



CHALMERS



Friktionshöjande texturering av träytor

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

ASHRAF IBRAHIM
SIMON TUVESTAD

INSTITUTIONEN FÖR
MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023
www.chalmers.se

KANDIDATARBETE 2023

Friktionshöjande texturering av träytor

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

ASHRAF IBRAHIM

SIMON TUVESTAD

Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper

Avdelningen för fordonssäkerhet

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2023

Friktionshöjande texturering på träytor
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik
ASHRAF IBRAHIM
SIMON TUVESTAD

© ASHRAF IBRAHIM, 2023
© SIMON TUVESTAD, 2023

Kandidatarbete 2023
Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper
Avdelningen för fordonssäkerhet
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Omslag:
Modular Cycling, <https://www.modularcycling.eu/koldioxidneutral/>

Tryckeri /Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper
Göteborg, Sverige 2023

Sammanfattning

Trä har använts som byggmaterial i flera tusen år och är fortfarande än idag ett av de mest använda materialen runt om i världen. Efterfrågan på användningen av trä har ökat markant de senare åren på grund av dess låga miljöpåverkan. Men på grund av träets dåliga rykte när det gäller friktion under våta förhållanden gör att man avstår från att använda det som underlag. Syftet med denna rapport är att öka förståelsen kring friktionen på träet vid blöta förhållanden och om det finns åtgärder som kan implementeras på ytan för att öka friktionen vid dessa dåliga förhållanden.

I det här arbetet används primärt tre olika metoder för att försöka öka friktionen på träet vid blöta förhållanden, de tre metoderna är pressning, blästring och bränning. Det togs totalt fram tre olika mönster för pressning, två olika blästringsmaterial och totalt åtta olika provbitar för bränning. Alla provbitarna testades därefter i en Slip Resistant Tester (SRT) för att få fram friktionskoefficienten. Provbitarna testades primärt i tre olika riktningar, 0 grader med fiberriktningen på träet, 45 grader mot fiberriktningen och 90 grader vinkelrätt mot fibrerna. Några av provbitarna sattes i vatten under olika långa perioder för att se hur friktionen påverkades när träet drog åt sig vatten.

Den bäst presterande provbiten var en av dem som brändes. Denna provbit testades även i riktningarna 22,5 och 67,5 grader. Totalt gjordes ungefär 600 tester med SRT och resultaten från varje testad metod presenteras i diagram.

Nyckelord: Friktion, friktionskoefficient, Slip Resistant Tester, fordonsdynamik, fiberriktning

Abstract

Wood has been used as a building material for thousands of years and is still today one of the most widely used materials around the world. The demand for wood utilization has significantly increased in recent years due to its low impact on the environment. However, due to wood's poor reputation when it comes to friction under wet conditions, it is avoided as a surface-material. The purpose of this report is to increase the understanding of the friction on wood in wet conditions and to identify measures that can be implemented on the surface to increase friction under these bad conditions.

In this study three primary methods are used to attempt to increase the friction on wood under wet conditions, the methods are pressing, blasting and burning. In total three different pressing patterns, two different blasting materials and eight different burnt test pieces were developed. All test pieces were then evaluated using a Slip Resistant Tester (SRT) to determine the coefficient of friction. The test pieces were primarily tested in three different orientations, 0 degrees with the grain direction of the wood, 45 degrees against the grain direction and 90 degrees perpendicular to the fibers. Some of the test pieces were submerged in water for varying long periods to observe how the friction was affected when the wood absorbed water.

The best performing test piece was one of the burned pieces. This test piece was also tested at 22,5 and 67,5 degrees. A total of approximately 600 tests were conducted using the SRT and the results from each tested method are presented in diagrams.

Keywords: Friction, frictional coefficient, Slip Resistant Tester, vehicle dynamics, grain direction

Förord

I detta arbete riktar vi, författarna, vårt uppriktiga tack till de personer som hjälpt oss att slutföra uppgiften väl, utan er skulle vi inte kunna skriva detta förord, som är slutpunkten för detta projekt.

Vi vill tacka vår examiner Robert Thomson för all tid och material som han hjälpte oss med och vår handledare Jean Huvelle från Modular Cycling AB för att vi fick chansen att utföra vårt examensarbete i hans företag och all hjälp som han gav med glädje. Vi vill också tacka Göran Berggren och Viveca Wallqvist från RISE som hjälpte oss med tester och provbitar och mycket information. Vi vill säga att det är tack vare er hjälp som den här rapporten färdigställs.

Slutligen vill vi tacka all personal och lärare som var en del av programmet Maskinteknik för alla kunskaper som vi fick lära oss genom de tre åren för att kunna skriva denna typ av rapport.

Innehållsförteckning

1. Inledning	7
1.2 Syfte	7
1.3 Avgränsningar	7
2. Bakgrund och teori	8
2.1 Historia	8
2.2 Tidigare undersökningar	8
2.3 Uppbyggnad av trä	16
2.4 Grunder för SRT	16
2.5 Sammanfattning teori	17
3. Metoder	18
3.1 Framtagning av Provbitar	18
3.2 Testning av provbitar	27
4. Resultat	30
4.1 Pressning resultat	30
4.2 Bränning resultat	31
4.3 Blästring resultat	32
4.4 Resultat för speciella situationen:	33
4.5 Den vinnande provbiten	33
5. Diskussion	35
5.1 Metoddiskussion	35
5.2 Resultatdiskussion	35
6 Slutsats	37
6.1 Rekommendationer för fortsatt studie	37
Källförteckning:	38

1. Inledning

Trä är ett av de vanligaste och mest använda materialen i världen under lång tid. Under de senaste åren har det funnits ett ökande intresse för att använda trä som material för väginfrastruktur på grund av dess positiva påverkan på klimatet och dess överflöd, speciellt i Sverige. Men på grund av farhågor om träs dåliga prestanda när det gäller friktion, avskräcktes dess användning som ytmaterial för vägar och broar. Bristen på lämpliga yttekniker för trätytor beror på svårigheten att studera den dynamiska friktionskoefficienten på träytan. Det är en komplex process och är förknippad med många påverkande faktorer som inte är väl förstådda. Därför syftar detta examensarbete till att studera de olika alternativen för att mekaniskt förbättra den dynamiska friktionskoefficienten för trätytor, i syfte att förbättra trafiksäkerheten och främja användningen av trä vid byggande av vägar till cyklar.

1.2 Syfte

Syftet med rapporten är att ta reda på hur man kan skapa bättre friktionsytor på trä, utan att lägga på ett lager med något annat material för att öka friktionen och hur olika textureringsmetoder kan användas för att öka friktionen på trätytor. Trä har ett bra etablerat rykte gällande friktion så länge materialet är torrt, men så fort det kommer vätskor eller tillväxt på materialet försämras friktionen betydligt. Rapporten kommer att försöka hitta alternativa åtgärder som kan tillämpas på ytan och därmed öka friktionskoefficienten även under försämrade förhållanden.

Genom att undersöka friktionshöjande texturering av trätytor hoppas vi kunna bidra till utvecklingen av nya tekniker för att förbättra egenskaperna på ytan hos trämaterial. Vi tror också att våra resultat kan vara användbara för att förbättra säkerheten i olika miljöer där trätytor används.

1.3 Avgränsningar

Denna rapport kommer inte att ta hänsyn till alla typer av trä, de träarter som kommer fokuseras på är furu och gran. Studien kommer inte heller att använda sig av beläggningar på ytan, utan endast försöka öka friktionskoefficienten på träytan. Testerna kommer att utföras med en typ av gummi som efterliknar hjulen på en cykel, detta för att inte behöva ta hänsyn till enskilda däckmönster. Denna del av studierna kommer att lämnas för framtida studier inom området.

2. Bakgrund och teori

I detta avsnitt kommer den teoretiska studien av friktion och fordonsdynamik att presenteras, samt ett historiskt utdrag om tidigare använda konstruktioner och tidigare studier relaterade till studiens ämne. Detta kommer att visas enligt följande:

2.1 Historia

Användning av trä för att bygga broar går tillbaka flera tusen år och över hela världen, till att börja med perserna, grekerna, romarna och kineserna. Broarna som byggdes av Julius Caesar över floden Rhen i Tyskland år 55 e.Kr. är bland de mest kända. Det mest utmärkande för träbroar under den perioden är att de är sammansatta av prefabricerade komponenter för att inom en kort period bygga en bro med en längd på cirka 140 meter och en ytbredd på cirka 6 meter (1).

Träbroar genomgick ett utvecklingsskede, med start från medeltiden fram till artonhundratalet. Då träbroar med tak byggdes i både Europa och Amerika, och de mest kända av dem är träbroarna med stora gavelkonstruktioner som spred sig under järnvägens storhetstid. I början av 1900-talet blev stål och betong de dominerande materialen för brobygge istället för trä (1). En av de mest kända broarna som fortfarande finns kvar är Kapellbrücke i Luzern, där den byggdes 1333 och används än idag som gångbro. Det är värt att notera att Kapellbrücke är en täckt bro, och detta är anledningen till att den bevarades under lång tid (2).

Under den senaste tiden, och med ökande medvetenheten om materialegenskaper och vikten av att bevara miljön, utvecklas nya metoder för att bygga träbroar som är lätta och mindre än andra broar. De kan användas för gång- och cykeltrafik för att skapa utrymme i högtrafikerade områden som saknar plats (3). En av de företagen som utvecklar användning av trä för att bygga broar och cykelbana är Modular Cycling Networks AB som har utvecklat en prototyp av prefabricerade trämoduler för att användas på cykelvägar där forskningsinstitutet RICE leder ett projekt som heter "Förenklad och hållbar cykelbanedesign utanför stadskärnor" och Modular Cycling Networks AB är en av innovationspartnerna (4).

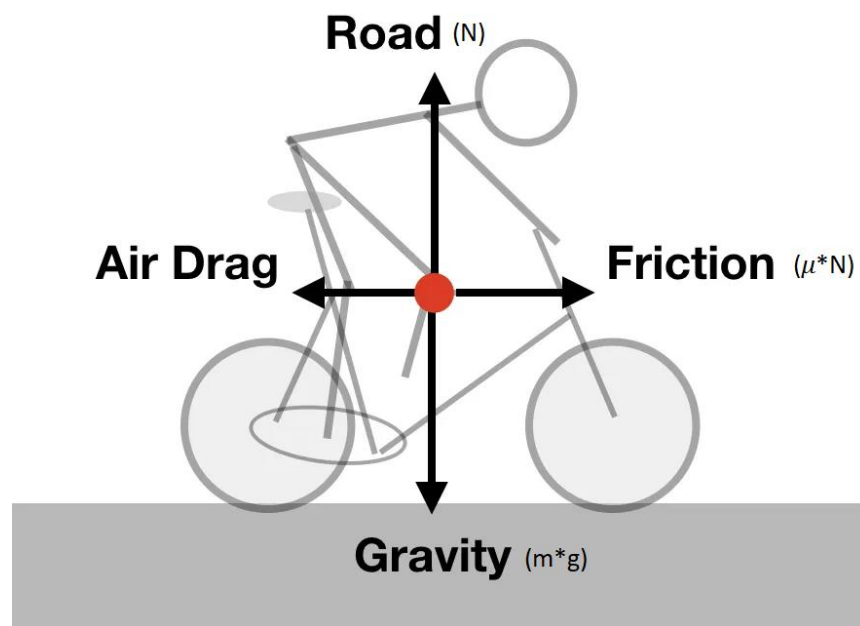
2.2 Tidigare undersökningar

I det här avsnittet studeras en del av den tidigare forskningen inom friktion och fordonsdynamik för att försöka förstå effekten av den dynamiska friktionskoefficienten på träets yta när en cykel korsar den, så att man kan hitta nya sätt att stärka friktionen på träyta.

