthet samt mikro- och makroråhet, figur 4 beskriver skillnaderna mellan dessa, Denna karakterisering kan göras på väglag av både vinter och sommartyper.



figur 4 - Beskrivning av vägytans karaktär, Michelin 2001.

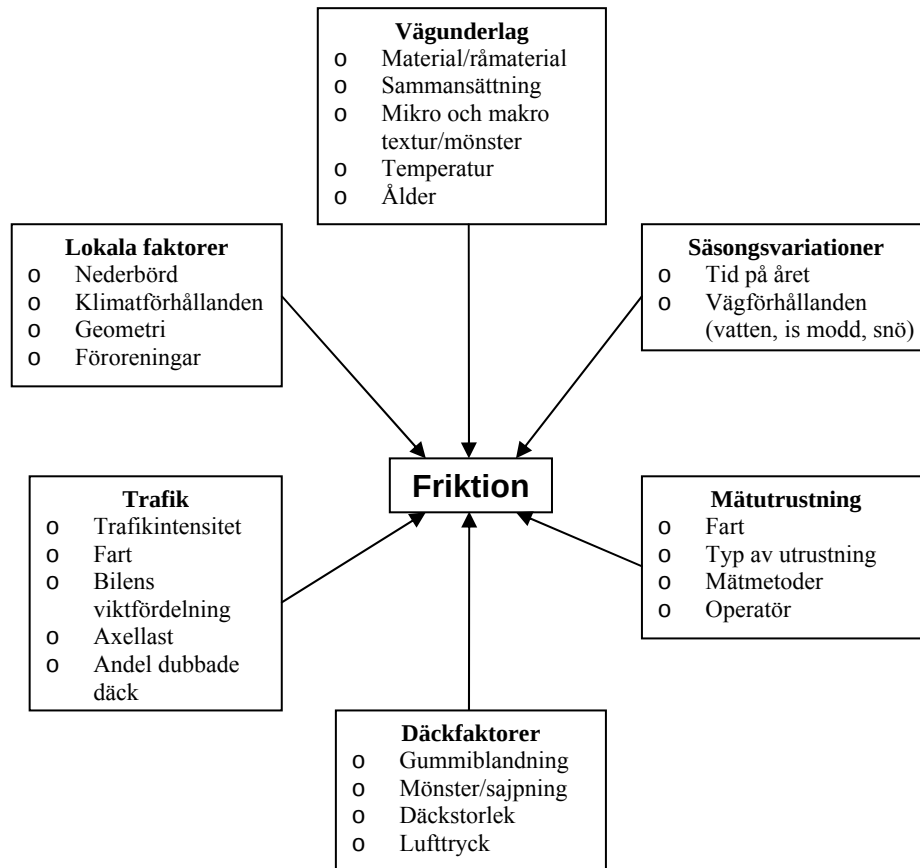
Makroråheten dränerar och förvarar vatten men kan inte bryta igenom den återstående vattenfilmen. Denna vattenfilm är då en risk för vattenplaning vilket motverkas om mikroråhet existerar då denna råhet bryter igenom vattenfilmen och skapar punkter med mycket högt kontaktryck mellan däck och vägyta. Båda ovan nämnda kan ses i figur 5.



figur 5 - Makro- och mikroråhetens egenskaper, Michelin 2001.

3.3 Friktion vid bilkörning

Faktorer som påverkar friktionen mellan ett däck och väglaget är många och det är bara ett fåtal som föraren av fordonet kan påverka. I figur 6 illustreras detta med hjälp av material från Coralba.



figur 6 - Faktorer som påverkar friktionen (Coralba)

De väglag som råder i ett land som Sverige är många och olika under ett år. Friktionskoefficienten för kontakten mellan däck och väglag varierar mycket och utgör en stor fara i trafiken vid oaktsamhet, se tabell 1.

Väglag	Friktionskoefficient
Våt is	0.05 - 0.15
Torr is	0.15 - 0.3
Fastsand (vatten befuktad) på is	0.3 - 0.5
Torr sand på is	0.25 - 0.3
Våt bar asfalt	0.4 - 0.9
Torr bar asfalt	0.9 - 1.0

tabell 1 - Ungefärliga friktionskoefficienter för olika väglag.

4 Egenskaper hos däck

Kapitlet kommer att ge en inblick i bildäckets uppbyggnad, egenskaper och utveckling. Det kommer även beskrivas varför vissa däck är mer lämpade för olika applikationer än andra. Huvudsakligen har informationen hämtats från Haney, P – The racing and high-performance Tire och Michelin – The tyre grip, även sidor på internet har bistått med information.

4.1 Gummi – Däckets byggsten

Gummi är känt i sin naturliga form sedan 2500 år tillbaka, då infödingar i Central- och Sydamerika upptäckte dess vattenavvisande egenskaper. På 1600-talet kom de Spanska upptäcktsresande i kontakt med materialet och först i början på 1700-talet kom det till Europa. Under den tidigare halvan av 1800-talet upptäcktes vulkaniseringsprocessen som gjorde gummi mer användbart då det i sin naturliga form hade en tendens att bli en klabbig massa sommartid och stenhårt vintertid. I och med vulkaniseringen behöll gummit sina elastiska och viskösa egenskaper över alla temperaturer. I början av 1900-talet utvecklades syntetiskt gummi som följde av att naturgummit inte kunde uppfylla industrins mängdbehov.

Gummi är uppbyggt av långa polymerkedjor bestående av upprepade kemiska enheter, så kallade monomerer. Naturgummi, mer känt som latex, är en blandning av polymerer. Den dominerande är isopren och latex är till störst del en polyisopren polymer. Innan vulkanisering är gummit mjukt, lättformligt och ändrar lätt karaktär efter temperaturen. Detta innebär att polymererna rör sig fritt mot varandra. När man vulkaniserar gummit tillsätts bl.a. svavel och sedan värme. Starka bindningar skapas då mellan polymerkedjorna och från att ha varit ett rinnigt, klabbigt material blir det värmeresistent, fast och får ökad töjbarhet.

Generellt kan sägas att gummi är ett viskoelastiskt material med egenskaper som ligger någonstans mittemellan en viskös vätska och en elastisk solid. En grov förklaring är att gummi har egenskaper som ett komplett fjäderben till en bil, det har elasticiteten som en fjäder och den viskösa dämpande effekten som en stötdämpare. Beroende på hur gummit framställs och vulkaniseras kan önskad fördelning av dessa egenskaper uppnås.

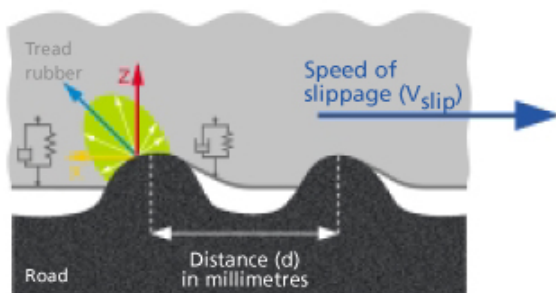
4.2 Däckfriktion

Friktion i däck uppkommer på tre huvudsakliga sätt, adhesion, deformation och slitage. Alla påverkar de friktionstalet i kontaktytan på sitt speciella sätt och tillsammans utgör de däckets friktionsegenskaper, de två först nämnda typerna ses på nästa sida i figur 7.

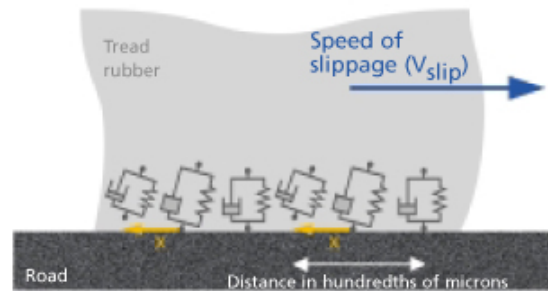
Adhesion är en egenskap hos gummi som får den att fästa vid andra material. Generellt sett är det ett resultat av tillfälliga molekylära bindningar i kontaktytan mellan de två ytorna. Om bindningsstyrkan är densamma över alla kontaktpunkterna så är kraften som motstår glidning proportionell mot den totala kontaktytan. Skulle båda ytorna vara perfekt släta skulle kontaktytan vara den med ögat observerade men så är inte fallet med verkliga material. På en molekylär nivå är ytan väldigt grov vilket gör att kontaktytan kan bli mycket större beroende på egenskaper hos materialet och vilka krafter som inverkar vid kontakten. Ju större kontaktarea som uppstår desto starkare blir adhesionen.

När gummi kommer i kontakt med en slät yta, som t.ex. glas, är det i stort sett bara genom adhesion som friktionskrafter uppkommer. Är ytan ojämnhet börjar även deformationsmekanismen hos gummi att generera friktionskrafter. Om en bit gummi förs över en ojämnhet, resulterar det i deformationstoppar på gummiytan, skapade av de mycket små ojämnheterna på kontaktytan. Om kontaktytan var blöt i detta fall, skulle ingen direktkontakt med gummit ske och därmed ingen påverkan av adhesionskraften. Friktionskrafter genom deformation är de som ger mest friktion mellan ett däck och en våt vägbana.

ROAD ROUGHNESS EFFECTS (INDENTATION)



MOLECULAR ADHESION



figur 7 - Friktionstyperna deformation och adhesion - Michelin 2001.

Utöver adhesion och deformation producerar gummi även friktionskraft genom slitage. När deformationskrafter samt glidhastigheter stiger, ökar ibland det lokala trycket till en nivå över gummits sträckgräns vilket leder till permanent deformation. När detta sker absorberas energi och extra friktionskraft tillkommer. Utsätts gummit för sådan belastning under längre tid kan material börja separera från ytan, dvs. gummit slits loss. Kan kännas igen som svarta streck på asfalten som kan uppkomma vid kraftig inbromsning eller acceleration med t.ex. bil.

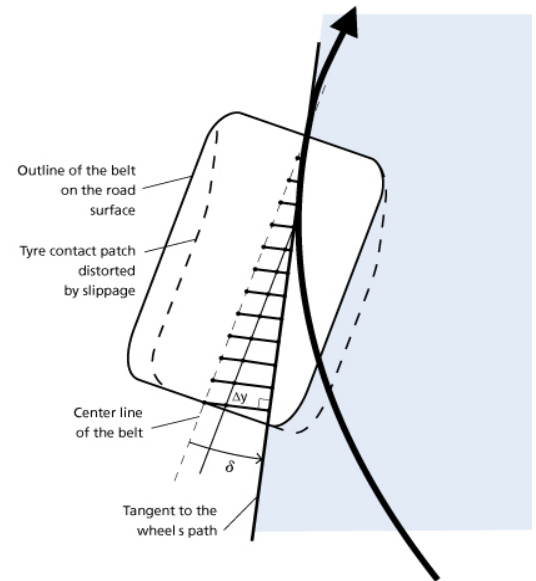
4.3 Däckdesign och gummiblandningar

Vid framtagning av nya däck finns det många inverkanse parametrar gällande utformning och gummiblandningar. Parametrar som adhesionsförmåga, slitagebeständighet och temperaturberoende inverkar på varandra och för att uppnå önskade egenskaper måste ibland kompromisser göras. Ett däck med bra fäste (racingdäck) har inte lika lång livslängd som ett vanligt personbilsdäck, som i sin tur har sämre fäste. Densamma gäller för däckmönstret och hur det är utformat, olika gummiblandningar ger olika ljuddämpande egenskaper tillsammans med utseendet på mönstret. Ett däck är inte bara en massa olika gummiblandningar och tillsatssämnen, som t.ex. det viktiga ”carbon black” (sot) och svavel. För att däcket skall klara av de olika påfrestningar det utsätts för är olika lager förstärkande ståltråd och textiler sammanflätat inuti gummit.

4.4 Beteende hos däck

Under användande av däck skiftar beteendet med karaktären på körningen, acceleration, bromsning eller kurvtagning ger alla upphov till olika krafter. Vid acceleration och bromsning är krafterna på däcksidan så pass stora att kontaktytan mot underlaget förändras, i dessa fall flyttas ytan bakom respektive framför ett tänkt centrum på däckets. Vid kurvtagning gäller densamma men beroende på hjulets vinkling får kontaktytan olika böjd form, se figur 8.

Alla dessa ovan nämnda situationer ger upphov till viss glidning i kontaktytan, hur mycket beror på underlag och däckets vidhäftningsförmåga. När inverkan av krafter blir för stora och friktionen mellan däck och underlag för låg resulterar det i att däckets tappas greppet och börjar sladda eller slira.



figur 8 - Däck vid kurvtagning, Michelin 2001.

4.5 Däcktester och utveckling

Den första halvan av 1900-talet gick utvecklingen av däck sakta framåt då det egentligen inte fanns någon direkt anledning till konkurrens mellan däcktillverkarna. När intresset för bilracing ökade framåt 70-talet insåg de dock möjligheterna inom denna nisch. Men för att få de bästa teamen att köra med just sina däck var de tvungna att utveckla de bästa däcken, detta ledde i sin tur till att utvecklingen gick framåt i rasande fart.

I dagsläget har däcksutvecklingen nått utanför racingvärlden och tester görs numera även för personbils- och lastbilsdäck på en hög nivå. Alla större däcktillverkare har egna testområden och även olika testtriggar för testning av däck inomhus i laboratoriemiljö.

För simulering av torrt väglag och i viss mån även vått väglag går det bra med tester i konstgjord miljö, svårare blir det när man vill testa däckbeteende i vinterväglag. De tester som utförs i dag sker på testanläggningar belägna i områden med lämpligt klimat. Men trots att klimatet är det rätta har man bara kunnat utföra fälttester med fullt utrustade bilar som inte gett lika mycket mätdata och information som tester i laboratoriemiljö.

5 Vinterväglag

Detta kapitel beskriver kortfattat beteende och egenskaper hos snö och is samt dess definition och förekomst på vintervägar. De parametrar som måste undersökas vid en karakterisering av underlaget beskrivs. Det huvudsakliga materialet är hämtat från Persson, B.N.J – Physics of sliding friction, Petrenko, V.F – Physics of ice, Vägverket och VTI.

5.1 Definition av vinterväglag i praktiken

Den generella definitionen av vinterväglag är när det är snö, is eller frost på vägbanan. I praktiken är det Polisen som bedömer om det är vinterväglag eller inte i Sverige. Från den 1:a Oktober till 30:e April är det tillåtet att använda vinterdäck, den 1:a November sänks hastigheten på vägar som anses farliga vid vinterväglag och mellan den 1:a December till den 31:a Mars är det lag på att använda vinterdäck vid vinterväglag. Sommardäck får användas om det skulle vara torrt väglag i Januari, dock rekommenderar Vägverket att vinterdäck används hela vinterperioden då snö och halka kan komma snabbt och oväntat. Dessutom hårdnar sommardäck vid låga temperaturer och ger sämre vägegenskaper än vid dess egentliga användningstemperatur.

5.2 Snö- och iskristallers yta

Ytan hos ett solitt material, vad den än är i kontakt med, är en region där egenskaperna skiljer sig markant från ämnet utan yttre kontakt. Skillnaden är att det yttre atomlagret inte har samma bindningar som de innanför vilket resulterar i speciellt beteende. Forskning om ytegenskaper är något som expanderat de senaste åren och då speciellt inom isområdet.

Is är det enda ämne folk dagligen kommer i kontakt med som befinner sig runt sin smälttemperatur kring 0°C . Alldeles under denna temperatur är isen (snön) väldigt formbar och kan lätt kompakteras till en snöboll. Sjunker temperaturen ytterligare fås en kall, torr is som är en pulverliknande substans som inte alls är lätt att packa. Förklaringen till detta är att i närheten av smälttemperaturen har de fria ytorna ett slags vätskeliknande lager som vid kontakt med varandra bildar ”solid” is. Detta är något som bevisats gälla även för andra material när ämnet befinner sig just under sin smältpunkt.

5.3 Snö och is på våra vägar

Isen, eller snökristallerna, som påträffas på vintervägar är i mycket skiftande karaktär, mycket beroende på vart i Sverige påträffandet sker. Under vinterhalvåret har södra delen av landet problem med temperaturväxlingar runt 0°C vilket är den besvärligaste temperaturen. Blixthalka genom underkyllt regn är mycket vanligt och försök att motarbeta detta sker genom saltning vägarna. I de nordligare delarna påträffas inte samma problem då temperaturen oftast ligger konstant under den besvärliga smältpunkten och saltning är inte lika nödvändigt.

Ett besvärligt vinterväglag är när det kommer nederbörd i form av snö vid strax under 0°C i kombination med saltad vägbanan. Snömodd bildas och utanför befintliga hjulspår kan det vara mycket svårt att hantera bilen. I norrland är istället snörök ett vanligt problem, torr snö som yr pga. fartvindar kan minska sikten markant. Utöver dessa är det blixthalkan som orsakar flest olyckor under vinterhalvåret, ofta i form av singelolyckor.

5.4 Karakterisering av vinterväglag

Vid karakterisering av vinterväglag finns det många olika parametrar som måste beaktas. Dessa påverkar alla mer eller mindre testets utfall och måste således studeras för att full kännedom av vad som sker vid däck/väglags kontakt. Nedan kan läsas vilka olika parametrar som bör undersökas vid en omfattande karakterisering av underlaget.

Snötemperatur kan mätas med samma utrustning som används för mer avancerad vallning av längdskidor där en mätprob sticks ner i snön. Dessa är mycket exakta men även en vanlig termometer fungerar för ändamålet.

Istemperatur kan mätas med en typ av scanner som använder sig av infrarött ljus. Av våglängden som reflekterats i isen kan temperaturen hos ytan man.

Lufttemperatur – Även detta kan mätas med instrument som används vid längdskidåkning. Det finns instrument kallade Thermohygrometer som kan mäta både lufttemperatur och relativ luftfuktighet vilket också är en parameter värd att undersöka. För att vara exakt behövs mätning av luftens ångtryck och konvektion i kontakten mellan luft och isyta. Den relativa luftfuktigheten är alltid ca 100 % vid ytan.

Snö- och ishårdhet är en annan parameter som bör beaktas. När hårdheten mäts på relativt mjuka material kan ett skraptest utföras. Ett sådant skraptest skulle kunna bestå av ett hårt metallstift som skrapar i en flack vinkel mot ytan. Kraften kan då mätas i två vinkelräta riktningar.

Det skulle också fungera att låna mätmetoder från hårdhetsmätningar av metaller där Vickers och Brinell är vanliga metoder där en spets av väldefinierad form trycks med en exakt kraft in i materialet. Avtryckets mått mäts sedan och behandlas med en formel som ger ett svar på hårdheten, portabla och exakta utrustningar som utföra dessa test finns på marknaden.

Storlek och form på snö/iskrystaller kan undersökas med den utrustning som idag används av skidpatruller som arbetar med att säkra skidområden ur lavinsynpunkt. Med lupp och ett kort med olika stora rutnät som kristallen läggs på kan storleken undersökas. Kristallens form utreds på liknande sätt genom användning av lupp och jämförelse med fotograferade kristaller i ett register.

Solinstrålning bör mätas då detta kan påverka isen/snön. Detta kan mätas med en pyranometer. Strålningsbalansen, dvs. skillnaden mellan in- och utstrålning är en intressant parameter att undersöka.

