



Validering av en hjärtfrekvensmätare för hästar

Hjärtfrekvens och användningsområden

Malva Steen

Självständigt arbete • 30 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap
Veterinärprogrammet
Uppsala 2025



Validering av en hjärtfrekvensmätare för hästar – hjärtfrekvens och användningsområden

Validation of an equine heart rate monitor – heart rate and areas of use

Malva Steen

Handledare:	Malin Connysson, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för husdjurens biovetenskaper
Bitr. handledare:	Miia Riihimäki, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för kliniska vetenskaper
Examinator:	John Pringle, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för kliniska vetenskaper
Omfattning:	30 hp
Nivå och fördjupning:	Avancerad nivå, A2E
Kurstitel:	Självständigt arbete i veterinärmedicin
Kurskod:	EX1003
Program/utbildning:	Veterinärprogrammet
Kursansvarig inst.:	Institutionen för kliniska vetenskaper
Utgivningsort:	Uppsala
Utgivningsår:	2025
Upphovsrätt:	Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Nyckelord:	hjärtfrekvens, hjärtfrekvensmätare, travhästar

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap

Veterinärprogrammet

Sammanfattning

I år (2024) var 14 400 hästar i träning inom travsporten och 629 hästar i träning inom galoppen i Sverige. Dessa hästar är elitatleter med höga prestationskrav. Inom human träningsfysiologi är det rekommenderat att använda träningszoner för att lägga upp optimala träningsprogram som förbereder individen för det arbete den förväntas utföra. Dessa träningszoner är ofta indelade i zoner baserade på hjärtfrekvens. Inga sådana väldefinierade träningszoner finns på samma sätt hos hästar trots att de förväntas prestera nära sin maximala kapacitet under tävling. En förutsättning för att ta fram träningszoner för hästar är att det finns metoder som mäter hjärtfrekvensen korrekt. Korrekta hjärtfrekvensmätningar är även användbara för att kunna identifiera arytmier och hälsoproblematik hos hästar. Tidigare studier har validerat hjärtfrekvensmätare (HFM) på hästar för hjärtfrekvenser vid vila och lätt träning men inga studier är gjorda för hjärtfrekvenser över 200 bpm. Syftet med denna studie var därför att undersöka validiteten hos en konventionell HFM (Polar H10 pulssensor med tillhörande Polar equine pulsbälte) för hjärtfrekvenser över 200 bpm. Detta genomfördes genom att jämföra hjärtfrekvensen från Polars HFM mot hjärtfrekvensen från Gold Standard EKG (Televet 100, Jørgen Kruuse, Denmark) på travhästar vid träning. Lin's CCC var 0,794873 för hela datasetet och 0,81761 för hjärtfrekvenser <100 bpm (Lin's CCC <0,9: poor agreement). Bland-Altman diagrammen visar bias (M): -6,76 med $\pm 1,96SD$: 53,56 och bias (M): -4,29 med $\pm 1,96SD$: 40,12 för hela datasetet respektive hjärtfrekvenser <100 bpm. Under studien fanns stora problem i metoden för att upprätthålla god kontakt mellan EKG-utrustningen och huden. Flertalet elektroder lossnade från huden vilket gjorde att datan samlad från EKG uppenbart inte fungerade som gold standard. På grund av detta går det inte att utifrån denna studie validera Polars HFM men inte heller att dementera den. Om det i framtiden går att validera konventionella HFM behöver man ta ställning till hur noggranna de är och hur det påverkar vilka möjliga användningsområden som finns.

Nyckelord: hjärtfrekvens, hjärtfrekvensmätare, travhästar

Abstract

In 2024, there were 14,400 trotters in training and 629 horses in training within thoroughbred racing in Sweden. These horses are elite athletes with high performance demands. In human exercise physiology, it is recommended to use training zones to design optimal training programs that prepare the individual for the work they are expected to perform. These training zones are often divided into zones based on heart rate. However, such well-defined training zones do not exist in the same way for horses, even though they are expected to perform close to their maximum capacity during competition. A prerequisite for developing training zones for horses is the availability of accurate heart rate measurements. Accurate heart rate measurements are also useful for identifying arrhythmias and health issues in horses. Previous studies have validated heart rate monitors (HRM) for horses at rest and during light exercise, but no studies have been conducted for heart rates above 200 bpm. The aim of this study was therefore to investigate the validity of a conventional HRM (Polar H10 heart rate sensor with the associated Polar Equine heart rate belt) for heart rates above 200 bpm. This was done by comparing the heart rate from the Polar HRM to the heart rate from the Gold Standard ECG (Televet 100, Jørgen Kruuse, Denmark) in standard-bred horses during training. Lin's CCC was 0.794873 for the entire dataset and 0.81761 for heart rates <100 bpm (Lin's CCC <0.9: poor agreement). The Bland-Altman plot showed a bias (M): -6.76 with ± 1.96 SD: 53.56 and bias (M): -4.29 with ± 1.96 SD: 40.12 for the entire dataset and heart rates <100 bpm, respectively. During the study, there were significant issues with maintaining good contact between the ECG equipment and the skin. Several electrodes detached from the skin, which made the data collected from the ECG clearly unreliable. Due to this, it is not possible to validate Polar's HRM based on this study, nor can it be dismissed. If conventional HRM are validated in the future, it will be necessary to consider their accuracy and how this affects the potential uses.

Keywords: heart rate, heart rate monitor, trotter

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	9
Figurförteckning	10
1. Introduktion	11
2. Litteraturoversikt.....	12
2.1 Hjärtfrekvens	12
2.1.1 Fysiologi.....	12
2.1.2 Mätmetoder.....	13
2.2 Träningsfysiologi	14
2.2.1 Laktat	14
2.2.2 VO ₂	15
2.2.3 Ventilatoriska trösklar	15
2.2.4 Träningszoner	16
2.2.5 Heart rate recovery (HRR).....	16
2.2.6 Heart rate variability (HRV).....	17
2.2.7 Träningsframsteg	17
2.3 Nedsatt prestation	18
2.3.1 Hjärtfrekvens.....	18
2.3.2 Arytmier.....	18
3. Material och metod	19
3.1 Hästarna.....	19
3.1.1 Maxbelastning.....	19
3.1.2 Hög belastning.....	19
3.1.3 Låg belastning	19
3.2 Utrustning	19
3.3 Datainsamling och Datahantering.....	20
3.4 Statistisk analys	21
4. Resultat	22
5. Diskussion	24
5.1 Validering	24
5.2 Användarmöjligheter	25
5.2.1 Träning och prestation	25
5.2.2 Arytmier.....	26
5.3 Konklusion.....	27
Referenser.....	28
Populärvetenskaplig sammanfattning	34

Bilaga 1	36
Bilaga 2.....	37
Bilaga 3.....	38

Tabellförteckning

Tabell 1. Tabell över trösklar och träningszoner baserade på blodlaktatkoncentrationer hos människor (Kindermann et al. 1979).....	15
Tabell 2. Lin's Concordance Correlation Coefficient (Lin's CCC) för HF10s mätningar med Polar H10 och Televet beroende på om all data för HF10s används eller om endast HF10s under 100 bpm används.	23

Figurförteckning

Figur 1. Aktionspotentialens väg genom hjärtat vid ett normalt hjärtslag. a. Aktionspotentialen startar i SA-knutan. b. Aktionspotentialen fördröjs i AV-knutan. c. Aktionspotentialen i kamrarna börjar i apex. d. Kamrarna depolariseras först efter att förmaken har depolariserats klart. Områden för depolarisering är färgade med gul. (Sjaastad et al. 2016).....	12
Figur 2. Häst utrustad med EKG (Televet) och Polar HFM, till vänster ses hästens vänster sida med huvudet till vänster och till höger ses hästens höger sida med huvudet till höger.....	20
Figur 3. Hjärtfrekvens/hastighets-diagram för häst 2.	22
Figur 4. Hjärtfrekvens/hastighets-diagram för häst 13.	22
Figur 5. Bland-Altman diagram för Polar HF _{10s} och Televet HF _{10s} . Med färgkodning för varje häst.	23
Figur 6. Bland-Altman diagram för Polar HF _{10s} och Televet HF _{10s} <100 bpm. Med färgkodning för varje häst.	23

1. Introduktion

Användningen av utrustning för mätning av hjärtfrekvens har under de senaste åren ökat inom humansidan för både elitidrottare och motionärer men även inom medicin och forskning. Denna utveckling har även skett inom hästsporten i områden som träning och forskning där Polar har utvecklat hjärtfrekvensmätningstrustning (HFM) för hästar med samma teknik som för människor (Polar H10 pulssensor och Polar Equine pulsbälte). Detta är en icke-invasiv metod för att mäta hjärtfrekvensen i vardagen.

För att kunna nyttja informationen som hjärtfrekvensen ger behövs först och främst en teknologi som mäter hjärtfrekvensen korrekt. Det har tidigare gjorts studier för validering av HFM som funnit att de överensstämmer väl med EKG under lätt träning eller vila (Ille et al. 2014; Lenoir et al. 2017; Haughan et al. 2021; Kapteijn et al. 2022). Men inga studier är gjorda på hästar med hjärtfrekvenser över 200 slag/minut (bpm). Då Polars HFM i grunden är utvecklade för människor, vilka sällan har hjärtfrekvenser över 200 bpm, och kapplöpningshästar tränas och tävlas med hjärtfrekvenser mellan 200 och 250 bpm är validering viktig även för dessa höga hjärtfrekvenser. Syftet med denna studie är att validera Polar H10 pulssensor med pulsbälte för hästar vid hjärtfrekvenser över 200 bpm mot Gold Standard Televet och svara på frågeställningen om vilka användningsområden det finns för HFM idag.

2. Litteraturoversikt

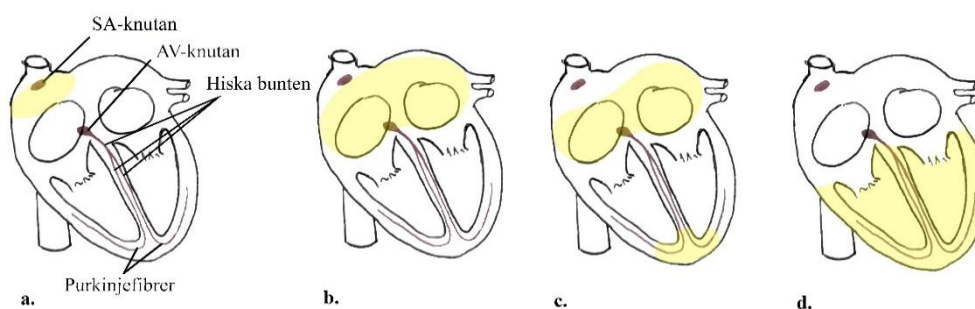
2.1 Hjärtfrekvens

2.1.1 Fysiologi

Hjärt- och kärlsystemet har olika funktioner i kroppen, bland annat att transportera syrgas, koldioxid, näringsämnen och slaggprodukter (Sjaastad et al. 2016). Hjärtfrekvensen (HF) styrs av sinusknutan (SA-knutan) som har en inbyggd rytm för depolarisering. Genom påverkan av det autonoma nervsystemet (ANS) och cirkulerande adrenalin kan SA-knutans inre rytm öka eller minska. Stimulering från det parasympatiska nervsystemet (PNS) sker via vagusknutan och leder till en sänkning av HF medan stimulering av det sympatiska nervsystemet (SNS) och ökad adrenalinutsöndring från binjuremärgen leder till en ökad HF. PNS och SNS fungerar mot varandra, när den ena höjs sänks den andra och på så sätt styrs HF.

Vid träning ökar musklernas metabolism och blodflödet genom musklerna samtidigt som SNS och adrenalinutsöndringen ökar och PNS minskar (Sjaastad et al. 2016). Hos en häst med en vikt på 500 kg kan då hjärtfrekvensen öka från strax över 20 bpm i vila upp till 250 bpm vid maximal arbetsbelastning (Hodgson et al. 2014; Sjaastad et al. 2016).

En normal hjärtkontraktion sker genom depolarisering och repolarisering av hjärtmuskelcellerna till följd av joner som förflyttas över cellmembranet via olika jonkanaler och jonpumpar (Mitchell 2019). Detta börjar normalt med cellerna i SA-knutan som långsamt depolariseras och till slut når ett tröskelvärde som genererar en aktionspotential och muskelkontraktion (Sjaastad et al. 2016). Från SA-knutan sprids sedan aktionspotentialen vidare från cell till cell i förmaken via gap junctions vilket gör att förmaken kontraherar, se Figur 1. Aktionspotentialens väg till kamrarna går genom atrioventrikular-knutan (AV-knutan) och hiska bunt.



Figur 1. Aktionspotentialens väg genom hjärtat vid ett normalt hjärtslag.

a. Aktionspotentialen startar i SA-knutan. b. Aktionspotentialen fördröjs i AV-knutan.

c. Aktionspotentialen i kamrarna börjar i apex. d. Kamrarna depolariseras först efter att förmaken har depolariserats klart. Områden för depolarisering är färgade med gul.

Illustration av M. Steen inspirerad av Sjaastad et al. (2016).

Vid AV-knutan fördröjs potentialen tills förmaken kontraherat klart och därefter sprids den snabbt genom septumväggen och ut i kammarväggarna via purkinjefibrer. Detta gör att hela kammarmuskulaturen kontraherar nästintill samtidigt där kontraktionen börjar något tidigare i hjärtats apex för optimal tömning av kamrarna.

2.1.2 Mätmetoder

Elektrokardiografi (EKG)

Via elektroder placerade på olika delar av kroppen kan hjärtats elektriska aktivitet mätas. Förflyttningen av joner som sker under depolarisering och repolarisering av hjärtmuskelcellerna leder till potentialskillnader och en spänningsström även utanför cellen (Sjaastad et al. 2016). Eftersom kroppsvätskor har bra ledningsförmåga och många celler depolariserar samtidigt blir spänningen tillräckligt stark att den kan mätas. Mätningar sker med hjälp av elektroder, positiva och negativa, placerade på olika delar av kroppen runt hjärtat. När summan av den elektriska potentialen riktas mot en positiv elektrod ger det ett positivt utslag på EKG och när summan av den elektriska potentialen riktas mot en negativ elektrod ger det ett negativt utslag på EKG. Eftersom EKG ger utslag på hur aktionspotentialen rör sig i hjärtat går det att se när hjärtat kontraherar, vilken del av hjärtat som kontraherar och hur det sprider sig till resten av hjärtat. Även elektrisk aktivitet från hjärtat som inte leder till ett hjärtslag registreras och olika hjärtsjukdomar kan diagnosticeras.