2.2.1 Fordonsdynamik

Fordonsdynamik är ett relativt komplicerat område med väldigt många olika påverkande faktorer. I det här arbetet kommer området inte att studeras på en alltför avancerad nivå, utan mer generellt vilka krafter som påverkar på en cykel vid användning. När man transporterar sig rakt fram med en cykel finns det inte så många komplicerade krafter som verkar på cykeln och föraren. Vikten av föraren + cykeln bidrar tillsammans med gravitationskraften som är riktad ner mot marken och därmed finns en normalkraft som är lika stor men riktad uppåt mot cykelns hjul. Det finns en friktionskraft som bestäms av underlaget som cykeln färdas över och ett luftmotstånd som påverkar olika mycket beroende på hur stor ytan som cykeln + föraren tar upp. Dessa krafter kan man på ett enkelt sätt ta fram. Vet man vikten på föraren och på cykeln, kan man använda sig utav $F=m \cdot g$, där m är den sammanlagda

vikten av föraren och cykeln och g är gravitationskonstanten. Med hjälp av jämviktsvillkor i vertikalled enligt figur 1 ser man att $\sum F = 0$, vilket leder till $m \cdot g - N = 0 \Rightarrow m \cdot g = N$ alltså att de är lika stora, men motriktade. Friktionskraften är inte heller speciellt svår att ta fram om man vet vilken friktionskonstant som underlaget man färdas på har. Normalkraften vet man redan och multiplicerar man den med underlagets friktionskonstant, får man fram vilken friktionskraft som påverkar på cykeln. Kraften från luftmotståndet blir däremot mer komplicerad att ta fram. Formeln för att beräkna luftmotståndet (16) är $F_{luft} = \frac{C \cdot A \cdot \rho \cdot v^2}{2}$, där C är en luftmotståndskoefficient som beror på föremålets utformning och strömingslinje (17). luftmotståndskoefficienten tas oftast fram via experiment. A är tvärsnittsarean på kroppen, ρ är densiteten på luften och v är kroppens hastighet.



Figur 1: Krafter som påverkar vid färd framåt.

När man däremot börjar att svänga med cykeln blir påverkan på cykeln mycket mer komplicerad än i föregående situation. Om man utgår från figur 2 som referens ser man att cykeln svänger med konstant hastighet och med konstant vinkelhastigheten Ω . Styrvinkeln δ går att ta fram med hjälp av en rad ekvationer. I följande ekvationer börjar man med acceleration i y -led med tyngdpunkten som utgångspunkt:

$$a_y = \frac{v_x^2}{R} = R \cdot \Omega^2, \text{ vilket leder till att } V_x = R \cdot \Omega.$$

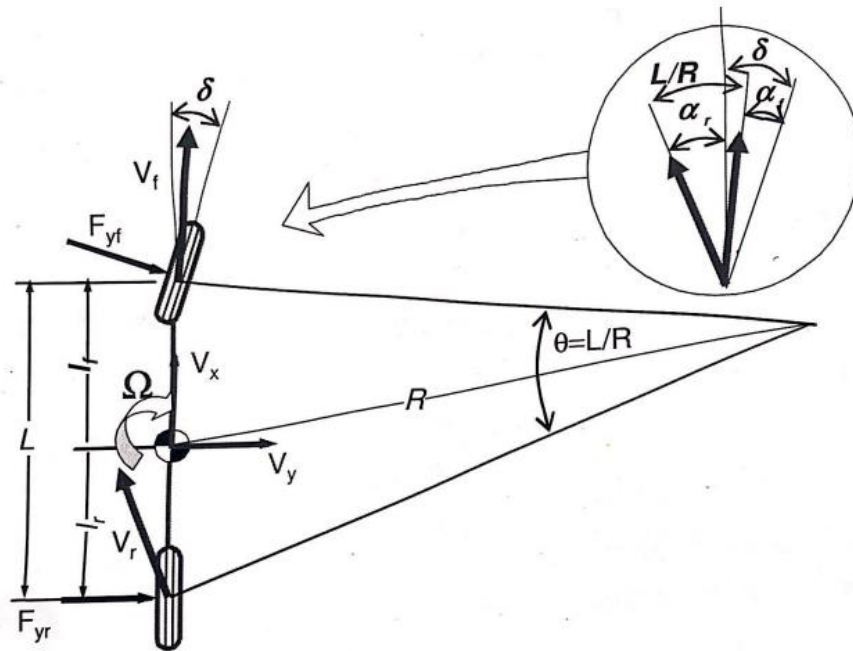
Med hjälp av Newtons andra lag kan man ta fram att sidokrafterna som påverkar på däckens blir $F_{yf} + F_{yr} = \frac{m \cdot v_x^2}{R}$ och momentekvationen blir $F_{yf} \cdot l_f - F_{yr} \cdot l_r = 0$.

Ytterligare krafter som påverkar på däckens i kurvan är cornering stiffness som blir $F_{yf} = C_{\alpha f} \cdot \alpha_r$ för det främre däckets och $F_{yr} = C_{\alpha r} \cdot \alpha_r$ för det bakre, där $C_{\alpha r}$ är cornering stiffness koefficient och α är glidvinkeln. Glidvinkeln och cornering stiffness värdena kan man ta fram genom att mäta vinkeln och genom experiment. Glidvinkeln är vinkeln mellan däckets färdriktning och fordonets åkriktning och tillsammans med cornering stiffness hjälper dom att bestämma hur snabbt man kan byta åkriktning (18).

Med hjälp av vinklarna i figur 2 kan man ta fram ett samband mellan vinklarna:

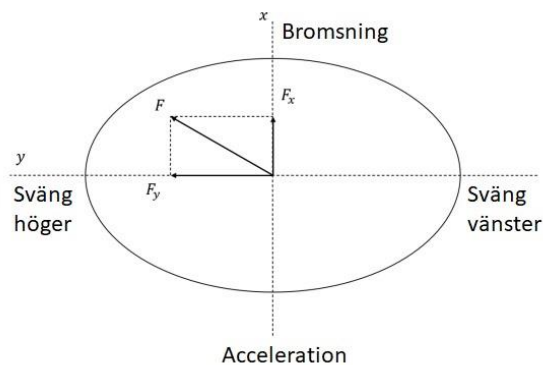
$$\delta - \alpha_f + \alpha_r = \frac{L}{R} \Rightarrow \delta - \frac{F_{yf}}{C_f} + \frac{F_{yr}}{C_r} = \frac{L}{R}$$

Vet man krafterna som påverkar på däcken, cornering stiffness koefficienten C , längden L mellan centrum på bakre och främre däck samt kurvradien R kan man med hjälp av ekvationen innan ta fram värden på vad styrvinkel blir (18).



Figur 2: Cykelmodell av en stabil sväng

Ett ytterligare viktigt samband att förstå när det kommer till friktion är friktionsellipse eller friktionscirkel, som beskriver storlek, riktning och gräns på friktionen mellan underlaget och däck. Kraften F är friktionskraften på däck och kan delas upp i två riktningar F_y och F_x . Cirkeln demonstrerar den maximala friktion som däck kan uppta; ligger friktionen precis på cirkelns kant, betyder det att däck tar upp all friktionen den kan. Använder man mer friktion än vad cirkeln tillåter och ligger utanför cirkeln, betyder det att man kommer börja slira och tappa fästet med underlaget. Riktningarna på de yttre krafterna som inbromsning, acceleration och svängning påverkar friktionscirkeln i motsatt riktning än vad den uppkommer i verkligheten, som visas i figur 3. Bromsar man in och samtidigt svänger höger kommer friktionen i friktionscirkeln att gå i samma riktning som friktionen F i figur 3. (26)

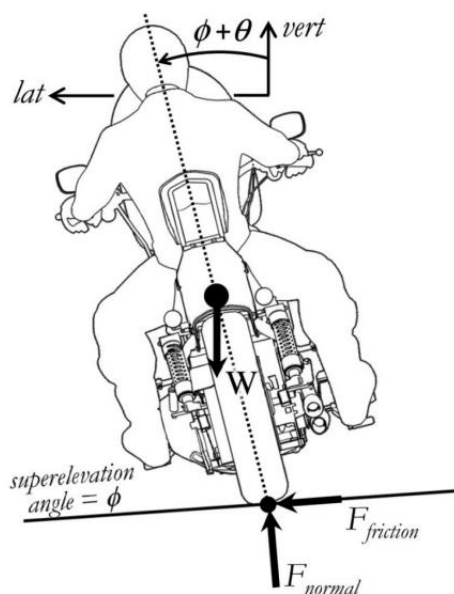


Figur 3: Friktionscirkel/friktionsellipse

2.2.1.1 Lutning av fordon och väglag

Vid svängning av ett tvåhjuligt fordon uppkommer en lutningsvinkel, som ligger mellan förarens uppriktiga position vid färd rakt fram till positionen som föraren av fordonet har i kurvan som demonstreras med vinkeln $(\Phi + \theta)$ i figur 4. Vinklarna $(\Phi + \theta)$ är fordonets lutningsvinkel adderat med väglagets lutning. En studie (19) som behandlar området kring lutningsvinkel på väg och fordon. I studien förklaras mellan vilka vinklar fordonet kan luta och vid vilken hastighet. Studien är tagen utifrån motorcykelns perspektiv och därmed kan man inte lita på de värdena i vår studie, men formlerna som de räknar med går att omvandla till relevanta för en cykel. Formeln för lutningsvinkeln blir $\theta = \arctan\left(\frac{v^2}{g \cdot R}\right)$, där v är cykelns hastighet, g är gravitationskonstanten och R är kurvradien, som i figur 2, utan att ta hänsyn till sidokrafterna och friktionskrafterna som påverkar på cykelns hjul.

En annan viktig aspekt när det gäller sväng i en kurva är skevningen som behövs på vägen för att kompensera fordonets sidokrafter. Skevningen på kurvan har inte som enda syfte att enbart kompensera för sidokrafterna som uppstår, men också att hjälpa med vattenavrinning för att hålla vägbanan mer trafiksäker. Vägbanans skevningsvinkel varierar beroende på hur snäv kurvan är och hur bra friktions underlaget har.



