



Linnéuniversitetet Kalmar
Växjö

Examensarbete i Byggteknik

Bestämning av statiska friktionskoefficienter mellan trä och stål

*– Determination of static friction coefficients between
wood and steel*



Författare: Kristian Gajos, Robin Petersson
Handledare LNU: Michael Dorn
Examinator LNU: Jan Oscarsson

Datum: 2019-02-05
Kurskod: 2BY03E, 15hp
Ämne: Byggteknik
Nivå: Högskoleingenjör

Linnéuniversitetet, Fakulteten för Teknik

Sammanfattning

Den här studien behandlar friktionen som uppstår mellan trämaterial LVL (laminated veneer lumber; fanerträ) och stål under olika förutsättningar. Genom laborativa experiment undersöks hur klimatfaktorerna blött, torrt, normalt samt varierande fiberriktningar påverkar friktionsvärden. Den omfattar också hur friktionen påverkas av två olika ytbehandlingar av stålet; slät respektive blästrad yta, och vilka friktionskoefficienter respektive variation av förhållande ger.

Första delen av studien beskriver hur fenomenet friktion fungerar, hur friktion kan bestämmas genom varierande metoder och innehåller en beskrivning av de fysiska och mekaniska egenskaperna inom trä och LVL. Vidare beskrivs metod och tillvägagångssätt vad gäller material, försöksuppställningar och metodval. Försöken utfördes genom att öka vinkeln på glidyta där en provkropp var placerad. Vinkelökningen fortsatte tills provkroppen hamnade i rörelse gentemot glidyta. Den då uppnådda vinkeln registrerades och räknades om till det enskilda fallets friktionskoefficient. Fortsatt beskrivs tester av de varierande förhållandena vad gäller klimat, fiberriktning och glidytor samt hur insamlade data behandlades för att sedan bestämma friktionskoefficienterna vid de varierande förhållandena.

Resultatet i studien presenteras i form av tabeller och diagram med varierande klimatförhållanden, fiberriktningar och glidytor som parametrar. I arbetet erhålls en friktionskoefficient på 0,78 för den blästrade glidyta utsatt för normalt klimat med 90° fiberriktning, på den släta ytan med 90° fiberriktning erhöles en friktionskoefficient på 0,14. För blött, normalt och torrt klimat på slät glidyta med fiberriktningen 0° erhöles koefficienterna 0,81, 0,13 och 0,76.

Analysen av resultaten visar att de varierande faktorerna blästrad och slät glidyta, varierande klimatförhållanden samt fiberriktningar har inverkan på friktionskoefficienterna. Det konstateras att stålets varierande glidyta har störst inverkan på friktionskoefficienterna då försöken med blästrad glidyta erhöles högsta värden för friktionskoefficienterna. De varierande klimatförhållandena visar en inverkan på den slutliga friktionskoefficienten. I jämförelse med endast varierande fiberriktning visar resultaten större variationer för friktionskoefficienterna. Friktionskoefficienterna tenderar att variera kring de olika fiberriktningarna. Fiberriktningens inverkan är dock begränsad med hänsyn taget till övriga faktorer.

Slutligen rekommenderas att vidare studier av varierande träslag och utökat antal klimatvariationer med specificerade fukthalter genomföres för att erhöles ett bredare underlag. Dessa friktionskoefficienter kan sedan användas vid t.ex. simuleringar av träkonstruktioner för att erhöles tillförlitliga resultat.

Abstrakt

Med teknikens framfart finns ett ökat behov av numeriska simuleringar av träförband. För att erhålla ett mer tillförlitligt resultat finns ett behov av noggrannare friktionskoefficienter vid olika förhållanden som påverkar lastöverföring.

I den här studien undersöks friktionen mellan materialen LVL (laminated veneer lumber; fanerträ) och stål. Målet är att studien ska resultera i friktionskoefficienter för olika varierande förhållanden som sedan kan användas vid t.ex. olika numeriska simuleringar.

Friktionstesterna utfördes genom att succesivt öka vinkeln på glidytan i form av en stålplatta där en provkropp var placerad. Vinkeln ökades tills det att provkroppen hamnade i rörelse, den uppnådda vinkeln registrerades och räknades sedan om till en friktionskoefficient.

Totalt utfördes 1 800 friktionstester för att ge god statistisk grund åt de slutgiltiga medelvärdena för friktionskoefficienterna. Undersökningen resulterade i en friktionskoefficient i form av ett medelvärde för respektive varierande förhållande.

Nyckelord: Statisk friktion, friktionskoefficient, LVL, fiberriktning.

Abstract

With technological development comes an increased need of numerical simulations of timber joints. To obtain reliable results the need of further and more refined friction coefficients is crucial in different occasions. The study's intention is to obtain friction coefficients under various conditions from experimental tests. These coefficients can e.g. be used in various numerical simulations.

Friction experiments were performed by successively increasing the angle of the sliding surface which in this case was a steel plate. On top of the steel plate a specimen of LVL was placed. The steel plate's angle was increased until the specimen started to slide against the surface. The angle when sliding started was then used to calculate the friction coefficient.

A series of 1800 tests was performed to obtain a good statistic base. The results of the study are a number of friction coefficients for different conditions. The results may be used in e.g. numerical simulations to foster timber construction.

Key words: *Static friction, friction coefficients, LVL, fiber direction.*

Förord

Utgångspunkten för arbetet var ett tidigare utfört examensarbete på magisternivå vid Linnéuniversitetet inom ämnet friktion mellan stål och trä. Slutsatsen i den tidigare studien var att det var viktigt med ytterligare fortsatt utredning i ämnet då det saknas data för att nyttja friktion vid t.ex. dimensionering av träförband.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Michael Dorn för att vi fick möjligheten att utföra den här studien men även med all hjälp under resans gång vad gäller försöksuppställning, framtagning av provkroppar, rapportskrivande etc. Vi vill även tacka personal vid laboratoriet på Linnéuniversitetet för att de tillhandahöll nödvändig utrustning för att utföra försöken. Ett sista tack till Stefan Hruza på Institutionen för design på Linnéuniversitetet för hjälp med tillverkning av provkropparna.

Alla delar vad gäller friktionsförsök men även rapportskrivningen har utförts i lika delar av Kristian Gajos och Robin Petersson.

Kristian Gajos & Robin Petersson

Växjö, 5 februari 2019

Innehållsförteckning

1	INTRODUKTION	1
1.1	BAKGRUND OCH PROBLEMBESKRIVNING	2
1.2	SYFTE OCH MÅL	2
1.3	AVGRÄNSNINGAR	3
2	TEORETISKA UTGÅNGSPUNKTER.....	4
2.1	FORSKNING INOM FRIKTION	4
2.2	FRIKTION	4
2.2.1	<i>Bestämning av friktionskoefficienter</i>	<i>5</i>
2.3	TRÄ SOM MATERIAL.....	8
2.3.1	<i>Laminated veneer lumber (LVL)</i>	<i>10</i>
2.3.2	<i>Mekaniska egenskaper</i>	<i>10</i>
2.3.3	<i>Fysiska egenskaper.....</i>	<i>11</i>
2.4	FRIKTION MELLAN TRÄ OCH STÅL.....	12
3	METOD OCH GENOMFÖRANDE	14
3.1	MATERIAL	14
3.1.1	<i>Provkroppar</i>	<i>14</i>
3.1.2	<i>Glidplattor.....</i>	<i>16</i>
3.2	EXPERIMENTELL METOD.....	17
3.2.1	<i>Försöksupställning</i>	<i>17</i>
3.2.2	<i>Förberedning.....</i>	<i>18</i>
3.2.3	<i>Utförande</i>	<i>19</i>
3.3	ANALYSMETOD.....	20
4	RESULTAT.....	22
4.1	FRIKTIONSKOEFFICIENTENS SPRIDNING FÖR EN PROVYTA	22
4.2	VARIERANDE KLIMAT	23
4.3	FRIKTIONSKOEFFICIENTERNAS MEDELVÄRDEN	25
5	ANALYS	28
5.1	SPRIDNING AV FRIKTIONSKOEFFICIENTER.....	28
5.2	VARIATION MED FIBERRIKTNING	30
5.3	VARIATION MED KLIMAT	33
5.4	VARIATION MED SLÅT RESP. BLÄSTRAD YTA	35
6	DISKUSSION.....	37
6.1	METODDISKUSSION	37
6.2	RESULTATDISKUSSION.....	38
7	SLUTSATSER.....	39
	REFERENSER.....	40
	BILAGOR.....	43

1 Introduktion

Statisk friktion är den kraft som motverkar att två ytor rör sig i förhållande till varandra vid direkt kontakt när de utsätts för förskjutning. Friktion är en viktig faktor i samhället som sällan medvetet observeras som t.ex. när en tändsticka ska antändas med hjälp av friktion mellan stickan och den grova ytan på asken. Ett bildäck mot vägbanan är ett annat vanligt exempel när friktionen har stor betydelse vid t.ex. acceleration, inbromsning, och riktningförändring, vilket händer överallt i trafiken men som sällan observeras av föraren.

Flera samhällsområden behandlar frågan om friktion för att optimera produkter samt effektivitet vid produktion. Sågverk observerar ständigt friktionen mellan träslaget som behandlas och klingan som används då förslitning av redskap kan förminskas vid låg friktion och därför öka lönsamheten. Produkter som t.ex. friktionsstrumpor till barn och äldre har en annan innebörd där det till skillnad från sågverken är önskvärt med ökad friktion mot underlaget för att undvika halkolyckor.

En ytas friktionsegenskaper definieras av den verkliga kontaktarean. Verkliga kontaktytan vid friktion innebär interaktion mellan de yttersta enskilda mikroskopiska förbindelsepunkterna mellan två ytor. Friktionskoefficient är ett dimensionslöst tal som beskriver friktionen mellan två material exempelvis stål och trä. (Sahli et al. 2018).

I samhället tillämpas friktion inte bara vid vardagliga händelser t.ex. friktionen mellan sko och gångbana utan också i byggsektorn. Enligt Funke och Schubert (2016) finns det idag ett stort behov av höga friktionskoefficienter vid statisk friktion i konstruktioner och förband. Behovet grundas på framåtsträvande krav på mer hållbara samt lättare konstruktioner i samhället. Med genomstuderade och pålitliga friktionskoefficienter finns möjlighet att kraven på hållfasthet kan uppfyllas i slankare konstruktioner.

Vid dimensionering av konstruktioner tillämpas friktionskoefficienter frekvent. Ett viktigt exempel är förband som appliceras i byggnader där det finns risk för jordbävningar. Dessa friktionsförband är uppbyggda med stålplattor som är preciserade till ett exakt friktionstal. Energin absorberas vid jordbävningen vid en bestämd last där stålplattorna börjar glida mot varandra. Detta medför att byggnadens konstruktioner inte utsätts för lika stor skada när jordbävningar inträffar som konstruktionerna hade utsatts för utan friktionsförbanden. Förbanden ger istället en möjlighet att behålla stabiliteten när energin absorberas i friktionsförbanden. Friktionskoefficienten i konstruktionen är avgörande då den bestämmer hur mycket last som kan absorberas och när.

1.1 Bakgrund och problembeskrivning

Högre krav på slankare och mer avancerade konstruktioner medför att en mer noggrann dimensionering krävs. Detaljer och anslutningar anses vara de mest kritiska punkterna i en konstruktion varför behovet av noggrann dimensionering är stort. Eurokod 5 tillämpas av konstruktörer i hela Europa vid dimensionering av träförband (SIS 2004).

Idag används friktion inte explicit i dimensioneringsmetoder enligt Eurokod 5, vilket innebär att alla konstruktioner dimensioneras oberoende av specifika förhållanden. Teknikens utveckling har medfört ett stort intresse från konstruktörer att modellera träförband som sedan kan simuleras numeriskt med exempelvis finita elementmetoden. Vid simuleringar som utförs idag används friktionskoefficienten som en parameter för anslutningens mekaniska beteende. I simuleringarna antas friktionskoefficienter med värden från 0.1 till 0.7. För att kontrollera simuleringarnas resultat finns ett behov av tillförlitliga friktionsdata mellan stål och trä (Dorn, de Borst & Eberhardsteiner 2013).

Vidare kan det ur studien av Dorn, de Borst & Eberhardsteiner (2013) utläsas att friktionskoefficienterna har stor inverkan på lastupptagningsförmågan i anslutningar. Lastupptagningsförmågan kan ökas signifikant beroende på vilken friktionskoefficient som tillämpas i simuleringar av dymlingsförband. Friktionens påverkan på lastupptagningsförmågan varierar beroende på ett antal faktorer. Sådana faktorer är enligt Koubek & Dedicova (2014) träets densitet, fukthalt, ytstruktur samt fiberriktning sett till glidplanet. Enligt deras studie ökar friktionsvärden beroende på stålytans råhet och under våta förhållanden. Samtidigt minskar friktionskoefficienten med högre pålastning oberoende av fukthalt och fiberriktning.

I utförda studier av Sjödin, Serrano & Enquist (2008) och Dorn, de Borst & Eberhardsteiner (2013) på träförband framgår det att dymlingar med grov yta ökar lastupptagningsförmågan väsentligt jämfört med slätare ytor. För att det ska vara möjligt att ta hänsyn till dymlingarnas ytstruktur vid dimensionering krävs friktionstester som beskriver friktionen mellan dymling i stål och trä vid olika förhållanden och ytstrukturer (Sjödin, Serrano & Enquist 2008).

1.2 Syfte och Mål

Syftet är att resultatet i form av friktionskoefficienter skall användas för att förbättra simuleringar av konstruktionsdetaljer i träkonstruktioner, t.ex. dymlingsförband.

Målet är att ta fram friktionskoefficienter för LVL (laminated veneer lumber; fanerträ) mot stål under varierande förhållanden som fukthalt, stålets ytbehandling och trämateriallets fiberriktning.

1.3 Avgränsningar

I utförandedelen vad gäller uppställningar kommer endast LVL undersökas. Med hänsyn till glidyta vid uppställningen kommer det vid försöken att användas två stålplattor med olika ytegenskaper; slät respektive blästrad yta. Andra ytegenskaper kommer inte studeras.

Klimatförhållanden avgränsas till torrt, normalt samt blött tillstånd. Vinkeln mellan materialets fibervinkel och glidytan avgränsas från -90° till $+90^\circ$ med ett intervall på 15° . Vinkel 0° innebär att provkroppens fibrer löper parallellt med glidytan medan en vinkel på 90° betyder att materialets fiberriktning är ortogonalt mot glidytan. Detta visualiseras tydligare i Figur 9. Endast tio provkroppar per fall undersöktes.

Med hänsyn till tidigare studie av Koubek & Dedicova (2014) inom samma ämne kommer detta arbete inte att ta hänsyn till extern belastning tvärs glidriktningen då endast egentyngheten av provkropparna skapar tryck mot glidytan. Friktionskoefficienterna kommer att beräknas med hjälp av uppnådd vinkel på glidytan.

