



INSTITUTIONEN FÖR FYSIK

Analys av hovar via mätning av hovens termiska egenskaper



Anna Andersson

Kandidatarbete inom fysik

Uppsats för avläggande av naturvetenskaplig kandidatexamen med huvudområdet
fysik
2023, 180 hp
Grundnivå

Analys av hovar via mätning av hovens termiska egenskaper

Anna Andersson

Handledare: Maria Sundin
Examinator: Martina Ahlberg

Institutionen för fysik
Göteborg, Sverige 2023



GÖTEBORGS UNIVERSITET

Förord

Jag vill tacka min handledare Maria Sundin för möjligheten att få utföra detta projekt med hennes vägledning. Jag vill även tacka Besira Mihiretie för all hjälp med de mätningar som utfördes och Zijin Zeng för all stöttning kring de frågor som dykt upp under arbetets gång.

Sammandrag

Hästen är ett djur som är beroende av att ha fungerande hovar. För att få bättre förståelse och för att bidra till välfärden för den domesticerade hästen har Hot Disk-tekniken använts för att analysera det organiska materialet i hovkapseln. Tidigare metoder har inneburit att skära upp hoven för att se om det kan finnas någon anomalitet i hoven. Med Hot Disk-metoden placeras en sensor, som även fungerar som en värmekälla, på materialet som ska undersökas. Sensorn ökar endast värmen med några grader, vilket inte är skadligt för hästen.

Tidigare studier har testat Hot Disk-metoden på levande hästars hovar och kadaverhovar. För att kunna avgöra om Hot Disk-tekniken kan vara ett fungerande verktyg för veterinärer och hovslagare så behövs mer forskning inom området. Levande hästar i olika miljöer med olika förutsättningar skulle behöva undersökas för att se om tekniken effektivt kan användas i framtiden.

I detta fall har en 3D-printad hovmodell i två delar använts för att simulera en riktigt hov. Mätningarna visar egenskaper för 3D-printad polymer och luft såsom vilken konduktivitet och diffusivitet materialen har.

Abstract

The horse is an animal that is dependent on having a good hoof quality. The Hot Disk method has been used to investigate the material in the hoof capsule of the horse, this to contribute to the welfare of the domesticated horse. There is no other convenient method that can be used in stables at the moment. Currently, the practice is to cut into the hoof to see if there are any anomalies. The Hot Disk method uses a sensor, that is also used as a heat source, which is placed on the material up for probing. The sensor has a temperature increase of a few degrees which is not damaging to the horse.

Earlier studies have used the Hot Disk method on live and cadaver hooves. More research is needed before this method can be used by veterinarians and hoof care professionals. Live horses living in different environments would need to be studied to see if the method could be used in the future.

In this study a 3D-printed hoof in two parts has been used to simulate a real hoof. The measurements shows the thermal qualities, the conductivity and diffusivity of the material, of 3D-printed polymer and air.

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Hovar med och utan skor	2
1.3	Mål med projektet	3
2	Teori	4
2.1	Värmetransport	4
2.1.1	Värmeledning	5
2.1.2	Volymbaserad specifik värmekapacitet	5
2.1.3	Termisk diffusivitet	5
2.1.4	Termisk effusion	6
2.2	Hot Disk-metoden	6
3	Metod	8
3.1	Material	8
3.2	Utförande	8
3.2.1	Röd hovdel	9
3.2.2	Gul hovdel	10
4	Resultat	12
5	Diskussion	16
5.1	Hur metoden kan användas i framtiden	16

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

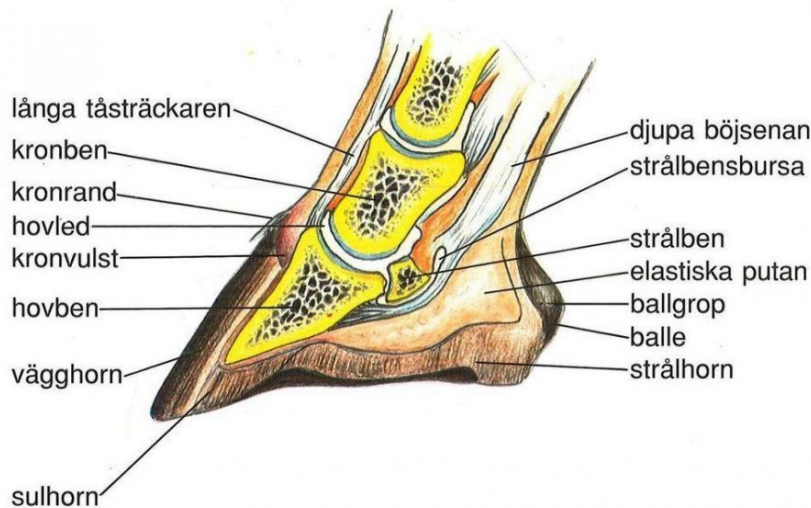
Hästen är ett djur som är ytterst beroende av sina hovar, utan friska hovar fungerar inte hästen. I dagsläget finns det inga metoder som lätt kan användas på hästar för att undersöka hur materialet ser ut i deras hovar. Hästen är ett flyktdjur och metoden för undersökning behöver anpassas efter detta. De har svårt för att stå stilla längre perioder och är även känsliga för ljud och nya platser.