Figur 4: Lutningsvinkel på en tvåhjulig

Som etablerat är fordonsdynamik ett väldigt komplicerat område och det som beskrivits i denna rapport är bara en bråkdel av vad som finns att studera. Det som är viktigt att förstå är att bara för att man kan mäta friktionen på ett underlag och den överstiger en önskad nivå, betyder det inte att man kan försumma de övriga krafterna och faktorerna som också påverkar. Det är med denna information som gruppen kommer att använda sig av i metoddelen av rapporten och en av anledningarna till att gruppen inte enbart kan titta på friktionen på ett enstaka håll när det kommer till pendulum-testerna. Utan friktionen måste testas från fler vinklar för att säkerställa att underlaget är rätt tillämpat för ändamålet.

2.2.2 Friktion

2.2.2.1 Introduktion

Friktion kan definieras som den kraft som produceras när två ytor gnider mot varandra, det vill säga det är kraften som motstår glidning eller rullning av en fast kropp mot en annan. Friktion kan delas in i flera typer efter fallet, exempelvis torr friktion, vätskefriktion, smord friktion och hudfriktion (8). I denna forskning studeras torr friktion mellan två ytor eftersom det önskade målet med studien är att förbättra prestandan av friktionskoefficienten för träytor, även smord friktion är intressant eftersom trä kommer monteras utomhus och kommer utsättas för regn som kan leda till glidning, detta är liknande ifall finns smörjmedel mellan två ytor.

Friktion är involverad under en vetenskap som kallas tribologi som inkluderar flera andra ämnen, till exempel slitage, smörjsystem, etc. Leonardo Da Vinci anses vara den moderna tribologiska fader som följdes av ett stort antal pionjärer inom denna vetenskap: Guillaume Ammontus (1663-1705), Theophilus Desaguliers (1683-1744), Euler (1707-1783) och Charles-Augustin Coulomb (1736-1806). Dessa forskare bidrog till enandet av tribologi, och deras lager hjälper fortfarande till att lösa tekniska problem fram till idag (5). Några av deras upptäckter sammanfattas i tre lager som beskriver bara torr friktion:

1-Amontons första lag säger att friktionskraften ökar proportionellt med den applicerade belastningen (6)

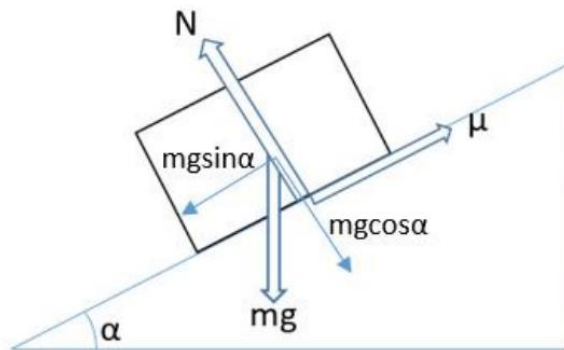
2-Amontons andra lag säger att friktionskraften inte påverkas av storleken på det kontaktområdet (6).

3- Coulombs lag säger att den kinetiska friktionen mellan två ytor är konstant oavsett hur snabbt de rör sig mot varandra (6).

Friktionskoefficienten μ är beskriven enligt följande formella:

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (a)$$

F är friktionskraft och N är normalkraft (7). När man studerar statisk friktion och önskan att bestämma friktionskoefficienten för en kropp placerad på en sluttning används vinkelfriktionsmetoden, men det finns flera faktorer som påverkar vinkelfriktionen, vilket är ytans vinkel, vikten av kropp och tillståndet på kroppens yta. Studien utförs genom att gradvis öka ytans vinkel tills kroppen börjar glida, maximal konstant friktion kan erhållas och därmed friktionskoefficient. Enligt figur 5 och sambandet (a) beräknas friktionskoefficienten enligt följande:



Figur 5: Vinkelfriktion

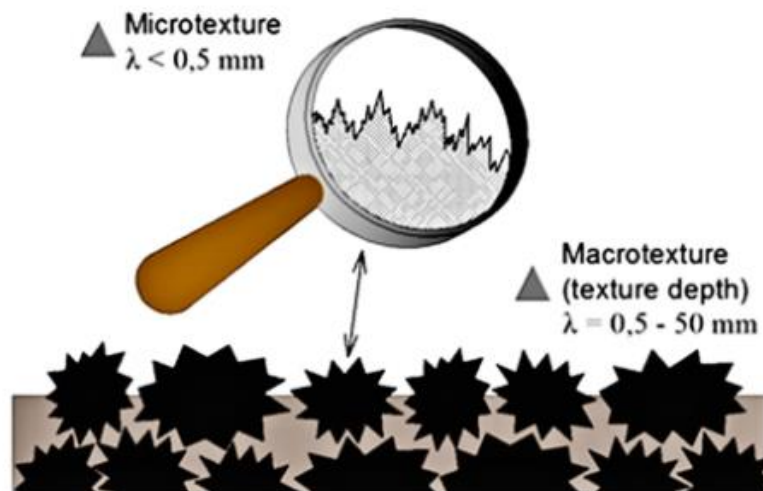
$F = mg \cdot \sin(\alpha)$ och $N = mg \cdot \cos(\alpha)$. Där m är kroppens massa, g är tyngdaccelerationen och α är lutningsvinkeln. Resultaten blir $\mu = \tan(\alpha)$ vilket säger att friktionskoefficienten varierar med lutningsvinkel. (7)

2.2.2.2 Friktionsstudier

I detta stycke kommer fokus att ligga på orsakerna som leder till ökad glidning och hur friktionen ökar på träytor.

När det kommer till halka är påverkande faktorerna många och ett exempel på det är vädret där låga temperaturer, regn och hög luftfuktighet orsakar en ökad halkning. Ett annat exempel är de material som används i byggnadsytor, eftersom friktionsegenskaperna skiljer sig från ett material till ett annat. Trafikbelastningen spelar en viktig roll då den kan orsaka mer slitage på underlaget vilket leder till ökad glidning. En av faktorerna som påverkar glidning är texturen på ytan som kan delas in i tre sektioner : mega- mikro- och makrotextur. Där var och en av dem kännetecknas av ett värde på ojämnheter som är proportionellt mot graden av dess påverkan på glidning (9). Megatextur har ojämnheter mellan 50 och 500 mm och eftersom megatextur påverkar komforten för cyklister ger detta mindre komfort om värdet överskrider den tidigare gränsen. Makrotextur påverkar friktion, rullmotståndet och komforten för cyklister, här ojämnheter storleken är 0,5–50 mm (se figur 6) (10)

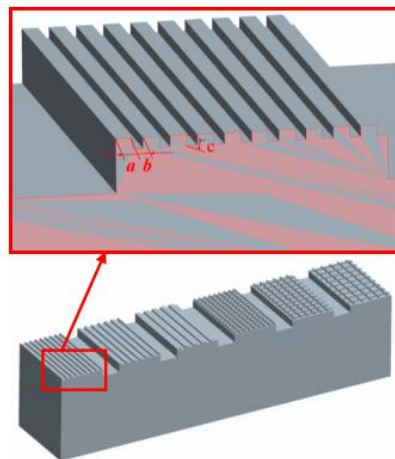
Mikrotextur hänvisar till de minsta ojämnheter på ytan som är mindre än 0,5 mm (11). Dessa ojämnheter ger en uppfattning till ytan, antingen som slät eller rå. Mikrotextur påverkar vidhäftningen (adhesionen) mellan två material och spelar en viktig roll för friktionen mellan däck och beläggningen vid låga hastigheter (mindre än 40 km/tim) på torra ytor. Detta beror på ytstrukturen och förmågan att ha skarpa kanter (12).



Figur 6: Textur av beläggningssyta och skillnader mellan makrotextur och mikrotextur (13).

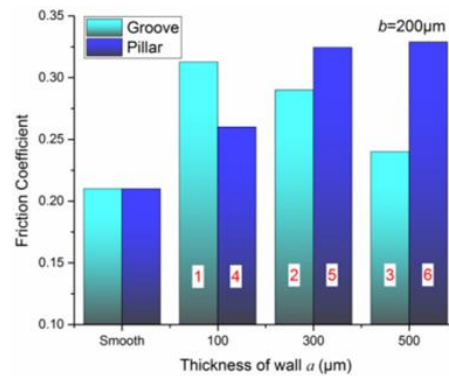
Enligt (9) finns det ingen standardskala för att mäta mikrotexturen, men man kan jämföra mellan två olika ytor genom att använda texturdata i mikrotexturområdet, och detta data kan samlas med hjälp av finkänslig texturlaser eller något liknande teknik, dessutom kan mätning av friktionen mellan två ytor användas för att bedöma deras mikrotexturegenskaper.

Studie (14) för träpallar visar att det är möjligt att öka friktionskoefficienten med 57 procent (från 0.21 till 0.33) mellan träytor och andra material genom att använda en mikrofräsningsprocess för att skapa mikropelare på träytan. I detta experiment användes träpallen med skapades mikropelare på ytan och en korrugerad låda. 12 modeller skapades med olika grader av grovhet som visas i figur 7 nedan

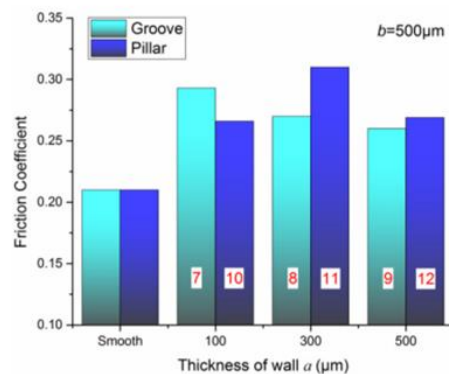


Figur 7: 3D modell av mikrotextur (14)

I studien användes en lastkraft på 10 N för alla prover, med en testtid på 3 minuter och en rotationshastighet på 60 r/min. Resultaten av experimentet visas i figur 8 nedan.



(a) Samples #1 to #6



(b) Samples #7 to #12

Figur 8: Friktionskoefficient av olika tester (14)

Resultaten visar att proverna med en tjocklek under $100 \mu\text{m}$ är prover som har svag strukturell styrka och inte är lämpliga för mikrostrukturdesign medan prover med mikropelare (nr 6) kan leda till en signifikant ökning av friktionskoefficienten. Därför anses att denna forskning kan ha praktiska tillämpningar inom industrin som logistik och transport även i detta examensarbete. Det är värt att notera att detta experiment endast utfördes under torra förhållanden och endast en typ av kartong används, det vill säga att mer forskning är nödvändig.