2 Teoretiska utgångspunkter

2.1 Forskning inom friktion

Friktionens historia sträcker sig långt tillbaka och flera kända forskare har berört ämnet genom tiderna. Leonardo da Vinci var den som utförde de första kända försöken inom ämnet friktion. Genom sina försök kom da Vinci fram till att friktionskraften är en fjärdedel av trycket som pressas på ytan samt att friktionen är proportionerlig mot trycket (Zhuravlev 2013).

Leonard Euler är en av de rättmätiga grundarna till friktionens lag då han till skillnad från tidigare forskare tillförde matematik samt mekanik i sin forskning. Enligt en studie av Zhuravlev (2013) var Euler den första som märkte att den statiska friktionen mellan ytor översteg friktionen vid glidning. Euler var väldigt kritiskt till den fysikaliska faktorn inom ämnet och applicerade inte denna faktor i hans arbete, där tillkom den andra grundaren Charles Augustin de Coulomb till friktionens lag. Vidare menar Zhuravlev (2013) att Coulomb kompletterade Eulers studier med den fysikaliska forskningen. Genom fysikaliska försök kom Coulomb fram till att friktionskraften är oberoende av hastigheten som ytorna glider med i förhållande till varandra.

Tidigare studier av friktion utförda av Koubek & Dedicova (2014) visar att försök med stora krafter har lägre friktionskoefficienter än försök utsatta för mindre krafter. Arbetet beskriver att en studie som inte har en extern kraft som verkar vinkelrätt mot glidriktningen är relevant för ämnets fortsatta utveckling.

2.2 Friktion

Friktion är kraften som motverkar rörelse mellan två ytor som är i kontakt med varandra och utsätts för en extern kraft. Friktionskoefficienter har ingen enhet och är alltså ett dimensionslöst tal. Koefficienternas storlek beror på flera faktorer och appliceras i beräkningar vid dimensionering av konstruktioner (Hanaor, Gan & Einay 2016). Nedan förklaras vilka olika faktorer som påverkar friktionskoefficienten och hur de påverkar friktionskraften. Friktion uppkommer av adhesion som är den molekylära kraften som håller ihop två ytor som är i kontakt med varandra samt av ojämnheter som uppstår mellan ytor. Ojämnheterna kan vara allt från mikroskopiska till klart synliga ojämnheter. Friktion beror på kombinationen av ytornas ojämnheter på materialets yta och adhesion mellan ytorna, med vilken kraft som ytorna pressas mot varandra samt om de är i rörelse eller i vila gentemot varandra. Friktionen är således inte en direkt materialegenskap (Hanaor, Gan & Einay 2016).

Hanor, Gan & Einay (2016) ger en introduktion till ämnet. De skriver att friktion mellan två ytor påverkas också av elektromagnetiska krafter som sker mellan atomer. Atomerna håller fast vid varandra när ytor är i kontakt och dragkraften mellan atomerna verkar då i motsatt riktning mot ytornas rörelse. Den friktion som uppkommer då två ytor är i vila i förhållande till varandra kallas statisk friktion. Mellan två ytor i rörelse kallas det kinetisk friktion. När den externa kraften blir större än friktionskraften övergår friktionen från statisk till kinetisk friktion. Händelseförloppet omvandlar energi i form av potentiell energi till rörelseenergi som i sin tur skapar värme mellan de två ytorna. De elektromagnetiska krafterna som uppkommer har stor betydelse för vilken friktion som uppstår mellan två ytor. Kinetisk friktion utnyttjas t.ex. vid användning av tändstickor då två ojämna ytor får kontakt och drar i motsatt rörelse mot varandra. Den kinetiska friktionen skapar således värme och gnistor som antänder tändstickan.

En observation gjord av Persson (2000) visar att friktionskoefficienten nästan är helt oberoende av vilken hastighet två ytor förflyttas gentemot varandra. Vid extrema undantagsfall där hastigheten mellan två ytor är väldigt låg eller väldigt hög kan dock koefficienten vara beroende av hastigheten.

Torr friktion (dry friction) är den friktionskraft som är relevant för detta arbete. Torr friktion är den friktionskraft som uppkommer där två solida ytor har kontakt med varandra. Bortsett från torr friktion (dry friction) förekommer även vätskefriktion (fluid friction) vilket behandlar friktionen som uppkommer i en vätska eller mellan två vätskor, och smord friktion (lubricated friction) som behandlar friktionen som uppkommer mellan två solida ytor där ett smörjmedel har applicerats mellan dessa.

Torr friktion är indelad i två grupper; statisk friktion som behandlar friktionen mellan två solida ytor utan rörelse mot varandra, och kinetisk friktion som behandlar friktionen mellan två solida ytor i rörelse mot varandra.

2.2.1 Bestämning av friktionskoefficienter

Friktionskoefficienter mellan två ytor kan bestämmas genom olika metoder i varierande sammanhang. Olika metoder kan fungera olika bra beroende på studiens inriktning och sammanhang.

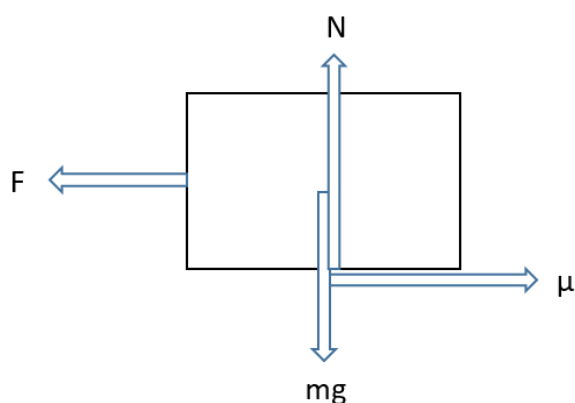
Ett alternativ som utnyttjas frekvent för att mäta friktionen mellan två ytor är metoden då ett objekts massa sätts i relation till kraften som krävs för att flytta objektet i förhållande till underlaget. Med dessa faktorer bestäms friktionskoefficienten genom ekvationen

$$\mu = F/mg \quad (1)$$

där F står för en tangentiell kraft och mg för vikten av föremålet mot underlaget. Enligt Persson (2000) är friktionslagen

$$\mu = F/L \quad (2)$$

där L kan ses som den slutliga lasten som pressas mot underlaget oberoende av kontaktytans area. Sambandet innebär att en stor kub med stor kontaktarea kommer ha lika stor friktionskraft som en liten kub med mindre kontaktarea när objekten har samma L . Figur 1 beskriver påståendet om varför arean av kontaktytan inte beaktas i formeln $\mu = F/mg$.



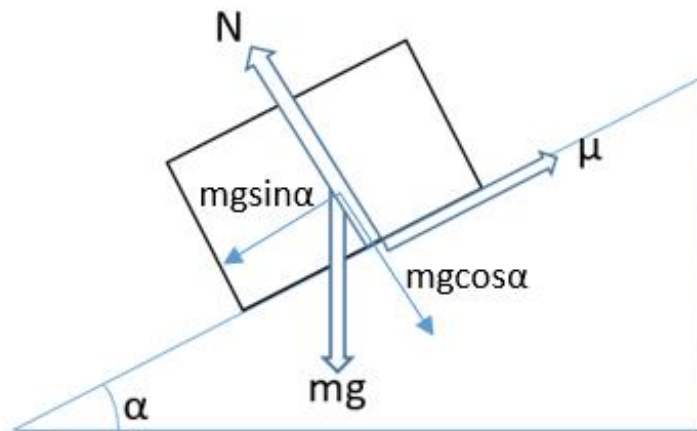
Figur 1: Visualisering av krafterna vid statisk friktion.

När statisk friktion studeras och en friktionskoefficient ska bestämmas då ett objekt placeras i lutning kan metoden vinkelfriktion tillämpas. De faktorer som inverkar på vinkelfriktion är vinkeln på underlaget vilket objektet placeras på, objektets egenvikt samt objektens ytbeskaffenhet. Genom att utsätta ett objekt för en viss vinkel precis innan objektet hamnar i rörelse i förhållande till underlaget så uppkommer den maximala statiska friktionen. För att ta fram friktionskoefficienten för fallet så ökas vinkeln precis till det läge då objektet börjar glida mot underlaget, se Figur 2. Krafterna som är parallella med glidytan är i jämvikt så att kraften $F = mg \sin(\alpha)$ som påverkar provkroppen, tas upp av en friktionskraft som beskrivs med friktionskoefficienten μ . Kraften som påverkar ortogonalt mot glidplanet är $L = mg \cos(\alpha)$. Detta resulterar i

$$\mu = F/L \quad (3)$$

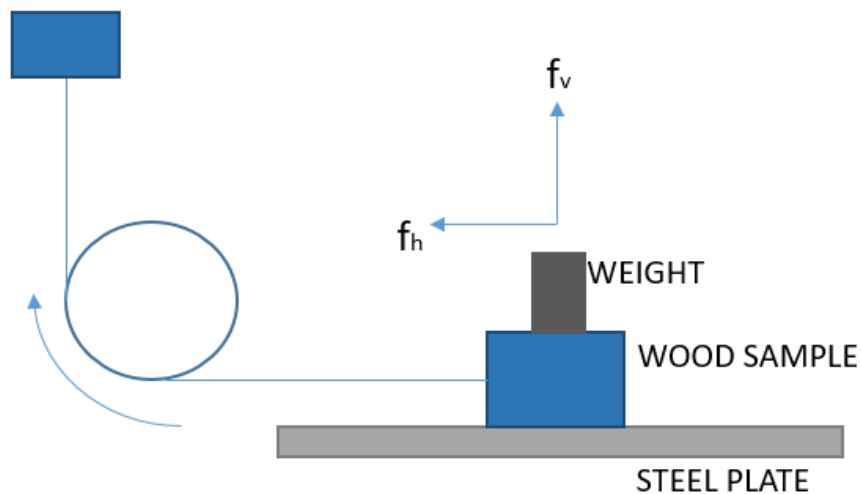
$$\mu = \frac{mg \sin(\alpha)}{mg \cos(\alpha)} = \tan(\alpha) \quad (4)$$

där μ är friktionskoefficienten.



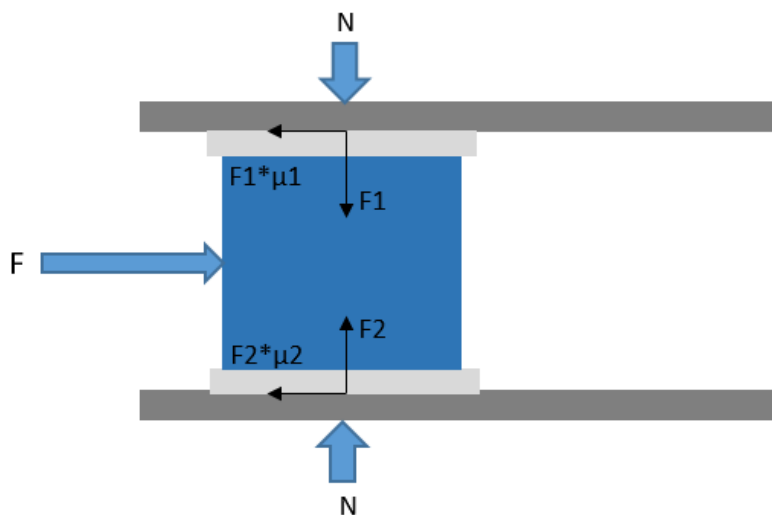
Figur 2: Visualisering av vinkelfriktion.

I studien av McMillin, Lemoin & Manwiller (1970) undersöktes friktionskoefficienten mellan träslaget furu och stål. Studien undersökte bland annat kinetisk friktion mellan olika fiberriktningar och varierande temperatur på materialen stål och trä. Bestämning av friktionskoefficienterna utfördes med hjälp av uppställning enligt Figur 3 nedan. Relationen mellan den horisontala kraften f_h som krävs för att få kuben i rörelse samt den kända vertikala kraften f_v bestämmer den kinetiska friktionskraften μ . Slutliga formeln som använts är $\mu = f_h/f_v$. Maskinen applicerade en horisontell kraft så att kuben förflyttades med en jämn hastighet. Den nödvändiga horisontella kraften vilken får kuben att röra sig dateras och appliceras sedan i formeln.



Figur 3: Bestämning av friktionskoefficient.

Seki et al. (2016) utförde en bestämning av friktionskoefficienter mellan en mässingskub samt två träbitar som pressas ihop av två metalldon, se Figur 4. Mässingskuben pressas i horisontal riktning mot planet med en kraft F . I försöket ansågs $\mu_1 = \mu_2$. Friktionskoefficienten bestämdes sedan genom ekvationen $\mu = F/2N$ där F är kraften som pressas mot mässingskuben för att få horisontal rörelse mot planet.

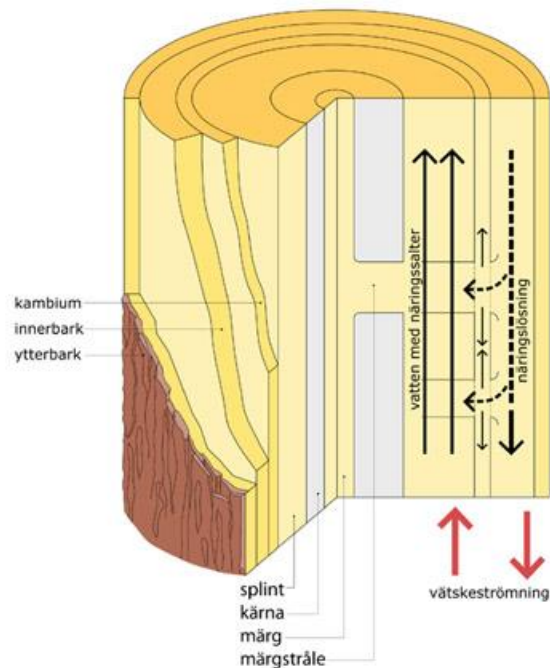


Figur 4: Bestämning av friktionskoefficient.

2.3 Trä som material

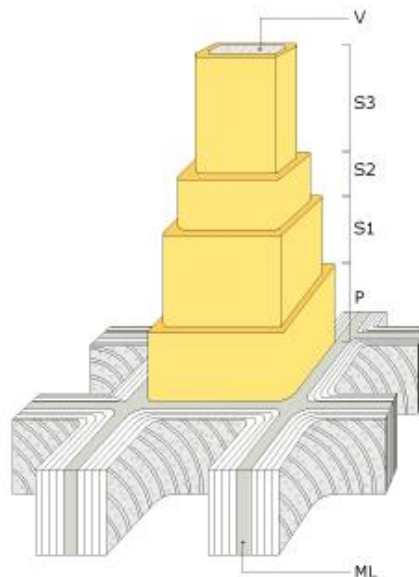
Trä är ett organiskt material till skillnad från de två andra vanligaste konstruktionsmaterialen betong och stål. Träets egenskaper varierar beroende på ett antal faktorer som tillväxtsång, vart i stammen virket är taget ifrån samt trädets ålder vid avverkning (Träguiden 2017a).