Hoven kan utsättas för en del olika sjukdomar och skador i hovkapseln, några exempel på dessa är hovsprickor, hovbölder och hålväggar. Eftersom dessa börjar inuti hoven så kan det vara svårt för veterinärer och hovslagare att avgöra var felet ligger. Det kan till exempel krävas att hästen röntgas för att kunna utesluta frakturer, då dessa visar på liknande symptom [1].

Hot Disk-metoden skulle kunna användas för diagnostik av skador och även för prevention av framtida skador, vilket skulle öka välfärden för hästen. Hästen används i tävlingssammanhang och i dagsläget används ingen form av grundlig undersökning av hovarna inför tävling. Hot Disk-metoden skulle kunna vara en lösning som gör det möjligt att förebygga och förhindra att skador uppstår. Metoden skulle även kunna vara ett bra verktyg för veterinärer och hovslagare då det skulle ge dem ett verktyg som är lätt att ta med till olika stall. Hot Disk-metoden är mindre skadlig för hästen än dagens metoder som i största del består av att problemet med hoven får letas upp med kniv.

Hot Disk-metoden uppfanns av Silas E. Gustafsson år 1986. Metoden gör det möjligt att mäta värmeledning, termisk diffusivitet, termisk effusion och specifik värmekapacitet i en och samma mätning. Metoden kräver att sensorn ska kunna placeras på en slät yta och att denna ska kunna vara i konstant kontakt med båda sidor under hela mätningen [2]. Hästens hov är ofta slät på utsidan där sensorerna ska placeras men kan även filas ner för att ge en slät yta att fästa på. Det enda ljud som hörs under tiden mätningar pågår är ett svagt pipande ljud, vilket är en fördel då höga plötsliga ljud kan skrämna hästar.

Vid undersökning av hästens hov med Hot Disk-metoden har vi möjlighet att söka in i hoven fram till hovväggens innerkant, se figur 1. Det är i detta område som sprickor, hovbölder och hålväggar kan uppstå. Hovkapseln består till störst del av keratin. Hovdelen som sitter innanför hovkapseln består av vener, artärer, kapillärer, keratin och vatten.



Figur 1: Ett tvärsnitt av hästens hov, Hot Disk-metoden kan användas för att undersöka hovens vägghorn. Bilden är hämtad från [3].

1.2 Hovar med och utan skor

Vi har använt järnskor i över 2 000 år för att skydda våra domesticerade hästarnas hovar. Dessa järnskor spikas fast i hästens hovar med järnspikar. Det har på senare tid även utvecklats hästskor i andra material, bland annat i plast. Hästvärlden är väldigt traditionell vilket leder till en del motstånd när det gäller nya metoder och ny forskning. En metod som har fått större genomslag under de senaste åren är att ha hästen helt barfota utan järn- eller plastskor, med eventuellt stöd från barfotaskor som går att ta av och på vid behov.

Forskning har visat att järnskon har en negativ påverkan på hoven, bland annat minskar blodflödet i hoven, den tynger ner hoven då den utgör en extra vikt, hoven får inte möjlighet att vidgas och stötdämpningen påverkas. Barfotahoven har undersökts och resultat visar att hoven får bättre vikt bärande egenskaper än den skodda hoven. Dock så finns det väldigt få studier som undersöker den domesticerade barfotahoven och få studier jämför den skodda hoven och barfotahoven [4].

Hästen används i olika tävlingssammanhang och dessa hästar tränas oftast intensivt. Det finns till exempel tävlingar inom hoppning, trav och dressyr. Det är extra viktigt att se över hur pass mycket hovarna slits om de är barfota när man tävlar för att undvika att hästen får ont i sina hovar.

Det finns kända personer inom svensk ridsport som tävlar bland annat hoppning

med sina hästar, som nu testar att ha hästarna barfota, vilket leder till att det pågår studier som kan ge oss mer information om hur hästarna påverkas av att vara barfota i tävlingssammanhang [5].

Studier av hur hästen presterar inom travsporten med och utan skor visar att hästen som är barfota springer snabbare i genomsnitt men att de har högre risk att bli diskvalificerade på grund av byte av gångart till galopp [6].