En av de studier som stödjer slutsatsen från den tidigare forskning, är att öka friktionen på trätytor genom att modifiera deras yttextur är studie (15) som studerar "beteende för taktill kontakt med hjälp av ellipsoidala asperitetsmikrotexturer". Studien visar att träytan som har mikrotextur mindre än $160 \mu\text{m}$ är släta yta och det är lätt att flytta föremål på dem, vilket innebär låg friktion. Studien säger också att friktionen kan ökas genom att införa yttextur med specifika mönster. Elliptiska utstickande delar användes i detta experiment för att se effekten av applicerad friktion ur flera riktningar. Resultatet visar att ytan kan ge olika nivåer av motstånd beroende på rörelseriktningen, det vill säga olika friktionskoefficient beror på riktning och mönstret.

Sammanfattningsvis har den teoretiska studien undersökt och analyserat olika aspekter relaterat till friktion på trätytor. Den kan vara till nytta för texturen av träytan och hur djup texturen måste vara för att få det önskade värdet på friktionskoefficienten. Att studera friktion på en våt träyta kan vara utmanande eftersom träets egenskaper förändras från torr friktion till smord friktion. Många parametrar som exempelvis vatten, löv och/eller påväxt har en större påverkan på friktionskoefficienten vid våta förhållanden, jämfört med torra. Därför valdes ett pendulumtest för att undersöka friktionskoefficienten i detta fall, detta beror på att

pendulumtest lätt kan ge en god förståelse för den friktion som uppstår i den verklighetsnära miljön. Detaljer om pendulumtestet kommer att förklaras mer i metodavsnittet.

2.3 Uppbyggnad av trä

Trä utmärker sig från traditionellt vanligt förekommande material med hög användningsgrad genom dess unika sammansättning, struktur och egenskaper. Egenskaperna kan variera mycket mellan olika arter av träd, men också inom samma träd beroende på hur förhållandena har sett ut under tillväxten. Dessa förhållanden har stor betydelse för trädets densitet, styvhet, fuktupptagningsförmåga och en rad andra egenskaper (20)(21).

En utav de viktigaste egenskaperna hos träden är upptagningsförmågan av fukt. Trä är ett väldigt levande material. Med det menas att beroende på fukthalten som befinner sig i trädet, växer eller krymper materialet en aning. Detta medför att man måste ta till hänsyn vilken fukthalt man har när man bygger med materialet, men också i vilken miljö den kommer att användas i. Är träplankorna för nära inpå varandra och börjar växa med ökad fukthalt, kommer det inte finns något utrymme för trädet att expandera ut. Detsamma gäller om det är för stort mellanrum mellan plankorna som har en hög fukthalt som därefter minskar, vilket medför att mellanrummet kommer att öka och bli för stort. Det är med andra ord väldigt viktigt att veta vilken fukthalt man ska ha i träet och var det ska användas (22)(23).

2.4 Grunder för SRT

Det främsta testet som kommer att utföras i det här arbetet kommer att vara med hjälp av en Slip Resistant Tester (SRT) och kommer att förklaras mer utförligt i avsnitt (3.2.1). Trafikverket säger enligt (24) att det krävs att vägbanan ska ha ett SRT-värde på minst 50 på en 20 meter sträcka, presenteras i figur 9. SRT-värdet måste även vara $F_x \geq 45$ längsgående och $F_y \geq 55$ tvärgående (se figur 3) vid våta förhållanden enligt (25) som visas i figur 10. I detta arbete kommer en gräns sättas på SRT-värde = 50 som minimikrav för provbitarna som kommer tas fram och testas.

A4.1 Friktion vid barmarksförhållande

För vägbanor, gångbanor och cykelbanor med bundet slitlager skall medelvärdet av friktionstalet på en 20 m sträcka vara större än eller lika med 0,5. Friktionstalet skall bestämmas enligt VVMB 104, "Bestämning av friktion på belagd väg", alternativ 2.

Friktionen i sidled bör inte variera med mer än 0,25 vid något tillfälle under garantitiden/funktionstiden. Mätningen bör utföras i minst två linjer varav en mätning i vänster hjulspår.

För ytor som ej kan mätas enligt VVMB 104, "Bestämning av friktion på belagd väg", alternativ 2 skall SRT-värdet vara större än eller lika med 45 bestämt enligt VVMB 501, "Funktionskontroll av vägmarkering". Kravet avser medelvärde, av tre mätpunkter, mätt på minst 1,0 m längd. Minst två kontrollobjekt (ytor) skall mätas per objekt dock minst ett per 500 m².

Med ytor som ej kan mätas enligt VVMB 104 avses exempelvis delytor av vägbanor, gångbanor och cykelbanor med bundet slitlager.

Krav på vägmarkerings friktion finns i kapitel H3.

Figur 9: Trafikverket, ATB Väg 2005 Kap A sid.8

Vägmarkeringssklass (ÅDT)	Retroreflexion (mcd/m ²)/lux		Luminanskoefficient (Q _d) (mcd/m ²)/lux		Friktion SRT	
	Torr	Våt	Torr	Torr	Våt	Våt
	Samtliga	Längsgående	Samtliga på asfalt	Samtliga på betong	Längsgående, övriga	Tvärgående
1 – 2 (0 – 4000)	≥100		≥130	≥160	≥45	≥55
3 (> 4000)	≥100	≥35	≥130	≥160	≥45	≥55

Figur 10: Krav på friktion från Trafikverket, ATB Väg 2005 Kap H sid.3

2.5 Sammanfattning teori

För att sammanfatta avsnittet om teori kan man komma fram till att det finns väldigt många yttre krafter som påverkar på en cykel. De viktigaste krafterna i detta fall kommer att vara sidokrafterna som uppkommer vid till exempel bromsning och skarp sväng. Detta medför att det är viktigt att titta på hur friktionen påverkas beroende på i vilken riktning på träet som däckets färdas mot. Överskrider man friktionen från friktionscirkeln (figur 3) kommer däckets att börja slira och glida på underlaget. Det är därför viktigt att man försöker få ut maximalt av friktionen på däckets utan att överskrida friktionscirkeln, för att undvika glidning mellan ytorna.

Det finns många faktorer att ta hänsyn till när det kommer till friktion, speciellt på en träyta. Detta beror på de många faktorer som kan leda till halka, såsom regn, fukt, etc. En av de viktigaste faktorer som påverkar glidning är texturen på träytan, som är uppdelad i tre sektioner, mega-mikro och makro textur. Varje sektion har en viss ojämnheter i olika utsträckning, vilket kan påverka friktion och komfort för cyklisten.

Det finns ingen standardskala för att mäta mikrotecturen men man kan jämföra mellan två olika ytor genom att använda texturdata. Data kan samlas med hjälp av finkänslig texturlaser för att bedöma deras mikrotecturegenskaper. I detta arbete kommer det att användas en profilometer för att samla denna data som kan ge mer förståelse för mikrotecturegenskaper samt friktionen på träytan.

Med fokus på mikrotecturen visar flera studier att det är möjligt att öka friktionskoefficienten på träytan vid användning av en yt-design som kan ge mikrotecture tjockleken mer än 100 μm . Detta kommer att utföras i nästa del av detta arbete genom att skapa flera olika ojämnheter på träytan med hjälp av olika tekniker som kan skapa mikrotectureförändring på ytan. Denna teknik kommer att beskrivas mer i metodavsnittet.

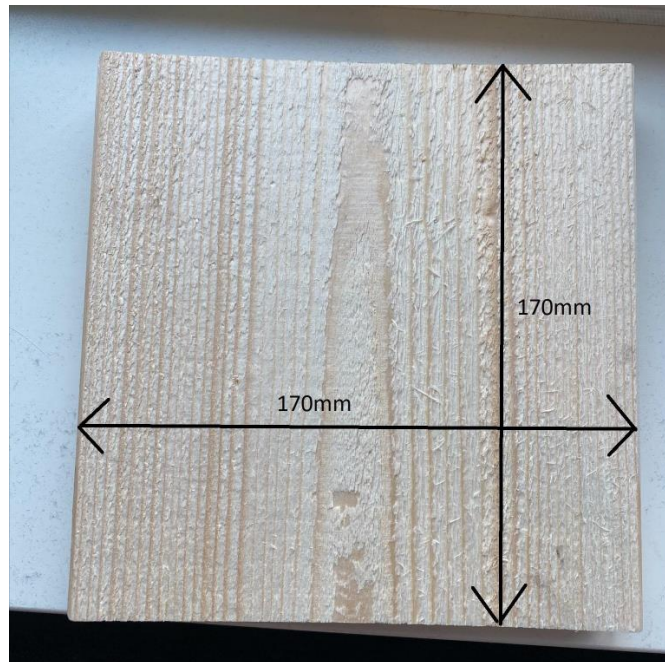
Det är svårt att fastställa en exakt gräns för graden av slirning av cykeldäck på vägen på grund av det stora antalet påverkande faktorer, inklusive väglag, lufttryck i däckets, vikt och kraften som utövas på pedalen. Med tanke på att vägfaktorer spelar en avgörande roll för halkning, det vill säga att våta vägar och vägar täckta med löv eller is ökar halkrisken. På grund av detta kommer de gränser som Trafikverket har som krav för vägar för att säkerställa säkerheten för cyklister att användas.

3. Metoder

I det här avsnittet kommer de verktyg som användes att visas med bifogade bilder och en förklaring av provbitar, tillverkningsmetoden och metoden för att genomföra experimentet samt vilka verktyg som används.

3.1 Framtagning av Provbitar

Alla tillverkade provbitar är gjorda av gran och sågades till kvadratisk form 170*170mm (se figur 11) för att underlätta experimentet senare. Metoderna som används för att ändra ytorna på bitarna visas nedan.



Figur 11: Mått på provbitarna

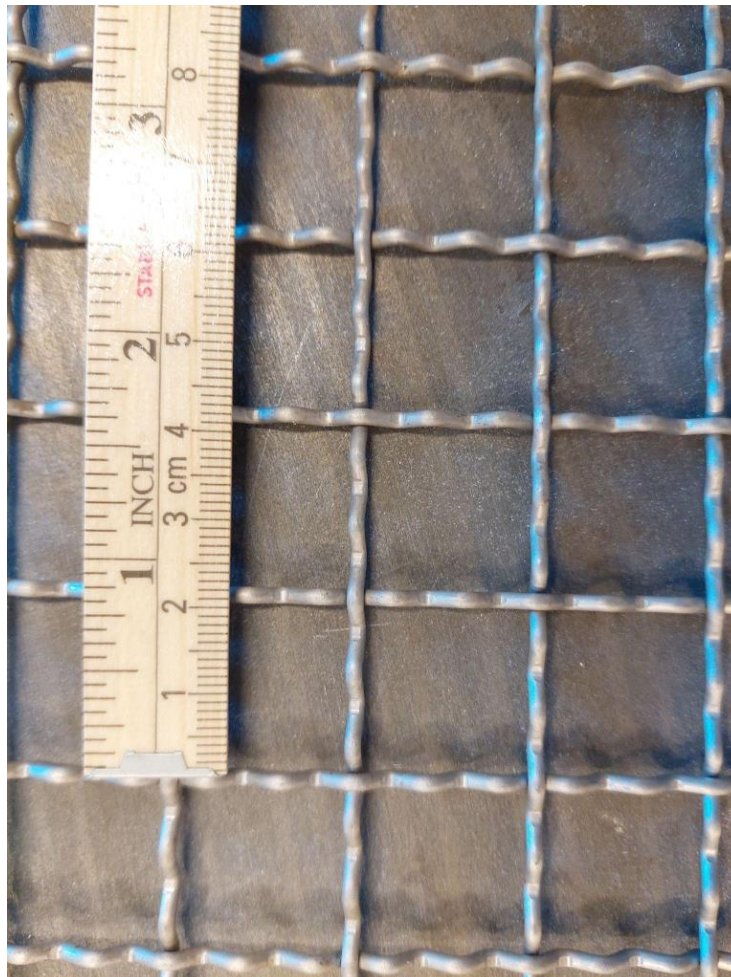
3.1.1 Pressning

Den första metoden som användes för att ta fram mönster på provbitarna var genom pressning. Pressningen skedde med hjälp av en fanerpress som kan ses i figur 12 med ett tryck på $100\text{kg}/\text{cm}^2$ (98 kPa).