Trädstammens tvärsnitt delas i stora drag upp i märg, kärnved, splintved samt bark se Figur 5. Kärnveden är i princip alltid kvistfri och har bättre beständighet än splintveden och används ofta till snickerier. I tvärsnittet ses även stammens årsringar som talar om hur gammalt trädet är. Årsringarna kan delas upp i vårved respektive sommarved. Där sommarveden utgör de mörkare ringarna som har starka fiberväggar och cirka tre gånger så hög densitet som vårveden. Bredden på årsringarna talar om vilken tillväxthastighet trädet har haft under det året (Träguiden 2017a).



Figur 5: Trädstammens uppbyggnad (bild tagen från Träguiden 2017f med medgivande).

På mikronivå består materialet trä av en cellulärstruktur. Fiberväggarna är uppbyggda av långa cellulosakedjor som tillsammans bildar mikrofibriller. Flera mikrofibriller sammanlänkade bildar fibriller som utgör lameller i olika skikt i cellväggarna. Fiberväggen är i tvärsnitt uppbyggd utifrån och in av mittlamell, primärvägg, sekundärvägg samt vårtlager, se Figur 6 (Träguiden 2017e).



Figur 6: Fiberväggens uppbyggnad (bild tagen från Träguiden 2017e med medgivande).

Trä som material är sedan en byggsten i ett stort antal olika bygg- och konstruktionsmaterial, allt från golvsocklar till konstruktionsvirke och LVL-skivor.

2.3.1 *Laminated veneer lumber (LVL)*

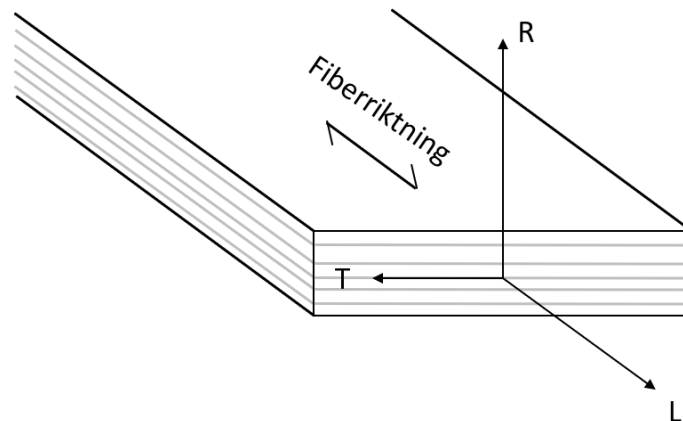
Laminated veneer lumber är det engelska uttrycket för fanérlaminatträ och förkortas LVL. En vanlig benämning i Sverige är Kerto som egentligen är ett produktnamn för Metsäs LVL-produkter (Metsäwood 2018a). Med ökande industriellt byggande ökar också efterfrågan på LVL som konstruktionsmaterial (Zi-xiang, Qiong, Rui-lin, Zhong-feng & Chowdhury 2015).

LVL tillverkas av tre millimeter tjocka svarvade fanerskivor som limmas ihop under högt tryck och vid hög temperatur. Vanligast är att faneren i LVL anordnas med fibrerna i samma riktning men det finns även LVL där ett antal faner är orienterade i tvärriktningen (Metsäwood 2018b).

Fördelen med LVL som konstruktionsmaterial är enligt Zi-xiang et al. (2015) att defekter som sprickor och kvistar fördelas mer jämnt än i vanligt konstruktionsvirke. På så vis erhålls mer enhetliga och pålitliga egenskaper i materialet. En annan fördel med LVL är att materialet inte är beroende av storlekarna på stockarna. Konstruktionsvirke sågas ur stockar vilket begränsar dimensionerna till stockarnas storlek. LVL limmas och har därmed större valfrihet vad gäller dimensioner.

2.3.2 *Mekaniska egenskaper*

Materialet trä anses ha ortotropiska egenskaper vilket innebär att materialet har unika mekaniska egenskaper i de tre till varandra vinkelräta axlarna (Kretschmann 1999). I Figur 7 ses en bild över de tre axlarna: L-axeln är den longitudinella axeln vilken är parallell med fiberriktningen, T-axeln är tangentiell mot årsringarna och R-axeln är den radiella axeln vilken är vinkelrät mot fiberriktningen, och riktad utåt från stammens mitt ortogonalt mot stammens längsriktning.



Figur 7: Definition av träets riktningar.

2.3.3 Fysiska egenskaper

Materialet trä har ett antal fysiska egenskaper som påverkar hur materialet beter sig. De fysiska egenskaperna hos materialet trä är fuktkvot, svällning, krympning samt densitet.

2.3.3.1 Fukt

Trä är ett hygroskopiskt material vilket innebär att materialet har en förmåga att absorbera och avdunsta fukt, vanligast i form av vattenånga från luften. Mängden fukt materialet tar upp beror till stor del på den relativa fukthalten i luften som materialet befinner sig i, eftersom materialet trä alltid strävar efter att hamna i jämvikt med omgivningen. Vattnet i träet är antingen fritt eller bundet. Bundet vatten innebär att vattnet absorberats av cellväggarna. När cellväggarna är mättade uppnår materialet fibermättnadspunkten, oftast vid en fuktkvot på cirka 30 procent. Fuktas materialet upp ytterligare kommer vattnet att vara fritt och transporteras kapillärt genom fibrernas håligheter (Träguiden 2017b).

Hur fuktigt trä materialet är definieras som fuktkvot. Fuktkvoten definieras som kvoten av vattnets vikt i en (fuktig) träbit i relation till vikten av samma träbit helt uttorkad (torr-vikten) (Träguiden 2017d).

Fenomenen krympning respektive svällning uppstår när fukt transporteras ut eller in i materialet. När materialet torkas transporteras först det fria vattnet i fibrernas cellhåligheter bort. När materialet sedan når fibermättnadspunkten börjar även det bundna vattnet i cellväggarna att transporteras bort, vilket orsakar krympning i materialet och en förminskning av tvärsnittet. På samma sätt uppstår svällning när materialet fuktas upp till

fibermättnadspunkten vilket ger en tvärsnittsförstoring jämfört med det tidigare uttorkade tillståndet (Träguiden 2017d).

2.3.3.2 Densitet

Den fysikaliska termen densitet anger hur tungt eller lätt ett ämne är, alltså massan per volym för ett specifikt material enligt Nationalencyklopedin (2018). Densitet hos materialet trä kan enligt Träguiden (2017c) definieras på ett antal olika sätt. Kompaktdensitet är fiberväggens densitet utan hänsyn till fukt och håligheter innehållande luft. Kompaktdensitet är i stort sätt oberoende av träslag och ett vanligt värde på den är 1 500 kg/m³.

En annan definition av träets densitet är den råa densiteten som beskriver en nyligen avverkad timmerstocks densitet. Till skillnad från kompaktdensitet så varierar den råa densiteten mellan olika träslag. Vanliga värden på barrträds råa densitet varierar mellan 800 - 1 000 kg/m³, rotstocken kan ligga runt 800 kg/m³ och toppstocken kan ha en rådensitet på upp till 1 000 kg/m³. Skillnaderna mellan rot- och toppstock beror på skillnaden i andelen kärnved och där av skillnaden i fuktkvot enligt Träguiden (2017c). En tredje definition är torrdensitet, det är den absoluta massan av ett uttorkat trämaterial. Exempel på torrdensitet kan för gran vara 370 - 440 kg/m³ och för furu 400 - 470 kg/m³.

Vidare menar Träguiden (2017c) att den mest frekvent använda definitionen av träets densitet är den torra råa densiteten. Den definieras som kvoten av det torra träets massa och råa volym. Till sist menar Träguiden (2017c) att det även finns en annan variant på beskrivningen av densitet som innebär att bestämma volymen vid en fuktkvot på tolv procent.

Medeldensiteten (densitet vid 12 % fuktkvot) hos träprodukten LVL uppgår enligt Stora Enso (2018) till 510 kg/m³.

2.4 Friktion mellan trä och stål

Tidigare studier kring friktion mellan trä och stål presenteras för att ge en bild av hur friktionen beter sig i det specifika sammanhanget. Studier kring dymlingsförband samt friktionsförsök beskrivs då förståelse av dessa ämnen ger en större bild av friktionskoefficienters inverkan.

Guan, Thunell & Lyth (1982) behandlar frågan om hur friktionskoefficienter förändras beroende på varierande fukthalter i trä samt olika ytbeskaffenheter på stålplattor i kontakt med träproverna. Det utfördes ett flertal friktionsförsök med träprover i varierande fukthalt på stålplattor med olika ytbehandlingar. Studien visar att låga tillskott av vatten på träproverna ökar friktionskoefficienten. Med ökat vattentillskott fungerade vattnet som inte absorberats in i träproverna som ett smörjmedel och benämns som fritt vatten, vilket minskade friktionen markant.

Genom friktionsförsöken kom Guan et al. (1982) fram till att stålplattornas ytbeskaffenhet hade stor inverkan på friktionskoefficienterna. Både studien av Koubek & Dedicova (2014) samt studien av Guan et al (1982) kom fram till två slutsatser:

- 1) Högre fukthalt i träprovet leder till större friktion.
- 2) Grövre yta på stålet leder till större friktion.

Enligt McMillin, Lemoin & Manwiller (1970) är den kinetiska friktionskoefficienten mellan stål och trä en fundamental del i maskiner som t.ex. i sågverk där stål kommer i kontakt med en träyta. Arbetet behandlar frågan om hur friktionskoefficienter förändras beroende på träfiberriktning, behandlingsmetoder av trä, densitet samt temperatur mellan stål och trä i gränssnittet.

Det konstaterades också att friktionskoefficienterna varierade mellan 0,10 till 0,25 och korrelerade negativt till temperaturen. Den varierande densiteten i träkuberna kunde inte sättas i relation till friktionskoefficienten då temperatur samt behandling av kuben var inräknat. Studien konstaterar att träets densitet inte har någon relevant inverkan på den kinetiska friktionen vid försöken som utfördes.

I studien av Sjödin et al. (2008) undersöks friktionens inverkan i dymlingsförband. Enligt studien tas inte friktionens inverkan i beaktning vid dimensionering av dymlingsförband i Eurokod 5. Genom ett flertal försök visas att friktionskoefficienter har betydande inverkan på dimensionering av konstruktionsförband.

Studien innehåller tester med dymlingsförband där dymlingarna har två typer av ytbehandling. Dymling med slät yta och dymling med grov yta. Sjödin et al. (2008) konstaterar att ett dymlingsförband med högre friktion har en märkningsvärt högre bärlastkapacitet än ett dymlingsförband med lägre friktion mellan dymling och hål. Försöken med högre friktion hade inte bara bättre bärförmåga utan också en mindre spridning vid repetition av samma försök. Resultatet av studien visar att bärförmågan mellan de olika dymlingarna går från 13,3 kN med slät dymling till 19,1 kN med blåstrad dymling vilket visar att olika friktionskoefficienter vid dimensioner av konstruktioner har en stor betydelse.

I studien av McKenzie & Karpovich (1968) undersöks vad som huvudsakligen påverkar friktionskoefficienter mellan trä och stål. Studien undersöker hur glidhastighet, varierande stålytor, klimatförhållande, last, area samt fiberriktning påverkar friktionskraften. Studien visar att last, area samt fiberriktning har en minimal inverkan på den slutliga maximala friktionen. Däremot har fukthalt samt variation av stålytor den största inverkan på den slutliga friktionen.

3 Metod och genomförande

Den här studien är uppdelad i två delar, en experimentell kvantitativ del samt en analytisk del baserat på utförda experiment. I den experimentella delen utförs förberedande moment och genomförandet av försöken. Vidare beskriver den även under vilka olika förhållanden provbitarna förvarats i samt dess olika materialegenskaper. En kvantitativ metod har använts för att ge ett statistiskt pålitligt resultat av experimenten.

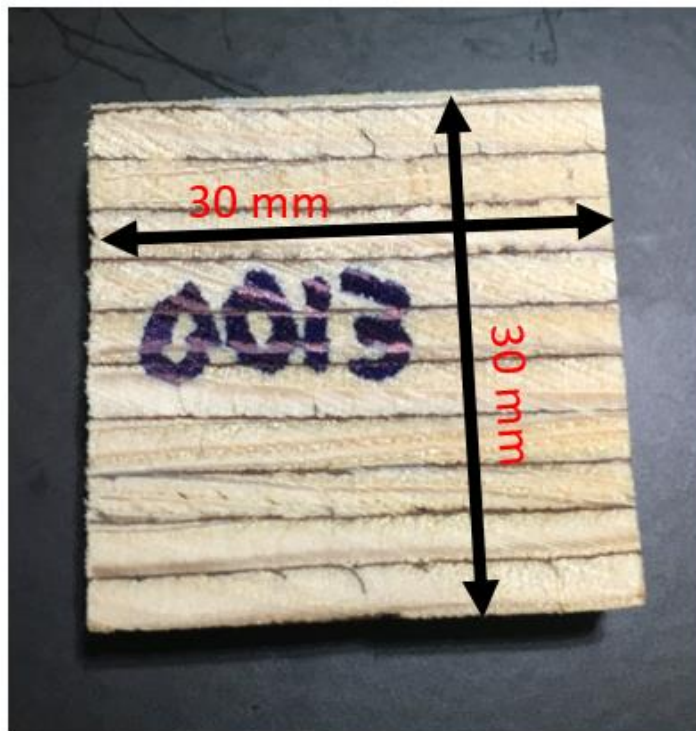
Den analytiska delen beskriver insamlade data från experimentet och hur informationen sedan analyserats och tolkats för att erhålla olika resultat och slutsatser samt friktionskoefficienter för varje försök.

3.1 Material

Materialet som användes vid experimenten erhöles från Linnéuniversitetet och beskrivs av de två kommande avsnitten.

3.1.1 Provkroppar

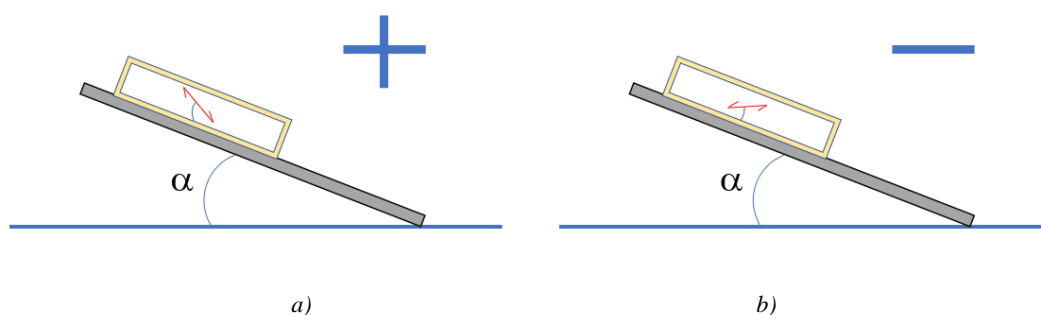
Provkropparna som experimenten utfördes med är av typen laminated veneer lumber (LVL) som är tillverkat av träslaget furu. Provkropparna sågades med en bordscirkelsåg i laboratoriet på Linnéuniversitetet upp i dimensionerna 30 x 30 x 10 mm, se Figur 8.