1.3 Mål med projektet

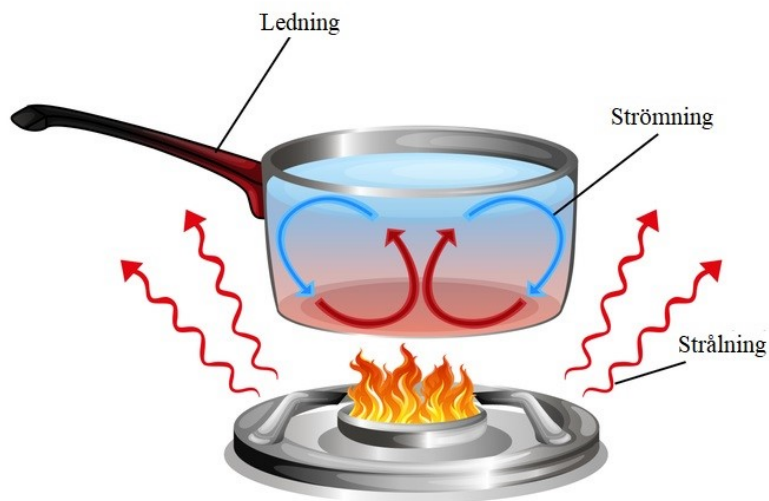
Tidigare studier har undersökt hur Hot Disk-metoden fungerar på kadaverhovar och levande hovar. I denna studie undersöks en 3D-printad plasthov i två delar. Den 3D-printade hoven liknar hästens hov i sin form men skiljer sig från hur materialet i en riktig hov ser ut, då plast har andra termiska egenskaper än organisk vävnad. Målet med undersökningen var att få förståelse för hur Hot Disk-tekniken fungerar i teori och praktik, att se hur metoden kan användas för att studera hovkapslar och hur metoden kan utvecklas för framtiden.

2 Teori

2.1 Värmetransport

Värmetransport kan ske på en rad olika sätt. Värmen kan spridas med hjälp av ledning, strömning och strålning och den sprider sig när det uppstår en skillnad i temperatur, se figur 2. När termisk jämvikt är uppnådd har objekten uppnått samma temperatur.

Värmeledning sker när två objekt med olika temperatur är i närkontakt. Värmen leds från det ena objektet till det andra genom den kontakt som uppstår. Denna typ av värmetransport är den som vi fokuserar på när vi använder Hot Disk-metoden. Strömning och strålning är värmetransporter som främst uppstår i gaser och vätskor [7].



Figur 2: Tre olika sätt som värme kan sprida sig på. Ledning är den värmetransport som Hot Disk-metoden använder för att undersöka material. Strömning och strålning är värmetransporter som främst uppstår i gaser och vätskor. Bild hämtad från [8].

2.1.1 Värmeledning

Värme kan ledas från ett material till ett annat genom direktkontakt, detta kallas för värmeledning. Denna överföring kan ske i solida material, vätskor och gaser. Värmeledningen i fasta material sker med hjälp av gittervibrationer förutom i metaller där det är elektronerna som leder värmen. I gaser och vätskor är det istället kollisioner som leder värmen. Högre densitet ger oftast en högre värmeledning då materialet har mindre avstånd mellan sina atomer.

Värmeledningsegenskaperna kan användas för att avgöra vilken typ av material som undersöks. Till exempel har ett luftfyllt hålrum i hoven andra egenskaper än dess ytterkant som består av keratin. Värmeledningen kan beskrivas med

$$\frac{Q}{\Delta t} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

där k är värmeledningskonstanten som är beroende på materialets egenskaper, A är tvärsnittsarean för objektet och Δt är den tidsperiod under vilken värmeledningen utspelar sig. Summan av värmen, Q , är beroende av de olika temperaturerna som leder värme och vid termisk jämvikt så är $Q = 0$. $\frac{dT}{dx}$ är hur temperaturen ändrar sig beroende på materialets tjocklek [9].

2.1.2 Volymbaserad specifik värmekapacitet

Den specifika värmekapaciteten beskriver hur mycket energi som går åt för att ändra 1 kg av materialets temperatur med 1 K och den volymbaserade värmekapaciteten är den specifika värmekapaciteten delat med den volym av det material som undersöks. Detta beskrivs av

$$s(T) = \frac{C(T)}{V(T)} = \frac{1}{V(T)} \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{\Delta Q(T)}{\Delta T} \quad (2)$$

där $V(T)$ är den volym som provet har vid temperaturen T och $\Delta Q(T)$ är den värme som behövs för att öka provets temperatur från T till $T + \Delta T$ [10].

2.1.3 Termisk diffusivitet

Termisk diffusivitet beskriver ett materials förmåga att överföra värme genom materialet från en varmare till en kallare sida. Olika material har olika diffusi-

viteter. Den termiska diffusiviteten är värmeledningen delat på densiteten och den specifika värmekapaciteten för det material som undersöks:

$$k = \frac{\lambda}{\rho c_p} \quad (3)$$

där λ är värmeledningsförmåga, ρ är densiteten av materialet och c_p är den massspecifika värmekapaciteten [11].