Det vanligaste sättet att tolka EKG på häst är genom ett bas-apex system där spänningsskillnaderna mellan höger framben (negativ elektrod) och vänster framben (positiv elektrod) registreras. Detta ger komplex som är lätta att tolka när man letar efter arytmier, men EKG på hästar är en utmaning att tolka på grund av artefakter (Chwalbińska-Moneta et al. 1998).

Hjärtfrekvensmätare (HFM)

Polars HFM består av Polars pulssensor H10 och Polar equine pulsbälte som är en teknisk produkt för trådlös mätning av hjärtfrekvens på hästar. HFM använder sig av samma teknik som ett EKG genom att registrera spänningsskillnaderna i hjärtat som bildas vid en hjärtkontraktion (Polar Research & Technology 2019). Via elektroderna i pulsbandet registreras spänningsskillnader 64 000 gånger per sekund (CPU-hastighet på 64 MHz). Genom filtrering och algoritmer identifieras de elektriska impulserna som representerar kammardepolarisering, utifrån detta räknas en HF ut. Data från pulssensorn kan skickas till en klocka som visar HF i realtid samt registrerar tid och distans vilket laddas upp på Polars användarprogram och kan analyseras i efterhand.

2.2 Träningsfysiologi

Hästar inom trav och galopp är elitatleter med höga prestationskrav. I år (2024) var 14 400 hästar i träning inom travsporten (Svensk Travsport u.å.) och 629 hästar i träning inom galoppen (Svensk Galopp 2024). Grunderna för att bli en elitatlet är teknik, mentalitet och fysisk kondition (Couroucé-Malblanc & Hinchcliff 2014). Att få upp h stens fysik ligger till grund för en högpresterande individ, vilket uppnås genom träning. Under ett lopp utvinner tävlingshästar 55-70 % av energin genom anaerobisk metabolism (Eaton et al. 1995). På grund av detta bör tävlingshästar tränas med tr ningsintensiteter som motsvarar både aeroba och anaeroba förhållanden (Hinchcliff et al. 2002). Tr ningsintensiteten kan m tas på olika sätt, som procent av maximal syreupptagningsförmåga (% VO_2max), blodlaktatkoncentration, hastighet, HF och procent av maximal hjärtfrekvens (% HF_{max}).

HFM  r ett bra verktyg för att logga arbetsbelastningen objektivet över tid (Kingston et al. 2006; Rogers et al. 2012) och HF i kombination med hastighet kan användas för att utvärdera h stens träningsstatus och tr ningssvar (Kobayashi et al. 1999; Kingston et al. 2006; Vermeulen & Evans 2006).

2.2.1 Laktat

Laktat  r en produkt av anaerob metabolism (Sjaastad et al. 2016). Vid medelhög intensitet och aeroba förhållanden producerar vissa muskelfibrer laktat. En liten del av laktatet transporteras ut i blodet medan den större delen transporteras till närliggande muskelfibrer i samma muskel med förmågan att utvinna energi från laktat. Vid högintensiv träning och anaeroba förhållanden bildas större mängder laktat i musklerna på grund av den anaeroba metabolismen som sker. Laktatet transporteras via blodet till levern, i levern sker en omvandling av laktat till glukos som sedan transporteras ut i blodet och kan tas upp av celler som energikälla. Inom träningsfysiologi anses aerob träning ske till den punkt då blodlaktatkoncentrationen n r 4 mmol/L (LA4), vid intensiteter över denna koncentration sker anaerob träning (Hodgson et al. 2014).

Inom human träningsfysiologi används blodlaktatv rden för att objektivet definiera träningszoner med olika träningsintensitet. Det finns tre olika träningszoner baserade på blodlaktatkoncentrationer enligt Tabell 1 (Kindermann et al. 1979).

Tabell 1. Tabell över trösklar och träningszoner baserade på blodlaktatkoncentrationer hos människor (modifierad efter Kindermann et al. 1979)

Tröskel	Förklaring	Blodlaktatkoncentration (mmol/l)
Aerob zon	Upp till den aeroba tröskeln	< 2
Aerob tröskel (LT ₁)	Den första signifikanta laktathöjningen	2
Aerob – anaerob zon	Zonen mellan aerob och anaerob tröskel	2 – 4
Anaerob tröskel (LT ₂)	Blodlaktatkoncentrationen ökar skarpt exponentiellt	4
Anaerob zon	Från den anaeroba tröskeln och över	> 4

2.2.2 VO₂

Syreupptaget (VO₂) förändras med cellernas behov av syrgas, vid träning ökar cellmetabolismen och därmed även cellernas behov av syrgas, som svar på detta ökar VO₂ (Johnson et al. 2003). VO₂ beror på flera determinanter, bland annat syretillgång i luften, blodets kapacitet att transportera syrgas, vävnadernas kapacitet att ta upp och förbruka syre, distribution av blod i kroppen och cardiac output (CO) som beror på slagvolym (SV) och HF. Vid ökad träningsintensitet ökar VO₂ som når en maximal nivå när någon av determinanterna når sin begränsning, när detta sker har individen nått sin maximala syreupptagningsförmåga (VO₂max). VO₂max är ett mått på en individs maximala syrekonsumtion i milliliter per minut och ibland även per kilogram kroppsvikt och anses i de flesta fall vara det bästa sättet att utvärdera en individs möjligheter för prestation och aerob kapacitet (Johnson et al. 2003; Sides et al. 2018).

Träning ger en ökad VO₂max med 23–29 % upp till 160 ml/kg/min (Evans & Rose 1988; Tyler et al. 1996). Ökningen i VO₂max kopplades till en ökad CO och ökad SV (Evans & Rose 1988).

2.2.3 Ventilatoriska trösklar

Hos människor har man identifierat två specifika ventilatoriska trösklar, VT₁ och VT₂ (Lucía et al. 1999). Trösklarna är associerade med fysiologiska förändringar i blodlaktat, elektromyografi och plasma katekolaminkoncentrationer (Chwalbińska-Moneta et al. 1998). VT₁ och VT₂ korresponderar med LT₁ respektive LT₂ Tabell 1 och är användbara inom human träningsfysiologi för att dela upp intensitet i tre zoner som skiljs åt av tydliga fysiologiska händelser. Hos hästar har man sett att ventilatoriska trösklar inte finns på samma sätt som hos människor (McDonough et al. 2002). Detta eftersom hästar har en koppling mellan stegfrekvens och andningsfrekvens i galopp och trav (Butler et al. 1993; Cotrel et al. 2006), relationen är oftast 1:1 eller 3:2 i trav (Cotrel et al. 2006) och är mindre

uttalad i trav och skritt (Sjaastad et al. 2016). Hästar kan inte påverka sitt gasutbyte i samma utsträckning som människor vid högre hastigheter men till skillnad från människor har hästar en hög kapacitet att släppa ut erythrocyter ur mjälten och på så sätt påverka gasutbytet (Sjaastad et al. 2016). Detta spelar en stor roll i hästarnas syreupptagningsförmåga (Evans 1985).

2.2.4 Träningszoner

Human träningslitteratur rekommenderar träning i olika träningszoner med intensiteter för både aeroba och anaeroba förhållanden (Noakes 2002), detsamma gäller för hästar (Hinchcliff et al. 2002; Hodgson et al. 2014). Den maximala HF (HF_{max}) är individuell och går inte att påverka med träning (Hodgson et al. 2014), träningszoner presenteras ofta som en % av HF_{max} . I en studie av (Seiler & Kjelland 2006) undersöktes vilka träningszoner unga elitsatsande längdskidåkare tränade i inför tävlingssäsong. De delade upp zonerna efter VT_1 (81 % HF_{max}) och VT_2 (91 % HF_{max}). 75 % av träningen skedde under VT_1 , 5–10 % mellan VT_1 och VT_2 och 15–20 % över VT_2 . Lågintensiv träning utfördes i medel vid 66 % HF_{max} och högintensiv träning utfördes i medel vid 93 % HF_{max} .

För hästar finns inga väldefinierade träningszoner som de på människor. LA4 uppnås vid träningsintensitet runt 70-90 % VO_{2max} (Evans et al. 1995) och runt 200 bpm (Hodgson et al. 2014). Aeroba muskelfibrer stimuleras vid träningsintensitet på 50-60 % av HF_{max} och anaeroba muskelfibrer vid 80-100 % HF_{max} eller över 200 bpm (Hodgson et al. 2014).

Under tävling har skidskytteatleter en medelhjärtfrekvens runt 88 % HF_{max} (Langeegger 2019). När hästar springer travlopp går de med maxhjärtfrekvens eller strax under 97 % under hela loppet (2–4 minuter) och kan öka tempot trots 100 % HF_{max} . Att kapplöpningshästar tävlar på en HF_{max} gör att träningszoner skulle behöva utvecklas för att förbereda hästarna för den träningsintensiteten.

2.2.5 Heart rate recovery (HRR)

Heart rate recovery (HRR) är den sänkning av HF som sker minuterna efter avslutad träning och är en användbar HF-variabel. Vid träning ökar HF delvis på grund av nedreglerad parasympatisk aktivitet, när träningen sedan avslutas sänks HF igen till följd av uppreglerad parasympatisk aktivitet. Sänkningen av HF minuterna efter avslutad träning är därför ett mått på parasympatisk funktion (Cole et al. 1999). HRR har studerats inom humanmedicin där den visats vara användbar som prognostiskt mått (Cole et al. 1999; Shetler et al. 2001; Kurl et al. 2021). Inom hästsporten har HRR använts för att utvärdera hur vältränad en häst är (Ringmark et al. 2015) och hur den kommer kunna prestera i tävling (Wilson & McGowan 2019). För hästar som springer uthållighetslopp på 80-160 km har man sett att HRR-värden under loppet kan användas för att förutse vilka hästar som inte kommer fullfölja loppet till följd av utmattning (Younes et al. 2015).

2.2.6 Heart rate variability (HRV)

Heart rate variability (HRV) är variationen i tid mellan varje hjärtslag och regleras av ANS, hög HRV är associerad med hög parasympatisk aktivitet medan låg HRV är associerad med hög sympatisk aktivitet (Staff 2017). En reviewartikel drar slutsatsen att HRV hos hästar kan användas som mått både för fysisk och emotionell stress (von Borell et al. 2007), bland annat har hästar med gräsbetessjuka en signifikant lägre HRV än friska (Perkins et al. 2000).

Hos människor kan dagliga HRV mätningar användas för att skapa individanpassade träningsprogram (Kiviniemi et al. 2007). Vid hög HRV genomförs mer ansträngande träning och vid låg HRV genomfördes endast lugna pass eller inget pass. Detta har visade sig ge ett bättre träningsresultat jämfört med andra träningsmetoder.

HRV används också för att utvärdera fysisk kapacitet och som mått på hur vältränad en individ är, hög HRV indikerar en mer vältränad individ med högre fysisk kapacitet (Du et al. 2005). Vid träning ökar hästarnas hjärtstorlek och aerobiska kapacitet, vilopulsen sänks vilket indikerar en träningsinducerad ökning av det parasympatiska nervsystemet (Ohmura et al. 2002).

HRV förändras hos travare under olika träningsperioder, de har den högsta HRV under träningsperioden före tävling, antagligen beror det på att hästarna får tid till att vila ordentligt mellan träningspassen under denna period jämfört med under tävlingsperioden (Kinnunen et al. 2006). I studien såg man att perioden innan tävling innehöll fler anaerobiska träningspass kombinerat med längre återhämningsperioder. De visar även att HRV är som högst dagen efter skritträning vilket antyder att det är ett bra återhämningspass och ökar parasympatisk aktivitet. HRV var som lägst under tävlingsperioden då hästarna hade ett tätt tävlingsschema med kort återhämtning mellan tävlingarna och risken för överträning var som högst.

2.2.7 Träningsframsteg

Att analysera olika träningsfysiologiska parametrar är användbart för att utvärdera träningseffekt och träningsstatus (Hodgson et al. 2014). Hastigheten vid LA4 (V_4) och vid 200 bpm (V_{200}) kan användas för att utvärdera träningsstatus och tränings svar då både V_4 och V_{200} ökar med träningsframsteg och är högre hos mer vältränade individer (Hodgson et al. 2014). Genom att regelbundet genomföra träningspass med standardiserade förutsättningar går det att mäta träningsframstegen över en viss tidsperiod med V_{200} och V_4 .

2.3 Nedsatt prestation

2.3.1 Hjärtfrekvens

En ökad HF kan bero på ökad träningsintensitet, underlag och stress men det kan även bero på systemisk sjukdom och hälta (Kingston et al. 2006). Vid en ökad HF när arbetsintensiteten är densamma bör en utvärdering av hästens allmäntillstånd genomföras. Förhöjd HF är associerat med sjukdom såsom gräsbetessjuka (Perkins et al. 2000) och smärta vid fång (Rietmann et al. 2004). Det finns även ett samband mellan hälta och uppvisad HF under träning, där förhöjd HF monitorerats innan en synlig hälta uppkommer (Munsters et al. 2013). Hästar som uppvisar hälta efter ett träningspass har både under och efter träningspasset en högre HF än hästar som inte uppvisar hälta efter träningen (Foreman et al. 1990).

2.3.2 Arytmier

Vid nedsatt prestation hos hästar utreds ofta orsaken till nedsatt prestation, i en studie undersöktes 348 hästar för nedsatt prestation varav 256 kunde diagnostiseras (Martin et al. 2000). Majoriteten av hästarna hade nedsatt prestation till följd av luftvägsabnormaliteter men 33 hästar hade kliniskt signifikanta hjärtarytmier och 22 hästar hade kliniskt signifikanta hjärtarytmier i kombination med luftvägsabnormaliteter. Alltså hade ca 21 % av de diagnosticerade hästarna och ca 16 % av alla hästar med nedsatt prestation det helt eller delvis till följd av hjärtarytmier. Träningsinducerade arytmier är en riskfaktor för plötsligt hjärtstopp, men det behövs mer information, studier och data för att kunna avgöra patogenesen bakom arytmier och hur de kan spela in (Lyle et al. 2012). Hjärtsvikt är en av de definitiva orsakerna till plötslig död hos fullblodshästar (Lyle et al. 2011).