Elektrisk ledningsförmåga och joninnehåll hos is/snö underlaget. Detta utförs genom att prov av underlaget samlas in och smälts för att sedan undersökas. Vid analys av smältan kan även undersökning av partiklar t.ex. sand göras.

Topografi – Att studera ytans topografi kan vara mycket intressant. Det krävs avancerad utrustning t.ex. en 3d-scanner, optisk topometer eller liknande som klarar av att arbeta i utomhusmiljö.

6 Friktionsmätare idag – benchmarking

Ett antal företag/produkter besöktes och undersöktes på Internet. Syftet var att ta reda på vilken verksamhet de driver och vilken typ av produkter så som mätare, sensorer och tekniker de använder sig av eller utvecklar.

6.1 Studiebesök

Fyra företag besöktes under en studiebeöksresa. Resan gav en bra inblick hur det idag arbetas inom området. Två av de besökta företagen är verksamma inom flygindustrin och de andra två inom vägtransportsektorn.

6.1.1 ASFT – Airport Surface Friction Tester AB

På en skånegård utanför Ystad ligger företaget ASFT. Leif Graflind, VD på företaget, visade runt under studiebesöket. ASFT är en förkortning av Airport Surface Friction Tester och är fortsättningen på den friktionsmätningsbil som SAAB utvecklade från slutet av 1960-talet och framåt under namnet SFT, Saab Friction Tester. SFT, vars grund var en SAAB 99 som utrustades ett femte hjul (figur 9), ett hjul för att mäta friktionen mot start och landningsbanor på flygplatser. Idag finns utrustningen tillgänglig i flertalet moderna bilar. Via kedjor, drev och egenutvecklad bakaxel är mät hjulet sammankopplat med bakhjulen.



figur 9 - ASFT's mät hjul.

Tekniken som används är s.k. *Fixed Slip* och utväxlingen är sådan att mät hjulet snurrar något långsammare i förhållande till bakhjulen, med ett konstant slip på 13 %. Spänningen som uppstår i kedjan är proportionell mot friktionstalet μ . Spänningen i kedjan omvandlas till analoga signaler och ett friktionstal erhålls. Bilarnas fjädring i bakvagnen modifieras då bilarna utrustas vattentankar för att bevattna väglaget. Anledningen till att vatten används vid mätning av landningsbanors friktion är att när en jumbojet landar avlägsnas ca 4 kg gummi från de 16 däck. Detta gummi sätter sig i landningsbanan och "worst case" ur friktionssynpunkt uppstår då vatten hamnar ovanpå den gummiimpregnerade ytan.

När mätningen är slutförd kan mät hjulet hissas upp via hydraulik och bilen kan användas som en vanlig transportbil. Med hjälp av hydrauliken appliceras en last på 140 kg på mät hjulet under mätningarna. Samma system finns även att tillgå inmonterat i en släpvagn. Leif tipsade om Zoltan Rado på Penn State University. Zoltan är den som kan mest inom friktionsområdet när det gäller väglagsmätningar och universitetet han jobbar vid är teoretiskt längst komna.

6.1.2 SARSYS

Scandinavian Airport and Road Systems AB i Trelleborg utvecklar en liknande utrustning som ASFT, dock finns det en del skillnader. Patric Ling som är teknisk chef visade runt och deltog i intressanta diskussioner. SARSYS använder sig av *Fixed Slip* metoden och för att få drivning på mätthjulet har bakre högra hjulupphängningen omkonstruerats. En ledad axel som kopplas från navet i höger bakhjul till mätsystemet har utvecklats och driver mätthjulet.

Patric ställde intressanta frågor som bör beaktas, bl.a. om det avses att utrustningen skall mäta friktion i ett hjulspår och i så fall vilket? Man strävar efter att ha viss lutning på vägbanan (ca 3°) för avrinning av regnvatten. I Norge görs mätningar i det vänstra hjulspåret. Vatten/smältvatten har tendens att hamna i det högra hjulspåret p.g.a. lutningen och att slitage gör hjulspåren som ”rännor”. En annan fundering från Patric är om inte ”worst case” uppstår vid sidan av hjulspåren då dessa tenderar att bli snöfria vid viss mängd trafik.

6.1.3 VTI

Statens väg- och transportforskningsinstitut, VTI, i Linköping besöktes för att se hur de arbetar och vilken utrustning de har utvecklat. Bengt Wäliwaara visade runt och instruerade hur deras utrustning till viss del fungerade. En del av utrustningen var konfidentiell för projektet då examensarbetet uppfattades som konkurrerande till den verksamhet som VTI bedriver.

Bengt ställde tankvärda frågor och gav information och tips gällande saker som i framtiden kan vara mycket värdefulla för forskningsprojektet vid Ltu, t.ex. vilket krav på toleranser som är satta på testtriggen och vikten av att utveckla ett stabilt och bra kalibreringsförfarande. Under studiebesöket visades friktionsmätvagnen BV-11 upp som är en släpvagn utvecklad av VTI med två standardhjul samt ett tredje mätthjul. Vagnen väger ca 350kg och den last som appliceras på mätthjulet är ca 100kg, tekniken är av äldre modell men tillförlitlig.

Friktionsmätarlastbilen BV-12 visades också upp, detta är en 12 tons lastbil med ett mätthjul med fixed slip som är monterat på bakändan av lastbilen. För projektet är detta mätfordon intressant då man kan vrida på mätthjulet så att sidokrafter uppstår vilket är satt som ett av önskemålen på projektets mätutrustning. Det visade sig dock att BV-12, trots sin vikt, utsätts för märkbar avdrift då mätthjulet snedställs. Enligt Bengt är det inte aktuellt att montera en sådan utrustning i en släpvagn. Denna bör istället monteras på ett stabilt och oledat ekipage med relativt hög vikt.

Bengt informerade även om en mycket användbar givare för hjulnavsmätning från det Schweiziska företaget Kistler. Givaren vid namn RoaDyn mäter moment och krafter treaxligt och kan vara mycket användbar.

6.1.4 Coralba

Robert Sundqvist på företaget Coralba kontaktades för att få hans syn på friktionstestning och lite tips och idéer. Coralba är ett företag som grundades i slutet av 70-talet och har sedan dess varit ledande på marknaden för trippmätare både inom rallysporten och som mätthjälpmedel för verksamheter inom infrastrukturen. Som tillägg har en funktion utvecklats som mäter friktionen med hjälp av bilens bromssystem. Coralbas friktionsmätare (figur 10) är idag den mätare som används av Vägverket i Sverige och dess motsvarighet i Norge och Finland. Systemet använder sig av retardationsmetoden där fordonet körs i ca 70km/h, motorn frikopplas och sedan tvärbromsas hela ekipaget. Med hjälp av bilens system och erhållna data som bromssträcka och hastighet före och efter inbromsningen kan ett värde på μ beräknas.



figur 10 - Friktionsmätare från Coralba

Under förvintern har Coralba bedrivit kalibrering av sina kunders instrument på olika platser i Sveriges inland. Examensarbetarna blev inbjudna för att delta vid ett sådant tillfälle med syfte att bekanta sig med retardationsmetoden som hittills bara hade studerats via Internet och att få insikt i hur kalibrering kan utföras av friktionsmätutrustning. Platsen som besöktes var Bjurholm ca 6 mil väster om Umeå. Fordonen utrustade med Coralba friktionsmätare som skulle kalibreras kom främst från Vägverkets regioner Umeå norra, Umeå södra och Vännäs. Även Skanska m.fl. hade fordon på plats. Som referens användes en friktionsmätvagn av typ BV-11 från VTI, kalibreringsprotokollet finns som bilaga. Se Bilaga II.

Väglagets friktion mäts först med friktionsmätvagnen och används sedan som referensvärde. För fordonen utrustade med Coralba noteras tjänstevikt, typ av däck (fabrikat, storlek, dubb eller friktionsdäck), däckstryck och mönsterdjup. Det är viktigt att dessa parametrar hålls så konstanta som möjligt under hela säsongen för att värdena skall hålla högsta möjliga korrekthet.

Första momentet i kalibreringsprocessen är att utföra en distansmätning på en uppmätt sträcka som är 1000m. Om Coralban inte visar 1000m så måste distansfunktionen kalibreras då distansmätning är en ingående och viktig faktor vid friktionsmätningen när bromssträckan mäts. För att utföra kalibreringen av friktionsmätningen utförs sedan en serie om sex friktionsmätningar på den av BV-11:an i förväg uppmätta friktionsmätsträckan. Ett medelvärde av de sex mätningarna räknas sedan ut.

För att kontrollera friktionsmätsträckan igen utförs ytterligare mätningar av BV-11:an. Referensvärdet som BV-11:an levererar divideras med det medelvärde som respektive provfordon mätt upp. Det värde som erhålls är kalibreringsvärdet som sedan läggs in i friktionsmätaren som en korrektionsfaktor till friktionsberäkningsformeln. För att kontrollera att kalibreringen är korrekt utförd skall fyra kontrollmätningar utföras, dessa skall ge värden näraliggande de som uppmätts med BV-11:an.

6.2 Undersökning på Internet

Utöver studiebesök hos tidigare nämnda företag gjordes ett flertal sökningar på Internet med några intressanta träffar som resultat. För vidare information om dessa hänvisas till ett antal webbadresser i referenslistan.

6.2.1 Douglas Equipment – Mu-meter

Douglas Equipment grundades 1947 och bedriver sin verksamhet i Cheltenham, England. Företaget har blivit en världsledande leverantör av bogsertraktorer för flygplan. Man har även utvecklat en friktionsmätvagn för start och landningsbanor, se figur 11. Denna utrustning heter Mu-meter och är en friktionsmätare av trailertyp med en vikt på 256 kg.

Mu-meter är speciell så till vida att den mäter sidofriktionen på däcken genom att de två mät hjulen sätts i 7.5° toe out position. Med hjälp av ett tredje hjul som mäter avverkad distans och en lastcell som mäter den kraft som vill dra isär mät hjulen på grund av toe out vinkeln kan ett värde på väglagets friktion levereras. Vagnen ansluts till en laptop som behandlar signalerna från sensorerna och genererar den data som efterfrågas. Tester utförs normalt i hastigheten 40 miles/h (~64km/h).



figur 11 - Mu-meter

6.2.2 Findlay Irvine – Griptester

Det skotska företaget Findlay Irvines Griptester utvecklades under 1980 talet i samarbete med Cranfield University i England. Sedan 1987 har Griptester levererats till flygplatser och vägväsen runt om i världen. Griptester (figur 12) är en liten, kompakt vagn som främst dras efter ett fordon men den finns även som en portabel version framdriven av handkraft. Griptester väger 85 kg och kan användas i hastigheter från 5km/h till 130 km/h.

Metoden som används för att mäta friktionen kallas Braked wheel även kallad *Fixed slip* och fungerar så att vagnens tredje hjul är länkat till de båda andra hjulen. Länkaget genererar en bromsverkan så att 15 % slip uppstår. Sedan mäts momentet på det tredje hjulets axel. Vagnen är PC kompatibel och med en laptop kan all data samlas in i det fordon som utför testet.

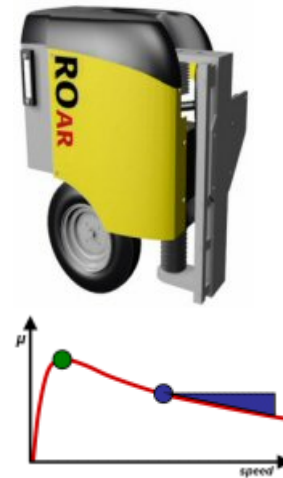


figur 12 - Griptester

6.2.3 Norsemeter – Roar och Runar

Norsemeter är ett norskt företag som har utvecklat olika typer av däckfriktionsmätare exempelvis Roar och Runar, se figur 13. Dessa mätutrustningar är av påhängstyp till antingen en bil, lastbil eller släpvagn. Tekniken som används är s.k. variable slip technique dvs. att bromskraften på mät hjulet kan varieras från fritt rullande till nästan låst och då uppstår en mer eller mindre glidning mot väglaget. Detta sker inom loppet av mindre än en sekund, sensorer och en dator genererar en kurva (μ -slip speed kurva) där maximal friktionskoefficient μ , kan utläsas.

Norsemeter har även utvecklat en egen mjukvara, Norsemeter STUDIO - Pavement Surface Expert, som levererar den fakta över väglagets ytkarakteristik som användaren efterfrågar som friktion, mikro och makro ytstruktur.



figur 13 - Roar & μ -slip speed kurva

7 Mätmetoder däckfriktion

För att mäta däckfriktion mot väglag har ett flertal olika mätmetoder utvecklats. Dessa metoder använder sig av olika principer för att utföra mätningen. Nedan följer en presentation av de vanligast förekommande. Informationen är funnen på Internetsidor och adresser återfinns bland webbreferenser.

7.1 Fixed Slip

Utrustningen för mätning med metoden *Fixed Slip* består av ett bromsat mätjul som mäter glidmotståndet för den valda testytan, ofta används en bil eller släpvagn för denna typ av friktionsmätning men ibland också lastbilar. Om testytan är ren och torr bör den sprutas med en viss mängd vatten precis framför mätjulet. Systemet registrerar bromsfriktionen längs hela teststräckan och kan leverera mätvärden för valda segment av sträckan.

Metoden stämmer inte alltid överens med andra mätmetoder men syftet med *Fixed Slip* är att kunna jämföra ett underlag mot ett annat eller undersöka hur friktionen för ett underlag förändras under en viss tid. Värdena som erhålls är otillräckliga för att kunna beräkna hur lång stoppsträcka ett fordon behöver vid en viss hastighet och kan heller inte ge svar på vid vilken hastighet som kontrollen över fordonet går förlorad p.g.a. att topp och sidokraftsfriktion måste beaktas.

7.2 Variabelt Slip

Testmetoden mäter longitudinell friktion med en utrustning som anlägger en bromskraft så att glidning uppstår mellan däck och vägytan. Glidningen kan kontrolleras från fritt rullande till låst hjul. Metoden går ut på att flertalet mätningar görs med en växande pålagd bromskraft på mätjulet samtidigt som mätutrustningen dras över teststräckan. Mätjulets rotationshastighet kontrolleras för att ge en i förväg bestämd variabel glidrationgradient. En konstant last är applicerad på mätjulets axel och den longitudinella hastigheten hålls oförändrad.

De uppmätta värdena motsvarar friktionen uppmätt med enbart denna metod och överensstämmer inte alltid korrekt med andra metoder. Värdena är ämnade att jämföra bromsfriktionskraften mellan olika underlag och att undersöka förändring av bromsfriktion för en viss typ av underlag över tiden och efter slitage. Att utvärdera ett specifikt dücks bromsfriktion är också ett av metodens områden. Liksom för *Fixed Slip* gäller att erhållna värden är otillräckliga för exakta beräkningar av stoppsträckor mm.

7.3 Retardationsmetoden

Denna metod ger bäst resultat med ABS-bromsar men fungerar även utan. Hela fordonet används som mätvagn. En typisk testprocedur går till enligt följande. Fordonet körs i ca 70km/h, motorn frikopplas och sedan tvärbromsas fordonet i minst 2 sekunder. Med hjälp av bilens system och erhållna data från mätutrustningen som t.ex. bromssträcka och retardation kan man sedan få ett värde på μ . Denna metod är mer avancerad så till vida att den använder sig av bilens system och inte någon extra mekanik. System som använder sig av denna metod är inkopplingsbara i alla bilar. Korrigeringsvärden för vindmotstånd och effekten av uppför och nedförsbackar kan programmeras in i mätutrustningen. Möjligheterna är stora med detta system, föraren kan få varningar på en display och med ljudsignal om att halka råder.

7.4 Portable Skid Resistance Tester – Pendulum Tester

Utrustningen består av en portabel ställning med en pendel, se figur 14. Med pendeln kan punktmätningar utföras och den passar inte för mätning av långa vägsträckor. Den kan mäta två olika värden, PSV och SRV.

PSV, Polished Stone Value, ger ett värde på hur stort motstånd vägstenar, som väglag till stor del består av, har mot den polerande effekt som uppstår av däckens. Graden av polerade vägstenar har en stor påverkan på när däckens börjar glida. SRV, Skid Resistance Value, är värdet på hur stort motstånd som vägytan har mot att glidning uppstår.

Instrumentet är en enkel och hållbar konstruktion med en okomplicerad testprocedur. Med en knapptryckning släpps pendeln från sin horisontella position. När den når botten på sin bågformade bana kommer pendeln i kontakt med vägytan. Höjden som pendeln når på den motsatta sidan från startläget kan sedan omvandlas till vägytans glidmotstånd. Ju högre motstånd som vägytan genererar desto lägre kommer pendeln att nå. En visare följer med pendeln upp och stannar på dess högsta läge och kan sedan läsas av mot en skala.

De problem som kan uppstå vid användning av Portable Skid Resistance Tester är stor spridning på resultaten då testutrustningen är känslig för felaktig uppställning. Om inte utrustningen kan riggas så att gummiklacken i det närmaste får exakt samma grad av kontakt mot vägytan vid alla tester kommer repeterbarheten och jämförbarheten att kraftigt reduceras, även en ojämn vägyta bidrar till samma effekt.



figur 14 - Pendulum tester

8 Kravspecifikation 1 – testutrustning

Detta kapitel tar upp de krav som var uppsatta som riktlinjer för det begynnande arbetet. De flesta av kraven var satta men ett antal har tillkommit som framtida spekulationer. Kapitlet avslutas med en utvärdering av denna första kravspecifikation.

8.1 Krav och framtidsspekulationer

När forskningsprojektet *Däckfriktion i vinterväglag* startades och detta delarbete bestämdes var kunskapen inom området liten. Mycket kunnande inom friktionsområdet fanns på universitetet men inga praktiska erfarenheter när det gällde friktionsmätning av bildäck i vinterväglag. Olika tänkbara intressen och krav på en tänkt testutrustning sattes upp för att få en ungefärlig bild av vad som skulle kunna bli en målsättning. Innehållet i specifikationen skulle undersökas och utvärderas för att få en bättre bild på dagens marknad och en mer passande kravspecifikation skapas med mer kunskap inom området bakom besluten.

Nedan beskrivs kraven i fyra olika kategorier, de två första innehållande krav som gavs från början med enstaka tillägg, medan de två senare är allmänna tillägg som tillkommit då de tycktes kunna vara intressanta i framtiden.

8.1.1 Ställda krav på testutrustningen

Huvudsyftet med testutrustningen som utvecklas är att den med en bra noggrannhet bör kunna mäta friktionstalet mellan däck och vinterväglag. Utrustningen skall vara konstruerad på ett sådant sätt att den med lätthet kan manövreras av en person och att testet som utförs skall vara snabbt för att på kort tid kunna testa en mängd däck med olika mönster samt gummilegering. Detta kräver att byte av komplett hjul mellan testerna är enkelt och inte fysiskt påfrestande på ett oergonomiskt sätt. Testutrustningen bör vara av sådan karaktär att den framförs av annat fordon för att underlätta användandet samt användningsområdet.

Mätvärden som testutrustningen skall mäta är accelerations- samt retardationsfriktion, vilken mätmetod som skall tillämpas för varje moment är en del av arbetsuppgiften som skall utföras. De mätdata som samlas in under en mätning skall på snabbt och informativt sätt kunna utläsas på en dator. Proceduren för en mätning skall vara enkel och inte alltför komplicerad då det finns visioner om framtida marknad bland olika testföretag som ser en enkel testutrustning som stor fördel.