2.1.4 Termisk effusion

Den termiska effusionen beskriver materialets energispridningsförmåga vid kontakt med materialets yta. Två ytor med samma temperatur kan upplevas som olika varma på grund av materialets specifika effusion. Detta beskrivs av följande ekvation

$$E = \sqrt{k\rho c_p} \quad (4)$$

där E är den termiska effusionen, k är värmeledningskonstanten, ρ är densiteten av materialet och c_p är den massspecifika värmekapaciteten [12].

2.2 Hot Disk-metoden

Hot Disk-metoden är en metod som kan mäta termiska egenskaper hos olika typer av material, bland annat fasta, flytande och material av pulver. Metoden använder sig av en spiralformad sensor av som även avger värme. Sensorn är gjord av nickel som leder värme bra. Med hjälp av den spiralformade symmetrin kan värmeledningslagen skrivas som

$$\overline{\Delta T}(\tau) = \frac{P_0}{\pi^{3/2} a K} D(\tau) \quad (5)$$

där a är den radie som ges av den största ringen i sensorns spiral. K är värmeledningen där $K = kpc$ och k är den termiska diffusiviteten och pc är den volymbaserade specifika värmekapaciteten. P_0 är effekten som tillförs sensorn och $D(\tau)$ är en komplex funktion med tidsberoende.

För att kunna mäta hur värmen sprider sig i materialet som ska mätas tillsätts en ström till sensorn och själva mätningen görs på hur spänningen varierar i

sensorn. När temperaturen i sensorn ökar så ökar även resistansen enligt

$$R(t) = R_0[1 + \alpha\overline{\Delta T(t)}] \quad (6)$$

där R vid tiden t är den totala resistansen, R_0 är den initiala resistansen hos Hot Disk-sensorn, α är temperaturkoefficienten av resistansen för den spiralformade sensorn och $\overline{\Delta T(t)}$ är sensorns genomsnittliga temperaturskillnad.

Den volymbaserade specifika värmekapaciteten beräknas enligt ekvationen nedan med de mätvärden som har gett oss värmekapaciteten och den termiska diffusiviteten:

$$\rho c_p = \frac{\lambda}{k}. \quad (7)$$

Den termiska effusionen beräknas enligt

$$E_n = \sqrt{\lambda_n \rho c_p}. \quad (8)$$

Med Hot Disk-metoden så kan vi även mäta djupet på strålning. Det djup som värmestrålning når kan beskrivas med följande funktion som är beroende av bestrålningstiden.

$$d_p = K\sqrt{a \cdot t} \quad (9)$$

där d_p beskriver djupet som den termiska strålningen når ned till [13].

3 Metod

3.1 Material

I detta försök användes en 3D-printad hov som är gjord av en typ av polymer. Den 3D-printade hoven består av två delar, en ytterdel som representerar hovens vägghorn och en inre del som representerar hovens innerdel som består av hovbenet. Fördelen med att använda en 3D-printad hov är att vi kan modifiera materialet så att skador kan simuleras och undersökas. Materialen som användes för att undersöka den 3D-printade hoven var Hot Disk-sensorer i olika storlekar och ett metallstativ för att kunna montera sensorn och hoven i en stabil position. För att optimera mätningarna och för att undvika störningar så isolerades sensorerna med frigolit och bomull.

3.2 Utförande

För att undersöka de olika delarna av den 3D-printade hoven gjordes två mätningar, en för att undersöka den yttre delen av hoven och en för att undersöka den inre delen av hoven. Hot Disk-sensorn mäter hur temperaturen ökar i sensorn vilket ger oss information om hur temperaturen ökar i materialet på ett visst mätningsdjup under en bestämd tid. Vi får även fram information om materialets konduktivitet och diffusivitet. En frisk hov kan i framtiden användas för att få fram data om hur dess temperaturökning, konduktivitet och diffusivitet ser ut. Informationen kan då jämföras med en sjuk hov som visar en annan temperaturökning, konduktivitet och diffusivitet vid mätning.

För att kunna göra mätningar placerades den 3D-printade hovdel som skulle undersökas i metallstativet. Hot Disk-sensorn placerades på materialet som skulle undersökas, skruvades fast i stativet och isolerades med bomull och frigolit. Mätningarna som gjordes var ensidiga eftersom endast materialet under sensorn blev undersökt. Hot Disk-metoden ger oss möjlighet att göra ensidiga eller tvåsidiga undersökningar beroende på vad som ska mätas. Alla mätningar gjordes vid en rumstemperatur på 21 grader Celsius. En viktig del av mätningen var att se till att sensorn var i konstant kontakt med det material som ska undersökas. Om denna kontakt uteblir kommer mätningen istället ge information om den luft som finns mellan sensorn och materialet. Målet är att värmeökningen i sensorn ska bli mellan 2–5 K så tiderna och effekten för mätningarna anpassas efter detta.