Figur 8: Provkropp av materialet laminated veneer lumber.

Virkesbitarna som provkropparna sågades ut ifrån var lagrade i klimatkammare som håller temperaturen 20°C med en relativ luftfuktighet på 65 %. Totalt sågades 360 provkroppar ut ur materialet. För varje provkropp testades både över- och undersidan vilket resulterade i 720 specifika provtytor.

Positiv respektive negativ fiberriktning definieras så att när fibrernas riktning pekade ned mot glidytan i glidriktningen så definierades vinkeln som positiv; när fibrernas riktning pekad upp från glidytan i glidriktningen definierades vinkeln som negativ. Fiberriktning 90° definierades som vinkelrätt mot glidytan och fiberriktning 0° definierades som parallellt med glidytan. Definitionen visualiseras även i Figur 9.



Figur 9: Definition av fiberriktning: a) positiv fiberriktning b) negativ fiberriktning.

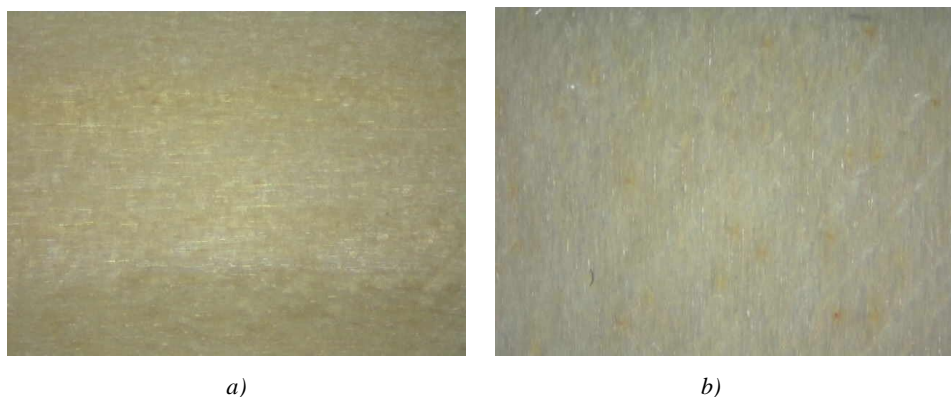
Vid framtagning av provkropparna sågades de så att de fick olika fiberriktningar. Antal provkroppar för respektive fiberriktning visas i Tabell 1.

Tabell 1: Antal provkroppar för respektive fiberriktning.

Fiberriktning [°]	Antal
0	30
15	60
30	60
45	60
60	60
75	60
90	30

För testerna utförda med fiberriktningen 15° - 75° tillverkades 60 provkroppar per fiberriktning för att kunna testas i både positiv och negativ riktning i förhållande till glidytan. Eftersom fiberriktning 0° respektive 90° är parallellt respektive ortogonalt med glidytan så uppkommer ingen positiv samt negativ riktning mot planet vilket medför att de bara kan glida på ett

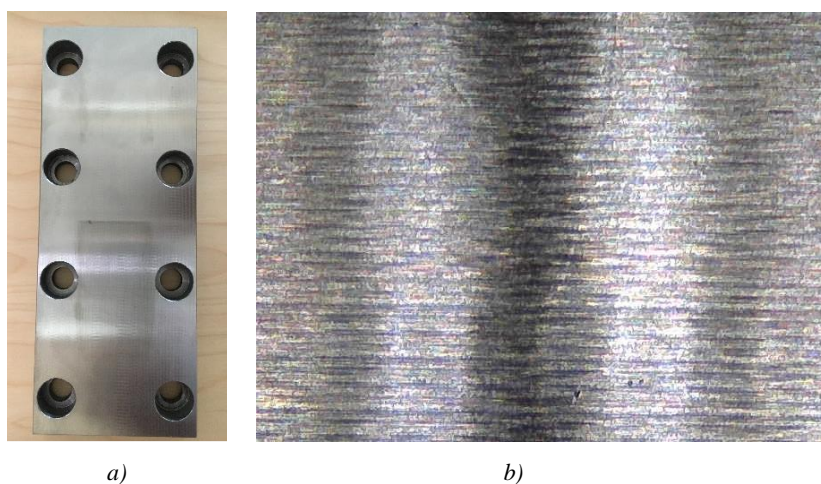
vis i förhållande till glidytan. Figur 10 visar mikroskopiska bilder på provkropparna där skillnaden i fiberriktning kan ses. Bilderna är tagna på provkroppens glidyta, alltså den yta som är mot stålplattan vid utförandet.



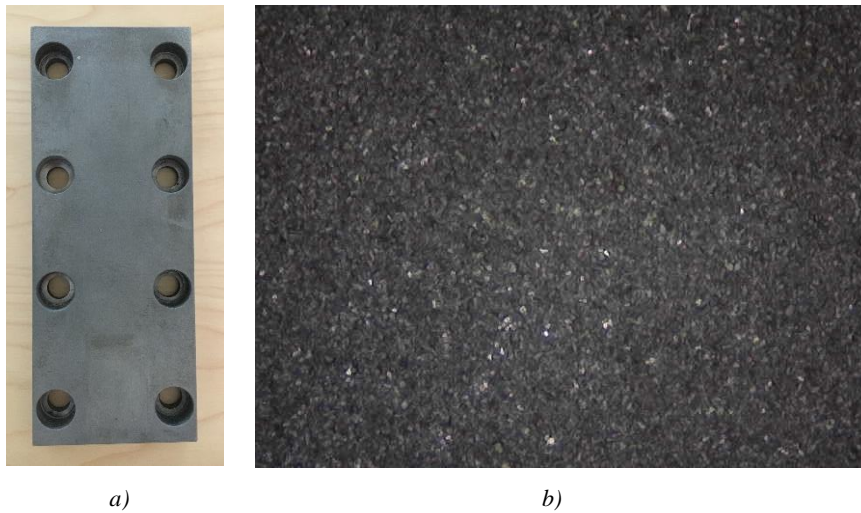
Figur 10: a) Provkropp med horisontell fiberriktning definierad som riktning 0° . b) Provkropp med vertikal fiberriktning definierad som riktning 90° .

3.1.2 Glidplattor

Vid experimenten användes två glidplattor av stål med olika ytegenskaper. En glidplatta var polerad och ansågs som slät se Figur 11. Den andra glidplattan var blåstrad och ansågs som grov se Figur 12.



Figur 11: a) Den släta glidytan som hel stålplatta och b) en mikroskopisk bild av en del av samma glidyta.



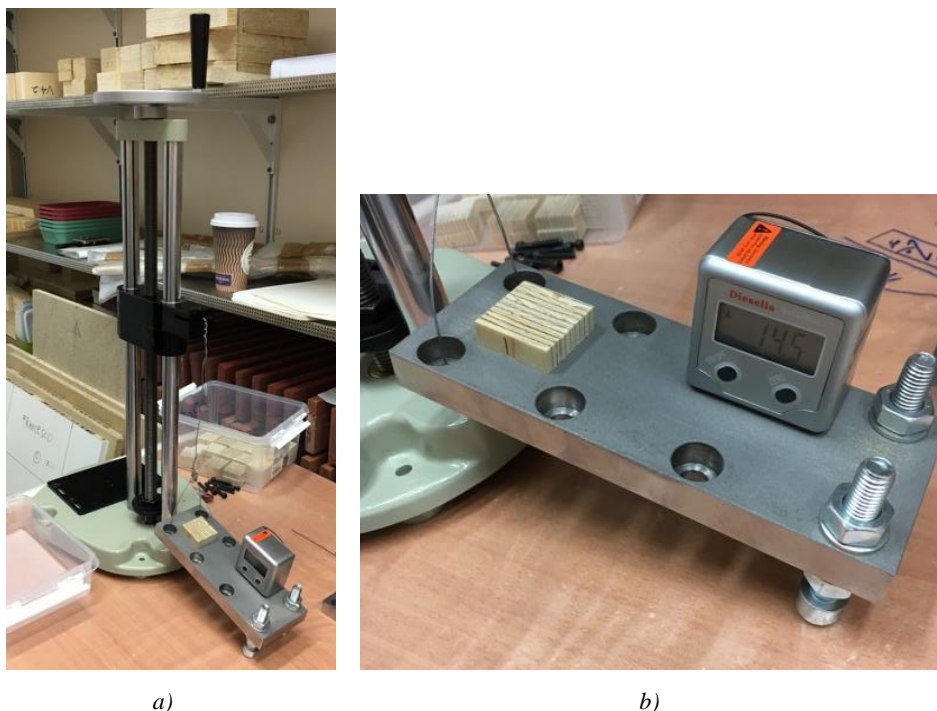
Figur 12: a) Den blåstrade glidytan som hel stålplatta och b) en mikroskopisk bild av en del av samma glidyta.

3.2 Experimentell metod

Den experimentella metoden bygger på att undersöka friktionen mellan de två stålytorna och LVL provkropparna. Provkropparna förvarades i olika klimat innan de utsattes för friktionsförsöken. Provkropparna testades med olika fiberriktning i förhållande till glidytan.

3.2.1 Försöksuppställning

Experimenten utfördes med hjälp av en lyftanordning. Stålp Plattorna monterades med ståltråd i ena änden av stålplattan för att möjliggöra en vinkelökning. På stålplattan placerades sedan en vinkelmätare med magnet. Vinkelmätaren är en Diesella BevelBox som möjliggör att mäta vinkeln med en noggrannhet om en decimal. På stålplattan placerades sedan en provkropp. Försöksuppställningen visas i Figur 13.



Figur 13: Försöksupplättning: a) hela uppställningen, b) provkroppens och vinkelmätarens placering på glidyta.

Provkropparna testades med både positiv och negativ fiberriktning i förhållande till glidplanet.

3.2.2 Förberedning

För att erhålla de resultat som efterfrågades krävdes en del förberedelse innan experimenten kunde påbörjas. Provkropparna placerades i tre olika klimat:

- En tredjedel av provkropparna förvarades i klimatkammare med en temperatur på 20°C och en relativ luftfuktighet på 32 – 36 %.
- En tredjedel placerades i en torkugn med en temperatur på 105°C för att torka ut all fukt ur provkropparna.
- Den sista tredjedelen av provkropparna placerades i vatten för att bli helt fuktmättade.

Provkropparna förvarades i respektive klimat i minst 24 timmar för att försäkra att de anpassat sig till omgivande klimatförhållanden.

För att säkerställa validiteten av data som samlades in vidtogs flera åtgärder vid förberedningen. Vid varje försökstillfälle rengjordes glidplattorna grundligt med kemiskt ren Aceton för att säkerställa en ren glidyta.

Vinkelmätaren nollställdes vid vågrät yta i laboratoriet innan varje försökstillfälle för att erhålla så noggrann vinkelmätning som möjligt. Vinkelmätaren mätte med en noggrannhet på en decimal. Kontroll utfördes även för att säkerställa att glidplattorna var vågräta tvärs glidytan för att minimera risken att provkropparna glider snett över glidytan. Sedan placerades provkropparna på glidytan för att testas. Försöksuppställningen kontrollerades före testernas utförande för att minimera tillkommande yttre störning och för att säkerställa att vevanordningen fungerade korrekt.

3.2.3 Utförande

Gemensamt för alla försök var att provkropparna placerades på en av stålplattorna enligt Figur 13. När alla förberedelser var gjorda hissades stålplattan upp i ena änden för att succesivt öka vinkeln till dess att provkroppen hamnade i rörelse. Vid första försöket för varje variation startades glidytan med en vinkel av 0° . Efterföljande tester startades med en vinkel med stor marginal under första testets vinkel där provkroppen började glida. Samtidigt som provkroppen hamnade i rörelse avbröts vinkelökningen. Vinkeln på glidytan när provkroppen hamnat i rörelse lästes av och fördes in i databasen Excel. Med hjälp av Excel kunde sedan all data enkelt filtreras och analyseras. När varje provyta var färdigtestad markerades den med ett löpnummer från 0001 och stigande.

Följande variation av genomförandet gjordes för de olika klimaten:

- Försöken med provkropparna som förvarats i normalt klimat utfördes i själva klimatkammaren för att säkerställa att de inte påverkades av något annat klimat.
- Försöken med de blöta provkropparna utfördes i en laboratoriesal där varje provkropp togs upp ur vattnet precis innan varje försök. Det ansågs att rumsklimatet inte påverkade fukthalten. Provkroppen trycktes mot torkpapper för att säkerställa att det inte fanns något fritt vatten kvar på ytan innan den testades för att minska risken att vattnet skulle fungera som smörjmedel mellan de två ytorna. När andra sidan skulle testas doppades den åter i vatten för att säkerställa att den fortfarande var helt blöt, för att sedan torkas av med papper igen innan nästa test.
- De torra provkropparna togs ut en och en ifrån torkugnen innan de testades för att de inte skulle hinna påverkas av klimatet där testerna utfördes.

Antal tester och variationer som utfördes för båda glidytorna visas i Tabell 2.

Tabell 2: Antal utförda tester för varje yta för respektive variation av fiberriktning och klimat.

Fiberriktning [°]	Torr	Normal	Blöt
0	10+90	10+90	10+90
15	10	10	10
30	10	10	10
45	10	10	10
60	10	10	10
75	10	10	10
90	10+90	10+90	10+90
-15	10	10	10
-30	10	10	10
-45	10	10	10
-60	10	10	10
-75	10	10	10

Det genomfördes 10 tester per variation med ett försök per träyta. För vinkeln 0° respektive 90° mellan glidytan och fiberriktningen repeterades försöken tio gånger för samma yta av provkroppen för att erhålla så god statistisk grund som möjligt inom rimlig tidsram. Sammanlagt utfördes därför 1 800 tester.

3.3 Analysmetod

En stor mängd rådata erhöles från experimenten som beskrivits ovan. Det stora antalet försök krävdes för att erhålla ett kvantitativt resultat som är statistiskt relevant. Därmed minskar betydelsen för extremfall som uppkommer då det statistiska underlaget är stort och spridningen kan bestämmas på ett bättre sätt.

Med hjälp av friktionsvinkeln som lästes av när provkroppen hamnade i rörelse i förhållande till glidytan kunde en friktionskoefficient räknas fram genom

$$\mu = \tan(\alpha) \quad (5)$$

där α är friktionsvinkeln och μ friktionskoefficienten. Detta gjordes automatiskt genom ett programmerat kalkylblad i Excel.