För att uppnå målet med att kunna ställa upp ett samband mellan däckets egenskaper och vinterväglaget krävs också att utrustningen kan karakterisera underlaget som testet utförs på. En sådan karakterisering kan innehålla parametrar som lufttemperatur, snö temperatur, luftfuktighet, hårdhet på underlag, ytstruktur, mm.

8.1.2 Önskvärda krav på testutrustningen

Projektet skall även sträva efter att kunna mäta transversell friktion och vridmoment som uppstår vid situationer som svängning i olika hastighet samt stillastående. En lösning på detta krav skulle göra installation av höghastighetskamera extra intressant för att kunna studera hur däck deformeras under de olika testmomenten.

8.1.3 Allmänna krav på testutrustningen

Testutrustningen har en del självklara krav som inte får förbises, däribland att den kommer nyttjas i ett krävande vinterklimat med allt vad det innebär. Snö som yr, slask som skvätter, saltat och sandat underlag, temperaturer som varierar från strax över 0°C till extremare temperaturer nedåt -30°C. Mätinstrumenten som kommer att sitta monterade måste sitta i en skyddad miljö så att driftstopp inte sker pga. någon av ovan nämnda saker.

För att testutrustningen inte ska falla in i samma fack som redan befintliga mätvagnar önskas en ergonomisk design som är tilltalande och som visar att det är något speciellt. Även viss hänsyn till aerodynamik är önskvärt då utrustningen kan komma att framföras i högre hastigheter än normalt för ett påkopplingsbart släp.

Ett krav på utrustningen var att man snabbt skulle kunna ”screena” en stor mängd däck. Att då kunna transportera alla däck som ska testas på samma vagn skulle underlätta en massa samt minska hanteringen av däck mellan eventuell följebil och testutrustning.

8.1.4 Tänkbara funktioner i framtiden

Syftet med testutrustningen som skall konstrueras i detta projekt är att den kommer vidareutvecklas, utrustas med olika mätutrustning samt andra möjliga funktioner. Att kunna testa olika däckdimensioner, både diametral samt bredd, kan vara intressant. Detta kräver extra tanke vid konstruktionen av det som kommer att bli testhjulets upphängning. Viss möjlighet att kunna variera bultdelning beroende på fälg som används är en bra sak att ha i åtanke, då det kan finnas flera olika intressenter av den färdiga produkten.

Tanken är att det på testutrustning skall finnas en vägkaraktiseringsenhet men att även utveckla möjligheten att själv kunna preparera underlaget vore en enorm möjlighet. Att t.ex. kunna hyvla, polera eller kanske vattna underlaget kontrollerat, skulle leda till mindre parametrar att ta hänsyn till.

8.2 Utvärdering av kravspecifikation 1

Efter knappt två månaders arbete presenterades de undersökningar som gjorts och de slutsatser som kunde dras diskuterades, för att på bästa sätt kunna ta beslut om det fortsatta arbetet. Det som konstaterades var att om de ursprungliga intressena och kraven skulle följas, skulle resultatet för detta arbete bli ett konstruktions- samt funktionslösningsförslag. Testutrustningen skulle bli väldigt avancerad och mer tid än vad som var tillgängligt skulle vara nödvändigt att läggas på den i framtiden.

Istället bestämdes att en ny inriktning skulle väljas och målet en okomplicerad testutrustning som på enkelt sätt skulle kunna mäta friktionstalet för en liten arbetsyta. En färdig testutrustning önskades också för att tester skulle kunna göras så fort som möjligt, och mer erfarenhet inom området uppnås.

9 Kravspecifikation 2, testutrustning

Detta kapitel behandlar den förändrade kravspecifikation som arbetats fram efter att den undersökande fasen genomgått och ursprungliga intresset ändrats samt en ny inriktning bestämts.

Nedan återfinns de krav som arbetades fram efter att mer kunskap inom däckfriktionsområdet samlats in under undersökningsarbetet. Anledningen till att en ny kravspecifikation togs fram var att den ursprungliga var lite för avancerad för ett nystartat forskningsprojekt. Intresset skulle istället rikta sig mot att få mer förståelse inom området för att senare utveckla vidare en till en början enklare modell. Den nya kravspecifikationen har fått med sig en hel del krav från den ursprungliga men blivit mer inriktade på enkelhet och okomplicerade lösningar. Kraven har tagits fram i samråd med framförallt Roland Larsson och Elisabet Kassfeldt.

9.1 Kravtabell

I följande presenterade tabell återfinns alla de krav som satts upp för testutrustningen, se tabell 2. De är indelade i fyra kategorier för att ge en bättre överblick över de berörda områdena. Kategorierna är funktions-, mättnings-, handhavande- samt konstruktionskrav och är inom varje kategori sorterade med högst prioritet överst och sedan i fallande ordning.

Följande personer utöver examensarbetarna, (TA, DJ), var delaktiga under framtagandet av kraven, Roland Larsson (RL) och Elisabet Kassfeldt (EK), även listade i kravtabellen. Kolumnen med kravställare kan ses som vem/vilka som kommit med kravförslaget, alla krav är sedermera godkända. Önskemål fanns om att få Michelins åsikt, men de kom med väldigt sent i arbetet. Deras önskemål var mer riktade åt arbetets första inriktning och hade därför inte så stor inverkan då det var bestämt att en enklare testtrigg var av störst intresse vid framarbete av den slutgiltiga kravspecifikationen.

Nummer	Beskrivning	Kravställare
1	Funktionskrav	
1.1	Klara av ett typiskt vinterklimat - kyla, snö, salt	RL,EK
1.2	Testet skall ske med stillastående rigg.	RL
1.3	Utförda tester skall tydligt gå att jämföras med varandra (robust och stabil)	TA,DJ
1.4	Enkel och okomplicerad lösning, få inverkande delar som påverkar mätningen.	RL
1.5	Testutrustningen skall kunna användas i labbmiljö.	RL
1.6	Mätning av transversell friktion som uppkommer vid stillastående vridning av hjul.	RL
1.7	Utvecklingsbar testutrustning (framtidsaspekt)	RL,EK

2	Mätningsskrav	
2.1	Karakterisering av underlaget skall kunna utföras enkelt, t.ex. mätarea, yt-, lufttemperatur, luftfuktighet.	RL,EK
2.2	På ett eller flera sätt mäta friktionen så verklighetstroget som möjligt.	RL
2.3	De utförda testen skall ha god repeterbarhet, ju färre inverkan faktorer desto bättre.	TA,DJ
2.4	Enkel dokumentation med höghastighetskameror.	EK
2.5	Utrustningen skall noggrant kunna mäta upp friktionstalet mellan däck och underlag	RL
2.6	De mätdata som samlas in under en mätning skall på snabbt och informativt sätt kunna utläsas på en dator.	EK
3	Handhavandekrav	
3.1	Testutrustningen skall vara lätt att flytta så att nya testunderlag enkelt kan erhållas, detta för att inte återanvända ”förbrukad” yta.	RL
3.2	Testet skall gå snabbt att utföra så att ett flertal däck kan testas på kort tid.	RL,EK
3.3	En person skall lätt kunna utföra testerna själv utan att oergonomiska situationer uppstår vid hjulbyten och iordningställning	RL,EK
3.4	Test skall gå att genomföra utan att förberedelserna är alltför invecklade, såsom uppställning och justering mot underlaget.	RL,EK
4	Konstruktionskrav	
4.1	Klara av olika däck- och fälgdimensioner	TA,DJ
4.2	Klara av underhållning/ rengöring utan att komponenter tar skada.	TA,DJ
4.3	Låg helhetskostnad	RL
4.4	Okomplicerad procedur för att ändra bultdelningen.	EK
4.5	Lätt att skapa tilltalade design på tänkt stomme.	RL

tabell 2 - Slutgiltig kravspecifikation

9.2 Kostnadskrav

Utöver den punkten i kravtabellen som berör helhetskostnaden skall även en kostnadskalkyl tas fram för det slutgiltiga konceptet. Framtagandet av testtriggen måste hålla rimliga gränser och ge en god kostnadseffektivitet framförallt gällande tillverkning av detaljer. Instrument, kameror och liknande kan användas på institutionen inom andra projekt, i kapitel 12 kan en kostnadskalkyl studeras.

9.3 Tillverkning

Tillverkningen av testutrustningen kommer i den mån det går, att tillverkas i universitetets lokaler. Mer komplicerade moment blir utlejt på företag med rätta kompetensen. Den slutgiltiga monteringen av alla detaljerna kan ske i Tribolab när dessa är tillverkade.

9.4 Viktningsmatris

Med bestämda krav kunde en viktningsmatris skapas där de fyra kategorierna infördes. Viktningsbetyg diskuterades fram och utöver fallande placering fick nu varje krav ett betyg mellan 0-5 för att indikera dess mer exakta prioritering. Viktningsmatrisen skapades för att på ett enkelt sätt kunna jämföra alla koncepten med varandra, mer om detta går att läsa i konceptviktningskapitlet.

10 Konceptgenerering

Kapitlet tar upp hur konceptgenereringen gått till med olika brainstormingsessioner samt resultatet av dessa som finns beskrivet och illustrerat.

10.1 Brainstorming

Under arbetets gång har ett antal brainstormingsessioner ordnats, till en början med syfte att få en mer bred och varierad syn på uppgiften och vartefter arbetet gått framåt har de blivit mer målinriktade. Sessionerna har skett både småskaligt och i större skala, de mindre inbördes och den största ordnades på Caran i Göteborg. Flera oberoende parter har involverats i dessa aktiviteter vilket har gett flera synvinklar på problemet och lett till en hel del eftertanke. Karaktären och syftet med två sessioner beskrivs i följande underkapitel, en i arbetets början och en efter att den nya kravspecifikationen bestämts.

10.1.1 Förstudiebrainstorming

När teoretiska undersökningar gjorts och ett antal företag inom friktionsbranschen besökts ordnades en brainstormingsession på Caran i Göteborg. Ett antal oberoende parter hade bjudits in och fått en kort briefing vad arbetet handlade om. Då målet med sessionen var att få nya idéer och en ny syn på problemet fick de deltagande inte ta del av exakt allt som undersökts, utan i det korta var det den första kravspecifikationen som presenterades innan sessionens början.

Inga gränser sattes gällande realiserandet av idéerna så resultatet blev mycket varierande från enkla och okomplicerade lösningar till raka motsatsen. Det som framförallt kom fram under sessionen var en mängd små problem och frågeställningar som skulle behöva lösas eller definieras bättre i kravspecifikationen. Några av dessa saker kan läsas i punktform nedan.

- Svängprov vid hastighet kan bli svårt då avdriften kan bli svårhanterad. Möjligheten att använda en typ av svängarm eller glidskenupphängning undersöks.
- Hur smidig skall utrustningen vara? Ska B-körkort vara lägsta kravet?
- Hur noggrann skall mätningen vara? Skall den vara jämförbar med BV11? Vilka är intressenterna? Vägverket har visat intresse av en ny testvagn.
- Skall testerna utföras på allmän väg måste den kanske besiktas.
- Förutsätts att en karakteriseringsutrustning utvecklas?
- Är riggen tänkt att vara en avancerad och utvecklingsbar så bör Michelin involveras då utrustning kostar pengar. Ett mycket lämpligt mätinstrument är en Kistlergivare, dock väldigt dyr. En höghastighetskamera kostar rätt mycket men intresset för den finns och tekniken erkänt bra.
- Hur skall variabel slip/spin uppnås utan kedjor/rem och växellåda? Olika alternativ är hydraulmotor, elektromagnet, skivbroms/ABS.
- Vart är det egentligen intressant att mäta? I hjulspår eller vid sidan om?
- Verkligt tryck på hjulet kan medföra problem, i alla fall när det gäller vridning av hjulet.
- Vägbanans lutning är ca 3° och gör att eventuellt regn-/smältvatten har en tendens att samlas i det högra hjulspåret.

10.1.2 Fortsatt brainstorming

Resultatet av de grundläggande förstudierna och brainstormingsessionerna presenterades och all information krävde en noggrann granskning då definitivt mål och inriktning skulle bestämmas. Då kunskapen inom området var relativt begränsad krävdes en lite längre förstudie för att se det först uppsatta kraven skulle vara rimliga.

När informationen från förstudierna granskats och diskuterats bestämdes att en mindre komplex inriktning skulle väljas, då det i ett första stadium skulle vara svårt att tillgodose alla behov och önskemål. Det primära intresset sattes till att snabbt utveckla en testutrustning som skulle kunna användas vid inlärningsfasen av detta för institutionen nya område. Den fortsatta konceptutvecklingen gjordes efter den nyutvecklade kravspecifikationen och en större mängd koncept togs fram under en dryg månads tid. Denna gång med ett snävare område och mer precist eftersom kraven var mer definierade och ett klarare mål uppsatt.

10.2 Förstudiekoncept

I följande underkapitel finns de intressantaste koncepten som tagits fram kort beskrivna. Alla koncept från förstudien finns att läsa mer om i Bilaga III, där även illustrationer finns till dem.

Förstudiekoncepten är de koncept som togs fram vid brainstormingsessioner i slutet av undersökningsfasen. Huvudsakliga syftet med dessa var att se alla möjligheter som fanns för att lösa problemet och om vissa kunde vara bättre än andra, de skulle även vara till stor hjälp vid val av definitiv inriktning och mål.

10.2.1 Förstudiens huvudkoncept

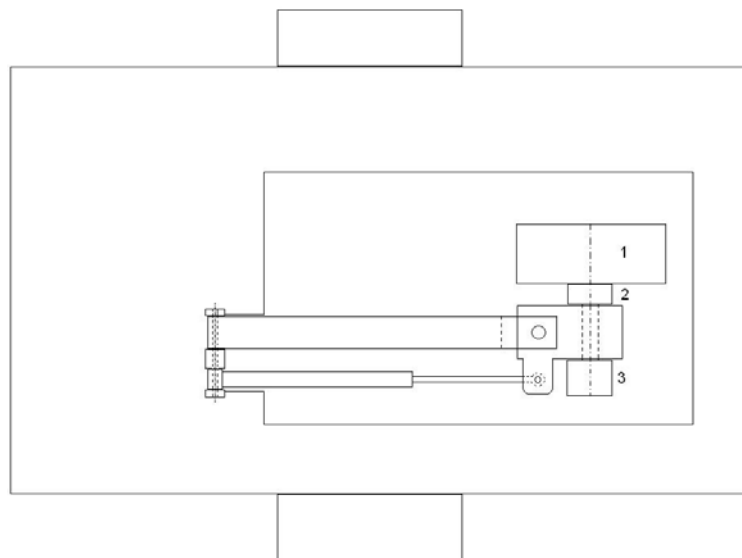
Detta koncept är det av förstudiekoncepten som mest tid, tanke och energi lades på. Konceptet är i sin helhet ganska tekniskt avancerat, dock baserat på redan kända metoder som undersökts och som visat sig vara bäst lämpade för problemet. Metoden som skulle tillämpas var fixed slip, en metod där ett extra hjul mäter friktionen mellan däck och underlag över en längre sträcka. Mätningen sker vid körning och det mätningen ger är en graf som visar den varierande friktionen över en viss sträcka, det som sedan bestäms är ett medelvärde av friktionskoefficienten.

Konceptet bygger på samma princip som idag används vid fixed slip mätning fast med en omfattande utveckling av tekniken. Mäthjulet som är monterat på en arm (nr 1 figur 15), likt bakhjulet på en motorcykel, belastas med en hydraulcylinder som gör kontaktrycket så verklighetstroget som möjligt. Utrustningen är inte som de idag existerande fixed slip lösningarna vars utväxling är konstant med en kedja eller rem. Istället skapas önskvärt slip med hjälp av datorkraft och reglertekniska program som bromsar hjulet med en vanlig hydraulisk broms eller en elektromagnet (nr 3 figur 15) till en programmerad hastighet som beror på hastigheten som fordonets hjul roterar med. På detta vis kan även mätningar med variabelt slip utföras. Se nästa sida för konceptskiss, figur 15.

Själva mätningen görs lämpligen med hjälp av en kraft- och momentsensor (nr 2 i figur 15). En sådan har studerats från företaget Kistler. Deras produkt RoaDyn är utvecklad för montering mellan ett fordons nav och hjul och mäter krafter och moment i och kring 3 axlar (x, y och z).

Konceptet är utvecklat så att hjulnavet kan vridas i små vinklar så att hjulet snedställs och de transversella krafter som uppstår på däckets kan mätas. Detta är ett riskfyllt moment och måste göras med stor försiktighet då ekipagets kursstabilitet kan påverkas kraftigt även vid små vinklar. Data skickas från mätutrustningen in till dragbilen via bluetooth eller annan trådlös dataöverföring, på så vis krävs ingen anslutning av andra kablar än släpvagnens kontakt med bilen och släpvagnen är helt oberoende av vilket fordon som drar.

Med hjälp av en enkel touchscreen är det tänkt att ett test skall kontrolleras. Det inleds med att en modul som utför väglagskaraktiseringen mäter luftfuktighet, temperatur, mm. Väglagets temperatur är tänkt att mätas med infrarött ljus (befintlig teknik). När den mätningen är utförd sker en rad friktionsmätningar i följd och det enda testutföraren skall behöva göra är att följa instruktionerna som visas på skärmen. Instruktionerna innebär förflyttning av fordonet mellan stillastående mätningar som start- samt vridfriktion och acceleration till de bestämda hastigheter som broms- och accelerationsfriktion valts att utföras vid. Efter utförd testcykel byts däck och ett nytt testas snabbt och effektivt.



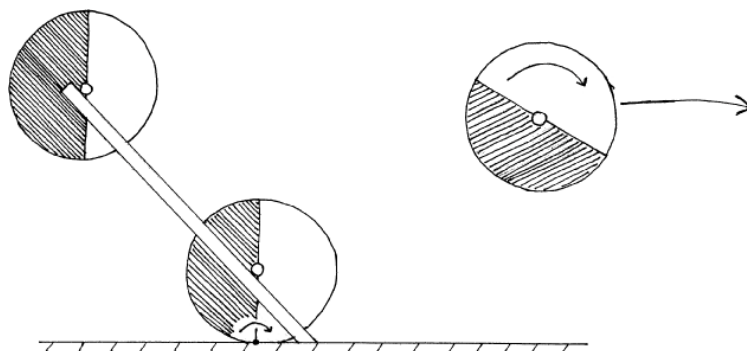
figur 15 - Förstudiens huvudkoncept

10.3 Slutkoncept

Slutkoncepten är de koncept som är framarbetade efter att den definitiva kravspecifikationen bestämdes. Alla med funktionen att endast mäta en liten yta åt gången med förhoppning att få mer kunskap om kontaktytan mellan däck och väglaget. Även en enklare mekanisk testtrigg eftersträvas utan behov av högteknologisk utrustning. Tre koncept från olika kategorier finns kort beskrivna nedan med text och illustration, alla slutkoncept finns under Bilaga IV.