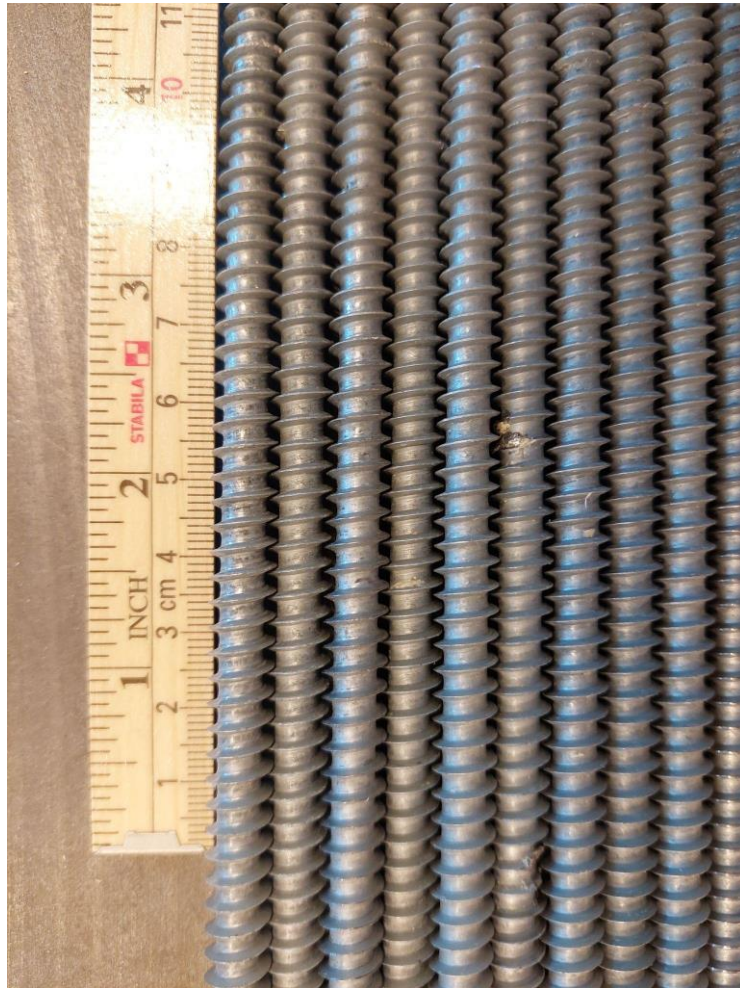
De mönster som pressades in var ett vira-mönster och ett typ av rillnings-mönster och visas i figur 13 samt 14. Gruppen kom även fram tillsammans med Viveca från RISE att det vore smart att testa att pressa in grus som används till sandning av vägarna, detta medför att man varje år kan åka ut i fältet och pressa in gruset i väglaget för att behålla ytstrukturen. Detta mönster skapades också i fanerpressen med samma tryck och visas i figur 15 och gruset som användes är vanligt sandningsgrus och kan ses i figur 16.



Figur 12: Fanerpress



Figur 13: Vira-mönster



Figur 14: Rillnings-mönster



Figur 15: Pressning med grus



Figur 16: Storlek på gruset

Utfallet av bitarna från pressningen visas i figur 17, där biten med pressning 1 är med grus, pressning 2 är med vira och pressning 3 är med rillning.



Figur 17: De tre provbitarna från pressning

3.1.2 Bränning

Den andra metoden som användes för att utföra texturing på provbitarnas yta är bränning av ytan. Bränning skedde med hjälp av gas burner som visas i figur 18. Bränslet som används är butangas med gasförbrukning 16 g/h och effekt 0,22 kW. Processen gjordes genom att ytan brändes under olika tidsperioder (se figur 19) mellan 30 sekunder och 7 minuter för olika provbitar. Efter förbränningsprocessen bildas ett lager av träkol på träytan, se figur 20, som avlägsnades med en hård plastborste. I figur 20 visas hur höger delen av provbiten såg ut direkt efter bränningsprocessen med ett kollager och hur vänster halvan av provbiten såg ut efter att kolet borstades bort inför testerna.



Figur 18: Gas burner



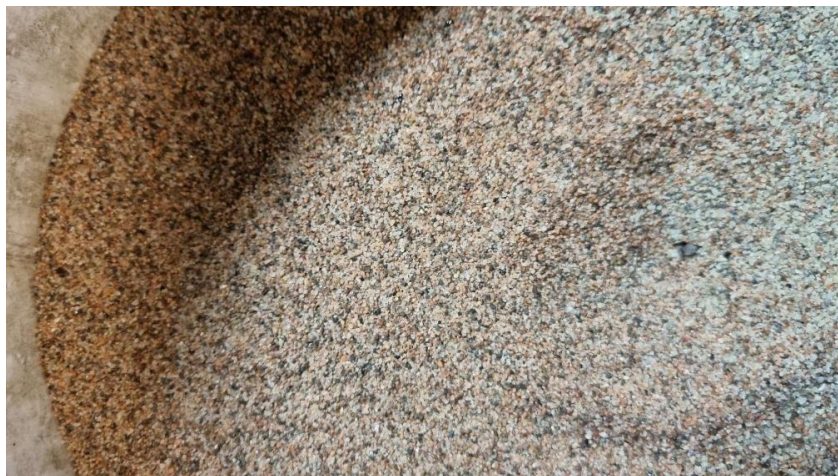
Figur 19: förbränningsprocess



Figur 20: kolytan avlägsnad

3.1.3 Blästring

Den tredje metoden som användes för att utföra texturing på provbitarnas yta är blästring. Där används en blästringsmaskin med 60 mm i munstycket som visas i figur 23. Blästermedel som används är sand med kornstorlek 0,4-0,8 mm med densiteten 1500 kg/m³ (se figur 21) och fumad järnsilikat kornstorlek: 0,2–1,4 mm, kantig kornform, hårdhet: 6-7 Mohs, kompaktdensitet: 3500 kg/m³ och skrymdensitet: 1700 kg/m³ (se figur 22). Trycket som används i blästringsmaskin är 6 kbar med och mot fibrerna i själva träytan (se figur 24).



Figur 21: blästermedel sand



Figur 22: blästermedel fumd järnsilikat



Figur 23: munstycke 60 mm



Figur 24: blästring maskin med 6 kbar

Efter blästring ses provbitarna enligt figur 25 för blästring med järnsilkat och figur 26 med sand.



Figur 25: blästrad med järnsilkat



Figur 26: Blästrad med sand

3.1.4 Antal provbitar

Följande tabell (tabell 1) visar antalet delar som producerades med den tidigare metoden.

Metoden	Antalet
Pressning	15
Bränning	8
Blästring	8

Tabell 1: Antal provbitar

Dessa provbitar kommer att testas i Göteborg först och sedan skickas till Stockholm för att utföra profilometri test i RISE labb i Stockholm.

3.2 Testning av provbitar

Provbitarna som framtogs i steget innan ska därefter sättas på prov. Testerna som kommer att hjälpa oss undersöka ytans struktur och friktion är med hjälp av profilometri för ytan och SRT-pendulum tester för friktionen. Testerna kommer att beskrivas i mer detalj i följande avsnitt.

3.2.1 Slip Resistant Tester (SRT)

En Slip Resistant Tester eller SRT är en typ av pendulum-tester som fungerar genom att en vikt hängs upp i pendulum-armen med ett tillvalt friktionsmaterial tillsatt längst ut i armen, se figur 27. Det är sedan detta material som kommer i kontakt med provbiten och därmed känner av friktionen på ytan. Armen släpps från en punkt genom att trycka på en knapp och faller ner med hjälp av gravitationen och glider över ytan som ska testas. När armen rör sig över ytan skapas det friktion mellan materialet på armen (i detta fall gummi, för att efterlikna materialet från ett däck) och provbiten. Detta gör att man kan läsa av på instrumentet vilken friktionskoefficient som finns på den ytan man undersöker. Bilder på gummiplattan kan hittas i figur 28.



Figur 27: Slip Resistance Tester



Figur 28: Bilder på gummiplattan

För att få de bästa resultaten möjliga är det viktigt att testerna startas med så få felfaktorer som möjligt. Testerna genomfördes på följande sätt:

1. Stabilisering av vattenpasset, för att se att pendeln inte var ojämn
2. Köra 3 test som ska uppnå $SRT=0$, för att se så att pendeln är kalibrerad korrekt.
3. Placera provbiten i mitten av pendeln med hjälp av en testbricka för att se till att pendeln går med en korrekt distans över provbiten. Demonstreras i figur 30.
4. Köra 5 tester utan att notera resultatet
5. Köra 3 tester med anteckning av resultat
6. Vatten sprayas på provbiten innan och mellan varje test, för att det är friktionen vid blöta förhållanden som är mest intressant.
7. Temperaturen och luftfuktigheten i rummet och i provbitarna testas innan och efter testet, mätinstrumentet som användes för det visas i figur 29.



Figur 29: Mätinstrument för fukt och temperatur



Figur 30: Testbricka för att få optimalt avstånd på pendeln

4. Resultat

I detta avsnitt kommer resultaten av de experiment som genomfördes att presenteras, och de kommer att delas in i fyra kategorier, enligt tillverkningsmetoden för provbitarna. Med hänsyn till några viktiga punkter som gäller för alla utförda experiment, de är:

1-Temperaturen vid experiment är mellan 18–22 C°.