Inom humansjukvård har det undersökts hur HFM kan användas inom medicin och för detektion av arytmier (Gajda et al. 2024). I artikeln dras slutsatsen att det är en utmaning att diagnostisera arytmier under högintensiv träning med HFM, framförallt på grund av artefakter. Användandet av HFM för att detektera arytmier under träning hos hästar har även diskuterats (Woort et al. 2021). I studien använde man en HFM som varnade vid onormala HRV-värden under träning, de drog slutsatsen att okorrigerad data inte var användbar för att hitta arytmier. HRV-variabler (RMSSD, root mean squared successive differences in RR interval) har däremot visats användbar för att skilja förmaksflimmer mot normal sinus rytm (Broux et al. 2018). En ytterligare studie har visat att HRV under återhämtningsfasen kan användas för att upptäcka arytmier hos hästar (Frick et al. 2019).

3. Material och metod

3.1 Hästarna

Hästarna som deltog i försöken var travhästar i olika åldrar, det inkluderades ston, hingstar och valacker. Alla hästägare signerade deras medgivande för deltagandet av deras hästar i försöket på ett skrivet papper. Datainsamlingen skedde under år 2024 vid tre olika tillfällen.

3.1.1 Maxbelastning

Åtta travhästar sprang ett träningspass på travbana med instruktioner att få upp hjärt-frekvensen till över 200 bpm. Hästarna var mellan 2 och 10 år gamla med en medelålder på 6,75 år. Fem ston, en hingst och två valacker. Hästarna i denna grupp namngavs med nummer 1–8.

3.1.2 Hög belastning

Tio travhästar sprang ett standardiserat träningspass på rullmatta med hög belastning Bilaga 2. Hästarna var mellan 5 och 13 år med en medelålder på 8,8 år, två ston och åtta valacker. Fyra hästar fick springa med en maxfart på 9 m/s istället för de tänkta 10 m/s. Hästarna i denna grupp namngavs med nummer 9–18.

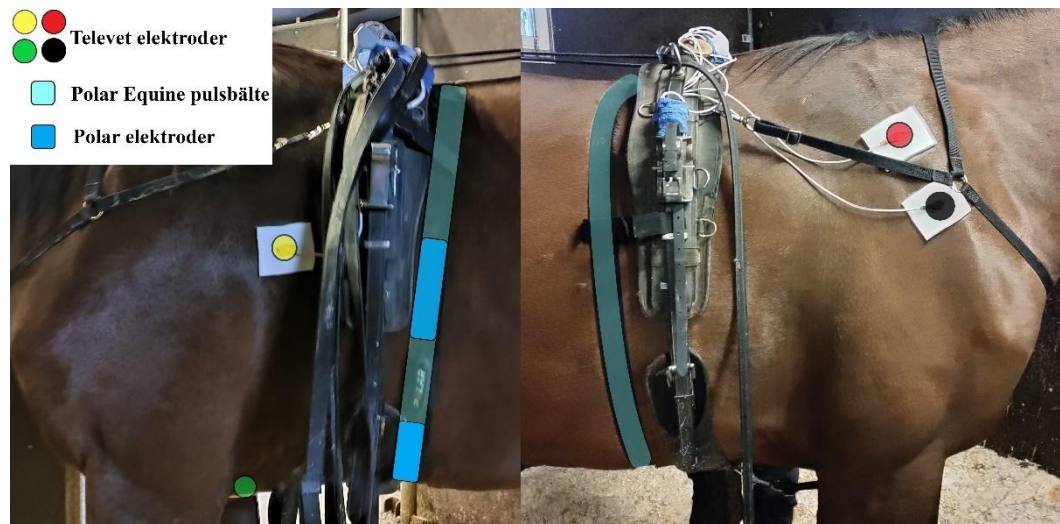
3.1.3 Låg belastning

Tolv travhästar sprang ett standardiserat träningspass på rullmatta med låg belastning, se Bilaga 1. Hästarna var mellan 5 och 14 år med en medelålder på 9,6 år, tre ston och nio valacker. Hästarna i denna grupp namngavs med nummer 19–30.

3.2 Utrustning

Hästarna bar två olika system för att mäta hjärtfrekvens parallellt Figur 2, ett EKG (Televet 100, Jørgen Kruise, Denmark) och Polars HRM (H10 pulssensor och Polar Equine pulsbälte Polar, Finland). Televet består av en inspelningsdel med fyra enskilda ledare som utgår från den med sladd, inspelningsdelen har ett SD-kort som datan samlas i. Ledarna kopplas till hästen med elektroder som fäster till huden med lim. Innan elektroderna placerades rakades områdena för elektroderna. Elektroderna positionerades med RA (röd) och RL (svart) på höger sida över scapula med RA dorsalt om RL, LA (gul) på vänster sida precis framför selen och LL (grön) ventralt mellan frambenen. En extra bit självhäftande skumplast (Animal Polster, Snøgg, Vennesla, Norway) placerades över elektroderna för att hålla elektroderna på plats under träningen. Polar HFM består av ett elastiskt band med

två elektroder placerad strax bakom selen. Till Polars HFM finns en tillhörande klocka som pulssensorn sänder realtidsdata till och som sparar datan, klockan följde med hästen under hela inspelningstiden. I studien användes två Televet-utrustningar och sju Polar-HFM. Vid tillfällen när elektroderna från Televet-utrustningen lossnade från huden gjordes ingen notering.



Figur 2. Häst utrustad med EKG (Televet) och Polar HFM, till vänster ses hästens vänster sida med huvudet till vänster och till höger ses hästens höger sida med huvudet till höger.

3.3 Datainsamling och Datahantering

Vid datainsamlingen antecknades vilken häst som hade vilken HFM och Televet-datan överfördes direkt efter inspelningstiden från SD-kortet över till en dator där filen namngavs till vilken häst som datan tillhörde. Datan för HFM samlades automatiskt in på Polars användarhemsida i en loggbok för varje klocka. HF- och hastighetsdata extraherades från Polars användarhemsida och namngavs med hästens hästnummer. Televet-datan hanterades i tillverkarens mjukvara (Televet V7.0.2) där R-R intervallen identifierades automatiskt och HF-data under inspelningen extraherades till filer namngivna med hästens hästnummer. HFM- och Televet-datan behövde tidssynkas med varandra då de inte startades exakt samtidigt under förberedelserna inför träningspassen, detta justerades manuellt. För Televet-datan fanns det vissa tidpunkter med flera hjärtfrekvensvärden, i dessa fall användes bara det första värdet för den tidpunkten och resterande data exkluderades. Både i Televet- och HFM-datan fanns tidpunkter utan hjärtfrekvensvärde, i dessa fall användes samma värde som för sekunden innan. För hästar som sprang på rullmatta lades hastigheterna in manuellt i datan för tiden på rullmattan. Detta för att visuellt kunna analysera hjärtfrekvens/hastighets-diagram.

3.4 Statistisk analys

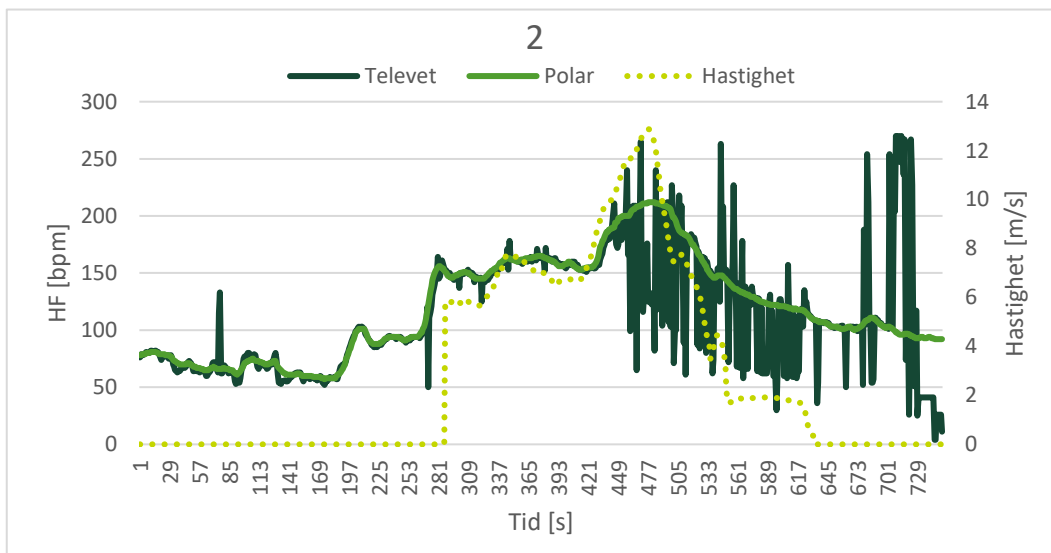
Validering av Polars HFM mot Televet genomfördes med hjälp av Bland-Altman diagram (Bland & Altman 1999) och Lin's Concordance Correlation Coefficient (Lin's CCC). Inför de statistiska analyserna delades dataseten upp i tidsintervall om 10s, för varje intervall räknades medelhjärtfrekvensen ut (HF_{10s}). För de statistiska analyserna användes HF_{10s} . I de statistiska analyserna analyserades både all data och även data för hjärtfrekvenserna under 100 bpm.

4. Resultat

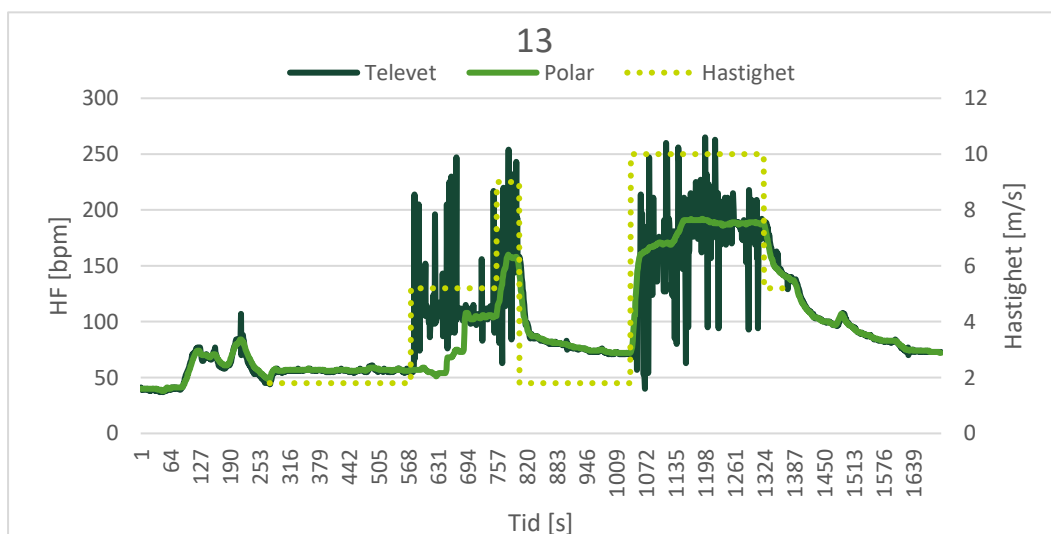
Med metoden som användes i denna studie kunde inte pålitliga mätningar från Televet uppnås vilket gjorde att validering av Polars HFM inte var möjlig.

Tio av 30 hästar som deltog i studien exkluderades. Häst 8 exkluderades på grund av att det inte gick att fästa Televet-elektrodena. Häst 5, 6, 10, 11, 12, 14, 29 och 30 exkluderades eftersom flertalet Televet-elektroder föll av under försöket och inspelningen misslyckades. Häst 28 exkluderades eftersom Televetutrustningen inte startades.

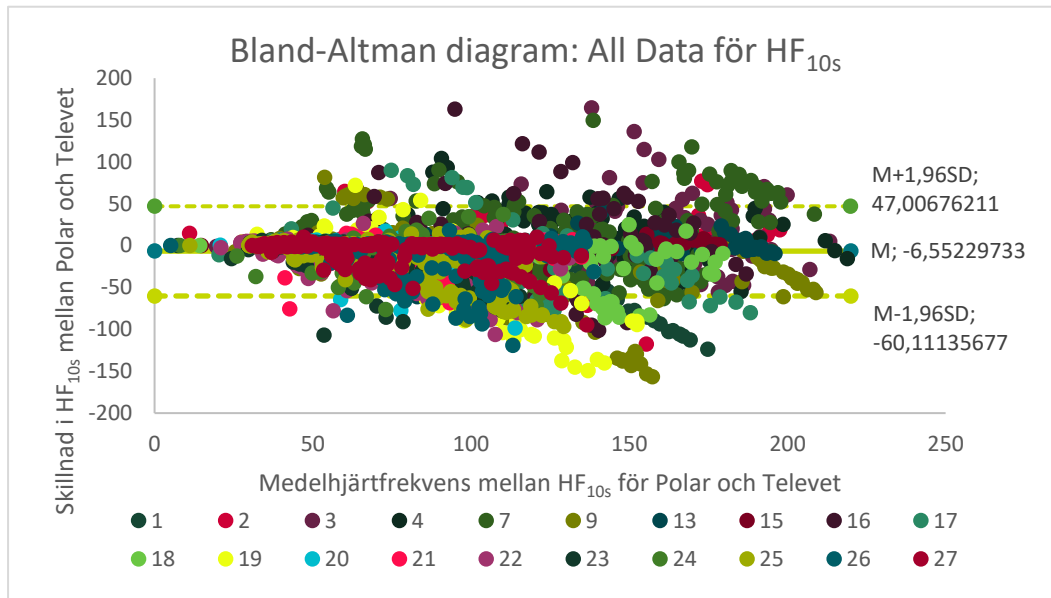
Två exempel på hjärtfrekvens/hastighet-diagram ses i Figur 3 och Figur 4, resterande diagram finns att hitta i Bilaga 3. Resultaten för Bland-Altman diagram är presenterade i Figur 5 och Figur 6 och värden för Lin's CCC är presenterade i .