10.3.1 Studs med fast vinkel

Konceptet bygger på en metod som tidigare tagits fram på Luleå tekniska universitet vid namn Jumping ball vars syfte är att testa oljor och fetters friktionshämmande egenskaper. Genom att studsas en kula mot ett olja/fett belagt underlag och sedan registrera kulans rotationshastighet med hjälp av en kamera. På liknande sätt kan även ett däck studsas mot väglaget. Konceptet består av en skena med fast vinkel mot väglaget. Hjulet är försett med en hjulaxel som är kullagrad i ändarna, alternativt en släde, som transporterar hjulet. Från en bestämd höjd släpps hjulet vars lagrade axel följer skenan och gör så att hjulet inte har någon rotation innan det når testunderlaget. När hjulet studsar mot testytan uppstår ett moment kring kontaktytan som kan betraktas som en linje. Beroende på hur mycket friktion som uppstår mellan däcket och väglaget så kommer däcket att rotera med en viss hastighet, se figur 16. Denna rotationshastighet mäts med hjälp av en kamera och kan översättas till friktion.

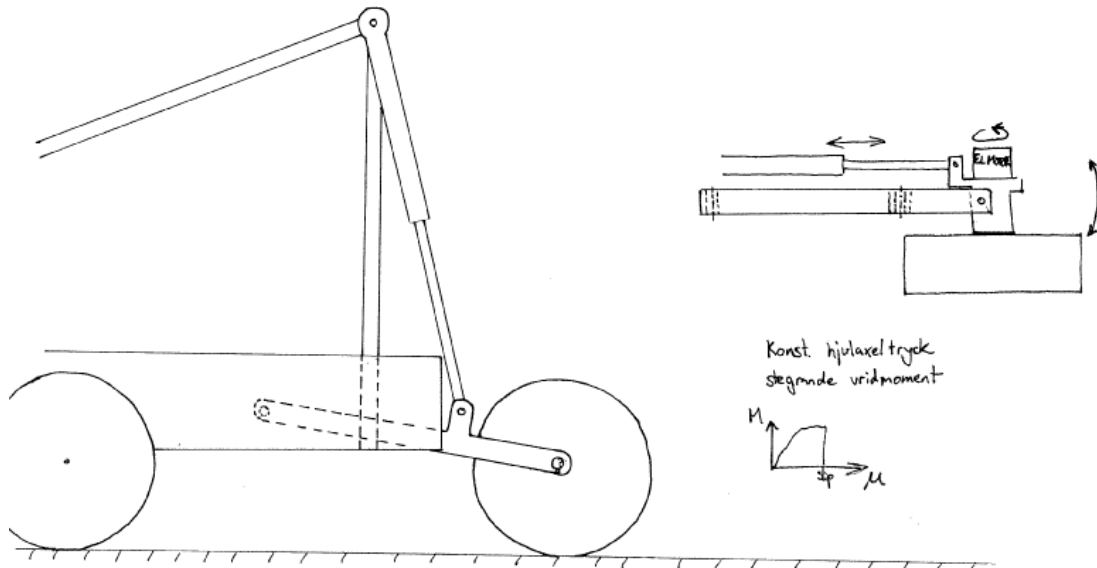


figur 16 - Konceptet "Studs med fast vinkel"

10.3.2 Hydraulstyrd arm 1

En arm är i ena änden monterad i släpvagnen. I motstående ända sitter mät hjulet och en elektrisk motor. Med hjälp av en hydraulcylinder kan ett önskvärt tryck läggas på hjulet, se figur 17. Armen har en lastcell och när elmotorn börjar arbeta kan en kurva över kraft/spänning i armen som funktion av tiden ges. Denna kraft kan översättas till friktionen mellan däck och väglag.

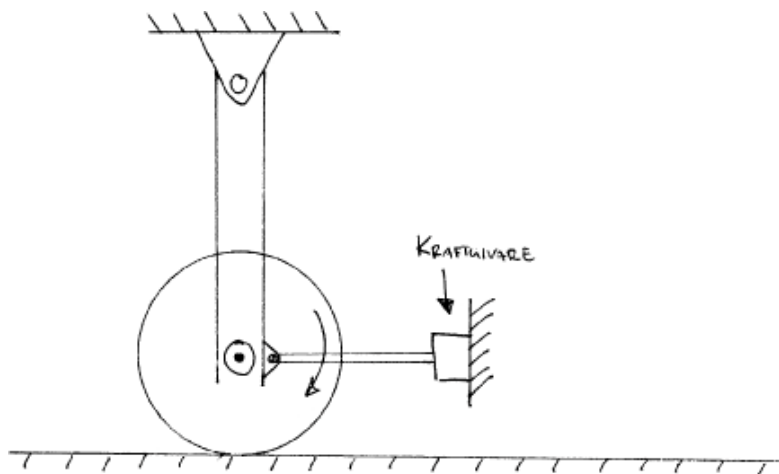
Alternativt kan konceptet utarbetas för utveckling av en dragkroksutrustning. Med en kulhandske avsedd för en släpvagn eller dylikt, och en övre infästningspunkt i ett takräcke skulle utrustningen kunna anpassas för användning på i princip vilken bilmodell som helst. Konceptet kan även kompletteras med en anordning för mätning av den kraft som krävs för att svänga hjulet. Detta skulle motsvara hur pass hur trögt det skulle bli att vrida hjulen när bilen står still t.ex. inför en fickparkering



figur 17 - Konceptet "Hydraulstyrd arm"

10.3.3 Fast vertikal skena

Hjulet är antingen konstant drivet av en motor eller uppaccelererat i luften innan en last i form av en dödvikt eller hydraulik anläggs. Friktionen och rotationen vill driva däckets i horisontell riktning vilket motverkas av en stum kraftgivare. Skenan/gejderen i vilken hjulaxeln viktanläggs är i sin övre ända fastsatt med en friktionsfri led. Viktigt för att erhålla goda resultat är att testtriggen står stabilt och inte kommer i rörelse då däckets får kontakt med testunderlaget. Se figur 18 för illustration av konceptet.



figur 18 - Konceptet "Fast vertikal skena"

11 Konceptviktning och utvärdering

Här beskrivs arbetet med att gallra bland koncepten för att få ner mängden koncept till ett mer hanterbart antal, de intressantaste viktades sedan mot varandra.

11.1 Gallring av koncept

Det som var mest avgörande vid gallringen av koncepten var hur mätningen var tänkt att gå till. En enkel och okomplicerad metod eftersöktes där uppställning och utförandet av testet skulle förlöpa utan komplikationer. Så lite tid som möjligt skulle läggas på att justera in testtriggen vilket ledde till att många koncept kunde ratas och tas bort från det fortsatta arbetet.

De berörda koncepten i detta fall var alla de som på något sätt hade en tangentiell inlopps bana mot underlaget som skulle testas. För att dessa koncept skulle fungera skulle mycket tid få läggas på att justera in utrustningen så att inloppet verkligen var tangentiellt vid varje testomgång. Detta ansågs som onödigt krångligt och beslut togs att de berörda koncepten kunde tas bort. Även koncept som ansågs vara mer av tillbehörskaraktär togs bort då dessa kunde finnas som önskemål i kravspecifikationen.

Totalt blev 8st koncept kvar efter gallringen vilket var en mycket mer hanterbart antal än de 19 från början. De som var kvar kunde grovt delas in i tre kategorier, studsande, anliggande samt spinnande test.

11.2 Konceptviktning

De åtta kvarvarande koncepten fördes in i den viktmatrix som skapats utifrån den kravspecifikation som satts upp. På samma sätt som kraven viktats med betyg från 0-5, fick koncepten på samma sätt betyg från 0-5 på hur väl de uppfyllde de olika kraven. Genom att multiplicera konceptets poäng med den procentuella vikten ett krav fått, fick konceptet en viktad poäng för varje delkrav. När koncepten fått en viktad poäng för varje krav summerades alla dessa och en total poäng kunde presenteras för varje koncept. Det koncept med högst slutpoäng var det som föreslogs som det vinnande konceptet. För kunna göra en noggrannare studie jämfördes koncepten efter varje kravkategori för att bättre se skillnaden del för del samt att kunna upptäcka stora skillnader, se Bilaga V för att studera viktmatrixen.

Efter att resultatet från viktmatrixen studerats kunde vissa slutsatser dras.

Högst viktad poäng fick koncept nr 2 medan den högsta oviktade poängen uppnåddes av koncept nr 8. Detta p.g.a. att koncept nr 8 uppfyller lågt viktade krav mycket bra medan de högre viktade kraven inte uppfylls lika bra. Omvänt gäller detta för koncept 2 vilket tydligt kan ses i viktmatrixen under funktionskrav där koncept nr 2 tillsammans med koncept nr 1 får högst viktad poängtilldelning trots att de tilldelats lägst antal poäng. Ser man till varje delranking är det endast viktningen av funktionskrav som visar denna poängfördelning, att de bästa koncepten hade minst viktade betygspoäng. I de andra tre kategorierna är det fallande ordning på betygspoängen.

En undersökning gjordes där de krav med en viktning lägre än fyra ”nollades”, detta för att se hur mycket de lägre viktade kraven inverkade på den totala viktningen. Denna operation utfördes på de koncept valda att undersöka närmare (1,2,8,12,17). Resultatet blev att det efter justeringen inte spelade någon roll hur placeringen ordnades, efter vikt- eller betygspoäng. Största förändringen placeringsmässigt skedde mellan koncept 1 och 8 som bytte plats. Överlag höjdes den viktade poängen överlag för alla koncept förutom för 8:an, det låg kvar på i stort sett samma poäng som innan vilket också ledde till dess placeringsförsämring.

11.3 Kombinerade koncept

Efter första viktningen var gjord fanns önskemål om att kombinera två snarlika koncept av två slag, och sedan vikta dem igen mot varandra. Detta för att se om det var möjligt att på så sätt kunna kombinera ihop bra egenskaper från de två olika och på så sätt få en bättre testutrustning. De koncept som slogs ihop var 1&2 samt 12&17, koncept 8 är medtagen till viss del i det senare paret. Innan sammanslagningen av koncepten skedde var utfördes tester där hjul provstudsades, dels för att se om det skulle vara möjligt att utföra testet samt att för att få en uppfattning om viken ungefärlig kontaktyta det handlade.

11.3.1 Koncept 1&2

Koncept 2 var det som vann den första viktningen men påminde mycket om koncept 1 med sitt studsande däck. Tanken bakom kombinationen var att möjliggöra användning av ett spinnande däck som fick studsas i olika förutbestämda vinklar som i 2:an. Detta skulle lätt kunna uppnås utan större ombyggnad av koncept 2's grundstomme. På detta sätt skulle flera olika mätningar kunna utföras med bl.a. icke spinnande, framåtspinnande och bakåtspinnande däck. Först av allt gjordes en jämförelse mellan de två koncepten i viktningsmatrisen där det kunde konstateras en skillnad på endast ett fåtal punkter, koncept 2 utan någon punkt sämre än koncept 1. Istället för att försöka göra en ny viktmatrix diskuterades istället de nya förhållandena som skulle uppstå vid en sammanslagning, detta kunde följande konstateranden göras.

Genom att lägga till spinn på hjulet blir mätmetoden annorlunda och något mer komplicerad. Mätning av rotationen kommer i detta fall bli nödvändigt både före och efter studsens och mått som höjd och längd blir viktigare att mäta. Detta gör att mätproceduren blir något mer komplicerad och fler parametrar måste hållas reda på.

Efter att bl.a. sett en filmupptagning Michelin gjort på ett däck som startas från stillastående med ett motorvarvtal på 3500rpm, kan slutsatsen dras att när ett spinnande hjul kommer i kontakt med en stillastående yta så gräver det ner sig. Detta gäller då för vinterväglag i synnerhet men även för andra lågfriktionskontakter. Det som är intressant i vårt fall är att undersöka och karakterisera det översta ytskiktet vilket inte kommer att bli helt korrekt utfört med denna metod.

Viss modifikation kommer även att få göras av koncept 2's grundstomme för att anpassa den för ett uppspinnt hjul, dels måste robustheten ses över samt att en lösning för själva uppspinnet av hjulet, det sistnämnda med antingen en fast monterad elmotor eller en lös bormaskin av något slag.

11.3.2 Koncept 12&15

En vidareutveckling som kan tänkas gälla koncept nr 12, är att med hjälp av sensorer som mäter hjulaxelns läge i horisontalled och hjulets rotationshastighet, kunna uppnå ett noggrant värde på G . På detta sätt bortses alltså all mätning i den tänkta mottagaren. Om en dynamometer skulle vara inkopplad enligt koncept nr 17, kan G inte fastställas då dynamometern hindrar hjulet från att förflyttas tillräckligt lång sträcka för att få tillräckliga mätvärden. G är ratiot mellan rotationshastighet och faktisk hastighet. Dvs. om hjulets rotation ger samma hastighet som ekipaget innehar utan glidning uppstår är ratiot 1:1

Gällande spinnfunktionen i koncept nr 17 hänvisas till tidigare nämnda beskrivning av kombinationen av koncept 1 och 2. Att använda sig av själva konstruktionen fast istället för att spinna upp hjulet ansätta det mot underlaget och anlägga en viss last på axeln och utföra en start enligt koncept 12 är möjligt.

Att applicera hydrauliken från koncept nr 8 skulle kunna göra lösningen mer intressant och även underlätta handhavandet då manuell påläggning av last på mätthjulets axel undviks. Problemet som uppdagades vid studerande av lösningen är att hjulet inte arbetar på en punkt/liten yta utan förflyttar sig längs en linje. Hydrauliken måste då på något vis följa med i denna förflyttning då den pålagda lasten måste verka vertikalt ner på axeln. Om detta inte uppfylls så kommer hydrauliken antingen hjälpa eller motverka hjulets rörelse utmed underlaget.

11.4 Utvärdering

Efter att djupare studerat de kombinerade koncepten beslutades att det i dagsläget inte var av intresse. Enkelheten i testtriggen får inte missgynnas till förmån för tilläggsfunktioner som därmed kan hämma grundidén och därmed beslutades att de framtagna koncepten förs vidare till nästa fas i utvecklingscykeln, att vidareutveckla det slutgiltiga konceptet.

Då nyfikenhet fanns på hur väl förstudiekonceptet skulle stå sig mot de av enklare modell beslöts att även detta skulle föras in i viktningsmatrisen, se Bilaga VI. Förstudiekonceptet visade stå sig mycket bra i jämförelse med de andra koncepten, mycket beroende på att testet är verklighetstroget. Dock kan det inte konkurrera på det ekonomiska planet då utrustningen är kostsam.

12 Slutgiltigt koncept

Kapitlet beskriver det slutgiltiga konceptet. En detaljerad funktionsbeskrivning ges tillsammans med beräkningar och en simulerad modell som verifierar testriggens funktion.

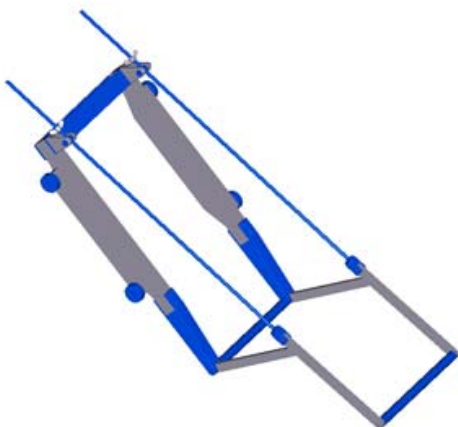
Konceptet som valdes till att bli det slutgiltiga var Studs med fast vinkel. Detta koncept har med hjälp av viktningsmatrisen och resonemang visat sig vara det koncept som bäst uppfyller kraven och tillika är mest relevant för uppgiften. Detta koncept vidareutvecklades och modellerades i 3D-CAD-programmet Ideas. Kompletta ritningsunderlag har tagits fram och det som återstår utöver tillverkningen av testriggen är införskaffande av mät- och karakteriseringsutrustning.

12.1 Detaljerad funktionsbeskrivning

I figur 19 visas en översiktlig bild av testriggen i uppfällt läge. I det närmaste alla delar som utgör grunden för testriggen är tillverkat av aluminiumprofiler med standard mått. Detta gör att testriggen kan konstrueras mycket kostnadseffektivt och med stora möjligheter att byta ut utslitna eller skadade detaljer. Det ställbara tvärstaget möjliggör provning med olika infallsvinklar mot testytan, dessa justeras enkelt med vingmuttrar alternativt större plastvred. På så vis finns möjlighet att prova fram vilken vinkel som bäst ger kvalitativa resultat med god repeterbarhet för olika underlag men också en möjlighet att prova vilken vinkel som ger den studs som enklast kan kontrolleras då i avseende på avläsning av rotationshastighet och även på var hjulet hamnar rent geografiskt.



figur 19 - CAD-modell av Testriggen.



figur 20 - Fallvagnen.

figur 20 visar släden vars uppgift är att transportera hjulet utmed glidskenorna. Slädens hjul består av fyra stycken tätade kullager, vilka skall rulla inuti glidskenorna. Att använda insidan av aluminiumprofilerna har många fördelar, bl.a. skyddar dessa slädens hjul från snö och andra oönskade partiklar men fungerar dessutom som ett bra stöd åt slädens rörelse. Det är mycket viktigt att dessa skenor hålls i gott skick och att ytan som kullagren rullar mot hålls så rena och släta som möjligt så att dessa inte påverkar slädens rörelse i hastighet och riktning. Slädens ingående delar är konstruerade på ett sådant sätt att de enkelt kan bytas ut. Detta är nödvändigt då släden väntas bli påverkad av upprepade tester med relativt hårda sammanstötningar mot testunderlaget.

Testtriggens främre hörn är ledat och möjliggör att testtriggen kan justeras till olika infallsvinklar men också för att enkelt kan fällas ihop för transport. Leden är utformad som en gradskiva för att underlätta avläsning av infallsvinkeln. Under testtriggens markstöd sitter ispiggar vars uppgift är att se till att testutrustningen står stabilt på alla underlag. Dessa är justerbara och möjliggör att riggen står stabilt även på ojämna underlag.

Genom att testtriggen är konstruerad på ett sådant sätt att infallsvinkeln är ställbar finns vissa utvecklingsmöjligheter. Om testtriggen ställs så att vinkeln är 90 grader mot testytan, förutsatt att ytan är horisontell, kan testtriggen med relativt enkla hjälpmedel utföra de test som koncept nr1, "Mäta vinkel", var utarbetat att göra. Den ställbara infallsvinkeln innebär också att testtriggen är hopfällbar för att underlätta transport och hantering, se figur 21. Ritningar på en första övergripande modellering ses i Bilaga VIII - Ritningar.



figur 21 - Testtriggen i hopfällt läge.

12.2 Föresättningar för experiment

För att kunna genomföra ett experiment, dvs. testa testtriggen och komma igång med användandet behövs viss utrustning.

Förutom testtriggen och det tänkta mät hjulet behövs framförallt en videokamera på stativ. Enligt expertis inom området fungerar en ganska enkel videokamera för hemmabruk. Viktigt är att slutartiden kan justeras efter önskemål. Som exempel valdes en videokamera från JVC med modellbeteckningen GZ-MG67 (pris ca 7000kr) att studeras för ändamålet. Kameran lagrar data på en inbyggd hårddisk vilket underlättar vid analys av videomaterialet. Kamerans slutartid kan ställas mellan 1/2 – 1/4000 sekund. En normal slutartid för en videokamera är 1/50 sekund vilket medför att bilden får ett stort skärpedjup men liten rörelseskärpa. I testtriggens fall kan tänkas att det krävs en bättre rörelseskärpa för skarpa bilder och då måste slutartiden ställas kortare. Vid denna inställning erhålls, förutom bättre rörelseskärpa, ett försämrat skärpedjup dessutom krävs mer ljus vilket kan åtgärdas med en byggstrålkastare.