2-Luftfuktighet är mellan 42–45 %

3-Fuktkvot i de torra provbitarna innan experiment är mellan 9–14 %

4-Fuktkvot i de torra provbitarna efter experiment är mellan 19–22 %

5-Fuktkvot i de blöta provbitarna innan experiment är mellan 21–25 %

6-Fuktkvot i de blöta provbitarna efter experiment är mellan 21–25 %

7-I varje diagram finns en röd linje vid 50, detta är minimikravet från avsnitt (2.4)

4.1 Pressning resultat

Det första experimentet utfördes på de pressade delar som beskrivs i metoddelen, avsnitt (3.1.1). Den bästa biten av varje typ valdes ut, det vill säga de bitar som har en tydlig textur på ytan. Experimentet gjordes enligt beskrivning i avsnittet (3.2.1). Medelvärde av resultaten visas i följande diagram:

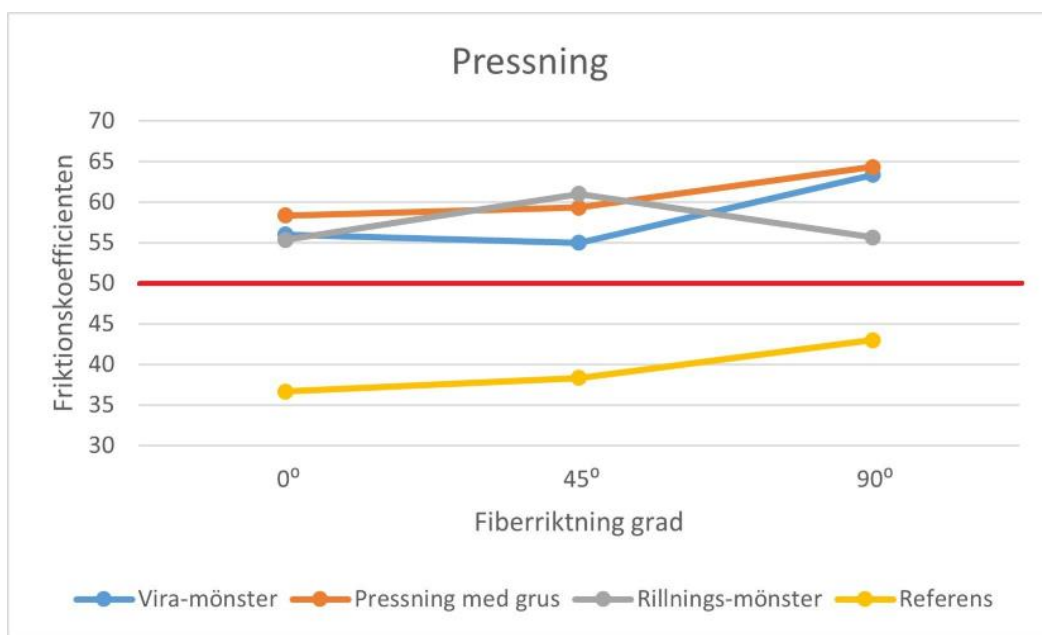


Diagram 1: pressning resultat

Diagram 1 visar att alla provbitar har överstigit gränsvärdet vid 50 (den röda linjen) under hela experimentet med alla fiberriktningens grader som testat 0°, 45° och 90°. Resultaten av friktionskoefficienten varierar mellan 55 och 64. Alltså med skillnaden på 9. Vid beräkning till medelvärde av medelvärde visar att friktionskoefficienten är högst vid 90° med värde på 61.

4.2 Bränning resultat

Det andra experimentet utfördes på de delar som bränts och beskrivs i metoddelen, avsnitt (3.1.2). Alla provbitar testades, med början från den provbit som brändes under en kort tid, upp till de bitar vars yta brändes under en längre tid. Experimentet gjordes enligt beskrivning i avsnittet (3.2.1) med notering att vid varje mätning av friktionskoefficienten läcker lite vatten som innehåller några kolpartiklar utan att ytan påverkas. Dessutom minskar dessa partiklar med tiden, det vill säga att färgen på det läckande vattnet blir renare varje gång mätning tas. Detta kan vara något intressant som lämnas kvar för vidare studier där man kan gå djupare in i detta ämne och studera dessa partiklars effekt på ytan och kvantitet etc. Medelvärde av resultaten visas i följande diagram:

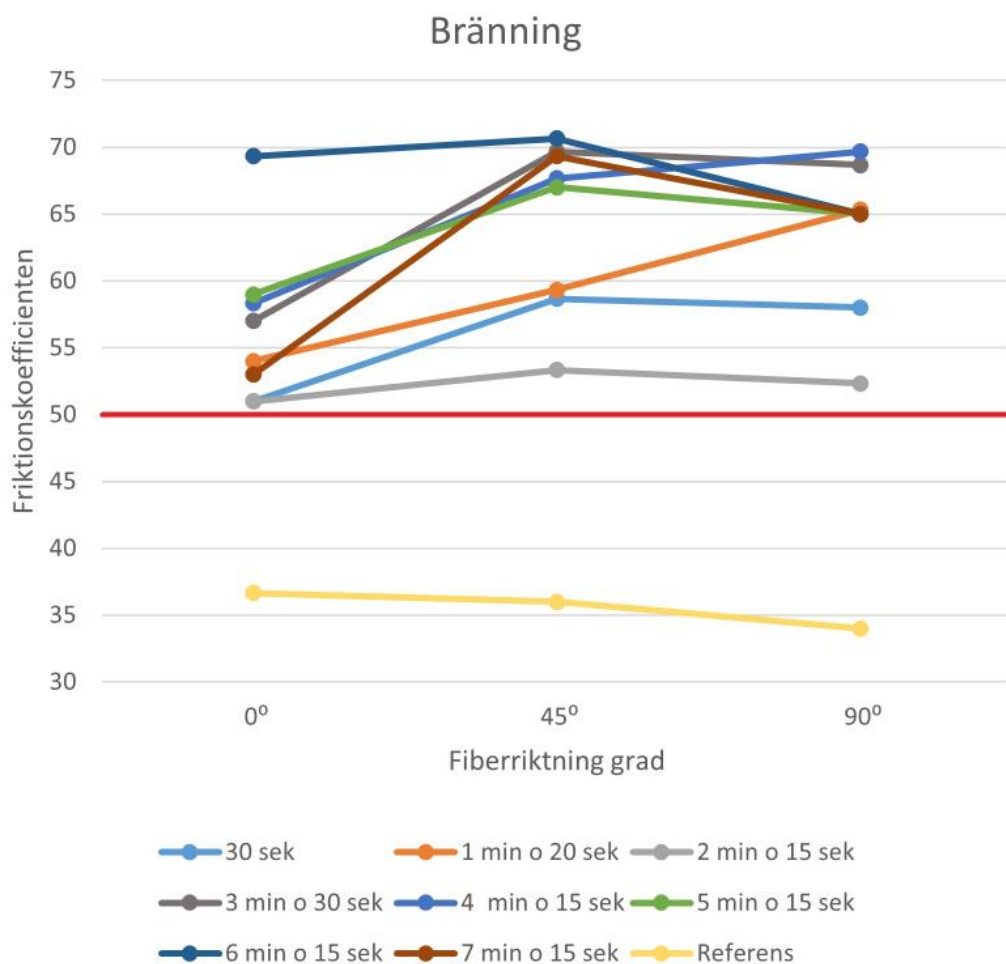


Diagram 2: Bränning resultat

Diagram 2 visar att alla provbitar har överstigit gränsvärdet vid 50 (den röda linjen) under hela experimentet med alla fiberriktningens grader som testat 0°, 45° och 90°. Resultaten av friktionskoefficienten varierar mellan 51 och 71. Alltså med skillnaden på 20. Den stora skillnaden beror på bränningstid och träytans modell, det vill säga hur fibrerna ser ut med kvist eller utan och så vidare. Vid beräkning till medelvärde av medelvärde visar att friktionskoefficienten är högst vid 45° med värde på 64,5.

4.3 Blästring resultat

Det tredje experimentet utfördes på de blästrade delar som beskrivs i metoddelen, avsnitt (3.1.3). Fyra provbitar testades, en som blästras med sand och en med järnsilikat och två bitar med samma blästringsmedel men på den hyvlade sidan. Det som märkts här vid experimentets genomgång är att inget vatten läcker ut vid de första fyra mätningarna men som sedan börjar droppa lite men inte lika mycket som de brända och pressade provbitarna. Detta kan vidare studeras och utforskas i framtida studier för att förstå detta mer. Medelvärde av resultaten visas i följande diagram:

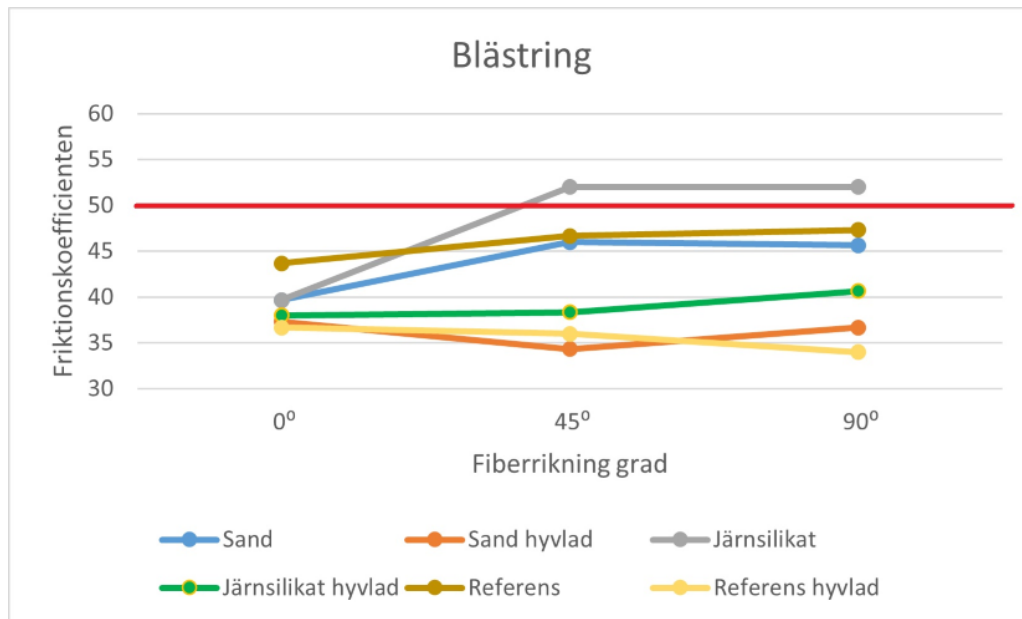


Diagram 3: blästring resultat

Diagram 3 visar att bara en provbit har överstigit gränsvärdet vid 50 (den röda linjen) under hela experiment med fiberriktningens grader på 45° och 90°. Även referensen var bättre än alla blästrade provbitar vid 0° förutom den provbit som blästras med järnsilikat vid 45° och 90°. Provbitarna som blästras på den hyvlade sidan har visat sämsta resultat, även referens hyvlad har visat bättre resultat vid 45° än den provbit som sandblästrades på den hyvlade sidan. Vid beräkning till medelvärde av medelvärde visar att friktionskoefficienten är högst vid 90° med värde på 49 för provbitar som blästrades på den grov sidan.