För varje varierande förhållande har ett aritmetiskt medelvärde av friktionskoefficienten räknats ut med hjälp av formel (6)

$$M = (\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n)/n \quad (6)$$

där n är antalet medräknade värden och M det beräknade aritmetiska medelvärdet. Även detta utfördes automatiskt i Excel.

För varje beräknat medelvärde beräknas även standardavvikelsen för att tydligare beskriva resultaten statistiskt. Standardavvikelsen räknades ut med Excel enligt

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma(\mu - M)^2}{n}} \quad (7)$$

där S beräknas med hjälp av insamlade data av friktionskoefficienter μ , medelvärdet M av dessa samt n som beskriver antalet medräknade värden.

4 Resultat

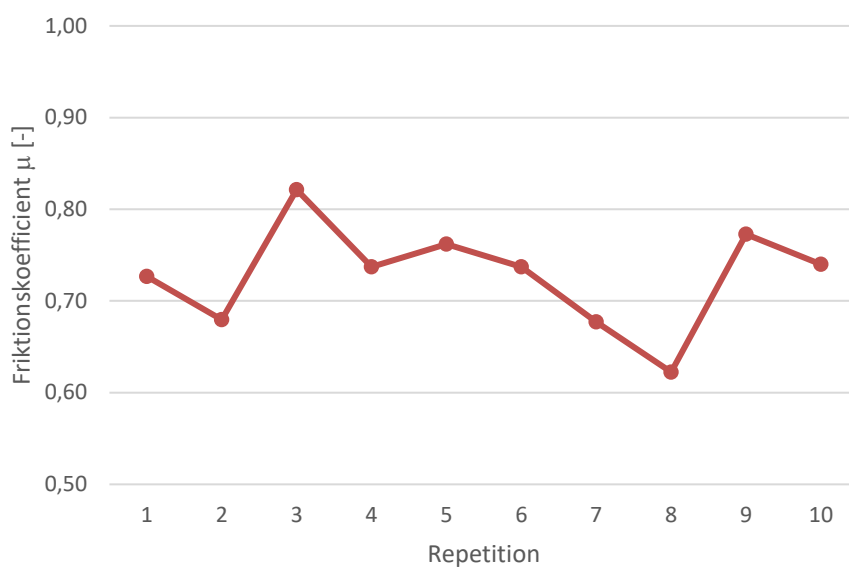
Under arbetets gång erhöles en stor mängd data som konsekvent fördes in i Excel för att sedan analyseras. Rådata som erhöles från varje försök var en vinkel på glidytan då den statiska friktionen övergick till att bli kinetisk friktion, alltså då provkroppen hamnade i rörelse gentemot glidytan. Vinkel räknades sedan med hjälp av Excel om till en friktionskoefficient. Vidare kunde även medelvärden enkelt fås fram med hjälp av samma program.

Experimenten utfördes under fler olika förhållanden så som fiberriktning i förhållande till glidplanet. Provkropparnas fukthalt varierade mellan torrt, normalt och blött tillstånd. Normalt tillstånd anses ha en relativ fuktighet på 32 – 36 % med en temperatur på 20°. Glidytan i form av stålplattor varierades mellan en som var polerad och som ansågs slät, samt en som var blästrad och som ansågs vara grov.

Resultaten av friktionsförsöken beskrivs och presenteras i de tre kommande avsnitten.

4.1 Friktionskoefficientens spridning för en provyta

Första testerna utfördes på provkropparna som förvarats i klimatkammare med normalt klimat med en relativ fuktighet på 32 – 36 % samt en temperatur på 20°C. Provkroppar med fiberriktning 0° respektive 90° utfördes med tio repetitioner på varje specifik provyta för att analysera hur stor spridning samma förhållande kan ge. Eftersom provkropparna inte utsätts för någon extern kraft utan endast påverkas av sin egentyngd antas provkroppens yta förändras minimalt för varje repetition. Ett exempel på spridning för en specifik provyta för en provkropp med fiberriktning 90° förvarad i normalt klimat visas i Figur 14 när den testades på blästrad glidyta.

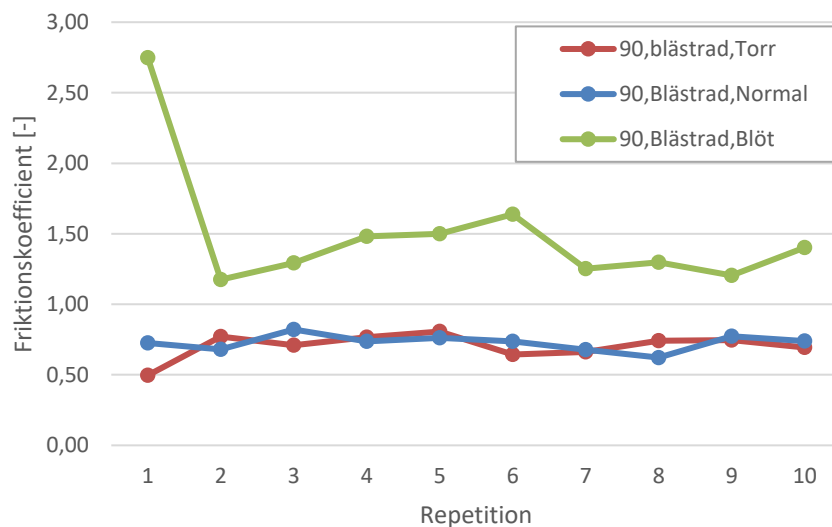


Figur 14: Friktionskoefficientens spridning för samma provyta under samma förhållanden (exempelvis för normalt klimat med den blåstrade ytan och 90° fiberriktning).

Provkroppen testades i normalt klimat på blåstrad glidyta och har en fiberriktning med 90° i förhållande till glidytan. Resultatet för den här provytan visade en variation av friktionskoefficienten mellan cirka 0,62 – 0,82, alltså en skillnad på 0,20.

4.2 Varierande klimat

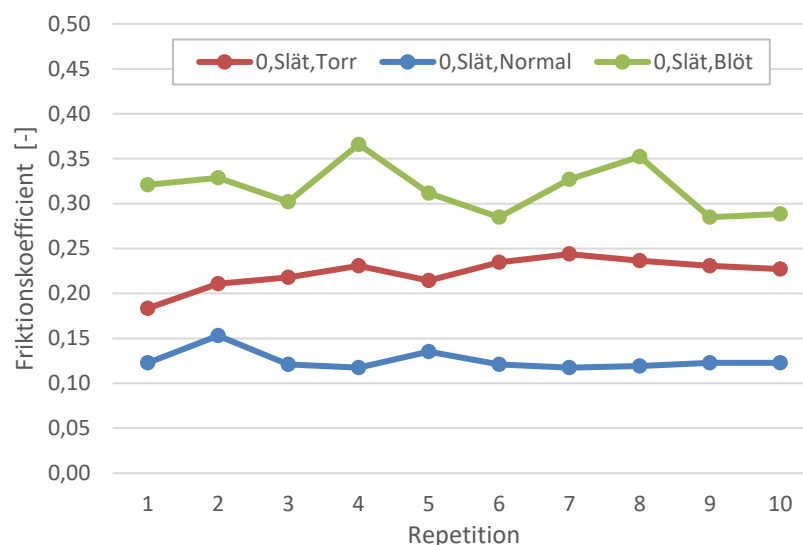
Vidare utfördes tio repetitioner även på provkroppar med fiberriktning 0° samt på släta glidytan. Skillnaden för några provkroppar som testades tio gånger med varierande klimatförhållande (torrt, normalt samt blött) och en fiberriktning på 90° ses i Figur 15 samt Figur 16.



Figur 15: Friktionskoefficientens spridning för blästrad glidyta med varierande klimatförhållanden med fiberriktning 90°.

Resultatet visar tydligt att blött klimat med blästrad glidyta skapar störst friktion mellan ytorna. De har en varians på friktionskoefficienten mellan cirka 1,3 – 1,6 samt med vad som kan tolkas som ett extremfall med en friktionskoefficient på cirka 2,7. Vidare finns det ingen tydlig skillnad på resultaten mellan torrt och normalt klimat utförda på blästrad glidyta. Båda friktionskoefficienterna tenderar att variera mellan 0,5 – 0,8.

I Figur 16 visas resultaten med fiberriktning 0° samt slät glidyta. Även här skapar blött klimat störst friktion (mellan cirka 0,29 – 0,37) precis som den gjorde i fallet med blästrad glidyta. Till skillnad från fallen med den blästrade glidytan kan här urskiljas en tydlig ökad friktion när provkropparna är torkade jämfört med normalt klimat. I torrt klimat bestäms en friktionskoefficient som varierar mellan cirka 0,18 – 0,23, i normalt klimat mellan cirka 0,11 – 0,15.



Figur 16: Friktionskoefficientens spridning för slät glidyta med varierande klimatförhållanden.

4.3 Friktionskoefficienternas medelvärden

I Tabell 3 visas ett exempel på hur resultatet av beräknade medelvärden för slät glidyta när fiberriktning samt klimat varierar. Eftersom tester på provkropparna med fiberriktning 0° samt 90° utfördes tio gånger på varje provyta finns mer information att tillgå. När värdena jämförs med övriga fiberriktningar har endast friktionsvinkeln vid första repetitionen använts för vinkel 0° och 90° . Detta för att varje medelvärde ska ha samma statistiska bredd. Respektive medelvärdes standardavvikelse presenteras i procent efter varje medelvärde inom parantes.

Tabell 3: Beräknade medelvärden för friktionskoefficienten med varierande klimat och fiberriktning på slät glidyta (standardavvikelse i procent inom parantes).

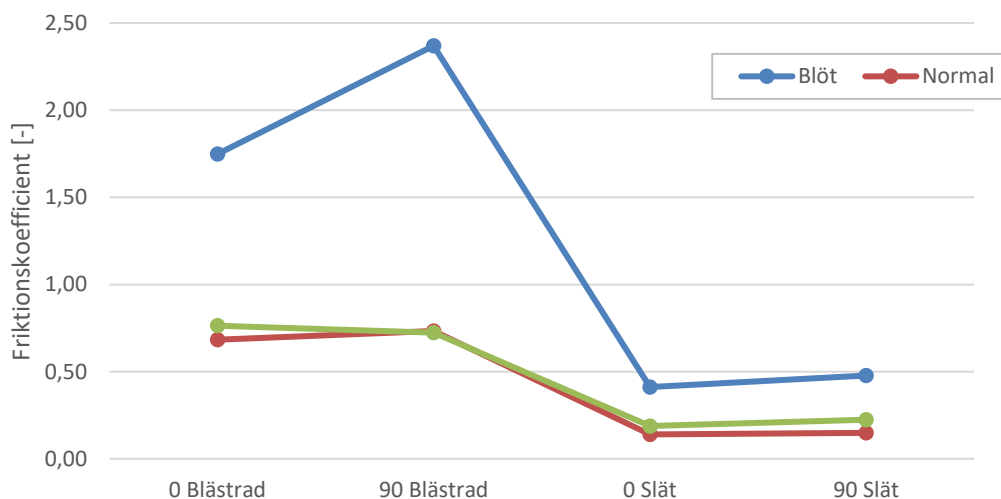
Fiberriktning [°]	Blöt	Normal	Torr
0	0,812 (51,8)	0,134 (1,6)	0,176 (4,0)
15	0,372 (4,2)	0,134 (0,7)	0,173 (1,5)
30	0,496 (17,4)	0,130 (0,7)	0,166 (1,8)
45	0,313 (3,2)	0,133 (1,1)	0,170 (1,1)
60	0,456 (43,9)	0,131 (1,1)	0,172 (2,1)
75	0,301 (0,8)	0,129 (0,8)	0,171 (1,5)
90	0,383 (17)	0,141 (1,6)	0,194 (3,3)
-75	0,274 (1,7)	0,135 (1,0)	0,173 (2,2)
-60	0,485 (21,8)	0,127 (1,5)	0,156 (1,7)
-45	0,290 (2,0)	0,131 (1,7)	0,168 (1,7)
-30	0,405 (9,4)	0,135 (1,0)	0,152 (6,6)
-15	0,349 (5,3)	0,137 (0,9)	0,180 (1,5)

Motsvarande medelvärden för den blåstrade glidyta ses i Tabell 4. Även här har endast första värdet använts för fiberriktning 0° respektive 90° för att ge en jämförelse.

Tabell 4: Beräknade medelvärden för friktionskoefficienten med varierande klimat och fiberriktning på blåstrad glidyta (standardavvikelse i procent inom parentes).

Fiberriktning [°]	Blöt	Normal	Torr
0	2,772 (44,9)	0,755 (7,8)	0,783 (10,5)
15	1,165 (19,0)	0,842 (15,0)	0,885 (22,6)
30	1,189 (17,1)	0,873 (18,2)	0,872 (13,8)
45	1,226 (16,1)	0,782 (12,2)	0,818 (7,4)
60	1,137 (17,9)	0,794 (11,0)	0,791 (8,6)
75	1,089 (10,8)	0,768 (11,5)	0,789 (4,3)
90	1,673 (62,6)	0,779 (7,5)	0,731 (11,2)
-75	1,072 (11,6)	0,755 (10,1)	0,730 (8,8)
-60	1,105 (14,3)	0,774 (8,0)	0,779 (15,9)
-45	1,128 (23,1)	0,770 (17,7)	0,831 (15,8)
-30	1,030 (10,5)	0,731 (7,6)	0,757 (12,3)
-15	1,047 (19,2)	0,775 (13,2)	0,783 (7,8)

Vidare visas resultatet för friktionskoefficientens variation för provkropparna med fiberriktning 0° respektive 90° med varierande klimat där en bredare försöksserie med alla provytor testade tio gånger utfördes. Resultat visas i Figur 17.



Figur 17: Resultat av friktionskoefficientens medelvärde för fiberriktningar 0° och 90° med varierande klimat.

Resultatet visar att friktionskoefficientens medelvärde för blött klimat är betydligt högre än för normalt respektive torrt klimat. Högst medelvärde på friktionskoefficienten erhöles med förhållandena enligt följande:

- Fiberriktning: 90° ,
- glidyta: blästrad,
- klimat: blött.

Samtidigt visar resultatet att normalt och torrt klimat inte har så stor betydelse på friktionen mellan materialen. Torrt klimat har marginellt högre värde på friktionskoefficientens medelvärde vid alla varierande förhållanden med undantag för fiberriktning 90° med en blästrad glidyta där värdet är något mindre.