Innan mätningarna utfördes uppskattades den specifika värmekapaciteten till $1,5 \text{ MJ/m}^2\text{K}$ för den röda hovdelen och $0,5 \text{ MJ/m}^2\text{K}$ för den gula hovdelen som är ett ungefärligt värde på egenskaperna för plast och plast med luft i sig.

3.2.1 Röd hovdel

Den första mätningen gjordes på den röda yttre delen av den 3D-printade hoven, se figur 3 för experimentuppställning. För att få bäst möjlig kontakt med ytan av hovdelen så användes sensor C5501 som har en diameter på 12,8 mm, se figur 4(a).

Ytterkanten på den röda hoven har ett mått på 20 mm. För att se till att mätning endast skedde i hovens röda del såg vi till att djupet på mätningarna inte övergick ett djup på 20 mm genom att anpassa tiden för mätningarna och effekten av sensorn. Eftersom hoven är gjord av plast så tar det en relativt lång tid för värmen att sprida sig i materialet, och även för denna att försvinna.

Totalt gjordes 9 mätningar på denna hovdel, varje mätning var 40 s lång. Varje mätning värmer upp materialet och för att materialet ska ha tid att svalna så var det 30 minuter mellan varje individuell mätning.



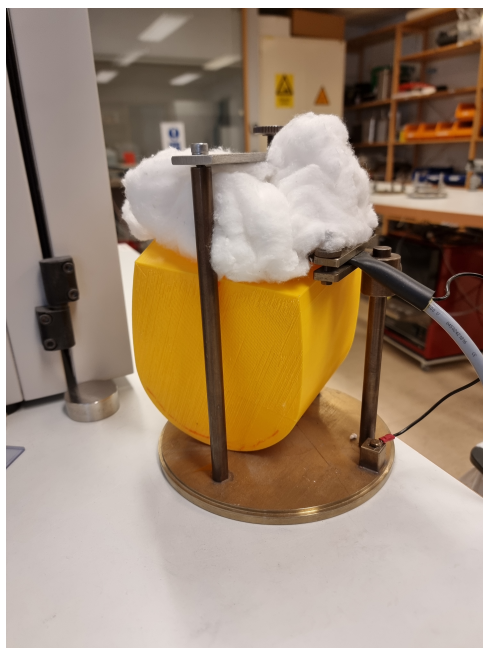
Figur 3: Den första mätningen med den 3D-printade hoven. Mätning på den yttre röda delen som representerar hovväggen.



Figur 4: Hot Disk-sensorer som användes för att undersöka olika delar av den 3D-printade hoven. Sensor 8563 med en spiral med diameter 19,8 mm och sensor C5501 med en spiral med diameter 12,8 mm, bilderna är hämtade från [14].

3.2.2 Gul hovdel

Nästa mätning gjordes på den gula delen av den 3D-printade hoven. Denna del representerar hovbenet på hästen. Hot Disk-sensorn 8563 användes för att undersöka hovdelen, se figur 4(b). Materialet var mer poröst än det material som representerade hovväggen vilket gjorde att vi satte mätningstiden till 80 s för denna del. Sensorn placerades på en slät del av det gula materialet som sedan isolerades med frigolit och bomull, se figur 5. Eftersom detta material var mer poröst så sattes en längre väntetid mellan mätningarna för att materialet skulle kunna få möjlighet att återgå till rumstemperatur.



Figur 5: Den andra mätningen med den 3D-printade hoven. Gul del som representerar den inre delen av hoven.

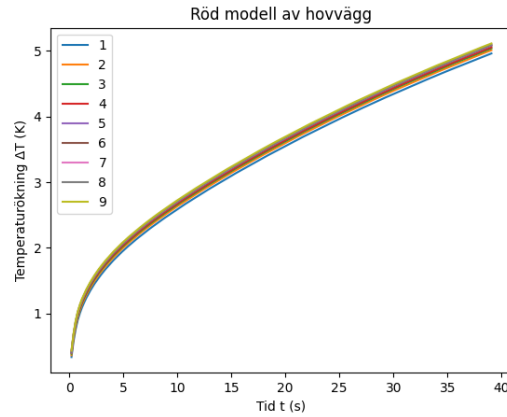
4 Resultat

Konduktivitet och diffusivitet för de olika delarna av den 3D-printade hoven har tagits fram med hjälp av Hot Disk-metoden. Se tabell 1 som visar medelvärdet av dessa värden för den gula och den röda delen av hoven.