4.4 Resultat för speciella situationer:

Det fjärde experimentet utfördes på utvalda provbitar som visade bästa resultat på de tidigare testerna. Där träbitarna placerades i vatten under en period som sträckte sig mellan två timmar och tio dagar, varefter experimentet som beskrivs i avsnittet (3.2.1) upprepas på dem. Syftet med detta experiment är att ta reda på effekten av översvämmat vatten på träet under lång tid i termer av friktion. Medelvärde av resultaten visas i följande diagram:

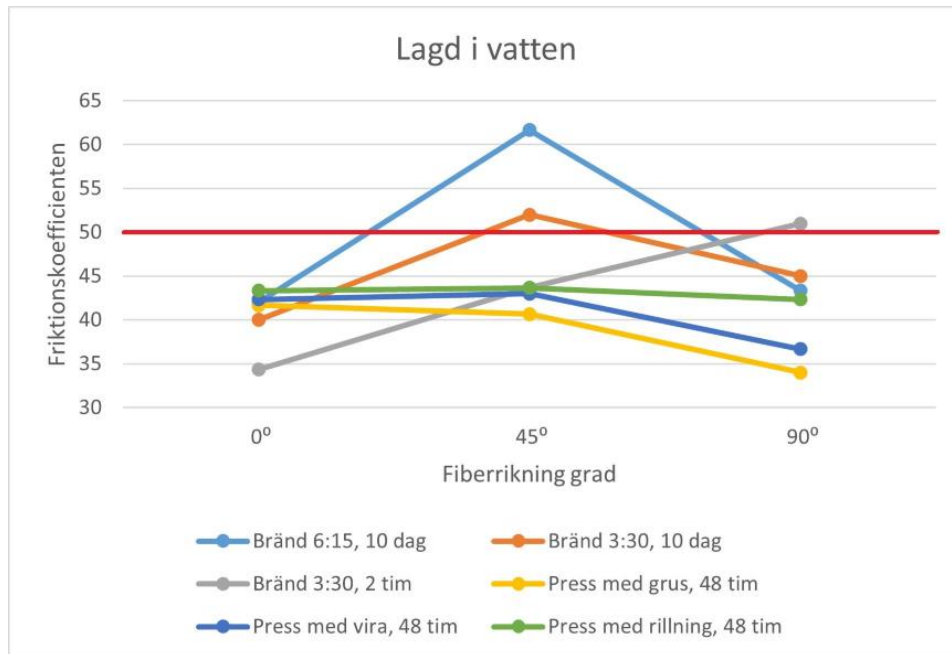


Diagram 4: resultat för speciella situationen

Diagram 4 visar att tre brända provbitar har överstigit gränsvärdet vid 50 (den röda linjen) under hela experimentet. Två av de vid 45° och en vid 90°. Det bästa resultatet var 62 för den som brändes i 6 minuter och 15 sekunder. Med hänsyn till att 10 dagar är ett extremfall som uppstår vid översvämning eller ansamling av vatten av någon anledning i form av en pöl.

4.5 Den vinnande provbiten

I detta skede upprepas experimentet på den provbiten som erhöll det högsta resultatet för friktionskoefficienten, men med två nya vinklar för att se texturens effekt på friktionen från andra vinklar. Provbiten blötlades i vatten i 10 dagar och sprayades med vatten efter varje mätning. Vinklarna 22,5 och 67,5 testades inte i första experimentet innan biten lagts i vattnet. Medelvärde av resultaten visas i följande diagram:

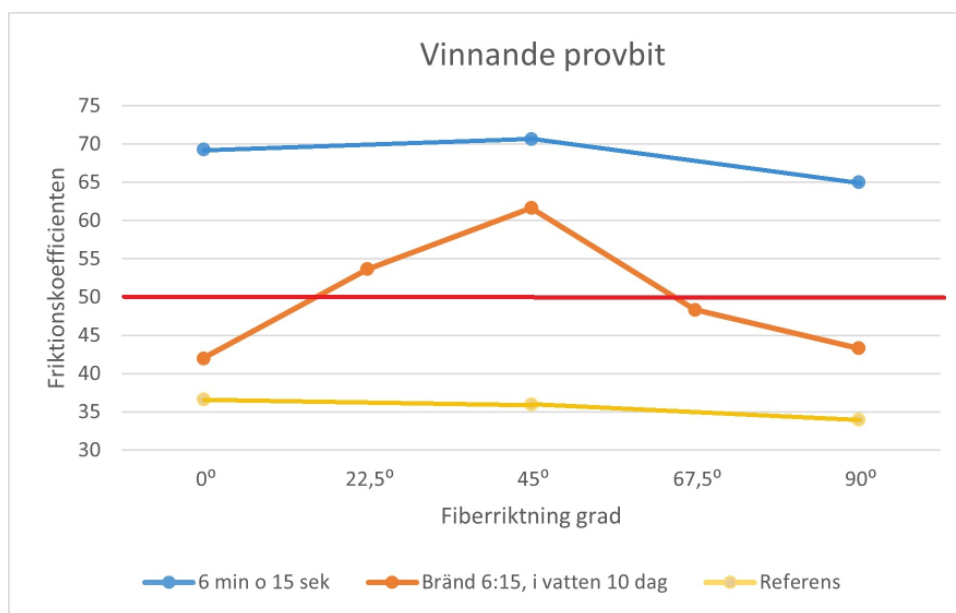


Diagram 5: Vinnande provbit

Diagram 5 visar att provbiten som visas i figur 31 har alla tre mätningar från första experimentet över det minimala kravet med ett värde mellan 65 och 71 för friktionskoefficienten i vinklarna 0°, 45° och 90°. Efter att provbiten blev lagd i vattnet i 10 dagar visar mätningarna att den passerar det minimala kravet vid vinklarna 45°, 22,5°. Jämfört med referensbiten kan man se en ökning med friktionskoefficienten 1,89 vid 0°, samtidigt ökning med 1,96 vid 45° och ökning med 1,91 vid 90°.



Figur 31: Den vinnande provbiten

5. Diskussion

I detta avsnitt kommer resultaten och metoderna från testerna att diskuteras.

5.1 Metoddiskussion

Under studiens gång utfördes cirka 600 tester med pendulumtestern för att säkerställa kvaliteten på mätningarna. Metoden med att använda pendeln och en gummiplatta för att efterlikna vad som händer mellan underlaget och cykeldäcken är en bra grund att avgöra vad som fungerar och vad som inte fungerar. Det som inte räknas in i pendeltestet, men som fortfarande har en stor påverkan på hur cykeldäcket kommer att reagera med underlaget i verkligheten, är till exempel lufttrycket i däcken och däckmönstret. För att utöka säkerheten i testresultaten som precis tagits fram i föregående avsnitt skulle flera typer av tester vara ett bra sätt att säkerställa det på. Tester som man skulle kunna genomföra då är exempelvis något typ av slitagetest där man använder sig utav riktiga cykeldäck med olika lufttryck och däckmönster för att se hur både underlaget/provbitarna håller under upprepade repetitioner samt om de olika trycken och mönstret i däcken har olika stor påverkan. Ett typ av bromstest är också ett bra test som man kan försöka utföra på provbitar som man tagit fram med hjälp av andra test. Man kan exempelvis sätta upp en sträcka 10–20 meter med den framtagna ytan och testa att bromsa på den med en cykel. Ett sådant test kan ge mer information om hur ytan påverkas beroende på däckets tryck och mönster.

Metoden som används i det här arbetet ger en bra grund på vilka typer av mönster och behandlingar på träet som ger bra friktion. Testet är också väldigt bra då det är repeterbart, vilket sparar en hel del tid och energi på ytor som inte klarar friktionsgränsen. Eftersom friktion är ett väldigt komplicerat område och även relativt dåligt studerat med trä som underlag är det viktigt att först undersöka vilka typer av ytor som kommer att fungera bra och därifrån utöka antalet test på provbitarna som ger bra resultat.

5.2 Resultatdiskussion

Det framgår av resultaten att studier av friktionen mellan träets yta och cykeldäck kräver större och djupare studier för att få mer realistiska resultat. Här studerades friktion med hjälp av pendulum, men verkligheten är mer komplicerad på grund av antalet vinklar, riktningar, effektiva krafter och de många faktorer som kan påverka friktionen, som förklaras i fordonsdynamik, avsnitt (2.2.1).

I denna studie användes inte mönster för däcket, utan materialet som användes i pendulum var gummi nästan samma typ som används för cykeldäck. Resultaten på friktionskoefficienten kan få andra värden om man utför testen med hänsyn till däckmönster och däcktryck, men det är något som valdes att inte fokusera på i denna rapport.

Trots allt ovan nådde studien det önskade målet, vilket är att öka friktionen genom att använda textur på träytan. Detta framgår tydligt av resultaten i avsnitt (4.1 och 4.2), där friktionskoefficienten ökade i varierande proportioner jämfört med referensen. Detta överensstämmer helt med studierna i det teoretiska avsnittet (2.2.2.2), särskilt studierna (14) och (15). Observera att de studierna gjordes på torra ytor och denna studie gjordes på våta ytor, men resultaten var väldigt lika.

I resultaten relaterade till blåstring var resultaten oväntade, då man ser att friktionskoefficienten är mindre än referensen i vissa fall och är en liten del större i de andra. Anledningen till detta är på grund av testets karaktär och effekten av blåstring på träytan som

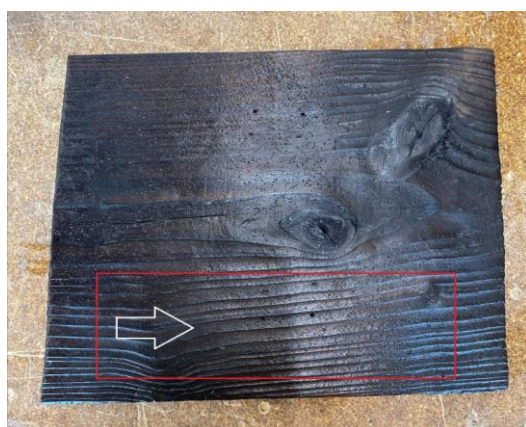
inte är tillräckligt studerad. Det noterades också att träytan blir svagare jämfört med andra provbitar på de brända och pressade bitarna, särskilt efter vattensprutning.

Provbitarna som pressades märktes vara torrare än de andra provbitarna, detta beror på att porerna i träet, som vid pressning kan göra att de flesta stängs, men det går inte att bedöma frågan direkt, så det krävs fler studier med hjälp av ett mikroskop och experiment för att se mer exakta resultat.