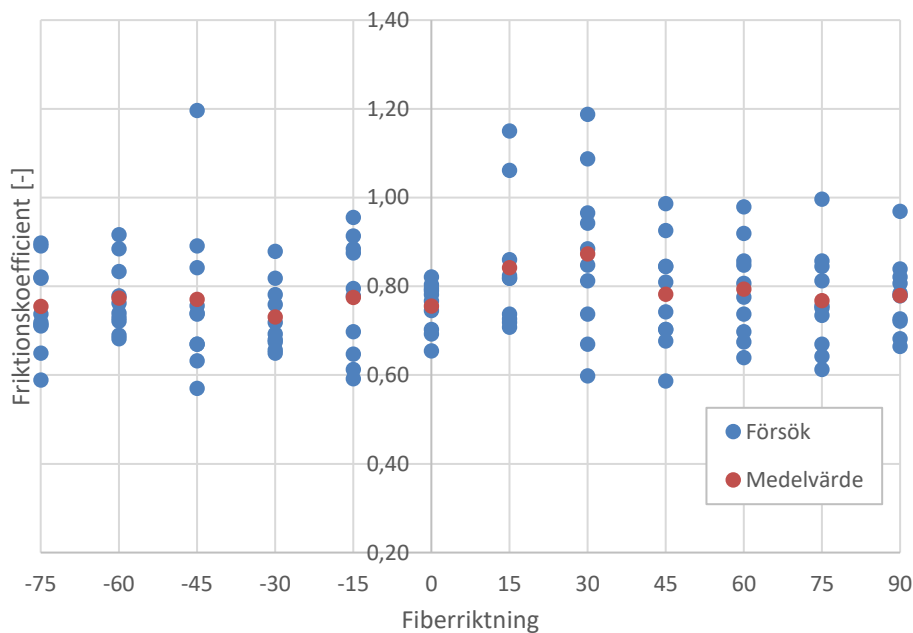
5 Analys

I kommande kapitel redovisas analys samt beskrivning av de framtagna friktionskoefficienterna. Enstaka mätvärden samt medelvärden av de individuella variationerna kommer att redovisas för att enklare få en överblick av analysen på resultaten.

Analys sker av resultat kring varierande fiberriktning, varierande klimat samt variation av två stålplattor med slät respektive blästrad yta.

5.1 Spridning av friktionskoefficienter

I Figur 18 visas tester där provkropparna placerats i normalt klimat och har varierande fiberriktning på -75° till 90° . Testerna utfördes på blästrad glidyta. Figuren visar spridningen mellan de olika provkropparnas friktionskoefficienter samt medelvärdet av dessa.



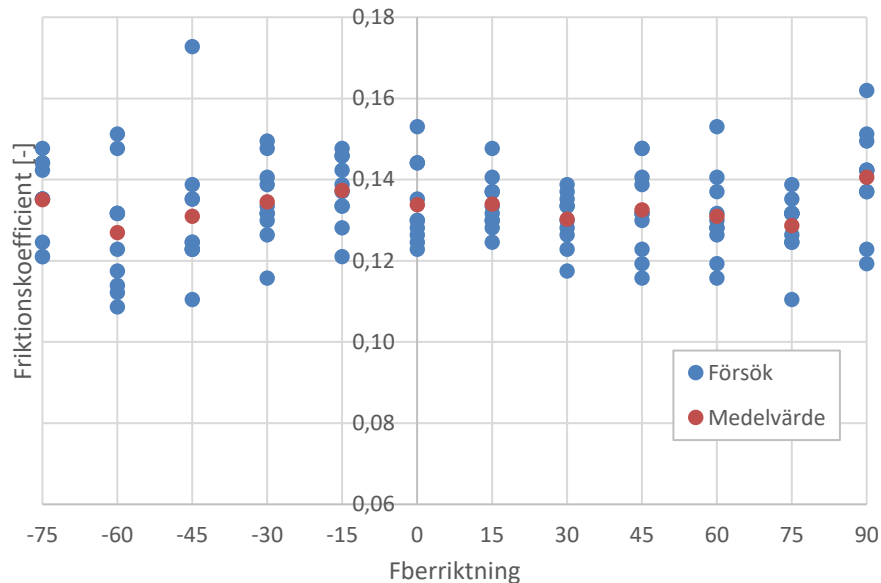
Figur 18: Friktionskoefficienters spridning på blästrad glidyta i normalt klimat.

Spridningen för de olika fiberriktningarna vid normalt klimat på blästrad glidyta är relativt jämn för de olika fiberriktningarna. Största spridningen ges med fiberriktningen -45° , där det är en spridning på 0,62 mellan högsta och lägsta friktionskoefficient. Liknande spridning ses även vid fiberriktning 30° . Minsta spridningen erhöles vid fiberriktning 0° där det endast är en spridning på cirka 0,20 mellan högsta och lägsta friktionskoefficient.

Största avvikelse från medelvärdet gavs vid testerna med fiberriktning -45° där avvikelsen uppgår till cirka 0,42. Minsta avvikelse från medelvärdet

gavs vid testerna med fiberriktning 0° där avvikelserna endast uppgår till cirka 0,10.

Figur 19 visar tester där provkropparna placerats i normalt klimat och har varierande fiberriktning från -75 till 90 . Testerna utfördes på slät glidyta. Figuren visar spridningen mellan de olika provkropparnas respektive friktionskoefficienter samt medelvärdet av dessa.



Figur 19: Frikptionskoefficienters spridning på slät glidyta i normalt klimat.

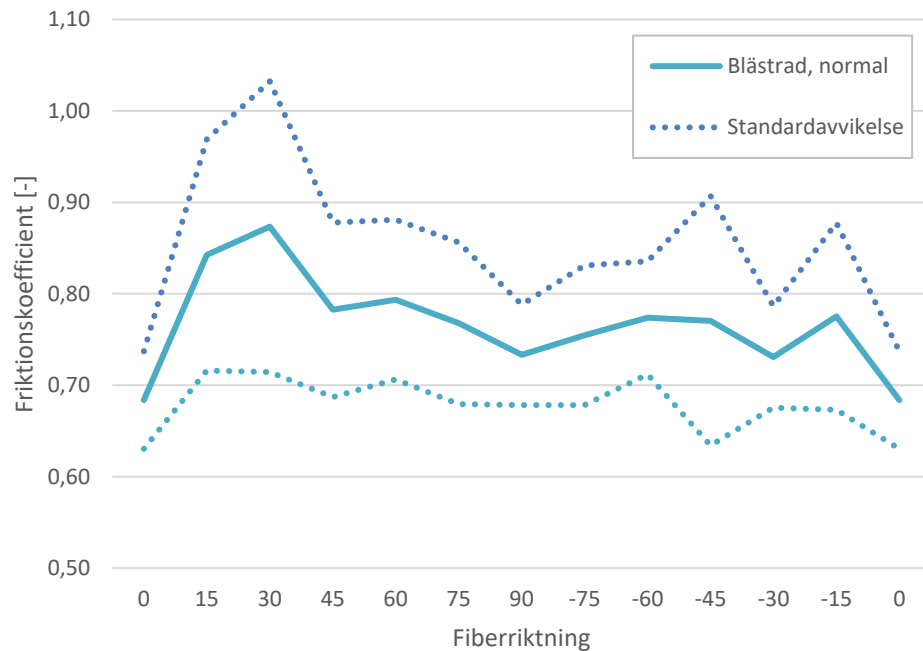
Likt Figur 18 har även värdena plottats på samma sätt för den släta glidytan med samma klimat och varierande fiberriktningar. Största spridningen uppstod precis som för den blåstrade glidytan även på slät glidyta för provkropparna med fiberriktning -45° . Största spridningen uppgick till cirka 0,06. Lägsta spridningen gavs vid fiberriktning 15° och 30° där den endast uppgick till cirka 0,023.

Största avvikelse från medelvärdet gavs för provkroppar med fiberriktning -45° likt fallet för blåstrad glidyta. Största avvikelsen uppgår till cirka 0,04. Minsta avvikelse från medelvärdet gavs för provkropparna med fiberriktning 15° och 30° och uppgick till cirka 0,01.

En jämförelse mellan Figur 18 och Figur 19 visar att både spridningen och avvikelserna från medelvärdet är runt tio gånger större för den blåstrade glidytan jämfört med den släta. Ett intressant resultat är att provkropparna med fiberriktning 30° är de med störst spridning på blåstrad glidyta samtidigt som de är de med lägst spridning på den släta glidytan.

5.2 Variation med fiberriktning

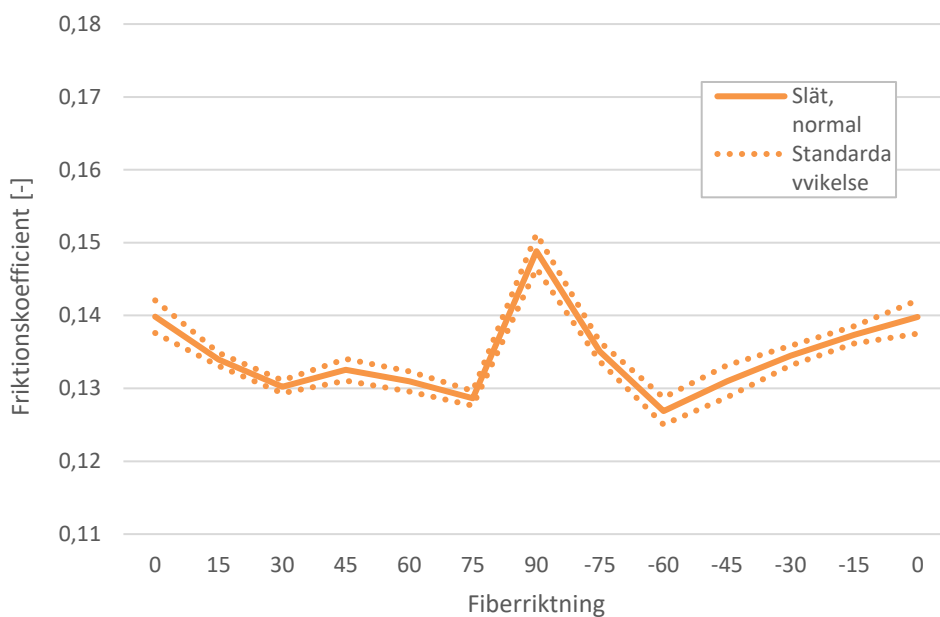
I Figur 20 visas hur friktionskoefficientens medelvärde varierar med varierande fiberriktning samt hur standardavvikelsen såg ut för respektive fiberriktning. Provkropparna var förvarade i normalt klimat i klimatkammare och testades på blåstrad glidyta.



Figur 20: Variationen av friktionskoefficienter beroende av fiberriktning för normalt klimat på blåstrad yta.

Den största friktionskoefficienten vid blåstrad yta samt normalt klimat uppkommer vid fiberriktningen 30°. Friktionen stiger fram till detta värde och faller sedan fram till fiberriktningen 0° där lägsta uppmätta friktionsvärde befinner sig på 0,68.

I Figur 21 visas medelvärde samt standardavvikelse för respektive fiberriktning. Provkropparna placerades i en klimatkammare med normalklimat och testades på slät glidyta.



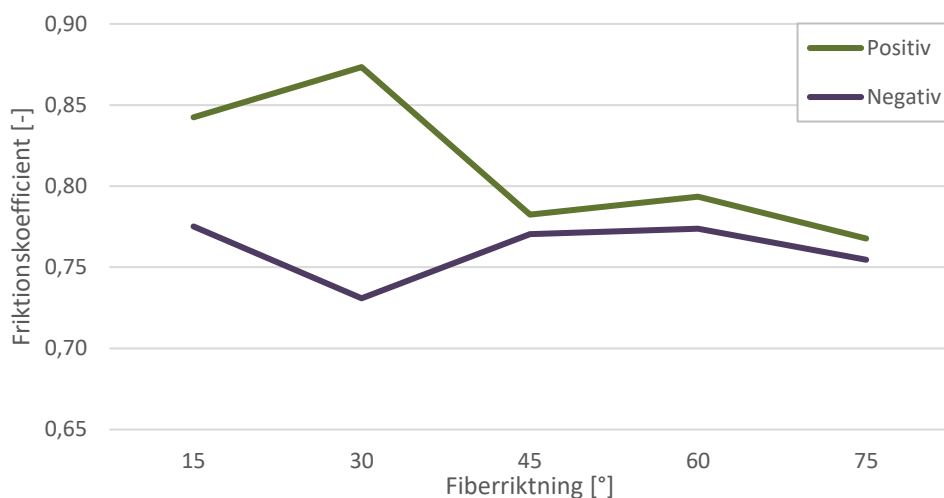
Figur 21: Variationen av friktionskoefficienter beroende av fiberriktning för normalt klimat på slät yta.

Här skiljer sig friktionskraften från Figur 20 då den största friktionskoefficienten vid slät glidyta med normalt klimat befinner sig vid fiberriktningen 90° och relativt stora friktionsvärden uppkommer även vid 0° samt -15° vid slät glidyta.

När jämförelse sker mellan Figur 20 och Figur 21 framkommer en markant skillnad mellan blästrad och slät glidyta vid varierande fiberriktningar. På blästrad glidyta noteras friktionskoefficienter från cirka 0,68 till 0,87 vid 30° vilket är en tydlig skillnad då slät glidyta har koefficienter från cirka 0,13 till 0,15 vid 30°. Det observerade jämförandet antyder att blästrad glidyta har klart högre friktion än den släta glidytan vid varierande fiberriktningar samt att det varierar i friktionskraft mellan de varierande fiberriktningarna. En jämnare kurva med mindre spridning kan observeras vid slät glidyta där endast en spridning på cirka 0,02 uppkommer till skillnad från den blästrate glidytan där en spridning på cirka 0,19 uppkommer.

Friktionskoefficienternas variation beroende av varierande fiberriktningar observeras ha en minimal inverkan av slutlig maximal friktionskoefficient då klimat samt slät/blästrad glidyta har en betydligt större inverkan. Liknande tankar kring fiberriktningens inverkan tas upp i (McKenzie & Karpovich 1968).

I Figur 22 visas tester utförda på provkroppar med positiv respektive negativ fiberriktning i normalt klimat på blästrad glidyta.

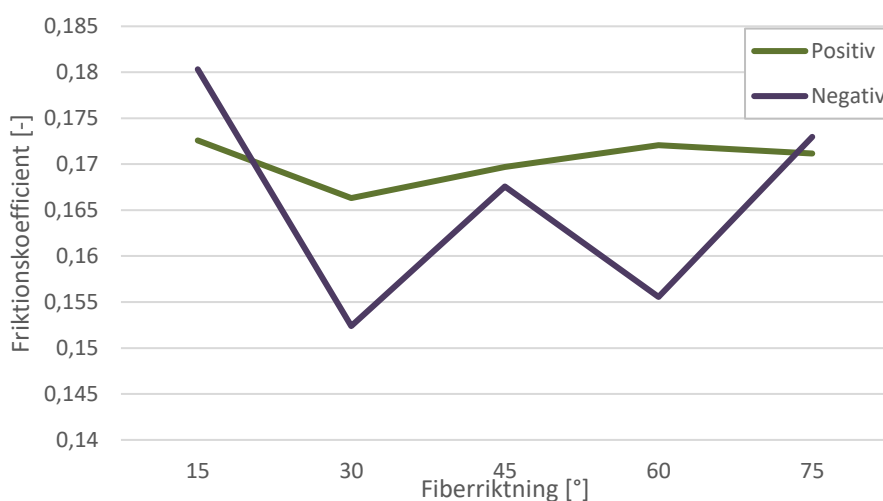


Figur 22: Friktionskoefficienternas beroende av negativ samt positiv fibervinkel i normalt klimat på blästrad yta.