Mätning av läges- och hastighetsparametrarna görs med hjälp av en längdskala som är fäst på riggen utmed slädens bana och en liknande bakgrundsmatris. Detta tillsammans med känd fakta att en vanlig videokamera tar 25st bilder/sekund, kan hastigheter mellan två bildrutor erhållas. Ett alternativt sätt är att med kända längdenheter, exempelvis två referenspunkter på riggen med ett känt avstånd, räkna pixlar som är känd fakta på kameran beroende på dess inställning. På detta sätt kan studscoefficienten e beräknas, se formeln nedan.

$$e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

figur 22 - Förenklad formel för studscoefficienten e

Nedan i figur 23, kan en bildserie över en däckstuds studeras. Kameran är standardinställd och slutartiden något för lång. Den röda linjen fungerar som referenslinje och den gula visar hjulets rotation. Vid användande av testtriggen kommer den gula och röda linjen att sammanfalla rakt vertikalt vid släppläget. Den gula linjen börjar rotera direkt då hjulet träffar underlaget.



figur 23 - Studsförlopp - 1 utgångsläge, 2 studsögonblick, 3 vändhöjd

Kontakttrycket

Något som är intressant vid et test, är att veta vad man har för kontakttryck vid själva studsögonblicket. För att erhålla ett värde på detta kontakttryck mellan hjul och underlag kan en vidareutveckling av ekvation (9) från teoridelen, kap. 12.3, användas. Då det är en kraft som fås ur den ekvationen, divideras den med uppskattad eller uppmätt kontaktarea och en bra approximation på kontakttrycket fås, se figur 24 för formeln.

$$P_{kontakt} = \frac{m \cdot v_v (1 + e)}{t_{studs} \cdot A_{kontakt}}$$

figur 24 - Formel för approximerat kontakttryck

Kontakttrycket ändras under hela studsförloppet då denna area inte är konstant. Ett prov gjordes att studsas ett däck mot ett vitt papper för att på så sätt få reda på dess maximala kontaktyta som uppskattningsvis var ca 2 kvadratdecimeter. Här måste lufttrycket i däckets kontrolleras men även däckmönstret är komplext ur areasynpunkt. För att erhålla ett korrekt värde på kontakttrycket bör en sensor från Tactilus användas, denna registrerar dess all tänkbar intressant statistik som t.ex. maximalt värde på kontakttrycket (för vidare information se: <http://www.sensorprod.com/tactilus/apps/tire.pdf>). Även enklare mätmetoder som inte kräver dator finns att tillgå. Då används ett speciellt kontakttryckspapper som läggs mellan hjulet och underlaget. Sedan skickas dessa papper in till leverantören som framkallar kontaktbilderna i färgskala som visar var högst kontakttryck uppstår.

12.3 Teoretisk modell

Testtriggens levererade data måste behandlas för att friktionskoefficienten skall kunna erhållas. För att uppfylla detta utarbetades en teoretisk modell av händelseförloppet. Modellen undersöker även testtriggens funktionalitet och visar om det blev för många inverkanse parametrar som är svårdefinierade och kan därmed avgöra om testmetoden är lämplig eller inte. Vad de olika symbolerna betyder i teoridelen kan utläsas i nomenklaturen nedan.

h_1 = höjdläget på hjulets centrum där det
släpps
 h_2 = höjdläget på hjulets centrum vid
studsens eg. radie
 α = vinkeln på hjulets bana innan studsens
 $\dot{x}$ = hastighet i horisontalld
 $\dot{y}$ = hastighet i vertikall
 $\ddot{x}$ = acceleration i horisontalld
 $\ddot{y}$ = acceleration i vertikall
 g = tyngdacceleration
 t = tid
 t_y = tiden hjulet färdas utmed rampen
 t_{studs} = tiden då hjulet är i kontakt med
underlaget
 m = hjulets massa
 P = rörelsemängd
 v = hastighet

v_1 = hjulets hastighet i vertikall före
studs
 v_2 = hjulets hastighet i vertikall efter
studs
 e = studs-koefficienten
 F = kraften med vilken hjulet påverkar
underlaget
 F_k = friktionskraft
 N = normalkraft
 μ = friktionskoefficient
 M = moment
 $r = R$ = hjulets radie
 I = masströghetsmoment
 ω = vinkelhastighet
 $\dot{\omega}$ = vinkelacceleration

Till att börja med sattes fem ekvationer upp som visar däckets hastighet/acceleration i horisontal- och vertikall innan studs samt tiden hjulet faller utmed rampen.

$$\dot{x} = \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

$$\dot{y} = \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

$$\ddot{x} = g \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

$$\ddot{y} = g \cdot \sin^2 \alpha \quad (4)$$

$$t_y = \sqrt{\frac{2(h_1 - h_2)}{g}} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} \quad (5)$$

$$\dot{\omega}$$

För att analysera vilken normalkraft som verkar vid studsens, som i sin tur påverkar friktionskraften, sattes en ekvation upp med hjälp av Impulslagen.

$$\int_{t_1}^{t_2} F dt = P_2 - P_1 \quad (6)$$

Då t_1 är tidpunkten vid studsens start sätts $t_1 = 0$.

$$F_{medel} \cdot t_{studs} = P_2 - P_1 \quad (7)$$

Enligt Fysikalia:

$$P = m \cdot v \quad (8)$$

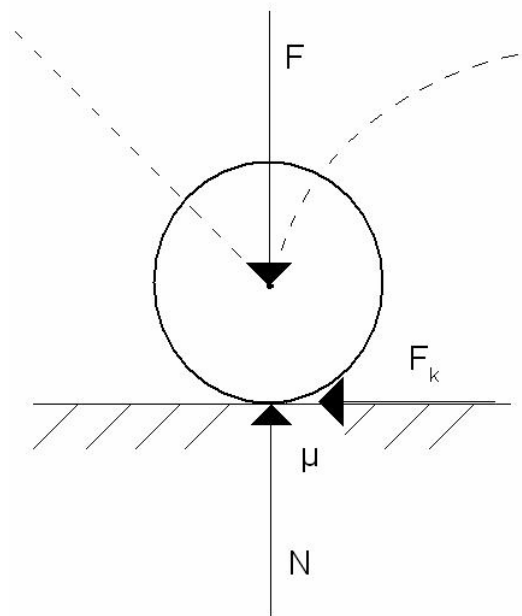
Ekvation (2) i (1) ger:

$$F_{medel} = \frac{m(v_2 - v_1)}{t_{studs}}$$

$$\text{där } v_2 = e(-v_1) \quad \Rightarrow \quad F_{medel} = -\frac{m \cdot v_1(1 + e)}{t_{studs}} \quad (9)$$

Där e = studscoeffcienten

På nästa sida ses en förenklad uppställning över uppkomsten av rotation med hjälp av det moment som uppstår med friktionskraftens inverkan. Det bör beaktas att den beräknade modellen är förenklad och därför betraktas som förlustfri. I ett verkligt fall uppstår både värme, glidning, deformationer och även gummits fjädrande och dämpande egenskaper, etc.



Kraftinverkan vid studs kan ses till vänster i figur 25, där den beskrivande figuren visar krafterna som verkar vid studsförloppet. F är hjulets verkande kraft mot underlaget. N är normalkraften som motverkar F . F_k är friktionskraften som beror på friktionskoefficienten μ och normalkraften. Den streckade linjen är hjulets bana.

figur 25 - Kraftinverkan vid studs.

$$F_k = N \cdot \mu \quad (10)$$

$$M = F_k \cdot r \quad (11)$$

$$M = I \cdot \dot{\omega} \quad (12)$$

$$\text{Ekvation (11) i (12):} \quad F_k \cdot r = I \cdot \dot{\omega} \quad (13)$$

$$\omega = \omega_0 + \dot{\omega} \cdot t = \dot{\omega} \cdot t \Leftrightarrow \dot{\omega} = \frac{\omega}{t_{studs}} \quad (14)$$

$$\text{Ekvation (14) i (13):} \quad F_k \cdot r = I \cdot \frac{\omega}{t_{studs}} \quad (15)$$

$$\text{Ekvation (15) i (10):} \quad N \cdot \mu \cdot r = I \cdot \frac{\omega}{t_{studs}}$$

$$\Leftrightarrow \quad \mu = \frac{I \cdot \omega}{N \cdot r \cdot t_{studs}} \quad (16)$$

Insättning av F från Impulslagen ger följande uttryck för hjulets rotation:

$$N = -F_{medel} \Rightarrow \quad \mu = \frac{I \cdot \omega}{\left(\frac{m \cdot v_1 (1+e)}{t_{studs}} \right) \cdot r \cdot t_{studs}} = \frac{I \cdot \omega}{m \cdot v_1 (1+e) \cdot r} \quad (17)$$

Beräkning an masströghetsmomentet, I, kan ses i Bilaga VII.

Ett alternativt sätt att analysera testresultaten som erhålls från med hjälp av den optiska mätutrustningen är att ställa upp rörelseekvationer för förloppet. I nedanstående beräkningar har förlusterna i släden försumrats då det som är intressant är hastigheten som hjulet har vid studsögonblicket. Denna hastighet kan betraktas som känd då profilen som släden färdas utmed kan utrustas med en längdskala alternativt två referenspunkter med ett känt avstånd. Med en känd slutartid kan hastigheten enkelt utläsas via längdskalan eller de två referenspunkterna och pixelräkning. Eftersom hastigheten är känd behöver inte slädens massa beaktas.

Uppställning av rörelseekvationer:

$$m \cdot \ddot{y} = N - m \cdot g \quad (18)$$

$$m \cdot \ddot{x} = -F_\mu = -\mu \cdot N \quad (19)$$

$$I \cdot \dot{\omega} = -F_\mu \cdot R = -\mu \cdot N \cdot R \quad (20)$$

För att kunna beräkna modellen med hastigheter istället för accelerationer integreras ekvationerna m.a.p. tiden.

$$\int_{t_1}^{t_2} m \cdot \ddot{y} \cdot dt = \int_{t_1}^{t_2} N \cdot dt - \int_{t_1}^{t_2} m \cdot g \cdot dt \Rightarrow m \cdot v_y(t_2) - m \cdot v_y(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} N \cdot dt - \int_{t_1}^{t_2} m \cdot g \cdot dt \quad (21)$$

$$\int_{t_1}^{t_2} m \cdot \ddot{x} \cdot dt = -\mu \cdot \int_{t_1}^{t_2} N \cdot dt \Rightarrow m \cdot v_x(t_2) - m \cdot v_x(t_1) = -\mu \cdot \int_{t_1}^{t_2} N \cdot dt \quad (22)$$

$$\int_{t_1}^{t_2} I \cdot \dot{\omega} \cdot dt = -\mu \cdot R \cdot \int_{t_1}^{t_2} N \cdot dt \Rightarrow I \cdot \omega(t_2) - I \cdot \omega(t_1) = -\mu \cdot R \cdot \int_{t_1}^{t_2} N \cdot dt \quad (23)$$

Genom att kombinera ekvation 22 och ekvation 23 kan följande uttryck erhållas:

$$I \cdot \omega(t_2) - I \cdot \omega(t_1) = R \cdot m \cdot [v_x(t_2) - v_x(t_1)] \quad (24)$$

Kombination av ekvation (21) och (22) ger:

$$\begin{aligned} m \cdot v_y(t_2) - m \cdot v_y(t_1) &= \frac{1}{\mu} \cdot [m \cdot v_x(t_1) - m \cdot v_x(t_2)] + m \cdot g \cdot t_1 - m \cdot g \cdot t_2 \\ \Rightarrow \mu &= \frac{v_x(t_2) - v_x(t_1)}{v_y(t_2) - v_y(t_1) + m \cdot g(t_2) - m \cdot g(t_1)} \end{aligned} \quad (25)$$

Alternativt kan friktionskoefficienten beräknas med hjälp av ekvation (21) och (23).

$$\begin{aligned} I \cdot \omega(t_2) - I \cdot \omega(t_1) &= -\mu \cdot R \cdot [m \cdot g \cdot (t_2) - m \cdot g \cdot (t_1) + m \cdot v_y(t_2) - m \cdot v_y(t_1)] \\ \Rightarrow \mu &= \frac{I \cdot [\omega(t_2) - \omega(t_1)]}{R \cdot [m \cdot v_y(t_1) - m \cdot v_y(t_2) + m \cdot g(t_1) - m \cdot g(t_2)]} \end{aligned} \quad (26)$$

Om en jämförelse görs med ekv. 17 kan många likheter ses. Uttrycket är detsamma så när som på att i ekv. 17 räknas med stöttalet e , och endast beaktar translaterande hastigheter i en led. Ekv. 26 behandlar istället tiden under vilken studsens sker, tyngdaccelerationen och translaterande hastigheter i två led.

Antag att: $t_1 = 0 \Rightarrow v_x(t_1) = v_y(t_1) = g(t_1) = 0$

$$\text{Detta leder till att ekvation 25 blir: } \mu = \frac{v_x}{v_y + g} \quad (27)$$

På detta vis kan friktionskoefficienten beräknas utifrån data som registrerats med videokameran. Den resulterande ekvationen är enkel och med ett relativt litet antal parametrar att beakta, dessa kan alla samlas in med hjälp av kamerateknik.

12.4 Simulerad modell

För att ytterligare lyckas verifiera testtriggens funktion och kapacitet att mäta olika friktionsvärden beslutades att försöka skapa en simuleringsmodell i programmet ADAMS View. Det är ett program för dynamiska simuleringar där möjlighet att importera 3D-modeller från olika CAD-program finns.

Då importeringen av vår CAD-modell inte fungerade som den skulle, användes modelleringsmöjligheterna i ADAMS istället. Modellen av testtriggen blev inte lika detaljerad som den gjord i I-DEAS men fullt tillräcklig för att visualisera testtriggen på ett korrekt sätt samt att simuleringarna skulle kunna utföras utan komplikationer.

Ett verklighetstroget händelseförlopp för testtriggens funktion skapades och med en hel del laborerande med däck- och kontaktparametrar kunde en första fungerande studsmodell uppvisas. Genom att räkna ut ett approximativt masströghetsmoment för ett tänkt hjul samt som tidigare nämnts, testa med olika parametrar som studscoefficient, dämpningsfaktor, friktion, mm, skapades en så trovärdig simulering som möjligt.

Resultatet från de utförda simuleringarna blev inte riktigt så givande som hoppats, små parameterförändringar kunde resultera i väldigt ologiskt däckbeteende under simulering. Däcket kunde få för sig att stanna direkt vid markkontakt trots att friktionen var låg och det kunde även studsas så att en höjd högre än släpphöjden uppnåddes.

Alla dessa ologiska fenomen som uppstod kunde kanske ha kunnat undvikas om däck- och vägparameterfilerna fungerat som de skulle. I dessa filer skulle nämligen däckparametrar givna från tillverkaren finnas vilket skulle ha underlättat vid utförd simulering. I simuleringarna har mycket testande och antagande gjorts vilket gjort simuleringen en aning chansartad. Skulle problemet med de nämnda filerna lösas, skulle en simulering i ADAMS kunna ge mycket mer. Det som uppnåtts har dock visat på att testtriggen kommer fungera som väntat men inga exaktare mätningar kunnat redovisas.

12.5 Kostnads kalkyl

Då detta är ett förslag på hur en eventuell testrigg kan tänkas se ut är kostnads kalkylen approximativ. Enligt förslag skall testriggen tillverkas i aluminium för minskad vikt, men en första prototyp tillverkas fördelaktigt i stål då det är billigare. Huvudkostanden för testriggen kommer ändå vara en filmkamera som uppfyller de krav som ställs på den. Då det inte krävs mer avancerad programvara för att bearbeta filmupptagningarna än det som finns kommersiellt, är detta ingen betydande kostnad. En approximativ kostnads kalkyl kan se ut som följande:

	Kostnad för stålrigg	Kostnad för aluminium
Testriggen	1500-2500kr	5000-7500kr
Filmkamera	7000kr	7000kr
Totalkostnad	8500-9500kr	10000-12500

Produktionskostnaderna är diskuterade med Centralverkstaden vid Ltu och varierar mycket med delarnas komplexitet samt antal. Framställning av endast en blir mycket högre än om flera skulle tillverkas då det skulle bli mycket spillmaterial vid tillverkning av endast en. De ingående delarnas komplexitet bör ses över om en enkel stålprototyp framställs med bra resultat och en i aluminium blir aktuell.

Priset på filmkamera är hämtat från Internet och prisbilden kan därför komma att ändras, mest troligt åt det billigare hållet. Någon höghastighetskamera är inte undersökt då en sådan inte är aktuell i dagsläget. Att en rigg gjord i stål blir så mycket billigare beror på att det materialet köps in mer frekvent till andra projektriggas som byggs på avdelningen och därför kan ev. spillmaterial användas till en första fungerande prototyp och priset därmed hållas ner.

13 Diskussion och slutsatser

Efter att till en början inriktat testriggsframtagandet mot en bredare marknad som däcktillverkare, biltestindustrin, vägverket mm så har målområdet smalnats av efter arbetets gång. En vision om en tekniskt avancerad testrigg sköts framåt i tiden då det ansågs vara bäst att starta mycket grundläggande inom detta för Luleå tekniska universitet nya ämnesområde.

Den slutgiltiga konceptutvecklingen riktade sig mot tekniskt enkla lösningar som är lätta och snabba att manövrera vid testutförandet. Detta test skulle så realistiskt som möjligt kunna utföras med stillastående rigg med en så liten kontaktyta som möjligt och därmed karakteriseringsbar på en noggrann nivå. Den utvecklade testriggen uppfyller de flesta av alla krav som ställs på den men framförallt de krav som är högst viktade. Eftersom testriggen ännu inte är framställd till en prototyp finns inget fullkomligt svar på om det slutgiltiga konceptet kommer att uppfylla de övriga kraven men några direkta svagheter har i detta arbete inte påträffats. Beroende på med vilken avsikt som testriggen konstrueras ges följande förslag:

Om testriggen är tänkt att användas till forskning för att undersöka sambandet mellan däckets och vägytans karakteristik i förhållande till varandra så bör den framtagna testriggen i den här rapporten produceras. Simulering i Adams visar att rotationshastigheten varierar med friktionskoefficienten. Ytan som däcket studsar mot är begränsad till en relativt liten area som lätt kan karakteriseras med rätt utrustning vilket är bra när ett samband skall tas fram.

Om testriggen är tänkt att produceras i ett större antal för att exempelvis testföretagen i norra Sverige skall kunna utföra tjänster åt däckföretagen med tester som jämför däckens grepp under olika rådande förhållanden bör förstudiens huvudkoncept vidareutvecklas. Detta test är mycket enkelt att utföra och ett jämförbart medelvärde på friktionskoefficienten över en viss sträcka kan lätt erhållas. Med en utarbetad testprocedur och kalibrerings process kan stora mängder data insamlas med flertalet mätvagnar och enkelt sammanställas.