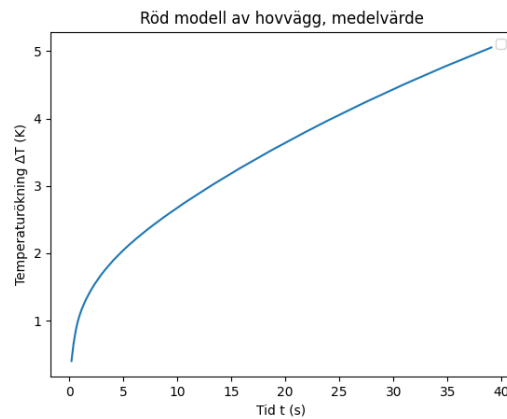
Hur värmen ökade under den tid som mätningarna gjordes på hovarna representeras av grafer som visar temperaturökningen under en viss tid. Figur 6 visar hur temperaturen ökade under 40 s för den röda delen av hoven och figur 7 visar medelvärdet av dessa mätningar. Figur 8 visar hur temperaturen ökade under 80 s för den gula delen av hoven och figur 9 visar medelvärdet av mätningarna. I figur 10 kan vi se en jämförelse mellan medelvärdet av den röda hovdelen och den gula hovdelen. Eftersom materialen var olika så användes olika tider för mätningarna eftersom vi vill uppnå en temperaturökning på 2–5 K. Graferna visar att värmen sprider sig snabbare i den röda modellen av den 3D-printade hoven än i den gula delen. Den gula hovdelen var mer porös och innehöll därför mer luft än den röda delen. Plast har en högre värmeledningsförmåga än luft så mätningstiderna var anpassade till detta.

Tabell 1: Genomsnittliga värden för mätningarna på den röda och den gula hovdelen. Förinställt var den specifika värmekapaciteten som sattes till 1,5 MJ/m²K för den röda hovdelen och 0,5 MJ/m²K för den gula hovdelen.

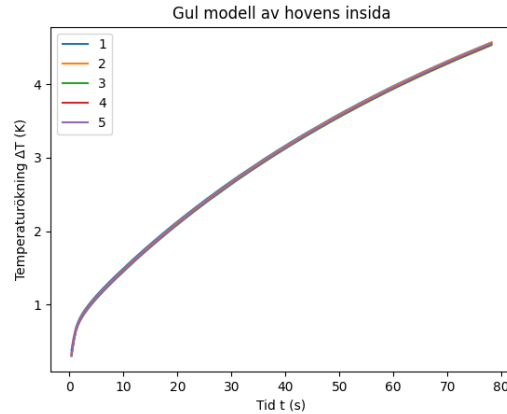
Hovdel	Konduktivitet	Diffusivitet	Mätningdjup	Temperaturökning
Röd	124,4 W/mK	0,08 mm ² /s	3,6 mm	5,03 K
Gul	0,091 W/mK	0,18 mm ² /s	7,52 mm	2,57 K



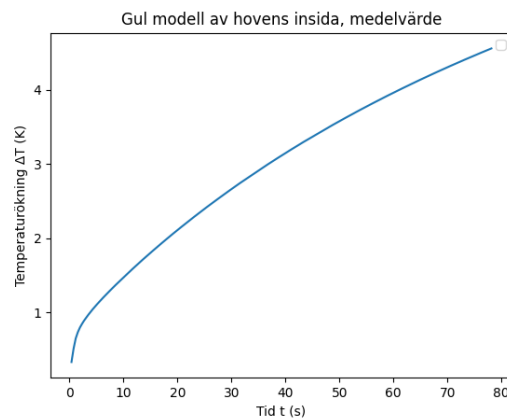
Figur 6: Graf för den röda delen av den 3D-printade hoven som visar hur temperaturen ökar i Hot Disk-sensorn med avseende på tiden. De 9 mätningar som utfördes på denna del är med i grafen. Då en temperaturökning på 2–5 K är önskat så användes tiden 40 s för varje mätning med 30 minuters paus mellan alla mätningar. Den specifika värmekapaciteten som användes uppskattades till $1,5 \text{ MJ/m}^2\text{K}$.



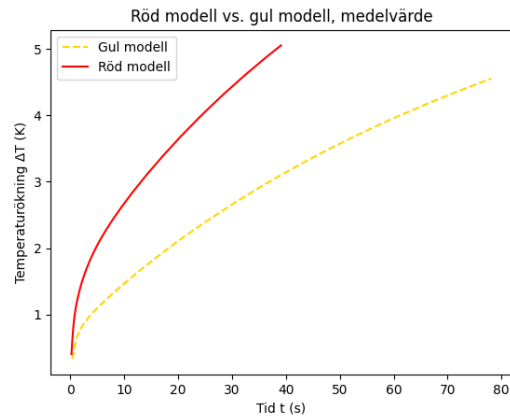
Figur 7: Graf för den röda delen av den 3D-printade hoven som visar medelvärdet av alla de 9 mätningar som gjordes på denna del. Grafen visar hur temperaturen ökar i Hot Disk-sensorn med avseende på tiden. Då en temperaturökning på 2–5 K är önskat så användes tiden 40 s för varje mätning med 30 minuters paus mellan alla mätningar. Den specifika värmekapaciteten som användes uppskattades till $1,5 \text{ MJ/m}^2\text{K}$.