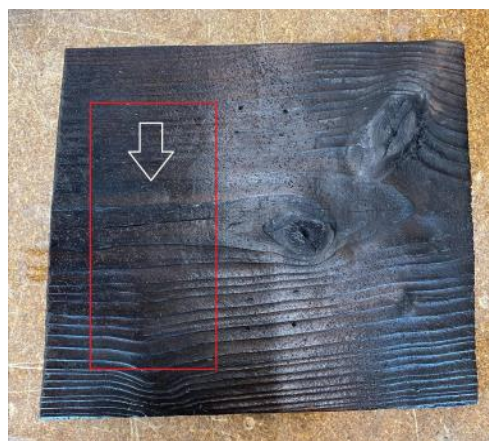
Provbitarna som brändes visade stor vattenbeständighet, där vattnet samlades på ytan eller läckte från sidorna av provbiten och inte trängde in i någon större utsträckning. Det gav en effekt liknande med impregnerat trä. Styrkan hos texturen på ytan observeras också. Fibrerna var starka, vilket gjorde att friktionen blev större när pendeln passerade över den.

De blåstrade provbitarna visade det sämsta resultatet och detta beror på att ytan blev svagare och vattnet trängde in i biten i stor utsträckning. Detta leder till ett fall liknande komprimering på is, det vill säga när pendeln passerade över träytan trycktes fibrerna ner och vattnet läckte ut vilket gjorde att friktionen blev sämre. En annan anledning som kan utgöra skillnad mellan de blåstrade och de brända bitarna var styrkan på ytan som gjorde att den senare hade bättre kontakt mellan gummi och trä. Detta behöver mer studier på ytans mikroskop för att bli förklarat.

Provbiten som har visat det bästa resultat visas i figur 32 nedan med markering på vilken del av ytan testet utfördes.



a) längs fibrerna



b) vinkelrät mot



c) 45 grader

Figur 32: olika riktning som testades på den bästa provbiten

Denna teknik används för att undvika kvisten som syns i figur 32 där den röda rektangeln är den arean som pendeln har passerat. Detta beror på att kvisten ger lite sämre friktion när pendeln passerar över den, det märks även att det är svårt att bilda texturen på en kvist med de tekniker som används i detta arbete. De övriga träbitar som bränts visade liknande resultat, då de bitar som inte innehöll kvistar hade bättre friktionskoefficient än de som hade kvistar, men för att kunna säkerhetsställa detta krävs mer forskning eftersom antalet av provbitarna var för få för att ge ett avgörande svar.

Under experimentets tid, särskilt vid testerna ser man att det behöver testas på ett annat sätt eller utföras mer tester som kan ge fler resultat och detta beror på att det finns väldigt mycket geometri som man kan ta hänsyn till och därför är det viktigt att forskning får fortsätta i detta område för att samla så mycket data som möjligt.

Profilometer-testet har inte utförts på grund av att provbitarnas ytor var allt för ojämna för vår handledares instrument i Stockholm.

6 Slutsats

I sammanfattning kan det konstateras att friktionen kan höjs med texturering av träytor, det vill säga att träytan med olika textur över 160 μm kan ge en ökad friktion, vilket kan vara en effektiv metod för att förbättra greppet och minska halkrisken. Med detta uppnåddes studiens syfte vilket var att bistå Modular Cycling AB i deras projekt.

Resultaten som erhållits i detta arbete överensstämmer med tidigare studier med en bättre förståelse av friktionen mellan trä och gummi. Det är viktigt att notera att denna studie endast var en förundersökning av ökad friktion på träytor och det finns fortfarande utrymme för ytterligare forskning och utveckling som kommer att rekommenderas i nästa avsnitt.

6.1 Rekommendationer för fortsatt studie

För att fortsätta undersöka detta område rekommenderar vi att först och främst inleda med ett slitagetest, som nämndes i (5.1). Detta för att säkerställa att de ytor som tagits fram med valda metoder kan hålla sin form och funktion under en längre period. Något som också rekommenderas att testa i framtiden är påverkan på tryckimpregnerat trä jämfört med icke tryckimpregnerat trä. I det här arbetet används inte impregnerat trä, men om man vill använda träbitarna ute i naturen behöver man tryckimpregnera dem för att motverka förruttnelse.

En mikroskopistudie rekommenderas också för att förstå vad är det som händer på träytan efter texturen och efter testet.

Provbitar till profilometertestet har skickats till RISE laboratorium i Stockholm, men resultaten från testerna kom inte tillbaka på grund av tidsbrist. Därför rekommenderas profilometertestet som utveckling för kommande arbete.

Bromstest rekommenderas genom att bygga en prototyp som är 15 m lång och två och en halv meter bred för att testa inbromsning på ytan och utföra andra olika tester med möjlighet att byta lutningsvinkel för att ha en helbild på friktion och hur undviker man halkrisken i framtiden.

Källförteckning:

- (1) Ågren, A. (2023) Wooden bridges. Hämtad från https://www.swedishwood.com/building-with-wood/construction/a_variety_of_wooden_structures/wooden_bridges/#:~:text=Several%20thousand%20years%20ago%2C%20wooden,get%20the%20Romans%20into%20Germany. (Åtkomstdatum: 2023-03-13)
- (2) Luzerns Wahrzeichen – die Kapellbrücke mit Wasserturm. (2022). Hämtad från: <https://www.luzern.com/de/highlights/die-stadt/kapellbruecke/> (Åtkomstdatum: 2023-03-13)
- (3) Huvelle, J. (2022). Climate-neutral cycling lanes. Hämtad från <https://www.modularcycling.eu/> (Åtkomstdatum: 2023-03-13)
- (4) Förenklad och hållbar cykelbanedesign utanför stadskärnor. (2022). Hämtad från: <https://www.vinnova.se/p/forenklad-och-hallbar-cykelbanedesign-utanfor-stadskarnor/> Hämtad (Åtkomstdatum: 2023-03-13)
- (5) Hutchings, I., & Shipway, P. (2017). Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials. CRC Press.
- (6) Bhushan, B. (2013). Fundamentals of Tribology. CRC Press. Chapter 2: Amontons' Laws and Their Use for Predicting Friction and Wear.
- (7) Jansson, P.-Å., Grahn, R., & Enelund, M. (2018). Mekanik (4th ed.). Studentlitteratur AB.
- (8) The Editors of Encyclopaedia Britannica. (2023). friction. Hämtad från <https://www.britannica.com/science/friction> (Åtkomstdatum: 2023-03-13)
- (9) Blomqvist, G., Hellman, F., Niska, A., (2019) Orsaker till halka på cykelvägar och beläggnings inverkan. Hämtad från <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1376264/FULLTEXT03#:~:text=Ofta%20uppst%C3%A5r%20ocks%C3%A5%20halka%20d%C3%A5,om%20det%20s%C3%A4llan%20utf%C3%B6rs%20friktionsm%C3%A4tningar.> (Åtkomstdatum: 2023-03-05)
- (10) Lundberg, T., Sjögren, L., Gustafsson, M. & Ihs, A. (2011) Vägytans makrotextur och dess variation - Vägytemätning med mätbil. VTI notat 5-2011. www.vti.se. 56 p
- (11) Lundberg, T., Ekblad, J., Göransson, N.-G., Sjögren, L. & Arvidsson, A. (2015) Makrotexturens möjlighet att identifiera låg friktion - Tillståndsmätning av vägytan. VTI rapport 877. 99-100 p. Hämtad från <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/tris/index.cfm/lt/search/?trisaction=search.detail&year=2021&num=574&ilang=SV> (Åtkomstdatum: 2023-03-10)
- (12) Hall, J. W., Smith, K. L., Titus-Glover, L., Wambold, J. C., Yager, T. J. & Rado, Z. (2009) Guide for Pavement Friction 01-43, F. R. F. N. P. Hämtad från https://www.massenza.ru/wp-content/themes/massenza/downloads/publications/nchrp_w108.pdf (Åtkomstdatum: 2023-03-16)
- (13) Kotecký, P. & Florková, Z. (2014) Comparison of the skid resistance at different asphalt pavement surfaces over time. Procedia Engineering, 91, 459-463. Hämtad från <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1877705814030446?token=310C068147775155C2D69AA23AC8907E02C9EFA8B74263E8CBA75A697E66D21F1F98142BAD51155D20B85ED0B0D82BD&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230417131818> (Åtkomstdatum: 2023-03-17)
- (14) Yang, X., Luo, X., Cai, Y., (2017) Frictional characteristic of micro structures for wooden pallets. Hämtad från [Frictional characteristic of micro structures for wooden pallets - Strathprints](#) (Åtkomstdatum: 2023-04-01)
- (15) Sergachev, D., Matthews, D., Van Der Heide, E., (2021) Design of bidirectional frictional behaviour for tactile contact using ellipsoidal asperity micro-textures. Hämtad från

- <https://link.springer.com/article/10.1007/s40544-021-0527-z> (Åtkomstdatum: 2023-04-05)
- (16) Benson.T, (2021) The drag equation. Hämtad från <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/rocket/drageq.html> (Åtkomstdatum: 2023-04-10)
- (17) Benson.T, (2021) The drag coefficient. Hämtad från <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/rocket/dragco.html> (Åtkomstdatum: 2023-04-16)
- (18) Thomson.R, (2008), Lecture Notes for Vehicle Dynamics
- (19) Carter.N, A. Rose.Nathan, Pentecost.D (2015) Validation of Equations for Motorcycle and Rider Lean on a Curve. Hämtad från https://www.jstor.org/stable/pdf/26169304.pdf?refreqid=excelsior%3A62771cc9778d1112ed41d031d8e97d8d&ab_segments=&origin=&initiator=&acceptTC=1 (Åtkomstdatum: 2023-04-18)
- (20) Ågren.A, (2003) Stammens uppbyggnad. Hämtad från <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-uppbyggnad/traets-uppbyggnad/stammens-uppbyggnad/> (Åtkomstdatum: 2023-03-13)
- (21) Ågren.A, (2003) Formförändringar . Hämtad från <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/formforandringar-och-atgarder/formforandringar/> (Åtkomstdatum: 2023-03-13)
- (22) Ågren.A, (2003) Träets egenskaper och kvalitet. Hämtad från <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/> (Åtkomstdatum: 2023-03-13)
- (23) Ågren.A, (2003) Cellstruktur. Hämtad från <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-uppbyggnad/traets-uppbyggnad/cellstruktur/?previousState=1> (Åtkomstdatum: 2023-03-13)
- (24) Trafikverket. (2005). Vägmarkering. Hämtad från https://bransch.trafikverket.se/contentassets/c19c23215b0f477a8e179c8aa4082c98/kapitel_h_vagmarkeringar.pdf (s.3) (Åtkomstdatum: 2023-05-19)
- (25) Trafikverket. (2005). Gemensamma förutsättningar. Hämtade från https://bransch.trafikverket.se/contentassets/c19c23215b0f477a8e179c8aa4082c98/kapitel_a_gemensamma_forutsattningar.pdf (s.8) (Åtkomstdatum: 2023-05-19)
- (26) Nilsson.J, Sandstedt.H. (2021). Traction Control of a Three-Wheeled Electric Motorcycle. Hämtade från <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=9062759&fileId=9062761> (Åtkomstdatum: 2023-06-12)