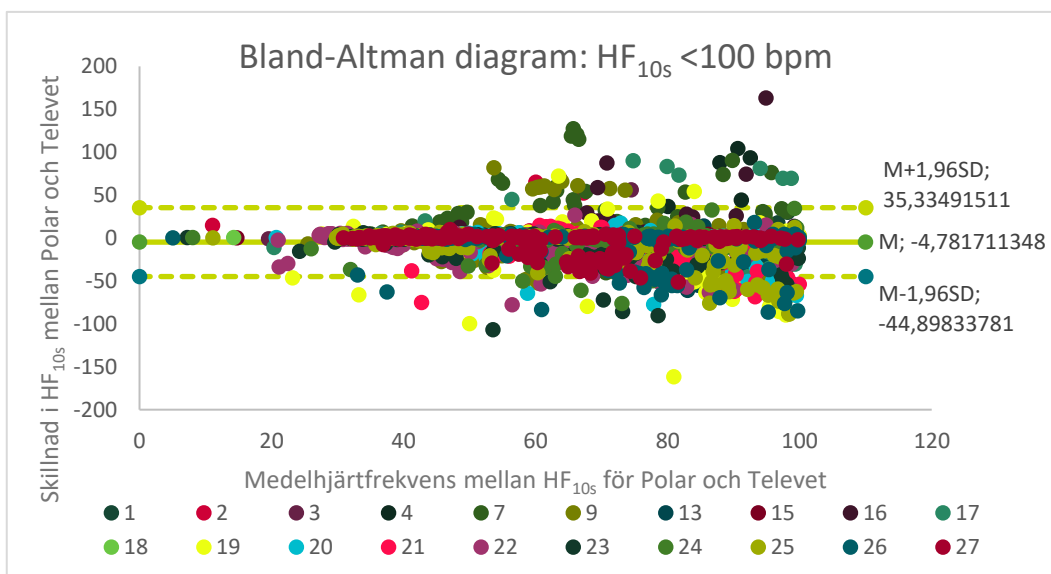
Figur 3. Hjärtfrekvens/hastighets-diagram för häst 2.



Figur 4. Hjärtfrekvens/hastighets-diagram för häst 13.



Figur 5. Bland-Altman diagram för Polar HF_{10s} och Televet HF_{10s} . Med färgkodning för varje häst.



Figur 6. Bland-Altman diagram för Polar HF_{10s} och Televet $HF_{10s} < 100$ bpm. Med färgkodning för varje häst.

Tabell 2. Lin's Concordance Correlation Coefficient (Lin's CCC) för HF_{10s} mätningar med Polar H10 och Televet beroende på om all data för HF_{10s} används eller om endast HF_{10s} under 100 bpm används.

	HF_{10s}	$HF_{10s} < 100$ BPM
Lins CCC	0,794873	0,817861
Upper 95 % CI	0,794894	0,825544
Lower 95 % CI	0,771678	0,798783

5. Diskussion

5.1 Validering

Utifrån denna studie går det inte att validera Polars HFM mot Gold Standard Televet. Lin's CCC i visar att dessa två metoder för HF-mätningar har en dålig överensstämmelse (Akoglu 2018). Lin's CCC är högre om endast HF <100 bpm analyseras vilket tyder på en bättre överensstämmelse vid lägre HF, men värden under 0,9 anses fortfarande som dåliga. Samma trend ses i Bland-Altman diagrammen Figur 5 och Figur 6 där bias (M) kommer närmare 0 och intervallet för standardavvikelse blir snävare vid användning av HF <100 bpm. 95 % av värdena mellan de två mätmetoderna avviker med +47 till -60 bpm från varandra Figur 5. Detta är ett för brett spann för att kunna säga att HFM är användbar inom medicin likväl träningsfysiologi.

Televet anses vara Gold Standard för EKG-mätningar men i detta fall är det uppenbart att den inte är det eftersom den inte uppvisar ett utseende för en förväntad HF. Datan kan skifta med 100 bpm mellan 2 sekunder efter varandra och uppvisar HF på upp till 270 bpm vilket inte är fysiologiskt möjligt för hästar. Visuellt ses att Televet-kurvan blir opålitlig vid ökad hastighet Figur 3 och Figur 4, när hastigheterna sedan sänks går Televet- och Polarkurvan liknande igen Figur 4. I Figur 3 blir inte Televet-kurvan stabil efter att hastigheten sänks igen, troligtvis beror detta på att elektroder från Televet ramlade av. Vid avlossade elektroder gjordes ingen notering vilket gör att det inte helt säkert går att säga att det är orsaken.

För att bevisa vilken metod som avviker mest från sanningen i denna studie behövs vidare analyser som till exempel area under curve (AUC) eller latent class analysis, på grund av begränsad tid och resurser uteslöts detta ur denna studie-design. Rörelseartefakter och kontaktsvårigheter är dock en trolig anledning till den dåliga överensstämmelsen mellan Polars HFM och Televet. I en studie av (Lenoir et al. 2017) exkluderade de alla datainsamlingar på hastigheter över 22 km/h (~6m/s) på grund av för mycket artefakter eller synkroniseringssvårigheter. Där diskuterar de att det är elektrodernas rörelse till följd av rörelser i huden, muskelkontraktioner och friktion mot selen som är de största orsakerna till artefakterna. De nämner även att elektroderna tenderar att ramla av svettig hud, det var något som uppmärksammades även i denna studie.

Det finns flera metoder för placering och fästning av elektroderna på hästarnas hud (Gatti & Holmes 1990; Scheffer & van Oldruitenborgh-Oosterbaan 1996; Mitchell 2019; Woort et al. 2021). I studien av (Woort et al. 2021) fann man stora svårigheter att få elektroderna till EKG att sitta kvar på huden och även när de satt kvar fanns stora störningar i datan, antagligen till följd av rörelseartefakter. Inför studien av (Scheffer & van Oldruitenborgh-Oosterbaan 1996) genomfördes

pilotstudier för att undersöka optimala elektroder, fästningsmetoder för dessa och elektrodplacering. I studien tvättade de områdena med eter och fäste elektroderna utan att raka hästarna, därefter limmades elektroderna fast med extra lim (Bison superglue, perfecta chemie, Goes, the Netherlands). De fick fram tillfredsställande EKG med denna metod när hästarna sprang med hastigheter upp till 7m/s. Även Gatti & Holmes (1990) har gjort studier på EKG under träning, i denna studie rakade de huden innan placeringen av elektroderna, även dessa limmade med extra lim. I mer nutida veterinärlitteratur presenteras olika sätt att placera elektroderna där de beskriver att det är bra att raka huden och att det viktigaste är att huden är torr för att elektroderna ska fästa och sitta kvar (Mitchell 2019).

Andra studier som har validerat HFM mot EKG har även korrigerat datan från EKG genom att manuellt analysera datan efter rörelseartefakter och falska värden och manuellt utesluta den datan (Lenoir et al. 2017; Haughan et al. 2021; Woort et al. 2021). Denna metod skulle tillåta mer pålitliga Televetmätningar som ger korrekta HF-värden. I den här studien fanns inte möjligheten att göra detta på grund av brist på tid och resurser. HFM är redan validerade för HF under 200 bpm vilket inte går att bekräfta eller genomföra i denna studie, detta tyder ännu mer på att Televetdatan behöver korrigeras för att kunna validera HFM. Utifrån den visuella analysen av hjärtfrekvens/hastighets-diagrammen Figur 3 och Figur 4 bör en korrigering för rörelseartefakter och falska värden ge bättre överensstämmelse mellan Polar och Televet.

En till svårighet med hanteringen av data var att en del värden från Televet behövde uteslutas då flertalet värden för samma tidpunkt var registrerade. Det fanns även avsaknad av värden både i datan från Televet och Polar, metoden för hantering av detta skedde automatiskt och därför är andelen korrigeringar okänd. Eftersom andelen är okänd är det svårt att spekulera om hur detta kan ha påverkat resultaten.

5.2 Användarmöjligheter

5.2.1 Träning och prestation

Att använda HFM som hjälpmedel inom hästsporten har många fördelar då de kan vara till hjälp för att samla in data om träningen och träningsframsteg. De flesta träningsprogram hos hästar kommer leda till ökad aerob kapacitet till följd av ökad mitokondriell enzymaktivitet och ökad kapillärisering (Hodgson et al. 1985; Essén-Gustavsson et al. 1989). Flertalet parametrar såsom V_{200} , HRR och HRV förändras med en ökad aerob kapacitet. V_{200} utvärderas genom regelbundna standardiserade tester, HRR skulle kunna mätas efter varje träningspass medan HRV-mätningar bör genomföras vid samma tidpunkt dagligen (Kubios u.å.).

Träningszoner

Det finns inga väldefinierade träningszoner för hästar som det finns för människor. Trav- och galopphästar förväntas prestera över den anaeroba tröskeln och bör därför tränas på ett sätt att de är väl förberedda för den typen av prestation (Hinchcliff et al. 2002). På grund av detta bör träningszoner utvecklas för att förbereda hästarna för tävlingsintensiteter. Eftersom HFM är relativt användarvänliga och de har validerats för HF under 200 bpm (Ille et al. 2014; Lenoir et al. 2017; Kapteijn et al. 2022) skulle det vara rimligt att utveckla träningszoner baserade på HF. För att utveckla träningszoner är det värdefullt att veta vilka intensiteter kapplöpningshästar befinner sig i på tävling. Framtida studier på vilken % HF_{max} som motsvarar tävlingsintensitet behövs därför. LA4 används redan som tröskelvärde inom human träning som LT₂ Tabell 1 och vid framtagande av träningszoner för hästar är LA4 användbart då detta tröskelvärde avgränsar aerob och anaerob metabolism (Hodgson et al. 2014). Utefter träningszonerna kan sedan träningsprogram läggas upp. Elitskidåkare tränar väldigt lite med intensiteter strax under LA4 utan till den största delen (75 %) långt under och ca 15 % över LA4 (Seiler & Kjerland 2006).

Överträning

HF är inte alltid rätt metod för att detektera överträning. Vid en studie av Tyler et al. (1996) undersökte man överträning hos hästar. De såg en signifikant kortare tid till utmattning vid ett standardiserat träningstest hos de övertränade hästarna jämfört med kontrollgruppen, detta trots att båda grupperna hade samma VO₂max. Ett annat tecken på överträning som uppmärksammades var en signifikant viktnedgång hos de övertränade individerna jämfört med kontrollgruppen. De fann ingen koppling mellan HF och överträning. Hos människor kan däremot sänkt HRV kopplas till överträning (Uusitalo et al. 2000), detta skulle kunna undersökas vidare på hästar för att se om samma samband finns hos hästar som för människor.

5.2.2 Arytmier

I Mitchell (2019) beskriver författaren att Televet är den vanligaste och mest pålitliga metoden för att spela in EKG på hästar under träning. Enligt författaren är inte EKG ersättbart av HFM eftersom den utrustningen inte ger någon information om aktionspotentialens rörelse i hjärtat. Detta på grund av att HFM har inbyggda algoritmer som filtrerar bort rörelseartefakter och arytmier för att endast identifiera kammardepolariseringen och få ut en korrekt HF. Däremot diskuterar Xintarakou et al. (2022) i en litteraturöversikt om användarmöjligheter för HFM för monitorering av HF över längre perioder och för detektion av förmaksflimmer på människor. De anser att HFM kan vara en del av framtida diagnostik och ha en roll inom medicin. Eftersom HFM använder sig av samma teknologi som EKG

med elektroder som registrerar hjärtats elektriska impulser är det inte helt orimligt att man i framtiden kan nyttja denna teknologi för att producera EKG-signaler och vidga användningsområdet för HFM.

Hjärtproblem hos hästar är en vanlig orsak till nedsatt prestation (Martin et al. 2000) och HFM kan ha en plats för detektion av arytmier även utan möjlighet för framkallning av EKG-signaler (Broux et al. 2018). Med hjälp av HRV-variabler skulle arytmier kunna detekteras vilket kan vara användbart inom forskning, diagnostik och medicin. Den begränsande faktorn är mängden artefakter som förekommer. Utmaningen med artefakter på grund av rörelser är något som inte bara förekommer hos HFM utan även vid användandet av EKG-utrustning (Frick et al. 2019). I studien av Woort et al. (2021) behövde både data från EKG och HFM korrigeras manuellt för detektion av arytmier. Eftersom datan behöver korrigeras för att vara pålitlig är inte utrustningen användbar för konventionella förhållanden idag. Inom forskning skulle de däremot kunna vara användbara då den manuellt korrigerade datan från HFM hade god överensstämmelse med EKG.

5.3 Konklusion

Det går inte att validera Polars HFM (Polar pulssensor H10 och Polar equine puls-bälte) för hästar i denna studie. Detta beror på brister i metoden som gjorde att EKG-utrustningen som HFM skulle jämföras mot hade för stora kontaktproblem att den uppenbart inte fungerade som Gold Standard. För framtida valideringsstudier skulle det vara fördelaktigt med en annan metod som försäkrar god kontakt mellan elektroderna och huden samt korrigera datan från Televetutrustningen. Visuellt ser det ut som att Polars HFM ger korrekta HF-mätningar under de perioder när Televet-datan är stabil, men utifrån denna studie går det inte att statistiskt validera Polars HFM för hästar. Om framtida studier kan validera Polars HFM behöver man ta ställning till hur noggrann den är och hur det påverkar vilka användningsområden som skulle vara möjliga.

Idag är det okänt hur många av hästarna som tränas i Sverige som regelbundet använder HFM eller vilken inställning tränare har för denna teknologi. Det skulle därför även vara intressant att i framtiden undersöka hur HFM används och vilka för- och nackdelar tränare upplever med utrustningen.