Figur 8: Graf för den gula delen av den 3D-printade hoven som visar hur temperaturen ökar i Hot Disk-sensorn med avseende på tiden. De 5 mätningar som utfördes på denna del är med i grafen. Då en temperaturökning på 2–5 K är önskat så användes tiden 80 s för varje mätning och med längre än 30 minuters paus mellan alla mätningar då materialet i den gula delen av den 3D-printade hoven hade sämre värmeledningsförmåga och behövde längre tid för att återgå till rumstemperatur. Den specifika värmekapaciteten som användes uppskattades till $0,5 \text{ MJ/m}^2\text{K}$.



Figur 9: Graf för den gula delen av den 3D-printade hoven som visar medelvärdet av alla de 5 mätningar som gjordes på denna del. Grafen visar hur temperaturen ökar i Hot Disk-sensorn med avseende på tiden. Då en temperaturökning på 2–5 K är önskat så användes tiden 80 s för varje mätning och med längre än 30 minuters paus mellan alla mätningar då materialet i den gula delen av den 3D-printade hoven hade sämre värmeledningsförmåga och behövde längre tid för att återgå till rumstemperatur.



Figur 10: Medelvärdet av mätningarna av den 3D-printade hoven. Röd modell av hoven är den heldragna linje som visas i grafen och har en mätningstid på 40 s för varje individuell mätning, 9 mätningar inkluderade. Gul modell av hoven är streckad i grafen och har en mätningstid på 80 s för varje individuell mätning, 5 mätningar inkluderade. Grafen visar hur temperaturen ökar med avseende på tiden. Innan mätningarna gjordes så uppskattades den specifika värmekapaciteten till $1,5 \text{ MJ/m}^2\text{K}$ för den röda hovdelen och $0,5 \text{ MJ/m}^2\text{K}$ för den gula hovdelen.

5 Diskussion

Den plast som den 3D-printade hoven är gjord av har inte samma egenskaper som en levande eller död hov har. En fördel med att använda plast eller kadaverhovar är att det blir enklare att mäta utan att det blir störningar av till exempel hästens rörelser. Tidigare undersökningar med Hot Disk-metoden har gjorts på levande och kadaverhovar. För optimala möjligheter att studera denna teknik hade vi behövt ha ett stort antal levande hästar som kunde undersökas.

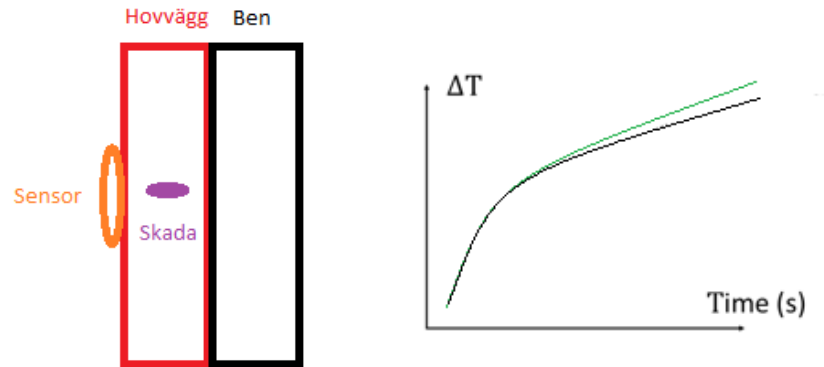
Hästen lever i Sverige med stora temperaturskillnader beroende på vilken tid på året det är. Detta skulle behöva undersökas, om hovens material skiljer sig i egenskaper på till exempel vintern och sommaren. Hästar finns på många olika platser i många olika typer av miljöer så att studera hur hovarna påverkas av detta skulle ge oss viktig information. Ytterligare en sak som skulle behöva undersökas är om pigmentet i hoven ger några skillnader i värmeledning, då hästar kan ha hovar som är svarta och hovar som är vita, det kan även vara blandat på en och samma häst. Även hästens kön, färg, ras och ålder skulle kunna vara faktorer som påverkar hur värmeledningen ser ut i dess hovar.

För att undersöka detta på ett bra sätt så skulle det vara intressant att följa samma häst under minst ett helt år för att se vilka skillnader som uppstår i hoven. Det skulle även vara intressant att se samma häst med järnskor ett år och utan järnskor ett år för att se hur detta påverkar värmeledningen i hoven. För att se hur hoven påverkas av skador så skulle det vara bra att följa upp hästar som har varit drabbade av olika hovsjukdomar för att kunna se hur hovarna återhämtar sig. Frågan är då om hovarna återgår till sin ursprungliga form eller om hovmaterialet blir påverkat. Undersökningar på små hästar, som till exempel shetlandsponnys skulle kunna jämföras med väldigt stora hästar, till exempel shirehästar, då dessa hästar kan ha en skillnad på cirka 1 meter i höjd.