Vid varierande fiberriktning för en blästrad yta i normalt klimat uppkommer en markant skillnad vid positiv jämfört med negativ riktning. Den positiva fiberriktningen tenderar att ha ett högre medelvärde för friktionskoefficienten vid ett flertal variationer av fiberriktning på blästrad glidyta, se bilaga 1.

I Figur 22 ovan uppkommer den största friktionen vid positiv fiberriktning 30° där koefficienten är cirka 0,87 och den lägsta vid negativ fiberriktning 30° där koefficienten är cirka 0,73. Den positiva fiberriktningen fortsätter att ha högre friktion genom hela kurvan från 15° till 75°.

I Figur 23 visas tester utförda på provkroppar med positiv respektive negativ fiberriktning i torrt klimat på slät glidyta.



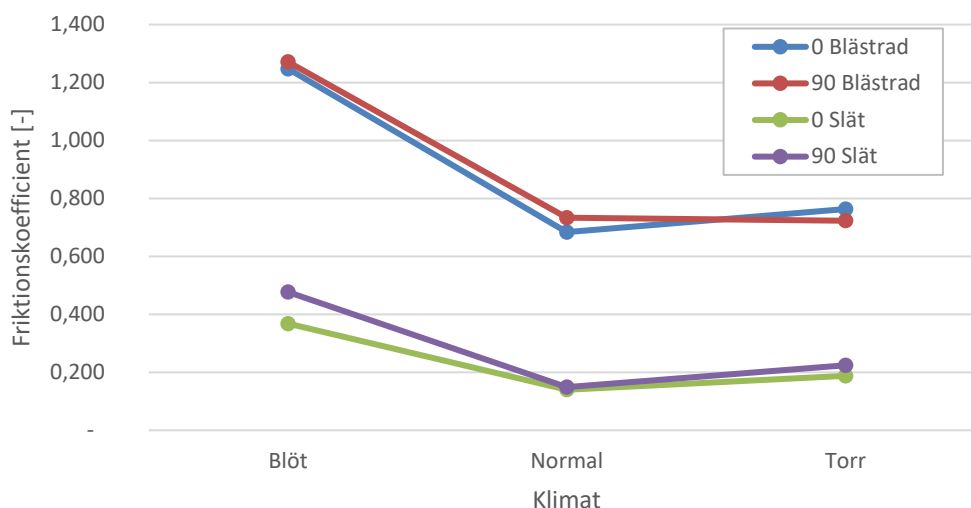
Figur 23: Friktionskoefficienterna beroende av negativ samt positiv fibervinkel i torrt klimat på slät yta.

Vid varierande fiberriktning för slät glidyta med provkropparna förvarade i torrt klimat uppkommer som för blästrad glidyta ett liknande fenomen där en märkbar skillnad mellan positiv respektive negativ riktning uppkommer. Ur Figur 23 kan det utläsas att för fallet med torrt klimat på slät glidyta att positiv riktning tenderar att ha större friktionskoefficienter jämfört med negativ riktning.

Fenomenet där positiv fiberriktning har större friktionskoefficienter kan inte tas för givet vid alla variationer på slät glidyta då kombinationen med normalt klimat skiljer sig från resterande fall där negativ riktning har den övervägande andelen större friktionskoefficienter (se även Bilaga 1).

5.3 Variation med klimat

I Figur 24 visas tester utsatta för blött, normalt samt torrt klimat med fiberriktning 0° och 90° på slät samt blästrad glidyta.



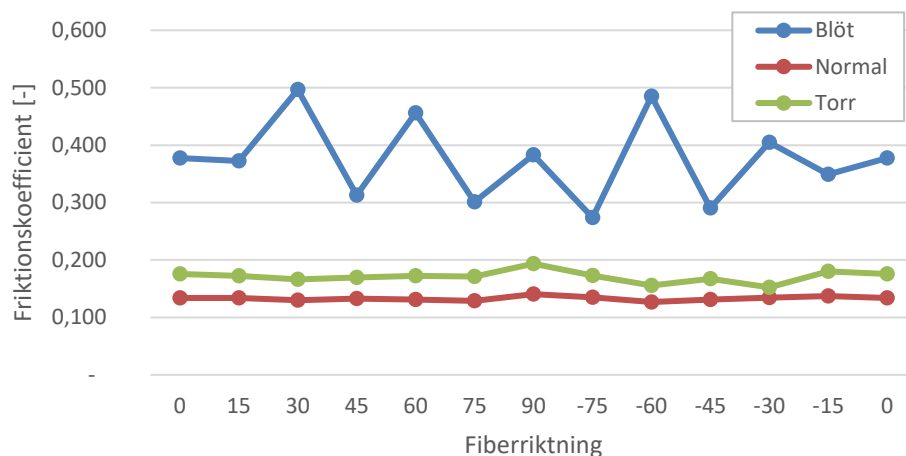
Figur 24: Variation av friktionskoefficienter beroende av varierande klimat för slät och blästrad yta för utvalda vinklar.

I en jämförelse av testerna med fiberriktning 0° respektive 90° för slät och blästrad glidyta kan det tydligt ses att blött klimat ger en högre friktionskoefficient än de andra klimaten. För den blästrade glidytan ger blött klimat ett medelvärde på friktionskoefficienten på cirka 1,28 för provkropp med fiberriktning 90° samt 1,22 för provkropparna med fiberriktning 0°. En jämförelse med samma fiberriktning vid normalt samt torr klimat där medelvärdet för friktionskoefficienten endast ligger runt cirka 0,70 - 0,80.

Samma jämförelse kan utföras vid slät glidyta där medelvärdet för friktionskoefficienten för fiberriktning 0° respektive 90° ligger mellan cirka 0,40 – 0,50 för blött klimat samtidigt som de för normalt och torr klimat

ligger runt 0,15 - 0,25. Torrt klimat tenderar att ha något högre medelvärde på friktionskoefficienten jämfört med normalt klimat.

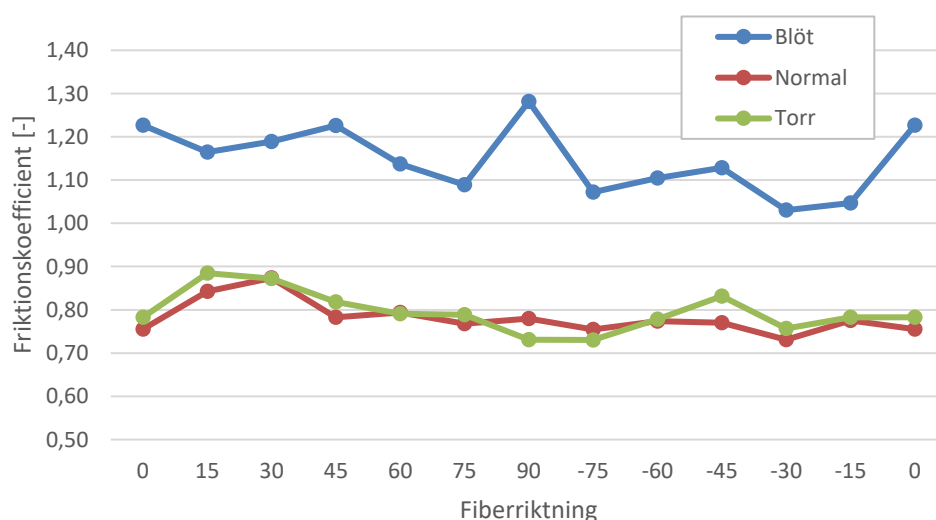
I Figur 25 visas tester där provkropparna placerats i blött, normalt samt torrt klimat med alla ingående fiberriktningar. Testerna som presenteras i Figur 25 utfördes på slät glidyta.



Figur 25: Variation av friktionskoefficienter med varierande klimat med tester utförda på slät glidyta.

Blött klimat har betydligt högre medelvärden jämfört med normalt och torrt klimat. Samtidigt tenderar även här tort klimat ge något högre medelvärde jämfört med normalt klimat.

I Figur 26 visas tester där provkropparna placerats i blött, normalt samt torrt klimat med alla ingående fiberriktningar. Testerna som presenteras i Figur 26 utfördes på blåstrad glidyta.



Figur 26: Variation av friktionskoefficienter med varierande klimat med tester utförda på blåstrad glidyta.

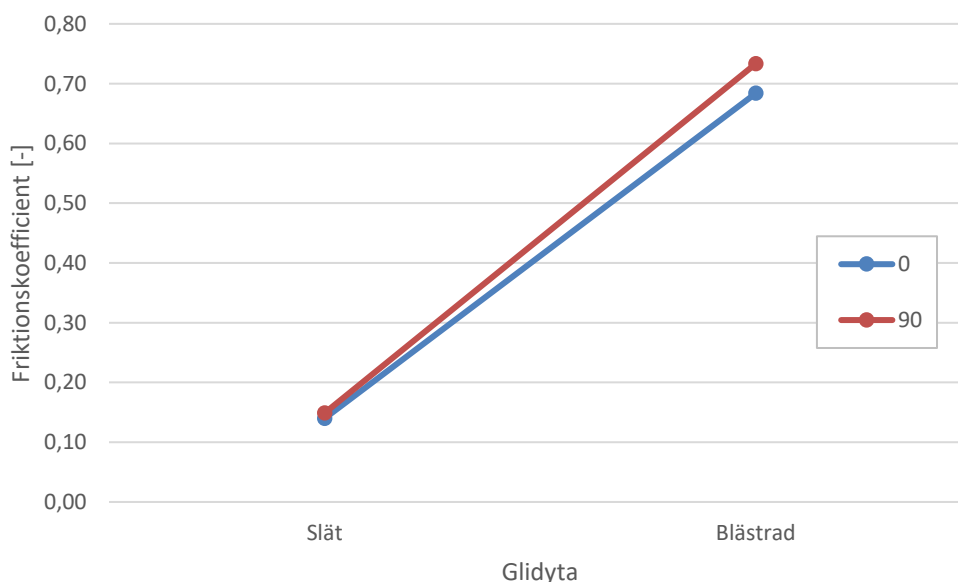
Likt de tidigare jämförelserna i detta kapitel ger blött klimat ett betydligt högre medelvärde på friktionskoefficienterna jämfört med normalt och tørt klimat. En skillnad kan dock tydas mellan de olika glidyterna i Figur 25 och Figur 26. Fallet med slät glidyta påvisade att tørt klimat hade positiv inverkan på friktionskoefficientens medelvärde. Jämfört med Figur 26 där variationen mellan tørt respektive normalt klimat inte tenderar att skilja sig nämnvärt.

Av analyserna i kapitlet ovan framgår det tydligt att rådande klimat provkropparna befinner sig i har stor påverkan på friktionen. Det framgår tydligt att blött klimat skapar betydligt större friktion mellan trä och stål jämfört med övriga klimat vilket även Guan et al (1982) kom fram till i deras studie om friktion mellan olika träslag och stål.

Resultaten för blött klimat med fiberriktning 0° (men eventuellt även vid 90°) visar en stor avvikelse gentemot övriga klimat och fiberriktningar. Det kan tyda på att det inte längre råder statisk friktion med mikroskopiska kontaktpunkter som Sahli (2018) beskriver i sin studie.

5.4 Variation med slät resp. blästrad yta

I Figur 27 visas tester placerade i normalt klimat med en fiberriktning på 0° och 90° . Testerna utfördes på slät samt blästrad glidyta.



Figur 27: Friktionskoefficienter beroende av slät samt blästrad glidyta i normalt klimat för utvalda vinklar.

Vid ett undersökningar konstateras att oavsett vilken variation av fiberriktning eller klimat så kommer ytan av stålplattan ha den största påverkan på friktionskoefficienten där den blästrade stålplattan har en avsevärt större friktionskoefficient. Denna observation framkommer likaså

vid Dorn, de Borst & Eberhardsteiner (2013) då deras studie konstaterar att de grövre stålytorna klarade en högre extern kraft i dymplingsförbanden vilket leder till högre bärförmåga.

Ur Figur 27 ovan uppkommer de största friktionskoefficienterna vid blästrad glidyta med en koefficient av 0,73 vid 90° samt 0,68 vid 0°. De lägsta friktionskoefficienterna uppkommer då slät glidyta testas och har koefficienten 0,15 vid 90° samt 0°.

6 Diskussion

I detta kapitel kommer diskussion att föras kring val av metod och dess validitet, reliabilitet samt möjliga felkällor som kan uppstått vid de utförda försöken. En diskussion kommer även att föras kring hur framställda resultat stämmer överens med tidigare utförda studier samt om de är tillräckligt omfattande för att ge ett trovärdigt resultat.

6.1 Metoddiskussion

Studien anses ha hög reliabilitet eftersom fokus låg på stor kvantitet genom att utföra ett stort antal tester. Studien innehåller tester av ett flertal varianter av fiberriktning, tre varierande klimatförhållanden samt två varierande glidytor som provkropparna testades på. För att säkerställa att arbetet blev reliabelt utfördes flera tester med olika provkroppar på de lika varianterna vilket ledde till ett genomförande av 1800 tester. Det stora antalet tester av de olika varianterna ledde till att ett mer säkert sammanställande av friktionskoefficienternas medelvärde kunde utföras och analyseras. Testerna med normalt klimat utfördes i klimatkammare för att provkropparna inte skulle anpassa sig till ett annat klimat. De blöta provkropparna förvarades i vatten till dess att testerna utfördes, då provkroppen torkades av så att ytligt vatten inte skulle påverka ytorna och fungera som smörjmedel. I de torra klimattesterna bevarades provkropparna i ugnen så länge som möjligt för att bibehålla sina egenskaper. Sedan togs de, en och en, ur ugnen för att påverkas så lite som möjligt av rumsklimatet.

Under genomförandets gång uppkom ett antal extremfall där testerna fick orimligt stora koefficientvärden. Dessa fallen uppkom då blött klimat testades på den blåstrade glidytan. Provkropparna fastnade mot stålplattan och klarade att hålla sig fast till över vertikal vinkel. De extremfallen ansågs inte vara relevanta i resultatet då friktionskraften inte längre verkade i de fallen. Friktionen övergick istället till ett annat fenomen som inte längre var något studien avhandlade. Det kan dock förklara de extrema medelvärden som erhöles för försök med det blöta klimatet. För att försäkra arbetets validitet för insamlade data så kontrollerades mätinstrument noggrant och kalibrerades i intervall mellan försöken. Försöksuppställningen utformades så att inga yttre störningar skulle störa försöken. Glidplattorna vilket provkropparna gled emot behandlades med aceton för att ta bort tillkommande glidmedel.