14 Referenser

Litteratur

Persson, B.N.J. (1995). *Physics of Sliding Friction*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. ISBN 0-7923-3935-5

Petrenko, V. F. (1999). *Physics of Ice*. Oxford, Great Britain: Oxford University Press. ISBN 0 19 851895 1

Haney, P. (2003). *The Racing and High-Performance Tire*. Warrendale, USA: Society of Automotive Engineers, Inc. ISBN 0-9646414-2-9

Ulrich, K. T., Eppinger, S.D. (2000) *Product Design and Development*. Singapore: McGraw-Hill. ISBN 0-07-116993-8

Rapporter

Wallman, C-G. (1997). *Effekten av Vinterväghållning*. Linköping: Väg- och Transportforskningsinstitutet. ISSN 0347-6030

Axelsson, L. (1994). *Bedömning av Vinterväglag*. Borlänge: Vägverkets tryckeri i Borlänge. VV 1994:82

Isaksson, M. (1988). *Provutrustning för Mätning av Smörjmedels Skjuvhållfasthet*. Luleå.

Rousseaux, R. (1996). *Design of a Computerized Evaluation Method for an Impacting Ball Apparatus*. Luleå.

Michelin. (2001). *The Tyre Grip*. Société de Technologie Michelin.

Tidsskriftarticklar

Milner, C.J. (1990) Measurement of Tyre-Road Friction. *Journal of the Australian road research board*, 20 (3), p.61-71. ISSN 0005-0164

Jacobsson, B. (1985) A High Pressure-Short Time Shear Strength Analyzer for Lubricants. *Journal of Tribology*, 107 (4), p.220-223

Höglund, E. (1989) The Relationship Between Lubricant Shear Strength and Chemical Composition of the Base Oil. *Wear*, 130, p.213-224. ISSN 0043-1648

Webreferenser

http://www.starwax.com/se/apparecchiature_elettroniche.htm 2006-03-02
<http://www.maurer-ir.de/> 2006-03-02
<http://www.solcell.nu/> 2006-03-02
<http://www.mitutoyo.de/sweden/KatArtikel.asp?Back=Direct&Artikel=810-264> 2006-03-02

<http://www.astm.org/cgi-bin/SoftCart.exe/DATABASE.CART/WORKITEMS/WK3077.htm?E+mystore> 2005-11-23
http://www.astm.org/cgi-bin/SoftCart.exe/DATABASE.CART/REDLINE_PAGES/E1859.htm?L+mystore+bdef6348
2005-11-23
<http://www.wainwright.co.uk/technical.htm> 2005-11-24
<http://www.highwaysmaintenance.com/skidtext.htm> 2005-11-24
http://www.aggregain.org.uk/terminology/skid_resistance.html 2005-11-24
<http://www.coralba.se/roads/index.php?categoryID=6> 2005-11-25
<http://www.douglas-tugmaster.co.uk/supportequipment/mumeter.htm> 2005-11-16
http://www.findlayirvine.com/products/prod_det.php?sectorId=16&productId=106
2005-11-16
<http://www.norsemeter.no/Products/> 2005-11-24
<http://www.vagvarket.se> 2005-11-24

Bilaga I – Projektplanering

Översiktlig projektplanering samt arbetsgång																								
v.42	v.43	v.44	v.45	v.46	v.47	v.48	v.49	v.50	v.51	v.52	v.1	v.2	v.3	v.4	v.5	v.6	v.7	v.8	v.9	v.10	v.11	v.12	v.13	v.14
● Inledande planeringsarbete samt början av litteraturstudie. ● Förstudiearbetet igång med litterära-, nätbaserade- samt företagsundersökningar kör igång ● Deltagande i möte med BOSCH biltestcenter i Arjeplog ● Studiebesök görs på Vti, Sarsys och ASFT ● Förstudieundersökningar samt konceptförslag redovisas. Nya önskemål från uppdragsgivare. ● Konceptgenerering utefter önskemål. ● Redovisning av framtagna koncept. ● Kravspec fastställs och konceptgallring sker. ● Möte med Michelin ● Klustring av koncept samt slutgiltigt val. ● Fortsatt utveckling av slutkoncept ● Första utkastet på rapporten inlämnad ● Framtagning av CAD-, simulerad- samt matematisk modell ● Redovisningsdatum samt vad som ska redovisas bestäms. ● Avstämning inför redovisning																								
Fortlöpande rapportskrivning Redovisning																								

Bilaga II – Kalibreringsprotokoll



Kalibreringsprocess

1. Kontrollera distansen på uppmärkt 1000 meter sträcka på väg till kalibreringssträckan
2. Grundinställ instrumentet för kalibrering:
Tryck på FRICT Nu visar Coralba μ senast uppmätta friktionsvärde
Tryck på CAL Notera gällande kalibreringsfaktor 0,24
Tryck på SET Gällande kalibreringsfaktor blinkar
Lägg in 1.00
Tryck SET Instrumentet är grundinställt

3. Genomför 3 friktionsmätningar i vardera riktningen och notera friktionsvärdena

Mätning	Mot landsväg	Från landsväg
1	<u>0,26</u>	<u>0,18</u>
2	<u>0,26</u>	<u>0,19</u>
3	<u>0,19</u>	<u>0,24</u>

4. Genomsnitt av de sex mätningarna: 0,22

5. BV-11 Referensvärde 0,21

6. Räkna fram kalibreringsvärdet: $5/4 =$ 0,95

7. Lägg in nytt kalibreringsvärde enligt punkt 2

8. Gör 2 kontroll mätningar i vardera riktningen

Mätning	Mot landsväg	Från landsväg
1	<u>0,17</u>	<u>0,16</u>
2	<u>0,15</u>	<u>0,17</u>
		0,26
		0,17
		0,15
		0,18
		0,19
		0,15

Sidan 1 av 1

Bilaga III – Förstudiekoncept

Boggey

Konceptet byggde på en boggeykonstruktion liknande den som finns på lastbilar. Lasten kan växla mellan hjulparen som kan höjas upp och ner. På vagnen finns även en vikt man kan skjuta fram och tillbaka för att kunna justera lasten över det hjulpar som är i kontakt med underlaget.

Svängande släp

Detta koncept har viss likhet med de friktionsmätare som finns idag, skillnaden är att det på denna släpvagnsbaserade rigg finns två ”hjulupphängningar”. Spårvidden de två mät hjulen sinsemellan bör vara så stor som möjligt då det är tänkt att även transversella krafter skall kunna mätas vid vanlig kurvtagning med släp. Eventuellt skall det gå att ställa toe-in för att mäta transversella krafter.

MC-swing

Detta koncept var det som liknade befintliga lösningar mest, detta utan att skaparen hade minsta vetskap om hur de såg ut. Konceptet simpelt baserat på en motorcykels bakre hjulupphängning monterat på en släpvagn. Utrustad med hydraulik som reglerar marktryck samt en eventuell växellåda för att kunna variera utväxling. En annan lösning på utväxlingsproblemet skulle kunna vara att ha möjligheten att ändra ett ”inputvärde” som relaterar till däckdimension mm, sedan räknas ett förhållande ut med lämplig framtagen ekvation.

Måttåg

Detta koncept är en vidareutveckling av MC-swing där tanken är att man skall sammankoppla flera vagnar till ett tåg. På detta sätt kan flera däck testas på samma gång, man spar in tid och hinner testa flera däck.

Inlinevagn

Med detta koncept är meningen att en kassett med ett flertal hjul skall kunna fällas ut på båda sidor om vagnen, liknande en inlineskena med hjul. Hjulen ska kunna testas ett i taget och vridas individuellt. Vagnens egenvikt kommer användas som belastning av hjulen på armarna och är varierbar då olika tryck kan appliceras av armarna.

Inlinekassett

En vidareutveckling av inlinevagnen där det på varje arm sitter flera ”skenor” i kryssformation och som går att rotera vid byte av mätomgång.

Glidskenan

Här har MC-swingen tagits och monterat den på en glidskena. Genom att göra detta är förhoppningen att komma undan de sidokrafter som skulle uppkomma vid snedställning av ett hjul. Med en fast installation på en vagn skulle en vridning av hjulet leda till att vagnen började svänga och konsekvenserna förödande. Mellan vagnen och upphängningen på glidskenan skulle mätsensorer monteras för att mäta de sidokrafter som uppkommer vid vridning.

Konveyer

Idén är att ett lättmonterat konveyersystem innehållande ett större antal hjul ska sättas upp på intressant plats. Därefter ska hjulen ett och ett snabbt testas mot underlaget. Som drivande källa kan t.ex. ett vadersystem användas för att få hjulen att snurra. Även transversella krafter genom vridning skall kunna testas.

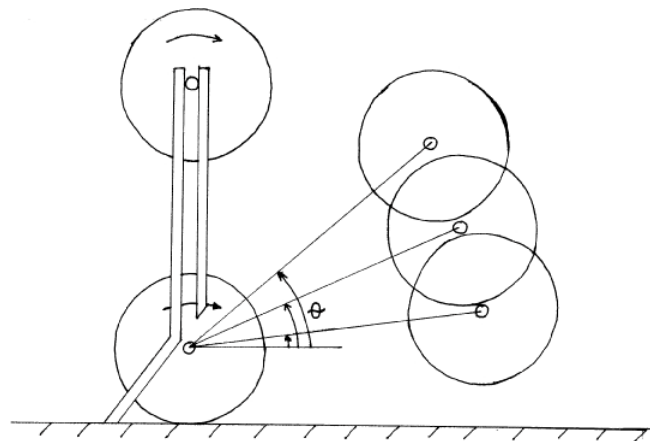
Tentakeln

Tentakeln är tänkt som en löst (ledad) hängande arm av typen MC-swing. Genom att ha den ledad i vertikalled kan man få armen att vrida sig istället för vagnen när man testar att snedställa testhjulet. Vridsensorer kommer att finnas för att armen inte ska kunna vrida sig för mycket och orsaka problem.

Bilaga IV – Huvudkoncept

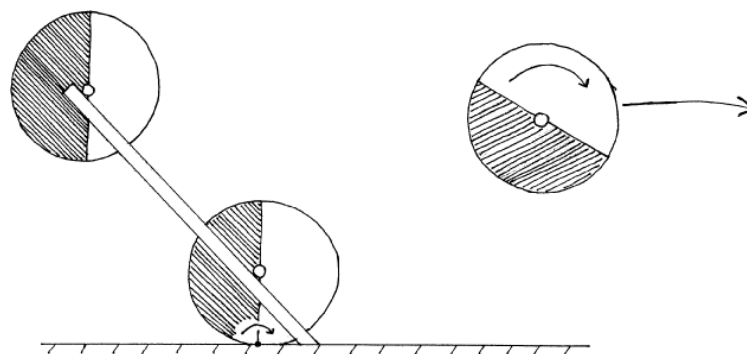
1. Mäta vinkel

Detta koncept bygger på en enkel konstruktion som borde ge jämförbara data. På en vald höjd ifrån väglaget sätts hjulet i rotation med hjälp av en elmotor, bormaskin eller liknande. Hjulet släpps sedan att falla fritt med hjulaxeln styrd av två skenor för att kontrollera att fallet blir lodrätt och lika mellan hjulbytena. Mätningen sker med en kamera som kan registrera vinkeln mellan tangenten till den bana som hjulet följer efter studsens och markplanet. En hög friktion resulterar i en liten vinkel och låg friktion ger till resultat en större. En alternativ mätning är att man mäter hjulets rotation efter studsens i jämförelse med den rotation som anläggs innan hjulet släpps att falla.



2. Studs med fast vinkel

Konceptet bygger på en metod som tidigare tagits fram på Luleå tekniska universitet vid namn Jumping ball, vars syfte är att testa oljor och fetters friktionshämmande egenskaper. Genom att studsas en kula mot ett olja/fett belagt underlag och sedan registrera kulans rotationshastighet med hjälp av en kamera. På liknande sätt kan även ett däck studsas mot väglaget. Konceptet består av en skena med fast vinkel mot väglaget. Hjulet är försett med en hjulaxel som är kullagrad i ändarna, alternativt en släde, som transporterar hjulet. Från en bestämd höjd släpps hjulet vars lagrade axel följer skenan och gör så att hjulet inte har någon rotation innan det når testunderlaget. När hjulet studsar mot testytan uppstår ett moment kring kontaktytan som kan betraktas som en linje. Beroende på hur mycket friktion som uppstår mellan däck och väglaget så kommer däck att rotera med en viss hastighet. Denna rotationshastighet mäts med hjälp av en kamera och kan översättas till friktion.

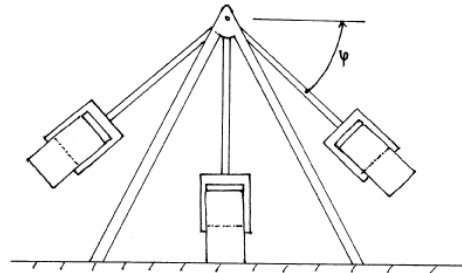
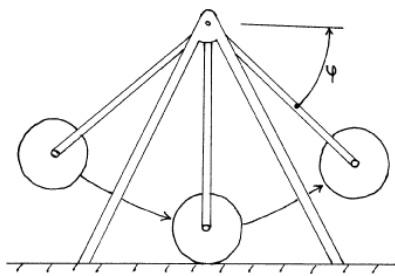


3. Däckpendel

Principen bygger på en gammal mätmetod för däck friktion, Portable Skid Resistance Tester, som finns presenterad under kapitlet Mätmetoder där dess funktion och mätområde finns beskrivet närmare.

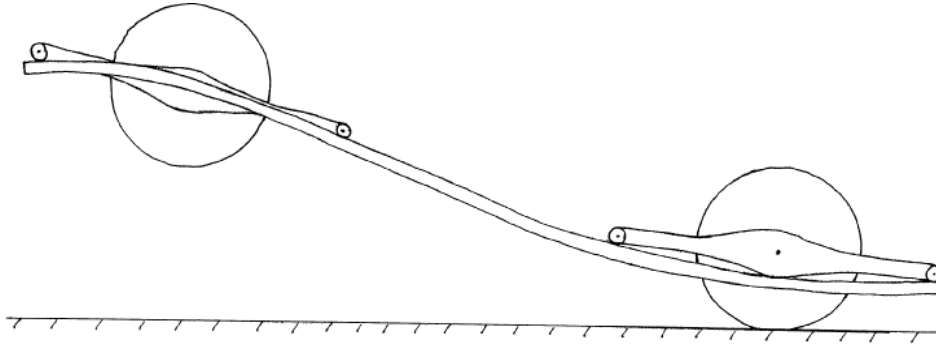
Ställningen som pendeln hänger i fälls ut ur en släpkärra och väl på plats liknar den en klassisk gungställning. För att få stabilitet i ställningen skall den delvis vara monterad på släpvagnen då problemet med en pendelrigg är att den vill flytta på sig då däcket touchar mätunderlaget. Med en snabb omställning av pendelarmen så att hjulet istället gungar med sidan riktad i rörelseriktningen kan sidokrafter på däcket studeras. Att studera däckets deformation vid ett sådant test anses intressant.

Med hjälp av moment och kraftgivare i hjulets axel och kameror som optiskt registrerar hjulets roterande hastighet och hur högt det når kan efterfrågad information insamlas och behandlas i en dator. Svårigheten med denna mätrigg är att resultatet är mycket beroende av att däcket är i kontakt precis så mycket som det skall och pendelarmens längd måste därför vara justerbar. Ytans ojämnheter skulle också kunna försämma mätresultaten då stor variation sannolikt uppstår.



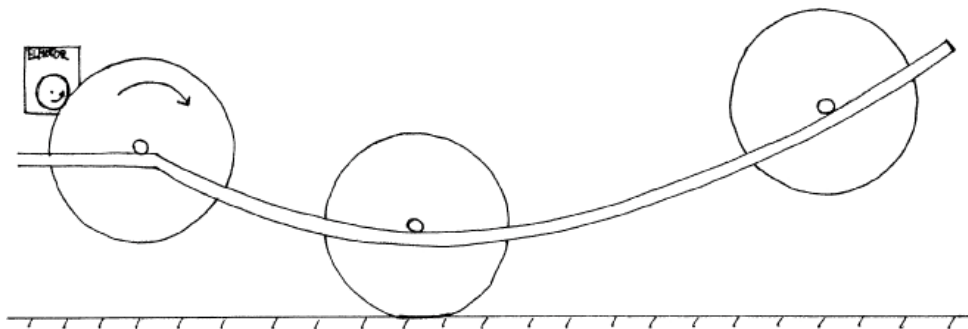
4. Momentmätning på glidande/bromsat hjul

Två skenor bildar en rutschkana för en släde där mät hjulet sitter monterat. På mät hjulets axel sitter en momentgivare som via blue tooth skickar data till en dator. Släden har fyra hjul i form av tätade kullager och tillverkad av ett i jämförelsevis tungt material, på så vis kan ett relevant kontakttryck mellan däck och underlag åstadkommas. Slädens längd är åtminstone två gånger hjulets diameter för att förhindra att den slår över när däcket kommer i kontakt med underlaget. Hjulet kan vara låst eller bromsat. Momentgivaren levererar värden till en dator men även sträckan som släden färdats från det att hjulet tagit mark kan mätas och omvandlas till en friktionsfaktor.



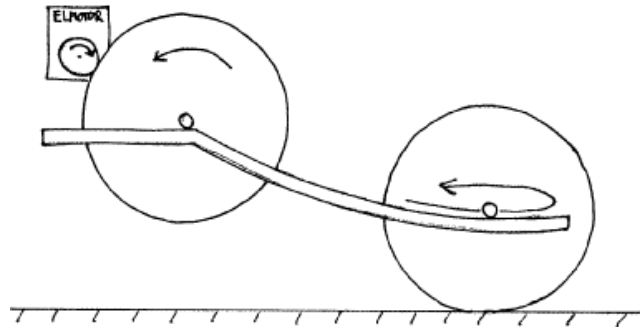
5. Ramptest 1

En elmotor accelererar upp hjulet till en bestämd hastighet. Mät hjulets genomgående axel är lagrad med kullager i ändarna och vilar på två bågformade skenor. När hjulet når botten på bågen tar mönstret i underlaget hjulet accelereras longitudinellt. Ju högre hjulet kommer på upp på rampen desto större friktion har uppstått mellan väglaget och däcket. Höjden kan mätas antingen via sensorer eller med hjälp av en kamera. Konceptet kräver en mycket exakt inställningsprocedur då alla hjul skall ha samma sträcka att vara i markkontakt vilket kommer att bero på däckets radie.