Referenser

- Akoglu, H. (2018). User's guide to correlation coefficients. *Turkish Journal of Emergency Medicine*, 18 (3), 91–93. <https://doi.org/10.1016/j.tjem.2018.08.001>
- Bland, J.M. & Altman, D.G. (1999). Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical Methods in Medical Research*, 8 (2), 135–160. <https://doi.org/10.1177/096228029900800204>
- von Borell, E., Langbein, J., Després, G., Hansen, S., Leterrier, C., Marchant, J., Marchant-Forde, R., Minero, M., Mohr, E., Prunier, A., Valance, D. & Veissier, I. (2007). Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals — A review. *Physiology & Behavior*, 92 (3), 293–316. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.01.007>
- Broux, B., De Clercq, D., Vera, L., Ven, S., Deprez, P., Decloedt, A. & van Loon, G. (2018). Can heart rate variability parameters derived by a heart rate monitor differentiate between atrial fibrillation and sinus rhythm? *BMC Veterinary Research*, 14 (1), 320. <https://doi.org/10.1186/s12917-018-1650-6>
- Butler, P.J., Woakes, A.J., Anderson, L.S., Roberts, C.A. & Marlin, D.J. (1993). Stride length and respiratory tidal volume in exercising thoroughbred horses. *Respiration Physiology*, 93 (1), 51–56. [https://doi.org/10.1016/0034-5687\(93\)90067-K](https://doi.org/10.1016/0034-5687(93)90067-K)
- Chwalbińska-Moneta, J., Kaciuba-Uściłko, H., Kryztofiak, H., Ziemia, A., Krzemiński, K., Kruk, B. & Nazar, K. (1998). Relationship between EMG blood lactate, and plasma catecholamine thresholds during graded exercise in men. *Journal of Physiology and Pharmacology: An Official Journal of the Polish Physiological Society*, 49 (3), 433–441
- Cole, C.R., Blackstone, E.H., Pashkow, F.J., Snader, C.E. & Lauer, M.S. (1999). Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *New England Journal of Medicine*, 341 (18), 1351–1357. <https://doi.org/10.1056/NEJM199910283411804>
- Cotrel, C., Leleu, C. & Courouge-Malblanc, A. (2006). Factors influencing variation in locomotor-respiratory coupling in Standardbred Trotters in the field. *Equine Veterinary Journal*, 38 (S36), 562–566. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05605.x>
- Couroucé-Malblanc, A. & Hinchcliff, K.W. (2014). 49 - Veterinary aspects of racing and training horses used for harness racing (trotters and pacers). I: Hinchcliff, K.W., Kaneps, A.J., & Geor, R.J. (red.) *Equine Sports Medicine and Surgery*. 2. ed. W.B. Saunders. 1037–1055. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-4771-8.00049-1>
- Du, N., Bai, S., Oguri, K., Kato, Y., Matsumoto, I., Kawase, H. & Matsuoka, T. (2005). Heart rate recovery after exercise and neural regulation of heart rate variability in 30-40 year old female marathon runners. *Journal of Sports Science & Medicine*, 4 (1), 9–17

- Eaton, M.D., Evans, D.L., Hodgson, D.R. & Rose, R.J. (1995). Maximal accumulated oxygen deficit in thoroughbred horses. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 78 (4), 1564–1568. <https://doi.org/10.1152/jappl.1995.78.4.1564>
- Essén-Gustavsson, B., McMIKEN, D., Karlström, K., Lindholm, A., Persson, S. & Thornton, J. (1989). Muscular adaptation of horses during intensive training and detraining. *Equine Veterinary Journal*, 21 (1), 27–33. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1989.tb02085.x>
- Evans, D.L. (1985). Cardiovascular adaptations to exercise and training. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 1 (3), 513–531. [https://doi.org/10.1016/S0749-0739\(17\)30748-4](https://doi.org/10.1016/S0749-0739(17)30748-4)
- Evans, D.L., Rainger, J.E., Hodgson, D.R., Eaton, M.D. & Rose, R.J. (1995). The effects of intensity and duration of training on blood lactate concentrations during and after exercise. *Equine Veterinary Journal*, 27 (S18), 422–425. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1995.tb04965.x>
- Evans, D.L. & Rose, R.J. (1988). Cardiovascular and respiratory responses to submaximal exercise training in the thoroughbred horse. *Pflügers Archiv European Journal of Physiology*, 411 (3), 316–321. <https://doi.org/10.1007/BF00585121>
- Foreman, J.H., Bayly, W.M., Grant, B.D. & Gollnick, P.D. (1990). Standardized exercise test and daily heart rate responses of thoroughbreds undergoing conventional race training and detraining. *American Journal of Veterinary Research*, 51 (6), 914–920
- Frick, L., Schwarzwald, C.C. & Mitchell, K.J. (2019). The use of heart rate variability analysis to detect arrhythmias in horses undergoing a standard treadmill exercise test. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 33 (1), 212–224. <https://doi.org/10.1111/jvim.15358>
- Gajda, R., Gajda, J., Czuba, M., Knechtel, B. & Drygas, W. (2024). Sports heart monitors as reliable diagnostic tools for training control and detecting arrhythmias in professional and leisure-time endurance athletes: An expert consensus statement. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 54 (1), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01948-4>
- Gatti, L. & Holmes, J.R. (1990). ECG recording at rest and during exercise in the horse. *Equine Veterinary Education*, 2 (1), 28–30. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3292.1990.tb01374.x>
- Haughan, J., Manriquez, M., Cohen, N.D., Robinson, M.A. & Solis, C.N. de (2021). Comparison of novel wearable cardiac monitors to yield accurate exercising ECG and heart rate data in horses. *Comparative Exercise Physiology*, 17 (5), 457–466. <https://doi.org/10.3920/CEP200080>
- Hinchcliff, K.W., Lauderdale, M.A., Dutson, J., Geor, R.J., Lacombe, V.A. & Taylor, L.E. (2002). High intensity exercise conditioning increases accumulated oxygen deficit of horses. *Equine Veterinary Journal*, 34 (1), 9–16. <https://doi.org/10.2746/042516402776181150>
- Hodgson, D.R., McGowan, C.M. & Harrington McKeever, K. (2014). *The Athletic Horse: Principles and Practice of Equine Sports Medicine*. 2. ed. Saunders.

- Hodgson, D.R., Rose, R.J., DiMAURO, J. & Allen, J.R. (1985). Effects of a submaximal treadmill training programme on histochemical properties, enzyme activities and glycogen utilisation of skeletal muscle in the horse. *Equine Veterinary Journal*, 17 (4), 300–305. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1985.tb02504.x>
- Ille, N., Erber, R., Aurich, C. & Aurich, J. (2014). Comparison of heart rate and heart rate variability obtained by heart rate monitors and simultaneously recorded electrocardiogram signals in nonexercising horses. *Journal of Veterinary Behavior*, 9 (6), 341–346. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2014.07.006>
- Johnson, B., Whipp, B., Zeballos, J., Weisman, M.I., Beck, K., Mahler, D., American College of Chest Physicians, & American Thoracic Society (2003). ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 167 (2), 211–277. <https://doi.org/10.1164/rccm.167.2.211>
- Kapteijn, C.M., Frippiat, T., van Beckhoven, C., van Lith, H.A., Endenburg, N., Vermetten, E. & Rodenburg, T.B. (2022). Measuring heart rate variability using a heart rate monitor in horses (*Equus caballus*) during groundwork. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 939534. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.939534>
- Kindermann, W., Simon, G. & Keul, J. (1979). The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 42 (1), 25–34. <https://doi.org/10.1007/BF00421101>
- Kingston, J.K., Soppet, G.M., Rogers, C.W. & Firth, E.C. (2006). Use of a global positioning and heart rate monitoring system to assess training load in a group of thoroughbred racehorses. *Equine Veterinary Journal. Supplement*, (36), 106–109. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05523.x>
- Kinnunen, S., Laukkanen, R., Haldi, J., Hanninen, O. & Atalay, M. (2006). Heart rate variability in trotters during different training periods. *Equine Veterinary Journal. Supplement*, (36), 214–217. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05542.x>
- Kiviniemi, A.M., Hautala, A.J., Kinnunen, H. & Tulppo, M.P. (2007). Endurance training guided individually by daily heart rate variability measurements. *European Journal of Applied Physiology*, 101 (6), 743–751. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0552-2>
- Kobayashi, M., Kuribara, K. & Amada, A. (1999). Application of V200 values for evaluation of training effects in the young thoroughbred under field conditions. *Equine Veterinary Journal. Supplement*, (30), 159–162. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1999.tb05208.x>
- Kubios (u.å.). *HRV in Exercise and Sports*. <https://www.kubios.com/exercise-and-sports/> [2024-12-03]
- Kurl, S., Jae, S.Y., Voutilainen, A., Hagnäs, M. & Laukkanen, J.A. (2021). Exercise heart rate reserve and recovery as risk factors for sudden cardiac death. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 68, 7–11. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2021.09.002>

- Langegger, D. (2019). *Comparison of Pacing Strategies between Sprint and Individual biathlon competitions: Evaluation of Speed and Heart Rate Profiles*. Leopold-Franzens University, Innsbrück. Master's thesis in sport science.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10932.87682>
- Lenoir, A., Trachsel, D.S., Younes, M., Barrey, E. & Robert, C. (2017). Agreement between electrocardiogram and heart rate meter is low for the measurement of heart rate variability during exercise in young endurance horses. *Frontiers in Veterinary Science*, 4, 170. <https://doi.org/10.3389/fvets.2017.00170>
- Lucía, A., Sánchez, O., Carvajal, A. & Chicharro, J.L. (1999). Analysis of the aerobic-anaerobic transition in elite cyclists during incremental exercise with the use of electromyography. *British Journal of Sports Medicine*, 33 (3), 178–185.
<https://doi.org/10.1136/bjsm.33.3.178>
- Lyle, C.H., Blissitt, K.J., Kennedy, R.N., Mc Gorum, B.C., Newton, J.R., Parkin, T.D.H., Stirk, A. & Boden, L.A. (2012). Risk factors for race-associated sudden death in Thoroughbred racehorses in the UK (2000-2007). *Equine Veterinary Journal*, 44 (4), 459–465. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2011.00496.x>
- Lyle, C.H., Uzal, F.A., McGorum, B.C., Aida, H., Blissitt, K.J., Case, J.T., Charles, J.T., Gardner, I., Horadagoda, N., Kusano, K., Lam, K., Pack, J.D., Parkin, T.D., Slocombe, R.F., Stewart, B.D. & Boden, L.A. (2011). Sudden death in racing Thoroughbred horses: an international multicentre study of post mortem findings. *Equine Veterinary Journal*, 43 (3), 324–331. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00164.x>
- Martin, B.B., Reef, V.B., Parente, E.J. & Sage, A.D. (2000). Causes of poor performance of horses during training, racing, or showing: 348 cases (1992-1996). *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 216 (4), 554–558.
<https://doi.org/10.2460/javma.2000.216.554>
- McDonough, P., Kindig, C.A., Erickson, H.H. & Poole, D.C. (2002). Mechanistic basis for the gas exchange threshold in Thoroughbred horses. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 92 (4), 1499–1505.
<https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00909.2001>
- Mitchell, K.J. (2019). Equine electrocardiography. *Veterinary Clinics: Equine Practice*, 35 (1), 65–83. <https://doi.org/10.1016/j.cveq.2018.12.007>
- Munsters, C.C.B.M., van den Broek, J., Welling, E., van Weeren, R. & van Oldruitenborgh-Oosterbaan, M.M.S. (2013). A prospective study on a cohort of horses and ponies selected for participation in the European Eventing Championship: reasons for withdrawal and predictive value of fitness tests. *BMC veterinary research*, 9, 182. <https://doi.org/10.1186/1746-6148-9-182>
- Noakes, T. (2002). *Lore of Running*. 4. ed. Human Kinetics.
- Ohmura, H., Hiraga, A., Aida, H., Kuwahara, M. & Tsubone, H. (2002). Effects of initial handling and training on autonomic nervous function in young Thoroughbreds. *American Journal of Veterinary Research*, 63 (11), 1488–1491.
<https://doi.org/10.2460/ajvr.2002.63.1488>

- Perkins, J.D., Marr, C.M., Else, R. & Mayhew, I.G. (2000). Functional and histopathological evidence of cardiac parasympathetic dysautonomia in equine grass sickness. *Veterinary Record*, 146 (9), 246–250.
<https://doi.org/10.1136/vr.146.9.246>
- Polar Research and Technology (2019). *Polar H10 Heart Rate Sensor System*.
<https://www.polar.com/img/static/whitepapers/pdf/polar-h10-heart-rate-sensor-white-paper.pdf> [2024-10-23]
- Rietmann, T.R., Stauffacher, M., Bernasconi, P., Auer, J.A. & Weishaupt, M.A. (2004). The association between heart rate, heart rate variability, endocrine and behavioural pain measures in horses suffering from laminitis. *Journal of Veterinary Medicine Series A*, 51 (5), 218–225. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0442.2004.00627.x>
- Ringmark, S., Lindholm, A., Hedenström, U., Lindinger, M., Dahlborn, K., Kvart, C. & Jansson, A. (2015). Reduced high intensity training distance had no effect on VL_{a4} but attenuated heart rate response in 2-3-year-old Standardbred horses. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 57 (1), 17. <https://doi.org/10.1186/s13028-015-0107-1>
- Rogers, C.W., Bolwell, C.F. & Gee, E.K. (2012). Proactive management of the equine athlete. *Animals: an open access journal from MDPI*, 2 (4), 640–655.
<https://doi.org/10.3390/ani2040640>
- Scheffer, C.J.W. & van Oldruitenborgh-Oosterbaan, M.M.S. (1996). Computerized ECG recording in horses during a standardized exercise test. *Veterinary Quarterly*, 18 (1), 2–7. <https://doi.org/10.1080/01652176.1996.9694601>
- Seiler, K.S. & Kjerland, G.Ø. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an “optimal” distribution? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16 (1), 49–56.
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.00418.x>
- Shetler, K., Marcus, R., Froelicher, V.F., Vora, S., Kalisetti, D., Prakash, M., Do, D. & Myers, J. (2001). Heart rate recovery: validation and methodologic issues. *Journal of the American College of Cardiology*, 38 (7), 1980–1987.
[https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(01\)01652-7](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(01)01652-7)
- Sides, R.H., Kirkpatrick, R., Renner, E., Gough, K., Katz, L.M., Evans, D.L. & Bayly, W.M. (2018). Validation of masks for determination of $\dot{V}O_{2\max}$ in horses exercising at high intensity. *Equine Veterinary Journal*, 50 (1), 91–97.
<https://doi.org/10.1111/evj.12711>
- Sjaastad, Ø.V., Sand, O. & Hove, K. (2016). *Physiology of Domestic Animals*. 3. ed. Scandinavian Veterinary Press.
- Staff, H.H.P. (2017). *Heart rate variability: How it might indicate well-being*. *Harvard Health*. <https://www.health.harvard.edu/blog/heart-rate-variability-new-way-track-well-2017112212789> [2024-10-28]
- Svensk Galopp (2024). *Galoppsporten i siffror*.
https://www.svenskgalopp.se/documents/554/Galoppsporten_i_siffror_2024.pdf [2024-11-02]