5.1 Hur metoden kan användas i framtiden

Hot Disk-tekniken ger oss information om hur temperaturen ökar i det material som undersöks. För att kunna avgöra om det är en skada i hästens hov med hjälp av temperaturökningsgraferna som framtas med Hot Disk-tekniken behöver vi först en mätning som visar hur en frisk hov ser ut för att sedan kunna jämföra graferna med varandra och se om det är några skillnader i hur temperaturen ökar. Detta fungerar om hästen har undersökts tidigare när den har varit frisk. Då detta inte alltid är möjligt så skulle en standard kunna tas fram för olika typer av hästar eller att olika delar av hästens hovar undersöks för att se om det är några skillnader i temperaturökning.

De åkommor som skulle kunna upptäckas med Hot Disk-tekniken är hovbölder, hålväggar och hovsprickor som uppstår i hovväggen. Olika material har olika värmeledningsförmågor och vi skulle genom detta kunna se olika temperaturökningar beroende på om det är till exempel keratinet i hoven, luft i form av en spricka eller varet i en hovböld, se figur 11.



Figur 11: En modell av hur en undersökning skulle kunna se ut på en levande häst och en temperaturökningsgraf som visar två olika mätningar på samma häst. Grafen visar hur två olika material ger oss olika temperaturförändringar. Mätningar utförs på en del av hoven utan skada och på den del av hoven som har en skada i sig. När temperaturförändringen skiljer sig från det ursprungliga värdet har vi nått ett annat material som har en annan värmeledningsförmåga än hovväggen.

Referenser

- [1] HästSverige. *Hovproblem*. [Internet]. 2014. [citerad 2023-04-25]. Hämtad från: URL: <https://hast sverige.se/sjukdomar-skador/hovproblem/>.
- [2] Hot Disk AB. *Hot Disc Technology*. [Internet]. 2022. [citerad 2023-04-25]. Hämtad från: URL: <https://www.hotdiskinstruments.com/technology/>.
- [3] HästSverige. *Hoven i genomskärning*. [Internet]. 2014. [citerad 2023-04-25]. Hämtad från: URL: <https://hast sverige.se/om-hastar/hastens-anatomi/ta-hov/hoven-i-genomskarning/>.
- [4] Johansson E. *Barfota versus skodd med fokus på den friska hästhoven*. [examensarbete på internet]. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet: 2017. [citerad 2023-04-25]. Hämtad från: URL: https://stud.epsilon.slu.se/10476/11/johansson_e_170717.pdf.
- [5] Yngve A. *Sporthästar med och utan skor så går forskningsstudien till*. [Internet]. Agria Djurförsäkring. 2022. [citerad 2023-04-25]. Hämtad från: URL: <https://www.agria.se/hast/artiklar/forskning/sporthastar-med-och-utan-skor--sa-gar-forskningsstudien-till/>.
- [6] Solé M. Lindgren G. Bongcam-Rudloff E. Jansson A. *Benefits and risks of barefoot harness racing in Standardbred trotters*. Animal Science Journal. 2020. vol.91(1) e13380. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/asj.13380>.
- [7] Sköld J. *Detection of Damage in the Equine Hoof*. [masteruppsats på internet]. Göteborg: CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY: 2017. [citerad 2023-04-25]. Hämtad från: URL: <https://odr.chalmers.se/items/485c27fb-a31f-4809-b4f5-a8dc1c95b19b>.
- [8] Ugglans fysik. *VÄRMESPRIDNING*. [Internet]. [citerad 2023-04-25]. Hämtad från: URL: <https://fysik.ugglansno.se/varmespridning/>.
- [9] Daniel V. Schroeder. *An Introduction to Thermal Physics*. Oxford University Press, 2021.
- [10] Physics Encyclopedia. *Volumetric heat capacity*. [Internet]. [citerad 2023-04-25]. Hämtad från: URL: <https://www.hellenicaworld.com/Science/Physics/en/Volumetricheatcapacity.html>.
- [11] ScienceDirect. *Thermal Diffusivity*. [Internet]. [citerad 2023-04-25]. Hämtad från: URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/thermal-diffusivity>.
- [12] Ackermann S. *Why Do We Use the Term “Thermal Effusivity” and Why Is It Important?* [Internet]. C-THERM. 2021. [citerad 2023-04-25]. Hämtad från: URL: <https://ctherm.com/resources/newsroom/thermal-conductivity/thermal-effusivity-why-is-it-important/>.
- [13] Mihiretie B. Cederkrantz D. Sundin M. et al. “Thermal depth profiling of materials for defect detection using hot disk technique”. I: (2016. vol.6(8) 085217). AIP Advances.

- [14] Hot Disk AB. *Hot Disk Sensor Kapton-insulated*. [Internet]. [citerad 2023-04-25]. Hämtad från: URL: <https://www.hotdiskinstruments.com/products-services/sensors/kapton-sensors/>.