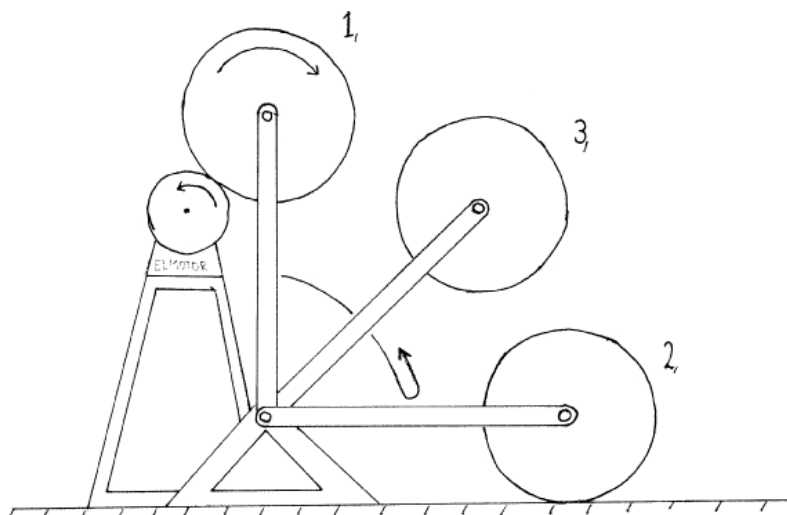
6. Ramptest 2

Likt föregående koncept accelereras hjulet till en bestämd hastighet med hjälp av en elmotor, skillnaden är att hjulet roteras åt andra hållet. På så vis kommer hjulet att åka upp på samma ramp som det kom ner ifrån. Riggen kan på så vis bli mindre, lättare och smidigare. Precis som Ramptest 1 kan höjden mätas med hjälp av sensorer eller kamera. Likt tidigare nämnda koncept är Ramptest 2 känsligt för höjdställningen men tros inte vara riktigt lika beroende av detta då ett däck med bra grepp vänder snabbare. En tänkbar alternativ mätning är att mäta sträckan som hjulet är i kontakt med underlaget.



7. Kontrollerad studs

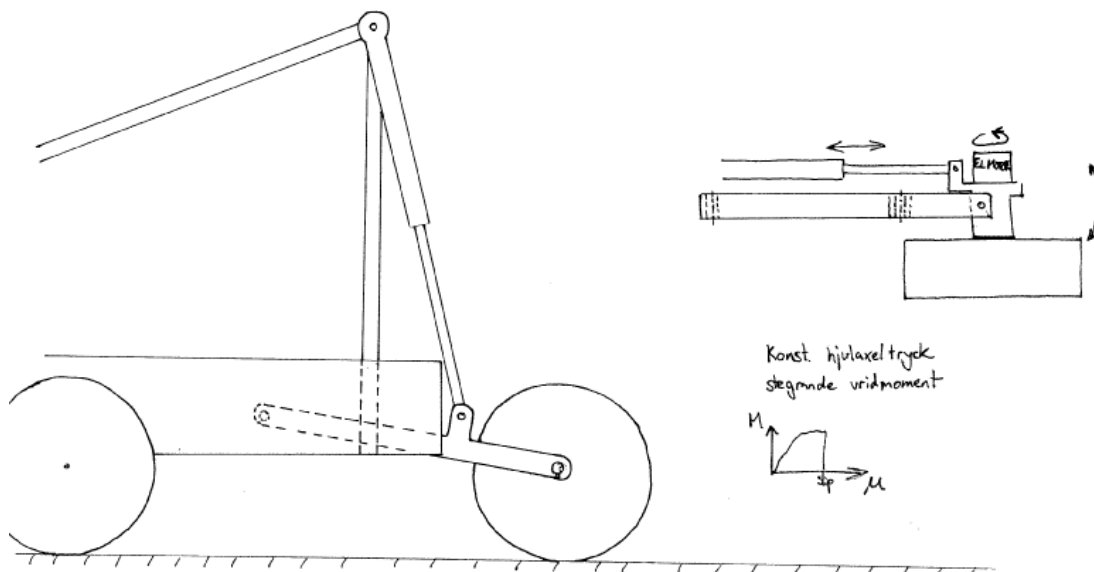
Detta koncept bygger på en motor av något slag, t.ex. en elmotor accelererar hjulet till en bestämd hastighet. Sedan släpps armen i vilken hjulet är fäst att falla mot väglaget. Beroende på hur stor friktion som uppstår kommer en studs att uppstå. Den vinkel mot horisontalplanet som armen vänder vid kan sedan översättas till friktionen. Detta kan mätas med hjälp av en kamera alternativt med elektriska sensorer. Viktigt är att testriggen utvecklas på ett sådant sätt att den står stadigt då ett däck som uppnår hög friktion kan tänkas rubba testriggen ur sitt läge. Detta skulle påverka testets resultat till det sämre och medför att repeterbarheten och jämförbarheten inte blir fullt så goda som väntat.



8. Hydraulstyrd arm 1

En arm är i ena änden monterad i släpvagnen, i motstående ända sitter mät hjulet och en elektrisk motor. Med hjälp av en hydraulcylinder kan ett önskvärt tryck läggas på hjulet. Armen har en lastcell och när elmotorn börjar arbeta kan en kurva över kraft/spänning i armen som funktion av tiden ges. Denna kraft kan översättas till friktionen mellan däck och väglag.

Alternativt kan konceptet utarbetas för utveckling av en dragkroksutrustning. Med en kulhandske avsedd för en släpvagn eller dylikt och en övre infästningspunkt i ett takräcke skulle utrustningen kunna anpassas för användning på i princip vilken bilmodell som helst. Konceptet kan även kompletteras med en anordning för mätning av den kraft som krävs för att svänga hjulet. Detta skulle motsvara hur pass hur trögt det skulle bli att vrida hjulen när bilen står still t.ex. inför en fickparkering

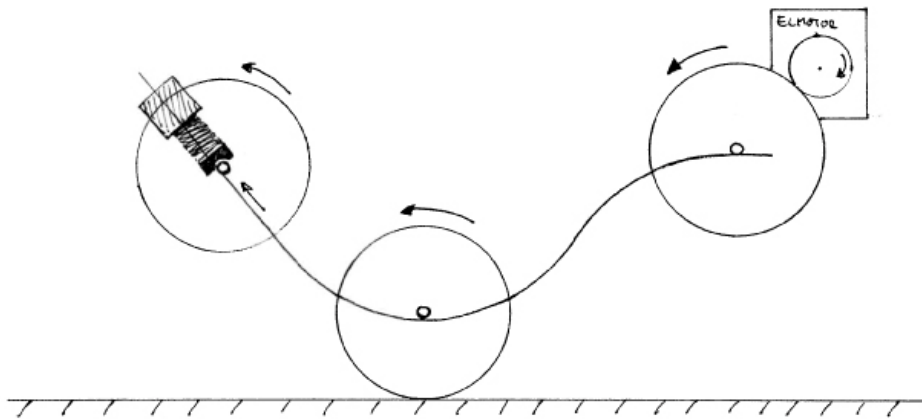


9. Hydraulstyrd arm 2

Liknande konstruktion som ovanstående koncept fast utvecklad med andra specifikationer. Med konstant rotationshastighet på mät hjulet och varierbart tryck på hjulaxeln via hydraulcylindern kan friktionen mätas med hjälp av t.ex. en momentgivare i axeln eller en lastcell i armen. Viktigt för båda dessa koncept är att fordonet klarar av att motstå den påtryckande kraften och inte kommer i rörelse.

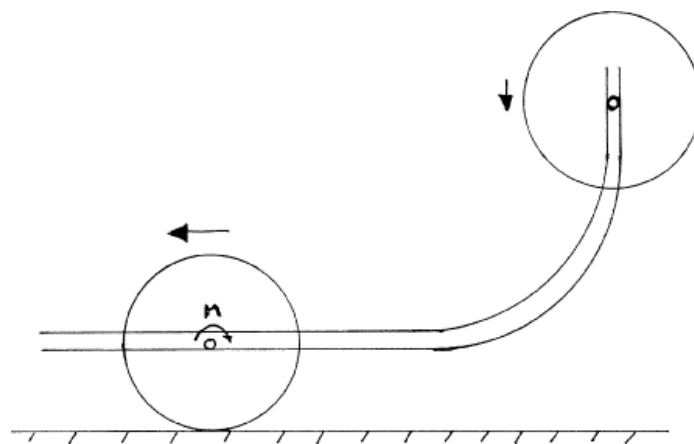
10. Marktouch

Påminner om *Ramptest 1* men istället för att mäta hur högt hjulet kommer, monteras istället en dämpare som mäter uppnådd rörelseenergi hos däckets när det stoppas. Extra viktigt är att däckets markkontakt sker tangentiellt för att ingen studs skall uppkomma. Konceptet är ganska känsligt för att inte ställas upp korrekt. Det är viktigt att de olika däckerna kommer i kontakt med underlaget lika mycket så att jämförbarheten blir god. En möjlighet är att utveckla konceptet så att "uppförsbacken" blir varierbar och justerbar för optimering. Detta skulle motverka att däckerna inte klarar av att nå sensorn vid de tillfällen då lägre friktion uppstår.



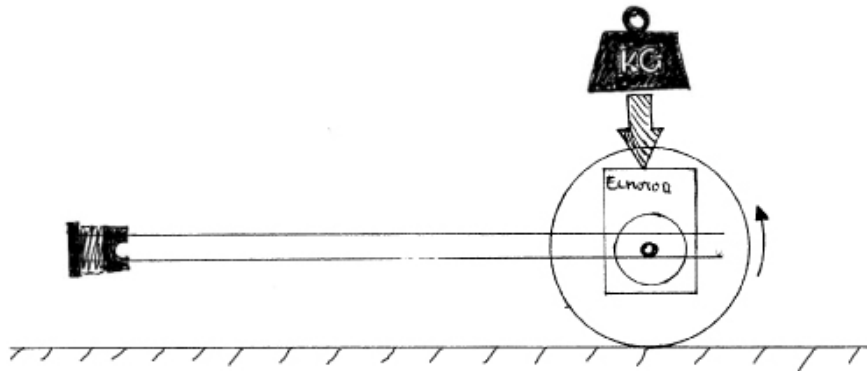
11. Momentglidaren

Måthjulet är fäst på en genomgående axel som är försedd med momentgivare. Axeln är i sin tur lagrad för att rulla lätt i den skenkonstruktion som kommer att användas. Det stillastående hjulet släpps från en bestämd höjd och får sedan falla/glida i skenan. När hjulets yta tangerar underlaget kommer ett moment uppkomma mellan hjul och axel som är låsta i rotationsaxeln. Från detta moment kan sedan jämförelser samt friktionsberäkningar ske. Konceptet måste med stor noggrannhet ställas upp inför test så att de olika hjulen med varierande mått tar mark med samma infallsvinkel.



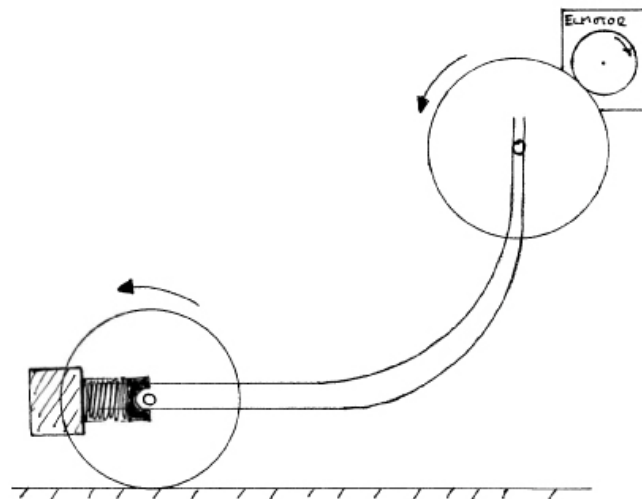
12. Markacceleration

I detta koncept sitter hjulet på ett nav drivet av en elmotor. Två skenor, en på var sida om hjulet, ser till att hjulet håller rätt riktning och ger stabilitet till den del av mätutrustningen som är i rörelse. Efter montering av hjul kommer det att vara i direkt kontakt med underlaget. Med hjälp av elmotorn kommer sedan hjulet accelereras en bestämd sträcka för att sedan uppfångas och uppmäta t.ex. sluthastighet, rörelseenergi, mm. Möjlighet att kunna addera vikt för att öka marktrycket kan vara en bra idé.



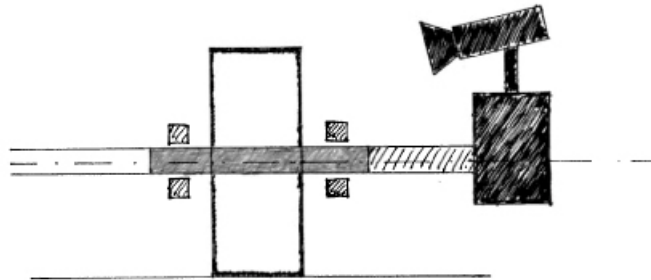
13. Accelerometer

Denna lösning är en kombination av koncept 10 och 12. Hjulet kommer av en elmotor att sättas i rotation och vid uppnådd hastighet att släppas i en skenkonstruktion. När hjulet tangerar underlaget kommer det börja accelerera. Efter en viss sträcka stannas det hela upp av en dämpare som mäter diverse intressant. Den böjda skenan motverkar att hjulet börjar studsas och förbättrar därmed jämförbarheten mellan de olika däck.



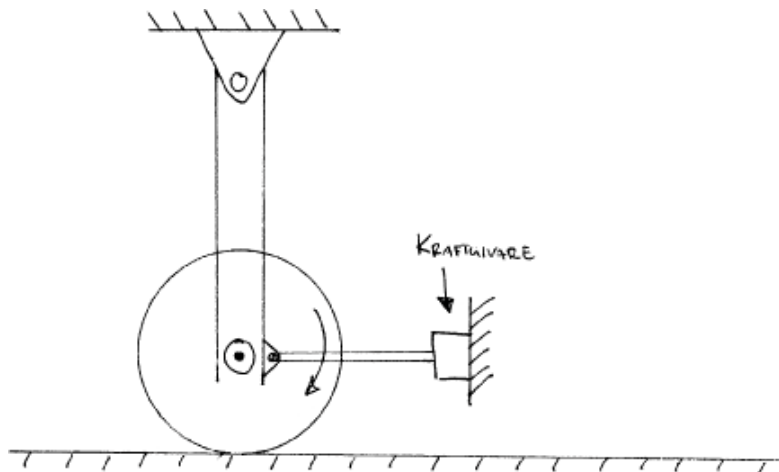
14. Rörlig kamera

Detta är ett tilläggskoncept för hur man skulle kunna montera en höghastighetskamera på vissa av tidigare presenterade koncept. I änden på den genomgående axeln skarvas en lagrad del på som håller upp en modul innehållande en höghastighetskamera. På detta sätt kommer kameran att följa med och observera hela händelseförloppet från början till slut. Beroende på vad som är intressant att studera kan kameran justeras i olika lägen för det som passar det specifika ändamålet.



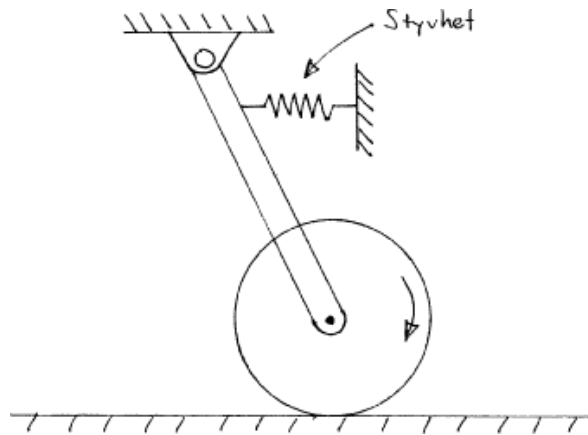
15. Fast vertikal skena

Hjulet är antingen konstant drivet av en motor eller uppaccelererat i luften innan en last i form av en dödvikt eller hydraulik anläggs. Friktionen och rotationen vill driva däckets i horisontell riktning vilket motverkas av en stum kraftgivare. Skenan/gejderen i vilken hjulaxeln viktanläggs är i sin övre ända fastsatt med en friktionsfri led. Viktigt för att erhålla goda resultat är att testtriggen står stabilt och inte kommer i rörelse då däckets får kontakt med testunderlaget.



16. Flexibel medföljande skena

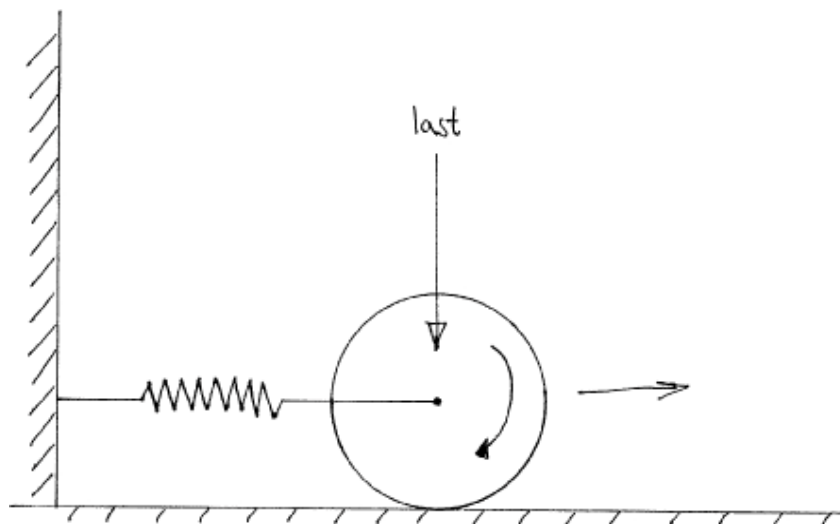
Hjulet sätts i rotation utan markkontakt. En last, dödvikt eller hydraulik, anläggs och däckets trycks ner mot underlaget. Friktionen gör att däckets vill röra sig horisontellt. Detta tillåts och därmed skapas en naturlig rörelse vid ett visst G . En styvhet skapar ett motstånd, ev. kan kraften mätas i styvheten. Mätning kan också ske optiskt.



17. Dynawheel

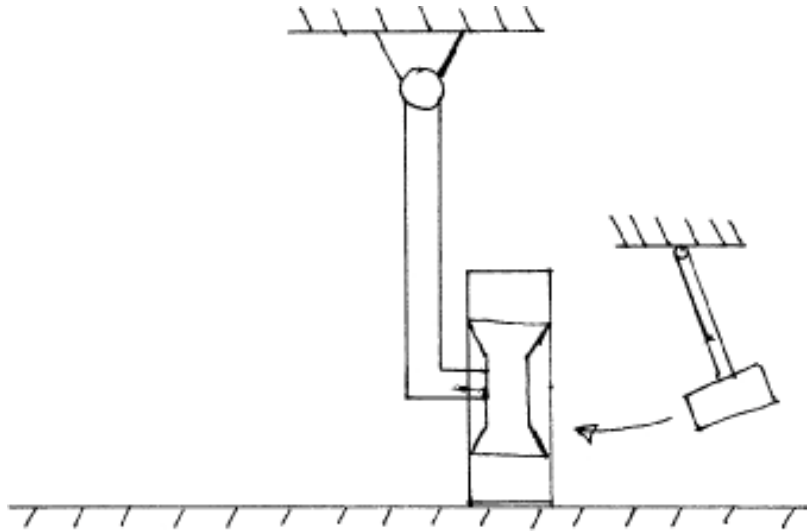
Däckets spinns upp till rätt varvtal och sätts sedan i kontakt med underlaget. En horisontell rörelse som bromsas av fjädern erhålls. Sträckan som däckets rör sig är ett mått på friktionen. Fjädern kan på detta vis betraktas som en dynamometer.

Konceptet kräver i detta enkla utförande inga avancerade mätinstrument. Under ett och samma test kan olika typer av G erhållas.