- Svensk Travsport (u.å.). *Hästar i träning och licenser 15 oktober*.
<https://www.travsport.se/arkiv/nyheter/2024/oktober/hastar-i-traning-och-licenser-15-oktober/> [2024-11-02]
- Tyler, C.M., Golland, L.C., Evans, D.L., Hodgson, D.R. & Rose, R.J. (1996). Changes in maximum oxygen uptake during prolonged training, overtraining, and detraining in horses. *Journal of Applied Physiology*, 81 (5), 2244–2249.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.5.2244>
- Uusitalo, A.L., Uusitalo, A.J. & Rusko, H.K. (2000). Heart rate and blood pressure variability during heavy training and overtraining in the female athlete. *International Journal of Sports Medicine*, 21 (1), 45–53. <https://doi.org/10.1055/s-2000-8853>
- Vermeulen, A.D. & Evans, D.L. (2006). Measurements of fitness in thoroughbred racehorses using field studies of heart rate and velocity with a global positioning system. *Equine Veterinary Journal. Supplement*, (36), 113–117.
<https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05525.x>
- Wilson, G. & McGowan, C.M. (2019). Recovery heart rates as a predictor of race position in race-fit National Hunt racehorses. *Comparative Exercise Physiology*, 15 (5), 307–312. <https://doi.org/10.3920/CEP180053>
- Woort, F. ter, Dubois, G., Didier, M. & Erck-Westergren, E.V. (2021). Validation of an equine fitness tracker: heart rate and heart rate variability. *Comparative Exercise Physiology*, 17 (2), 189–198. <https://doi.org/10.3920/CEP200028>
- Xintarakou, A., Sousonis, V., Asvestas, D., Vardas, P.E. & Tzeis, S. (2022). Remote cardiac rhythm monitoring in the era of smart wearables: Present assets and future perspectives. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 9.
<https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.853614>
- Younes, M., Robert, C., Cottin, F. & Barrey, E. (2015). Speed and cardiac recovery variables predict the probability of elimination in equine endurance events. *PLOS ONE*, 10 (8), e0137013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137013>

Populärvetenskaplig sammanfattning

Många idrottsintresserade människor använder pulsmätarutrustning i vardagen och vid träning. Polar är ett företag som tillverkar pulsmätarutrustning för människor och har utvecklat denna teknik för att även passa hästar. Produkten är Polar H10 pulssensor med tillhörande Polar Equine pulsbälte som är en teknisk produkt för trådlös mätning av hjärtfrekvens i realtid. Produkten är från början tillverkad för människor vilka sällan kommer över hjärtfrekvenser på 200 slag/minut (bpm) och inga tidigare studier har validerat utrustningen för hjärtfrekvenser över 200 bpm. Eftersom hästar har en maximal hjärtfrekvens på 250 bpm och tränas och tävlas upp till denna hjärtfrekvens är det viktigt att validera pulsmätarutrustningen för hjärtfrekvenser som överstiger 200 bpm. Syftet med studien är därför att validera Polars pulsmätarutrustning för hästar för hjärtfrekvenser över 200 bpm och utifrån detta undersöka vilka användningsområden det finns för pulsmätarutrustningen.

För att validera Polars pulsmätarutrustning jämfördes den med Televet 100 (Jørgen Kruuse, Denmark) som anses vara "Gold Standard", vilket innebär att det är den bästa metoden för hjärtfrekvensmätningar. Vid en hjärtkontraktion sker det en förflyttning av laddade partiklar över hjärtmuskelcellernas cellmembran. Detta skapar en elektrisk laddning som kan mätas med elektroder på huden. Både Televet och Polars pulsmätare använder elektroder för att mäta hjärtfrekvensen. Skillnaden mellan dessa produkter är att Televet registrerar alla elektriska rörelser som sker i hjärtat medan Polars pulsmätare har algoritmer och filter som identifierar en specifik händelse i hjärtslaget och utifrån detta räknar ut en hjärtfrekvens. I denna studie genomfördes tester där 30st hästar sprang olika träningspass utrustade med både Polars pulsmätarutrustning och Televet samtidigt. Testerna genomfördes vid tre olika tillfällen varav två på rullmatta och ett på travbana. Efteråt samlades datan från de olika mätmetoderna in och jämfördes med varandra.

Mätmetoderna för hjärtfrekvens jämfördes med hjälp av statistiska analyser och analys av diagram över hjärtfrekvensen från de olika metoderna över tid. Enligt de statistiska analyserna går det inte att validera Polars pulsmätarutrustning i denna studie. Vidare analyser av diagram över hjärtfrekvenserna för de olika mätmetoderna gör det uppenbart att Televet inte fungerar som Gold Standard. Datan från Televet kunde hoppa 100 bpm mellan 2 sekunder och visade ibland hjärtfrekvenser på 270 bpm vilket inte är möjligt eftersom hästar har en maxhjärtfrekvens på 250 bpm. Andra studier som använder Televet eller liknande utrustning nämner liknande problem med opålitliga mätvärden. De vanligaste problemen som tas upp är att kontakten som krävs mellan utrustning och hud för att få pålitliga mätningar tappas. Även rörelserna en häst gör när den springer påverkar mätningarna och stör kontakten. Detta är antaganden som kan göras i denna studie också eftersom Televetdatan blir opålitlig i de tillfällen som hastigheten hästen

håller ökar. Mätmetoderna stämmer bättre överens vid lägre hjärtfrekvenser vilket också tyder på att det är när rörelserna och hastigheterna ökar som störningar i kontakten sker.

Om Polars pulsmätarutrustning skulle visa sig stämma väl överens med Televet finns flera användningsområden för teknologin. Som redskap för att samla in data om träning, träningsintensitet och utvärdera träningsframsteg, men också inom medicin och forskning.

Bilaga 1

Tabell över hastighet för hästarna med låg belastning.

Låg belastning, 12 hästar (19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 och 30).					
Hastighet (m/s)	1,8	4,2	1,8	5,2	1,8
Tid (s)	300	240	240	360	120

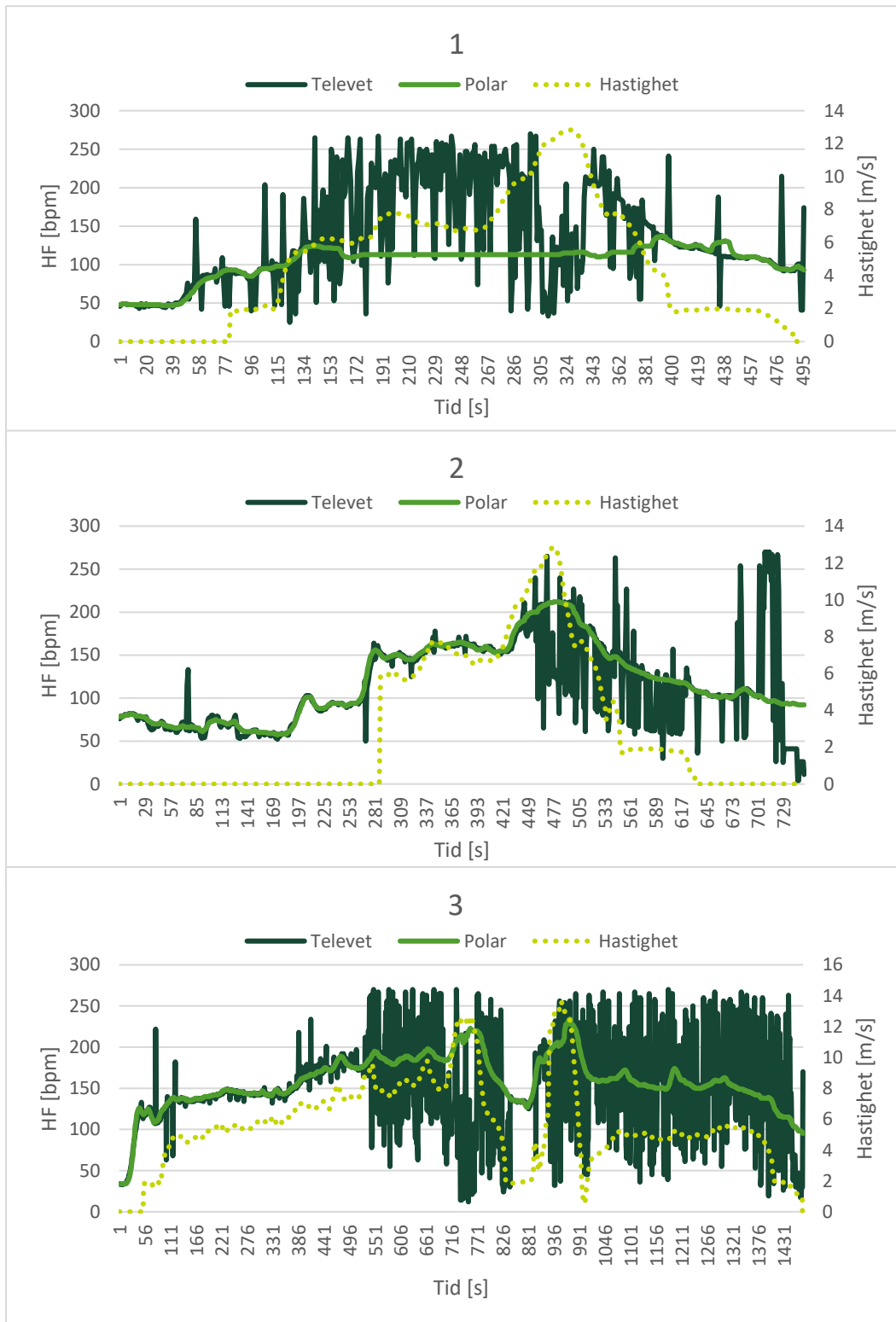
Bilaga 2

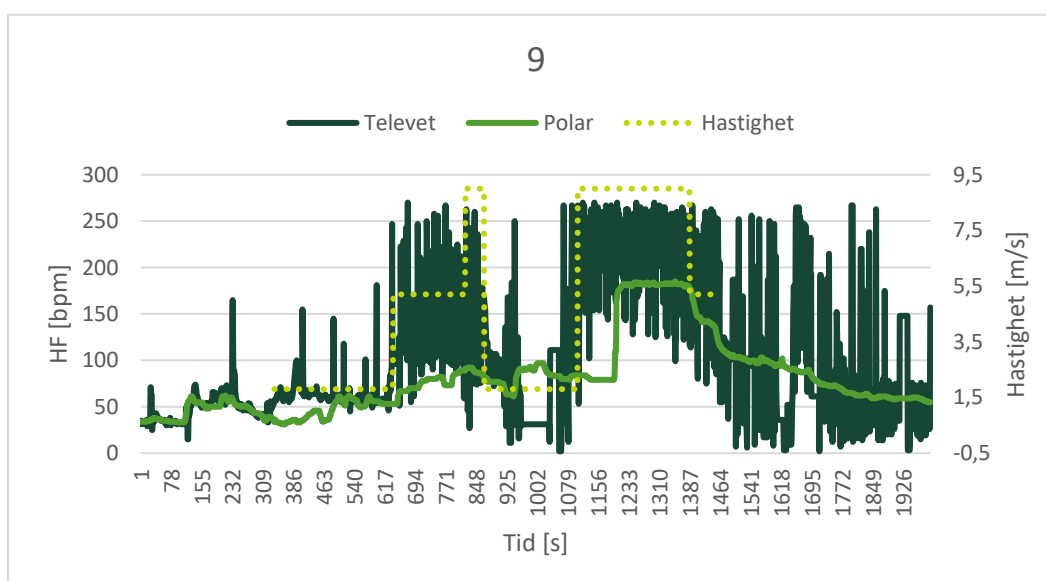
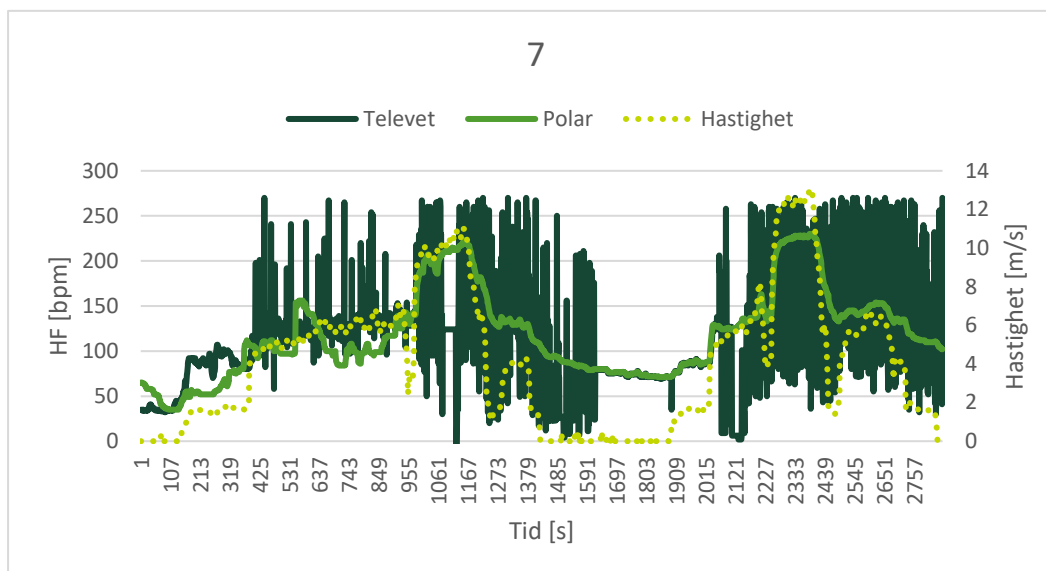
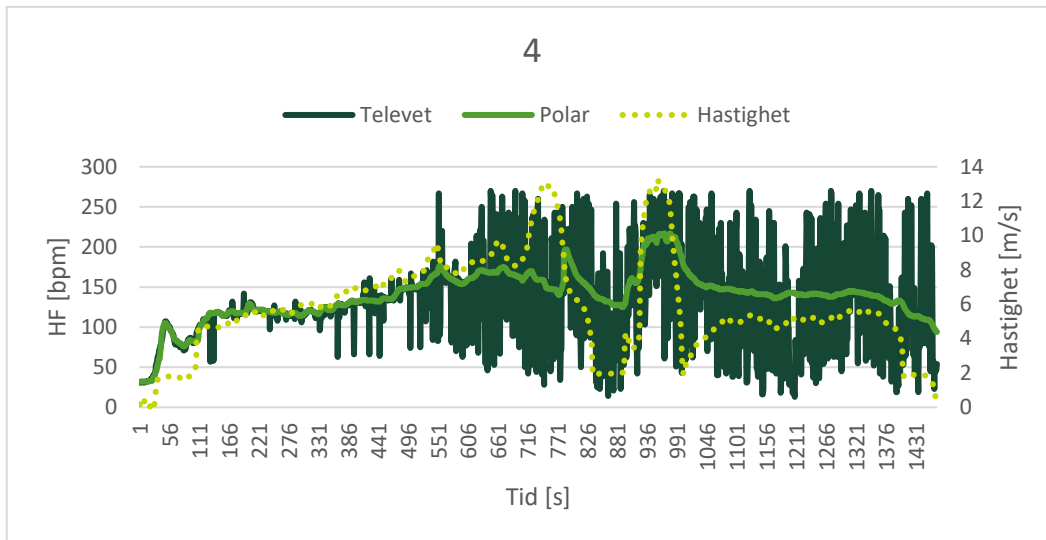
Tabell över hastighet för hästarna med hög belastning.