Utförandet avgränsades till att undersöka klimatfallen blött, torrt och normalt vilket kunde undersökts vidare med mer varierande fukthalter. Denna aspekt kunde ha gjort arbetet mer exakt med hänsyn till just fukthaltens inverkan men hade då krävt mer material, instrument samt fler antal tester vilket ansågs vara för stort för aktuell tidsram. Även fler träslag kunde undersökts vilket också hade lett till flera provkroppar samt ett

betydligt större antal tester som även detta ansågs för omfattande för den aktuella studien.

Den mänskliga faktorn spelade roll under försöken då det med ögat skulle upptäckas när provkropparna hamnade i rörelse gentemot stålplattan. I tester utförda på slät yta var dessa rörelser minimala och svåra att uppfatta. Om den mänskliga faktorn minimerats i detta fall kunde resultatet eventuellt blivit noggrannare, under förutsättningen att en lämplig automatiserad metod hade kunnat användas.

6.2 Resultatdiskussion

Det är tydligt att det krävs stora och breda studier kring friktion mellan stål och trä för att erhålla ett realistiskt resultat då det förekommer en stor spridning vid utförda försök. Friktionen som uppstår mellan stål och trä beror på ett antal olika faktorer som fukthalten i trämaterialiet (i detta arbete användes ett torrt, normalt samt blött klimat). Det beror även på stålets ytegenskaper, i det här fallet definierade som slät respektive blåstrad yta. I försöken har även fiberriktning varierats för att studera i vilken utsträckning det påverkar resultatet.

Resultatet visade att vid blött klimat ökade friktionen vilket även stämmer med de teoretiska utgångspunkterna och som beskrevs vid tidigare studier inom ämnet. Likt tidigare studier visade också resultatet att oberoende av klimat och fiberriktning så erhöles störst friktion vid en grövre glidyta.

En avvikelse som upptäckts jämfört med de teoretiska utgångspunkterna är att det i resultaten har visats att provkropparna som torkats i 105°C har uppmätt högre friktion jämfört med provkropparna som förvarats i normalt klimat. Enligt tidigare studier som behandlats i teorin tenderar provkroppar med högre temperaturer ha negativ effekt på friktionen. Då provkropparna togs ut ur torkugnen och testades direkt höll de betydligt högre temperatur än övriga provkroppar som testats vilket borde påverkat friktionen negativt. En skillnad som kan noteras är att studien som pekar på negativ effekt vid höjda temperaturer har utförts med annat trämaterial.

Friktionskoefficienternas medelvärden och standardavvikelse för respektive förhållande kan statistiskt sett förbättras genom att utöka antalet testserier samt utföras med noggrannare test- och mätutrustning.

7 Slutsatser

Resultaten av friktionsförsöken visar att friktion beror på flera olika faktorer som stålytans egenskaper, klimatet provkropparna förvarats i samt deras fiberriktning i förhållande till glidriktningen.

Allt pekar på att blåstrad glidyta mot en provkropp i blött klimat skapar största friktionskraften och därmed största friktionskoefficienten. Fiberriktningen tenderar att ha viss inverkan på friktionen. Den är dock relativt liten och har begränsad betydelse jämfört med inverkan av variationer i klimat och glidytagens egenskaper. Det visade sig att med hänsyn till fiberriktningar att positiva fiberriktningar resulterade i klart större friktionskoefficienter jämfört med de negativa fiberriktningarna för den blåstrade glidyten. För den släta glidyten resulterar den positiva fiberriktningen dock inte i större friktionskoefficienter i alla klimat.

Det är tydligt att glidytagens egenskaper har stor inverkan på friktionen. Den blåstrade glidyta gav friktionskoefficienter som var drygt fyra gånger så stora som de för den släta glidyten. Vad gäller klimat så gav ett blött klimat betydligt högre friktionskoefficienter jämfört med normalt och torrt, enligt förväntningar. En oväntad upptäckt var däremot att torrt klimat orsakade större friktion på den släta glidyten jämfört med provkropparna som förvarats i normalt klimat. På den blåstrade glidyten erhöles ett mer förväntat resultat där det inte gick att urskilja någon direkt skillnad mellan klimaten torrt och normalt.

För att erhålla större noggrannhet på resultaten krävs en betydligt större mängd försök för respektive förhållande.

Då studien är avgränsad till tre varierande klimat finns det behov av fler utökade studier med större variation vad gäller fukthalt i provkropparna. För att erhålla ett större utökat underlag till simuleringar behöver även trämaterialen utökas från enbart LVL.

Referenser

- Dorn, M., de Borst, K., & Eberhardsteiner, J. (2013). *Experiments on dowel-type timber connections*. *Engineering structures*, 47, ss. 67-80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.09.010>
- Funke, R. & Schubert, A. (2016). *Increase of the coefficient of static friction using –turn-milling with an inclined milling spindle*, *Procedia CIRP*, 45, ss. 83-86. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.120>
- Guan, N., Thunell, B. & Lyth, K. (1982). *The friction between some common Swedish Wood species and steel*. *European Journal of Wood and Wood Products*, 41, ss. 55-60. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02612232>
- Hanaor, D. A., Gan, Y., & Einay, I. (2016). *Static friction at fractal interfaces*. *Tribology International*, 93, ss. 229-238.
- Koubek, R. & Dedicova, K. (2014). *Friction of wood on steel*. Examensarbete (magister), Linnéuniversitetet.
- Kretschmann, D. E. (1999). *Mechanical properties of wood*. General technical report FPL-GTR-190.
- McKenzie, W. M. & Karpovich, H. (1968). *The friction behavior of wood*. *Wood Science and Technology*, 2, ss. 139-152.
- McMillin, C. W., Lemoin, T. J., & Manwiller, F. G. (1970). *Friction Coefficient of oven-dry spruce pine on steel, as related to temperature and wood properties*. *Wood and Fiber Science*, 2(1), ss. 6-11.
- Metsäwood (2018a). *KERTO LVL*. <https://www.metsawood.com/global/Products/kerto/Pages/Kerto.aspx#> [2018-04-23].
- Metsäwood (2018b). *KERTO för bärande konstruktioner* [broschyr]. <https://www.metsawood.com/global/Products/kerto/Pages/Kerto.aspx#>
- Nationalencyklopedin, *Densitet*. <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/densitet> [2018-04-25].
- Persson, B. N. J. (2000). *Sliding friction: Physical Principles and Applications*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York: 2000. DOI 10.1007/978-3-662-04283-0
- Sahli, R., Pallares, G., Ducottet, C., Ben Ali, I. E., Al Akharass, S., Guibert, M. & Scheibert, J. (2018). *Evolution of real contact area under shear and the value of static friction of soft materials*. *Proceedings of the National*

Academy of Sciences, 115, ss. 471-476. DOI:
<https://doi.org/10.1073/pnas.1706434115>

Seki, M., Tanaka, S., Miki, T., Shigematsu, I. & Kanayama, K. (2016). *Friction characteristics between metal tool and wood impregnated with phenol formaldehyde (PF) resin during exposure to high pressure*. Journal of Wood Science, 62, ss. 233-241.

SIS (2004). EN 1995-1-1: Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner – Del 1-1: Allmänt – Gemensamma regler och regler för byggnader.

Sjödin, J., Serrano, E. & Enquist, B. (2008). *An experimental and numerical study of the effect of friction in single dowel joints*. European Journal of Wood and Wood Products, 66, ss. 363-372. DOI:
<https://doi.org/10.1007/s00107-008-0267-z>

Stora Enso (2018). *LVL (Laminated Veneer Lumber)*.
<http://buildingandliving.storaenso.com/products-and-services/lvl> [2018-04-25]

Träguiden (2017a). *Barrträdetts uppbyggnad*. <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-uppbyggnad/> [2018-04-16].

Träguiden (2017b). *Fukttransport och fuktupptagning*.
<https://www.traguiden.se/om-tra/byggfysik/fukt/fukt/fukttransport-och-fuktupptagning/> [2018-04-19]

Träguiden (2017c). *Definitioner*. <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/densitet1/definitioner/> [2018-04-25].

Träguiden (2017d). *Trä och fukt*. <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/fuktegenskaper1/tra-och-fukt/> [2018-04-19].

Träguiden (2017e). *Cellstruktur*. <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-uppbyggnad/traets-uppbyggnad/cellstruktur/?previousState=1> [2018-08-05]

Träguiden (2017f). *Stammens uppbyggnad*. <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-uppbyggnad/traets-uppbyggnad/cellstruktur/?previousState=1> [2018-08-05]

Zi-xiang, C., Qiong, L., Rui-lin, H., Zhong-feng, Z. & Chowdhury, A. J. K. (2015) *Review on antibacterial biocomposites of structural laminated veneer lumber*. Saudi Journal of Biological Sciences, 23, ss. 142-147. DOI:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.09.025>

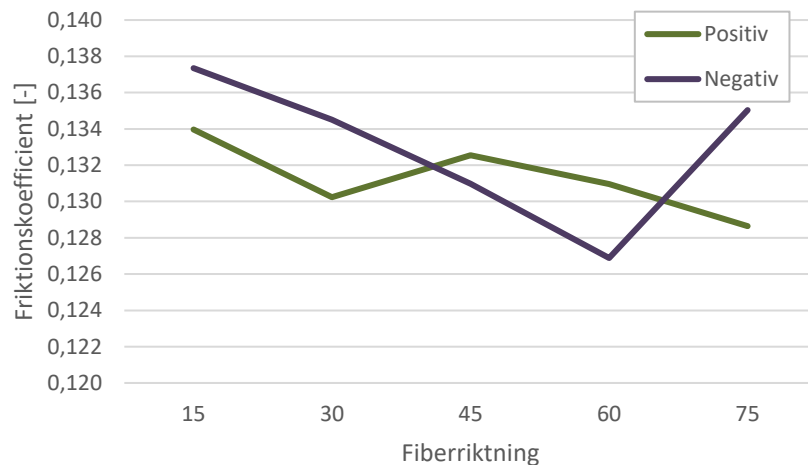
Zhuravlev, V. P. (2013). *On the history of the dry friction law*. *Mechanics of solids*, 48, ss. 364-369.

<https://link.springer.com/article/10.3103%2FS002565441304002X>

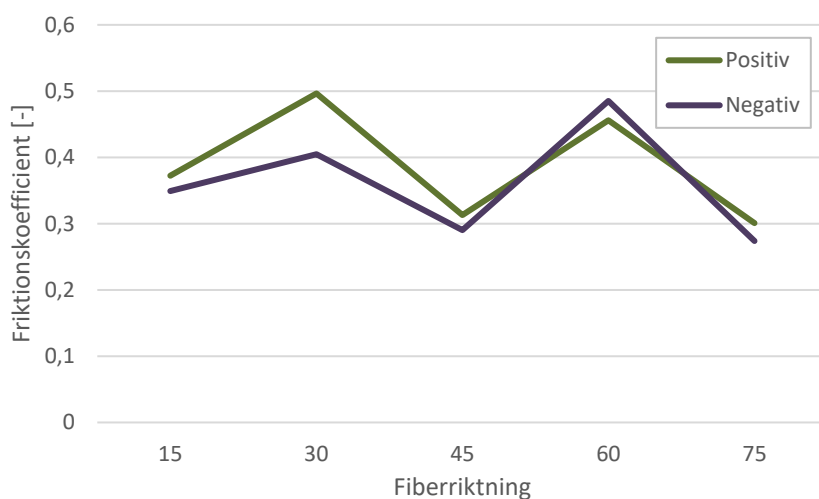
Bilagor

Bilaga 1: Diagram över varierande förhållanden

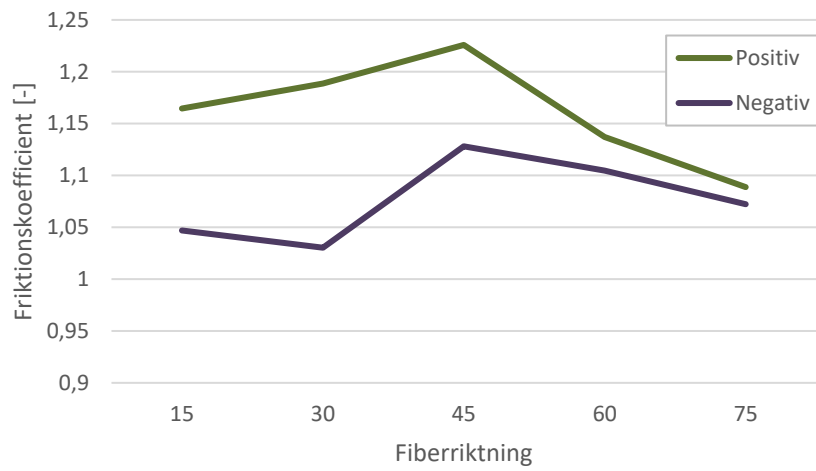
BILAGA 1: Diagram över varierande förhållanden



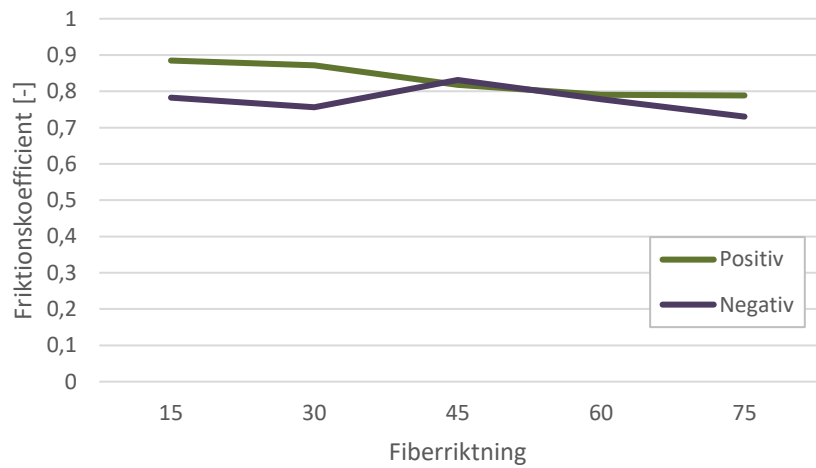
Figur 1: Variation av friktionskoefficienter med fiberriktning för slät glidyta och normalt klimat.



Figur 2: Variation av friktionskoefficienter med fiberriktning för slät glidyta och blött klimat.



Figur 3: Variation av friktionskoefficienter med fiberriktning för blästrad glidyta och blött klimat.



Figur 4: Variation av friktionskoefficienter med fiberriktning för blästrad glidyta och torrt klimat.

Linnéuniversitetet

Kalmar Växjö

Fakulteten för teknik
391 82 Kalmar | 351 95 Växjö
Tel 0772-28 80 00
teknik@lnu.se
Lnu.se/fakulteten-for-teknik