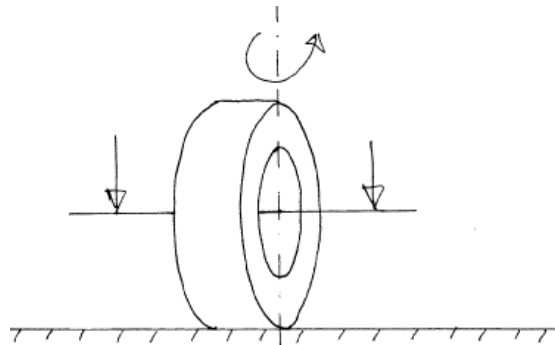
18. Sidekick

Konceptet Sidekick kan fungera som tillägg till vissa av de andra koncepten, t.ex. "Fast vertikal skena". Idén bygger på att ge däcket en knuff från sidan med en typ av "klubba" samtidigt som däcket börjar bromsa. Eventuellt bidrar knuffen att däcket tappas greppet i rullriktningen.



19. Piruetten

Detta koncept kan fungera som tillägg till ett annat koncept eller som en egen rigg för att mäta vridmotstånd, egentligen som vriddetaljen på Hydraulstyrd arm.



Bilaga V – Viktningsmatrix gallrade koncept

Viktning				Koncept:																
				1		2		7		8		12		15		16		17		
Nr. i Krav-specen	Beskrivning	Viktning		Poäng (0-5)	Viktad poäng	Poäng (0-5)	Viktad poäng	Poäng (0-5)	Viktad poäng	Poäng (0-5)	Viktad poäng	Poäng (0-5)	Viktad poäng	Poäng (0-5)	Viktad poäng	Poäng (0-5)	Viktad poäng	Poäng (0-5)	Viktad poäng	
1 Funktionskrav		1-5	%																	
1.1*	Klara av ett typiskt vinterklimat - kyla, snö, salt	5	6,3	5	0,31	5	0,31	5	0,31	4	0,25	4	0,25	4	0,25	4	0,25	5	0,31	
1.2*	Testet skall ske med stillastående rigg.	5	6,3	5	0,31	5	0,31	5	0,31	5	0,31	5	0,31	5	0,31	5	0,31	5	0,31	
1.3	Utförda tester skall tydligt gå att jämföras med varandra (robust och stabil)	4	5,0	4	0,20	4	0,20	3	0,15	4	0,20	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15	
1.4	Enkel och okomplicerad lösning, få inverkande delar som påverkar mätningen.	4	5,0	5	0,25	5	0,25	4	0,20	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15	4	0,20	
1.5	Testutrustningen skall kunna användas i labbmiljö.	3	3,8	3	0,11	3	0,11	4	0,15	2	0,08	4	0,15	4	0,15	4	0,15	5	0,19	
1.6	Mätning av transversell friktion som uppkommer vid stillastående vridning av hjul.	2	2,5	0	0,00	0	0,00	0	0,00	5	0,13	2	0,05	2	0,05	2	0,05	0	0,00	
1.7	Utvecklingsbar testutrustning (framtidsperspekt)	2	2,5	1	0,03	1	0,03	2	0,05	4	0,10	3	0,08	3	0,08	3	0,08	1	0,03	
Delpoäng		25	31,3	23		1,21	23	1,21	23	1,18	27	1,21	24	1,14	24	1,14	24	1,14	23	1,19
Delranking				1			1		5		1		6		6		6		4	

2		Mättningskrav																		
2.1*	Karaktisering av underlaget skall kunna utföras enkelt, t.ex. mätarea, yt-, lufttemperatur, luftfuktighet.	5	6,3		5	0,31	5	0,31	5	0,31	5	0,31	3	0,19	5	0,31	5	0,31	3	0,19
2.2	På ett eller flera sätt mäta upp friktionen så verklighetstroget som möjligt.	5	6,3		1	0,06	1	0,06	1	0,06	3	0,19	3	0,19	2	0,13	1	0,06	1	0,06
2.3	De utförda testen skall ha god repeterbarhet, ju färre inverkande faktorer desto bättre.	4	5,0		2	0,10	3	0,15	2	0,10	4	0,20	4	0,20	2	0,10	2	0,10	2	0,10
2.4	Enkel dokumentation med höghastighetskameror.	3	3,8		5	0,19	5	0,19	5	0,19	5	0,19	5	0,19	5	0,19	5	0,19	5	0,19
2.5	Utrustningen skall noggrant kunna mäta upp friktionstalet mellan däck och underlag	3	3,8		2	0,08	2	0,08	2	0,08	4	0,15	4	0,15	3	0,11	2	0,08	2	0,08
2.6	De mätdata som samlas in under en mätning skall på snabbt och informativt sätt kunna utläsas på en dator.	3	3,8		0	0,00	0	0,00	2	0,08	4	0,15	4	0,15	4	0,15	4	0,15	0	0,00
Delpoäng		23	28,8		15	0,74	16	0,79	17	0,81	25	1,19	23	1,06	21	0,99	19	0,89	13	0,61
Delranking					7		6		5		1		2		3		4		8	
3		Handhavandekrav																		
3.1	Testutrustningen skall vara lätt att flytta så att nya testunderlag enkelt kan erhållas, detta för att inte återanvända ”förbrukad” yta.	5	6,3		4	0,25	5	0,31	3	0,19	3	0,19	3	0,19	3	0,19	3	0,19	3	0,19
3.2	Testet skall gå snabbt att utföra så att ett flertal däck kan testas på kort tid.	4	5,0		5	0,25	5	0,25	4	0,20	4	0,20	3	0,15	3	0,15	3	0,15	4	0,20
3.3	En person skall lätt kunna utföra testerna själv utan att oergonomiska situationer uppstår vid hjulbyten och iordningställning.	4	5,0		3	0,15	4	0,20	4	0,20	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15	4	0,20

3.4	Test skall gå att genomföra utan att förberedelserna är alltför invecklade, såsom uppställning och justering mot underlaget.	3	3,8	5	0,19	5	0,19	4	0,15	3	0,11	3	0,11	3	0,11	3	0,11	4	0,15
	Delpoäng	16	20,0	17	0,84	19	0,95	15	0,74	13	0,65	12	0,60	12	0,60	12	0,60	15	0,74
	Delranking			2		1		3		5		6		6		6		3	
4 Konstruktionskrav																			
4.1	Klara av olika däck- och fälgdimensioner	4	5,0	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25
4.2	Klara av underhållning/ rengöring utan att komponenter tar skada.	4	5,0	5	0,25	5	0,25	4	0,20	4	0,20	4	0,20	3	0,15	3	0,15	5	0,25
4.3	Låg helhetskostnad	4	5,0	5	0,25	5	0,25	4	0,20	2	0,10	3	0,15	3	0,15	3	0,15	4	0,20
4.4	Okomplicerad procedur för att ändra bultdelningen.	2	2,5	5	0,13	5	0,13	5	0,13	5	0,13	5	0,13	5	0,13	5	0,13	5	0,13
4.5	Lätt att skapa tilltalade design på tänkt stomme.	2	2,5	3	0,08	4	0,10	3	0,08	3	0,08	3	0,08	2	0,05	2	0,05	2	0,05
	Delpoäng	16	20,0	23	0,95	24	0,98	21	0,85	19	0,75	20	0,80	18	0,73	18	0,73	21	0,88
	Delranking			2		1		4		6		5		7		7		3	
	Summa totalt	80	100,0																
Total poäng		78	3,74	82	3,93	76	3,58	84	3,80	79	3,60	75	3,45	73	3,35	72	3,41		
Ranking		3		1		5		2		4		6		8		7			
Fortsatt arbete		nej		JA		nej		nej		nej		nej		nej		nej			

Bilaga VI – Viktmatrix, jämförande

Viktningssmatrix - Jämförelse, förstudiekoncept (1**)																					
		Koncept:		1		2		7		8		12		15		16		17		1**	
Nr. i Krav-specen	Beskrivning	Viktning		Poäng (0-5)	Viktad poäng	Poäng (0-5)	Viktad poäng	Poäng (0-5)	Viktad poäng	Poäng (0-5)	Viktad poäng	Poäng (0-5)	Viktad poäng	Poäng (0-5)	Viktad poäng	Poäng (0-5)	Viktad poäng	Poäng (0-5)	Viktad poäng	Poäng (0-5)	Viktad poäng
1	Funktionskrav	1-5	%																		
1.1*	Klara av ett typiskt vinterklimat - kyla, snö, salt	5	6,3	5	0,31	5	0,31	5	0,31	4	0,25	4	0,25	4	0,25	4	0,25	5	0,31	4	0,25
1.2*	Testet skall ske med stillastående rigg.	5	6,3	5	0,31	5	0,31	5	0,31	5	0,31	5	0,31	5	0,31	5	0,31	5	0,31	0	0,00
1.3	Utförda tester skall tydligt gå att jämföras med varandra (robust och stabil)	4	5,0	4	0,20	4	0,20	3	0,15	4	0,20	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15	5	0,25
1.4	Enkel och okomplicerad lösning, få inverkande delar som påverkar mätningen.	4	5,0	5	0,25	5	0,25	4	0,20	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15	4	0,20	2	0,10
1.5	Testutrustningen skall kunna användas i labbmiljö.	3	3,8	3	0,11	3	0,11	4	0,15	2	0,08	4	0,15	4	0,15	4	0,15	5	0,19	0	0,00
1.6	Mätning av transversell friktion som uppkommer vid stillastående vridning av hjul.	2	2,5	0	0,00	0	0,00	0	0,00	5	0,13	2	0,05	2	0,05	2	0,05	0	0,00	5	0,13
1.7	Utvecklingsbar testutrustning (framtidsperspektiv)	2	2,5	1	0,03	1	0,03	2	0,05	4	0,10	3	0,08	3	0,08	3	0,08	1	0,03	5	0,13
Delpoäng		25	31,3	23	1,21	23	1,21	23	1,18	27	1,21	24	1,14	24	1,14	24	1,14	23	1,19	21	0,85
Delranking				1		1		5		1		6		6		6		4		(9)	

2		Mättningskrav																				
2.1*	Karakterisering av underlaget skall kunna utföras t.ex. yt-, lufttemperatur, luftfuktighet mm. (framtidsspekt)	5	6,3		5	0,31	5	0,31	5	0,31	5	0,31	3	0,19	5	0,31	5	0,31	3	0,19	5	0,31
2.2	Enkel dokumentation med höghastighetskameror.	3	3,8		5	0,19	5	0,19	5	0,19	5	0,19	5	0,19	5	0,19	5	0,19	5	0,19	5	0,19
2.3	På ett eller flera sätt mäta upp friktionen så verklighetstroget som möjligt.	5	6,3		1	0,06	1	0,06	1	0,06	3	0,19	3	0,19	2	0,13	1	0,06	1	0,06	5	0,31
2.4	De utförda testen skall ha god repeterbarhet, ju färre inverkan faktorer desto bättre.	4	5,0		2	0,10	3	0,15	2	0,10	4	0,20	4	0,20	2	0,10	2	0,10	2	0,10	5	0,25
2.5	Utrustningen skall noggrant kunna mäta upp friktionstalet mellan däck och underlag	3	3,8		2	0,08	2	0,08	2	0,08	4	0,15	4	0,15	3	0,11	2	0,08	2	0,08	5	0,19
2.6	De mätdata som samlas in under en mätning skall på snabbt och informativt sätt kunna utläsas på en dator.	3	3,8		0	0,00	0	0,00	2	0,08	4	0,15	4	0,15	4	0,15	4	0,15	0	0,00	5	0,19
Delpoäng		23	28,8		15	0,74	16	0,79	17	0,81	25	1,19	23	1,06	21	0,99	19	0,89	13	0,61	30	1,44
Delranking					7		6		5		1		2		3		4		8		(1)	
3		Handhavandekrav																				
3.1	Testutrustningen skall vara lätt att flytta så att nya testunderlag enkelt kan erhållas, detta för att inte återanvända ”förbrukad” yta.	5	6,3		4	0,25	5	0,31	3	0,19	3	0,19	3	0,19	3	0,19	3	0,19	3	0,19	4	0,25
3.2	Testet skall gå snabbt att utföra så att ett flertal däck kan testas på kort tid.	4	5,0		5	0,25	5	0,25	4	0,20	4	0,20	3	0,15	3	0,15	3	0,15	4	0,20	3	0,15
3.3	En person skall lätt kunna utföra testerna själv utan att oergonomiska situationer uppstår vid hjulbyten och iordningställning.	4	5,0		3	0,15	4	0,20	4	0,20	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15	4	0,20	5	0,25

Utveckling av testrigg för mätning
av däckfriktion mot vinterväglag

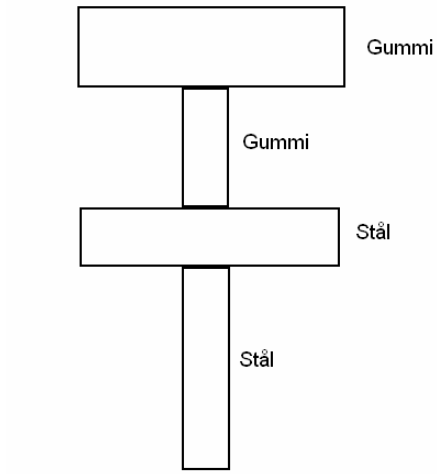
Bilaga VI – Viktmatrix, jämförande

3.4	Test skall gå att genomföra utan att förberedelserna är alltför invecklade, såsom uppställning och justering mot underlaget.	3	3,8	5	0,19	5	0,19	4	0,15	3	0,11	3	0,11	3	0,11	3	0,11	4	0,15	5	0,19
Delpoäng		16	20,0	17	0,84	19	0,95	15	0,74	13	0,65	12	0,60	12	0,60	12	0,60	15	0,74	17	0,84
Delranking				2		1		3		5		7		7		7		3		(2)	
4	Konstruktionskrav																				
4.1	Klara av olika däck- och fälgdimensioner	4	5,0	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25
4.2	Klara av underhållning/ rengöring utan att komponenter tar skada.	4	5,0	5	0,25	5	0,25	4	0,20	4	0,20	4	0,20	3	0,15	3	0,15	5	0,25	4	0,20
4.3	Låg helhetskostnad	4	5,0	5	0,25	5	0,25	4	0,20	2	0,10	3	0,15	3	0,15	3	0,15	4	0,20	1	0,05
4.4	Okomplicerad procedur för att ändra bultdelningen.	2	2,5	5	0,13	5	0,13	5	0,13	5	0,13	5	0,13	5	0,13	5	0,13	5	0,13	5	0,25
4.5	Lätt att skapa tilltalade design på tänkt stomme.	2	2,5	3	0,08	4	0,10	3	0,08	3	0,08	3	0,08	2	0,05	2	0,05	2	0,05	5	0,13
Delpoäng		16	20,0	23	0,95	24	0,98	21	0,85	19	0,75	20	0,80	18	0,73	18	0,73	21	0,88	20	0,88
Delranking				2		1		4		6		5		7		7		3		(3)	
Summa totalt		80	100,0																		
Total poäng				78	3,74	82	3,93	76	3,58	84	3,80	79	3,60	75	3,45	73	3,35	72	3,41	88	4,00
Ranking				3		1		4		2		4		6		8		7		(1)	
Fortsatt arbete																					

Bilaga VII - Masströghetsmoment

Beräkning av masströghetsmomentet

Ett approximativt värde på I , masströghetsmomentet beräknades där fälg och däck betraktades som skivor och skal enl. figur nedan. Detta borde ge ett ungefärligt masströghetsmoment för hjulet och användbart vid beräkningar. Däckets mönstrade kontaktyta samt fälgbanan betraktas som ett cylindriskt skal, däcksidorna och resten av fälgen kan studeras som en skivor.



Beräkningarna avser ett hjul av standard mått. Fälgen är 16 tum i diameter och bredden på däckets är 195mm. Däckets profil är satt till 50 % av däckbredden.

Beräkning av masströghetsmomentet för den del av fälgen som kan betraktas som en cylindrisk skiva:

$$I_{stål1} = \frac{m \cdot r^2}{2}$$

$$m = V \cdot \rho = \pi \cdot r^2 \cdot t \cdot \rho$$

$$\Rightarrow I_{stål1} = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot t \cdot \rho}{2}$$

$$t = 0.003m$$

$$r = 0.2032m$$

$$\rho_{stål} = 7800kg / m^3$$

$$I_{stål1} = 0.0627kg \cdot m^2$$

Beräkning av masströghetsmomentet för den del av fälgen som betraktas som ett cylindriskt skal:

$$I_{stål2} = m \cdot r^2$$

$$m = V \cdot \rho_{stål} = (\pi \cdot r_y^2 - \pi \cdot r_i^2) \cdot b$$

$$\Rightarrow I_{stål2} = (\pi \cdot r_y^2 - \pi \cdot r_i^2) \cdot b \cdot r^2$$

$$\rho_{stål} = 7800 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$r_y = 0.2062 \text{ m}$$

$$r_i = 0.2032 \text{ m}$$

$$b = 0.195 \text{ m}$$

$$r = 0.2047 \text{ m}$$

$$I_{stål2} = 0.2459 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

På liknande sätt som ovan har masströghetsmomentet för däckets beräknats.

Nedan kan beräkningen av masströghetsmomentet för den del av däckets som kan betraktas som en cylindrisk skiva ses:

$$I_{gummi1} = I_{yttre} - I_{inre} = \frac{m \cdot r_{yttre}^2}{2} - \frac{m \cdot r_{inre}^2}{2}$$

$$m = V \cdot \rho = \pi \cdot r^2 \cdot t \cdot \rho$$

$$\Rightarrow I_{gummi1} = \frac{\pi \cdot r_{yttre}^4 \cdot t \cdot \rho}{2} - \frac{\pi \cdot r_{inre}^4 \cdot t \cdot \rho}{2} = \frac{\pi \cdot \rho \cdot t}{2} \cdot (r_{yttre}^4 - r_{inre}^4)$$

$$t = 2 \cdot 0.005 = 0.010 \text{ m}$$

$$r_{yttre} = 0.3007 \text{ m}$$

$$r_{inre} = 0.2032 \text{ m}$$

$$\rho_{gummi} = 480 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\Rightarrow I_{gummi1} = 0.0488$$

Beräkning av masströghetsmomentet för den del av däckets som betraktas som ett cylindriskt skal:

$$I_{gummi2} = m \cdot r^2$$

$$m = V \cdot \rho_{gummi} = (\pi \cdot r_y^2 - \pi \cdot r_i^2) \cdot b$$

$$\Rightarrow I_{gummi2} = (\pi \cdot r_y^2 - \pi \cdot r_i^2) \cdot b \cdot r^2$$

$$\rho_{gummi} = 480 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$r_y = 0.3067 \text{ m}$$

$$r_i = 0.2947 \text{ m}$$

$$b = 0.195 \text{ m}$$

$$r = 0.3007 \text{ m}$$

$$I_{gummi2} = 0.1966 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Hjulets totala masströghetsmoment är summan av de fyra ovan beräknade massmomenttrögheterna. Hjulet är i detta fall förenklat för att underlätta uträkningen men är dock tillräckligt exakt för att kunna användas.

$$I_{total} = \sum I = I_{stål1} + I_{stål2} + I_{gummi1} + I_{gummi2} = 0.5539 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Bilaga VIII - Ritningar