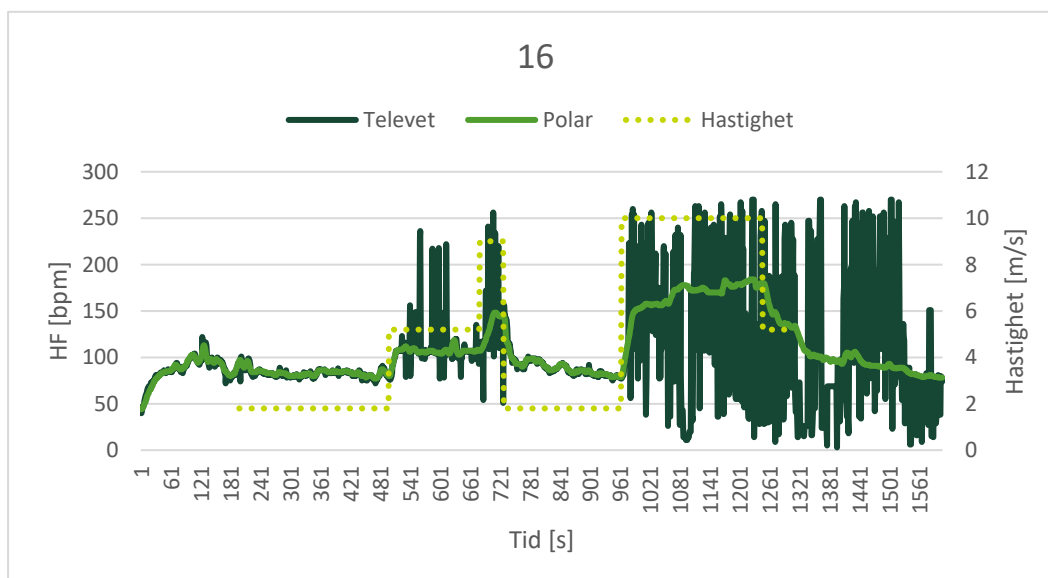
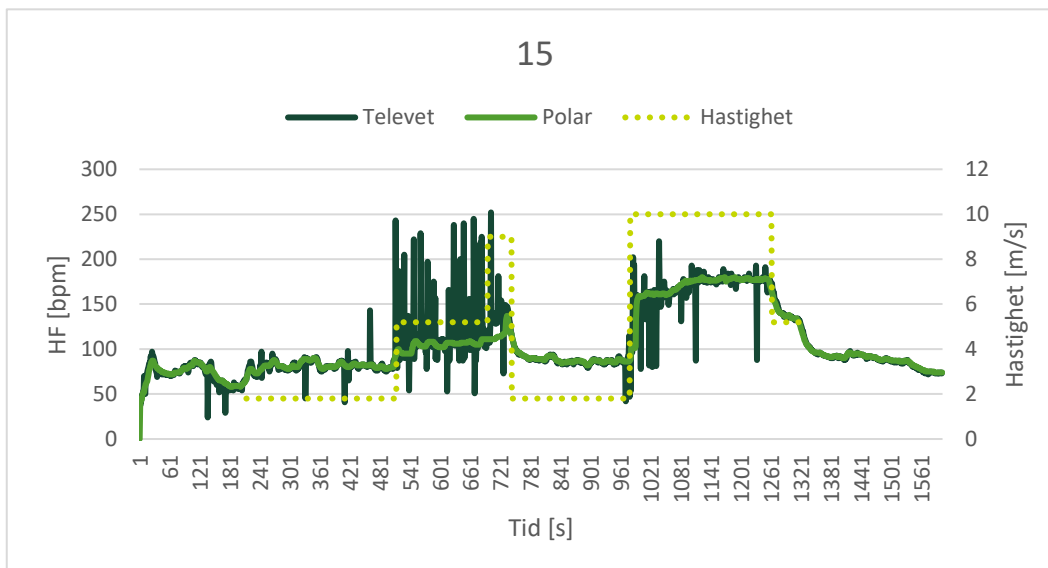
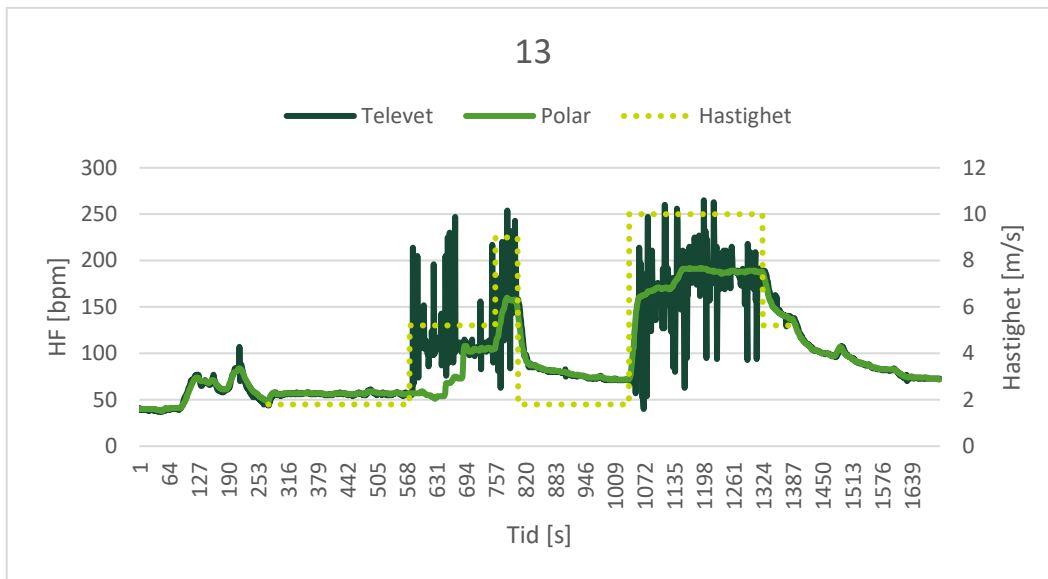
Hög belastning, 4 hästar med lägre hastighet (häst 9, 10, 11 och 18).							
Hastighet (m/s)	1,8	5,2	9	1,8	9	9 med 3% lutning	5,2
Tid (s)	300	180	45	240	90	195	60
Hög belastning, 6 hästar med högre hastighet (häst 12, 13, 14, 15, 16 och 17).							
Hastighet (m/s)	1,8	5,2	9	1,8	10	10 med 3% lutning	5,2
Tid (s)	300	180	45	240	90	195	60

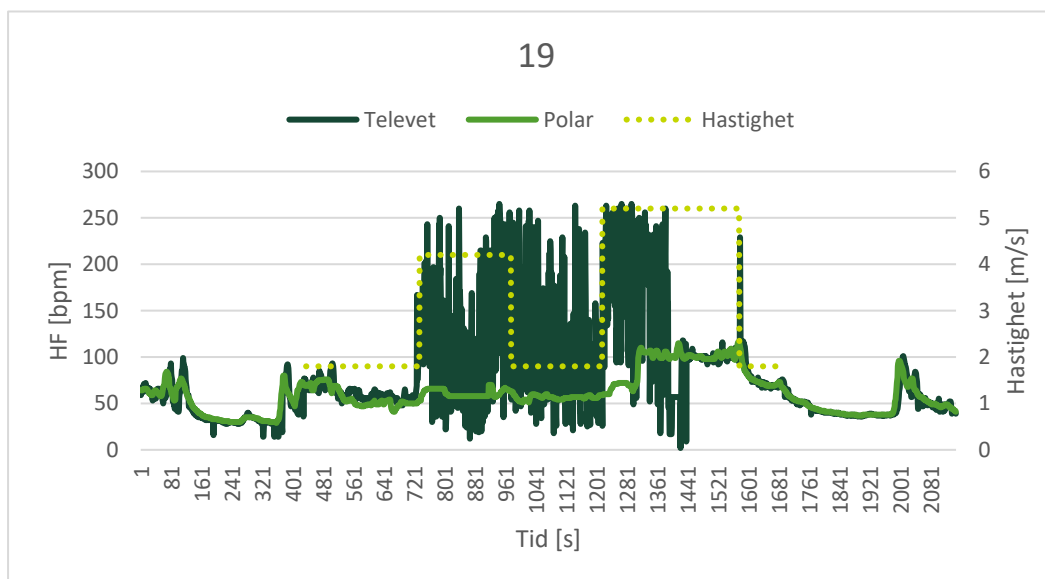
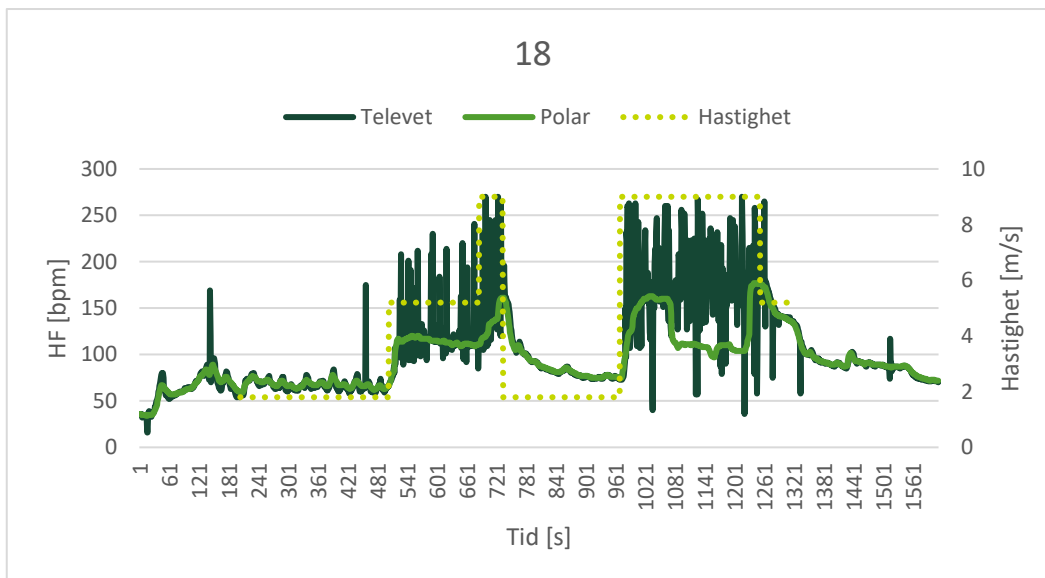
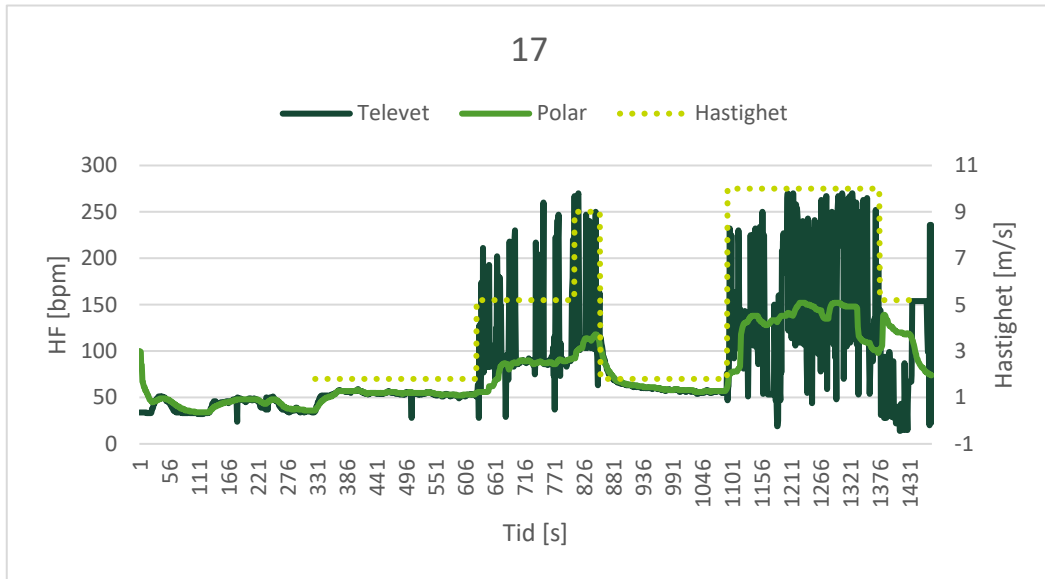
Bilaga 3

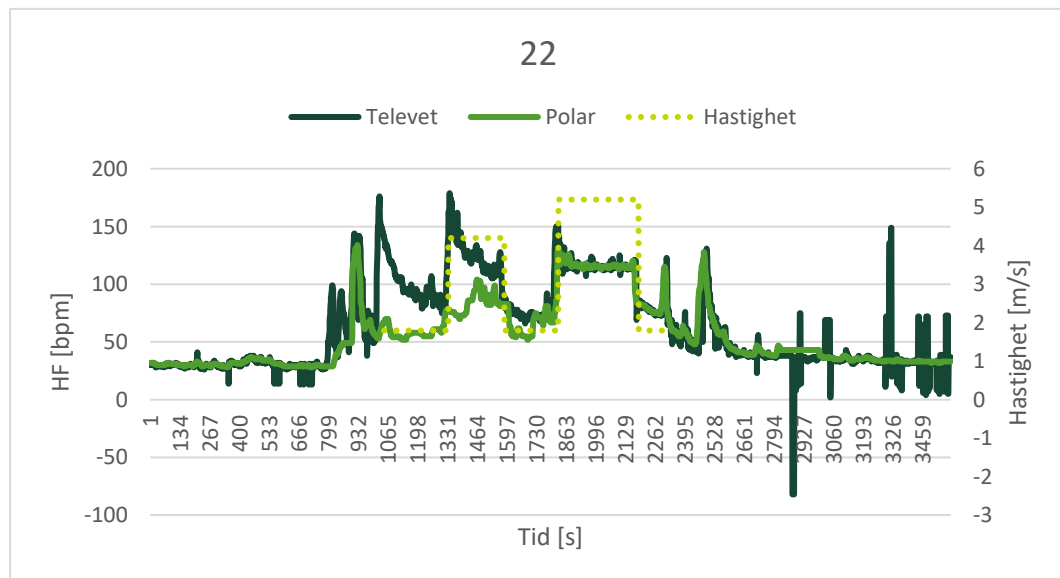
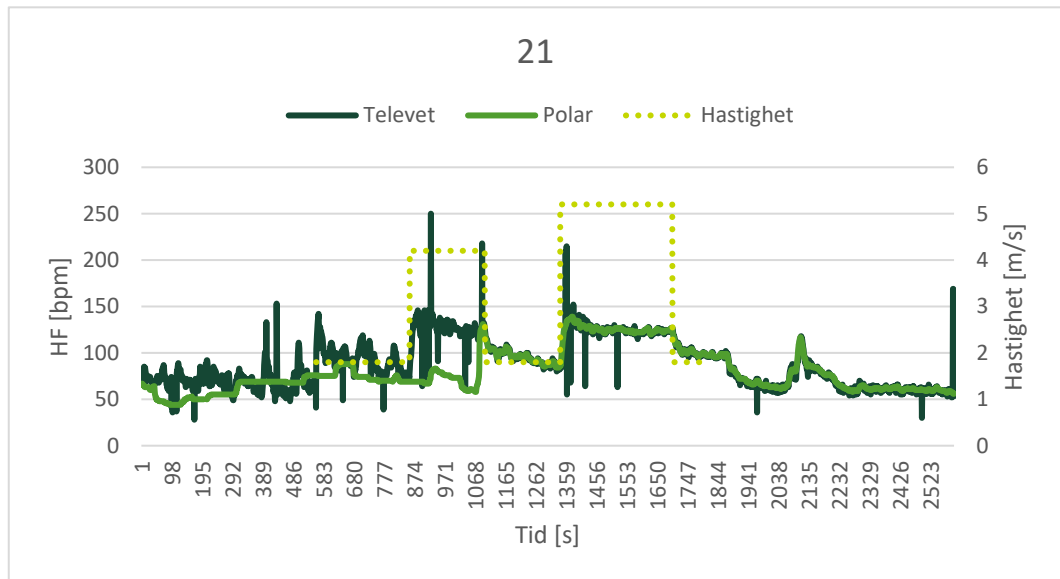
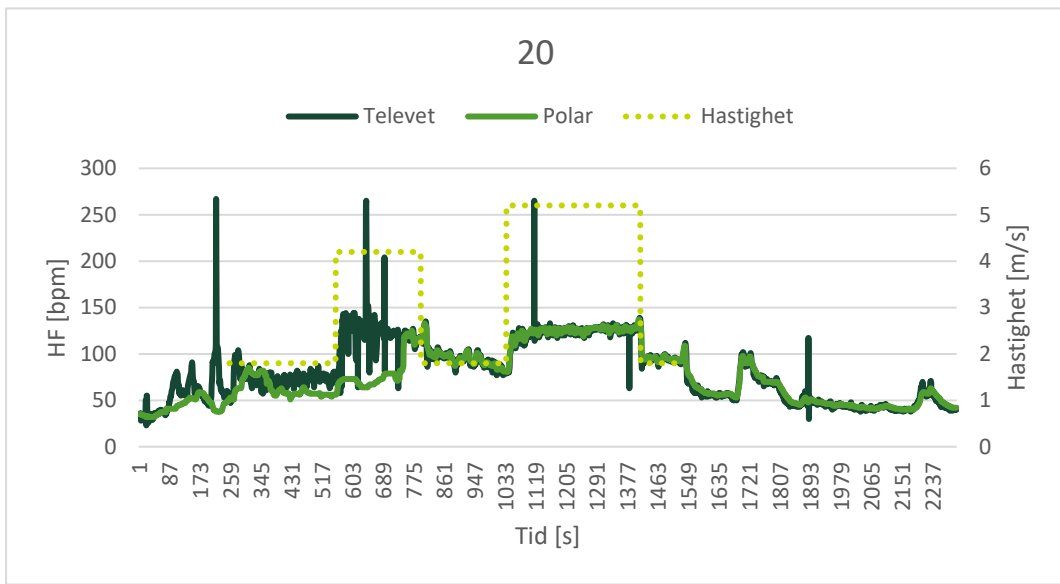
Hjärtfrekvens/hastighets-diagram för inkluderade hästar, diagramrubrik är hästnummer.

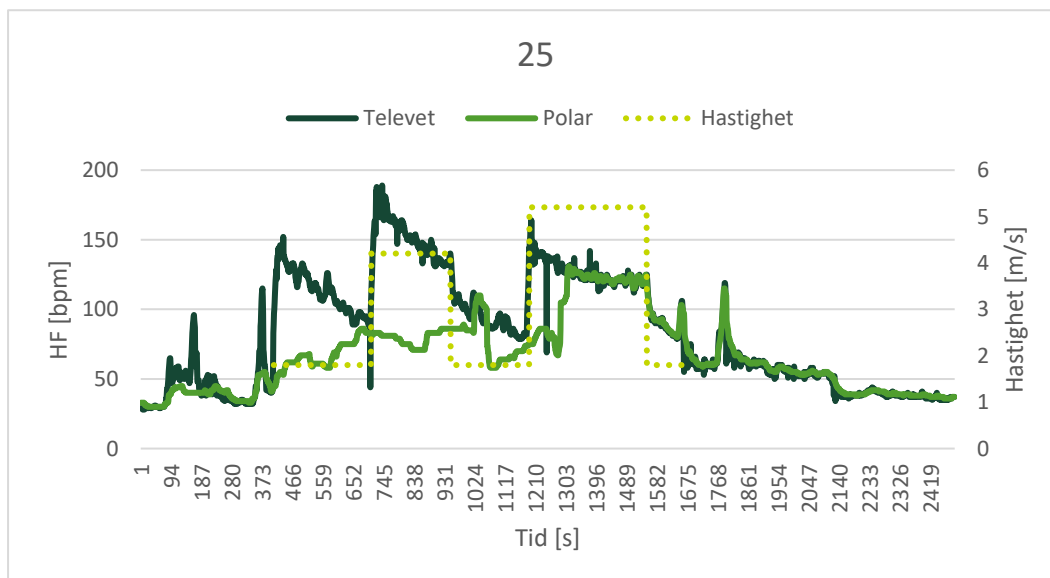
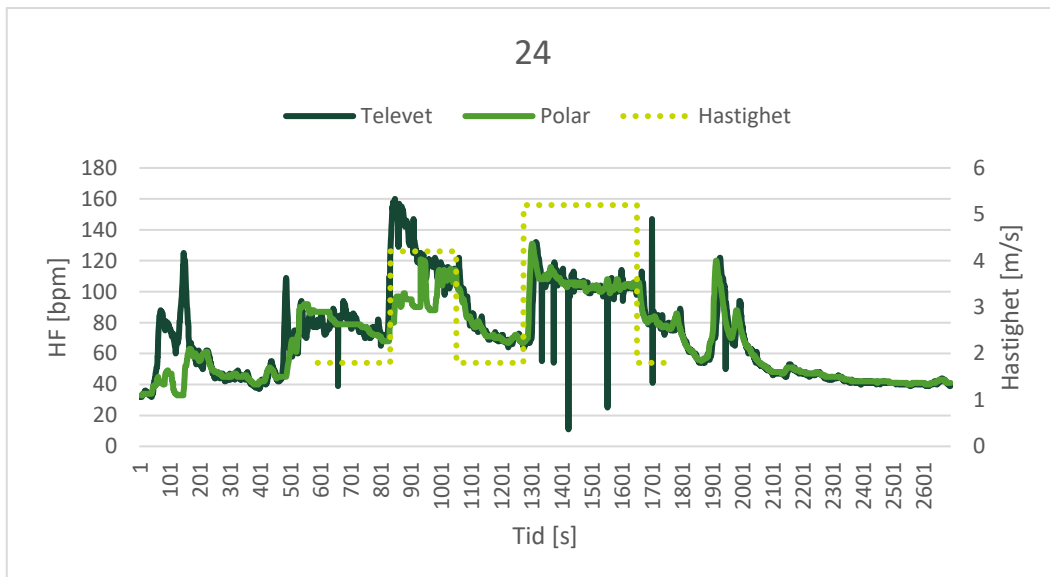
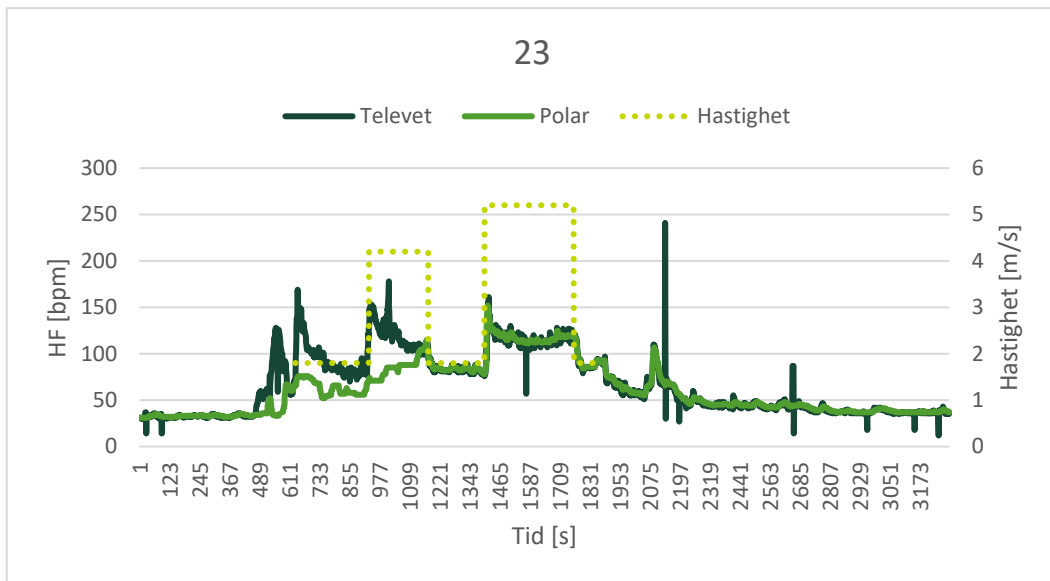


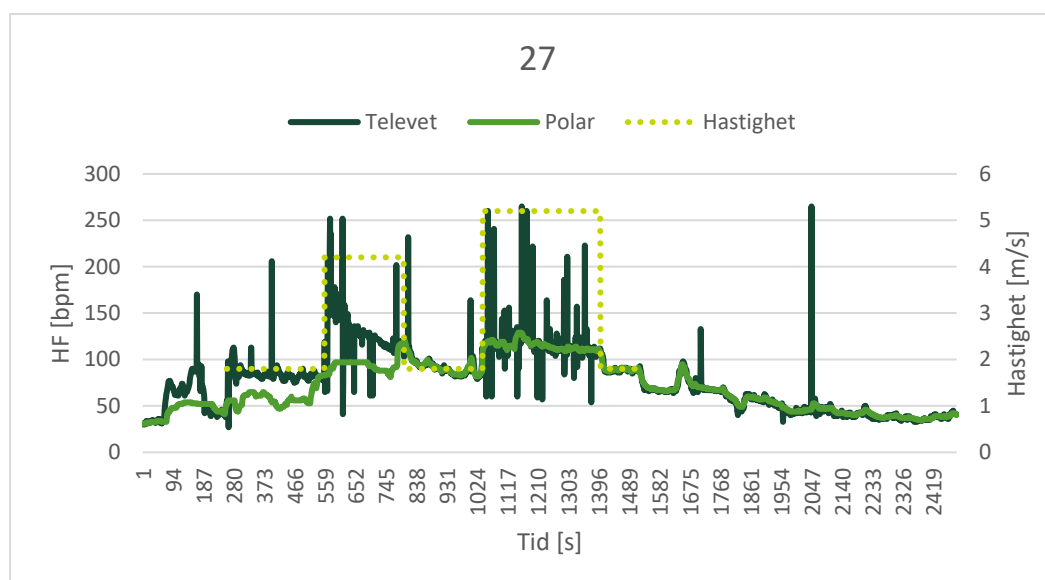
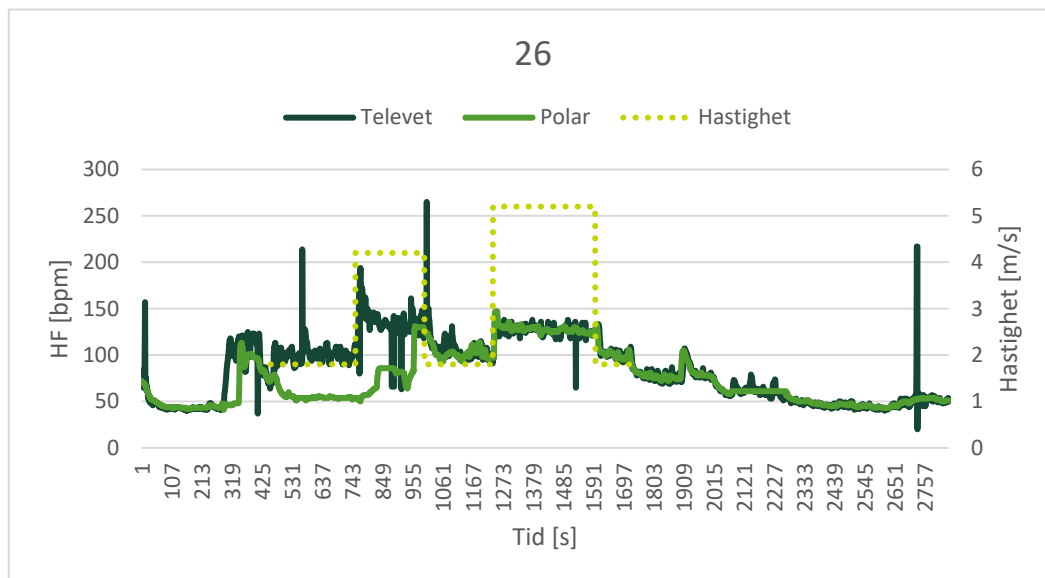












Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>

☒ JA, jag ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

☐ NEJ, jag ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.