



**CHALMERS**

# Utveckling av hjälpmedel för val av fästvalla vid längdskidåkning

David Bengtsson  
Nikolai Gustafsson  
Kristoffer Gustavsson Waidringer  
Fanny Hessel  
Nora Larsson  
Filip Wramdemark

**INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK  
SYSTEM- OCH REGLERTEKNIK**

---

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2023  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)

# Utveckling av hjälpmedel för val av fästvalla vid längdskidåkning

EENX16-23-19

David Bengtsson  
Nikolai Gustafsson  
Kristoffer Gustavsson Waidringer  
Fanny Hessel  
Nora Larsson  
Filip Wramdemark



Chalmers tekniska högskola  
24 maj 2023

Utveckling av hjälpmedel för val av fästvalla vid längdskidåkning

© David Bengtsson, Nikolai Gustafsson, Kristoffer Gustavsson Waidringer, Fanny Hessel, Nora Larsson, Filip Wramdemark, 2023.

Handledare: Jonas Fredriksson, institutionen för Elektroteknik  
Examinator: Nikolce Murgovski, institutionen för Elektroteknik

Kandidatarbete 2023  
Institutionen för Elektroteknik  
Chalmers tekniska högskola  
SE-412 96 Göteborg  
Telefon +46 31 772 1000

Omslagsbild: Chalmers logotyp.

Skriven i L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X  
Göteborg 2023

---

## Sammandrag

I den här rapporten kommer det undersökas om det är möjligt att utveckla ett hjälpmedel för val av fästvalla vid längdskidåkning. En trend med att köpa vallningsfria skidor istället för vallningsbara noterades, därför var det önskvärt att utveckla ett hjälpmedel som kan hjälpa nybörjare och motionärer att välja rätt fästvalla. Olika tester utfördes i Skidomes skidtunnel i Göteborg av en nybörjare och en motionär. Syftet med testerna var att utreda om en accelerometer kunde upptäcka om åkaren fått tillräckligt fäste med vallan i snön eller inte. Slutsatsen var att en accelerometer kunde upptäcka om åkaren fått fäste eller inte. Men vid upptäckten av brist på fäste hade fortsatta studier behövts genomföras för möjligheten att utreda om bristen av fäste beror på ej lämplig fästvalla eller om åkaren har dålig åkteknik. Systemets funktion är inte användarvänlig, men förhoppningsvis hade det kunnat bli det om exempelvis en lastcell kunde avgöra om det är vallan eller åkarens teknik brister, samt om systemet hade funkat med en mobiltelefon och inte bara en dator.

Nyckelord: Fästvalla, längdskidor, accelerometer, hjälpmedel, maskininlärning.

---

Development of an aid to help with the choice of grip wax for cross country skiing

Chalmers University of Technology

## **Abstract**

In this report, an evaluation of whether or not it is possible to develop a helping aid to determine what kind of ski wax is the most suitable for a weather condition, will be examined. A common trend with people tending to buy skin skis was noticed, and therefore it was desirable to create an aid for beginners to learn how to properly choose what wax to put on their skis. A lot of different tests were performed in Skidome, a skiing tunnel indoor, in Gothenburg, with a beginner and a more experienced skier, to determine whether or not an accelerometer could detect if the practitioner got enough hold to the snow with the wax or not. The conclusion was that it is possible to determine if a wax had given enough grip to the snow or not with the help from an accelerometer, although further studies would have to be completed in order to see whether or not the problem is with the wax or the performer if the tests show that not enough grip has occurred. As the device works today, is not user friendly, although hopefully it would be if, for example, a load cell could measure if the pressure on the ski has been enough and if the data from the devices could work with a cell phone as well as it does today with a computer.

Keywords: Grip wax, cross country skiing, accelerometer, aid, machine learning.

## Innehåll

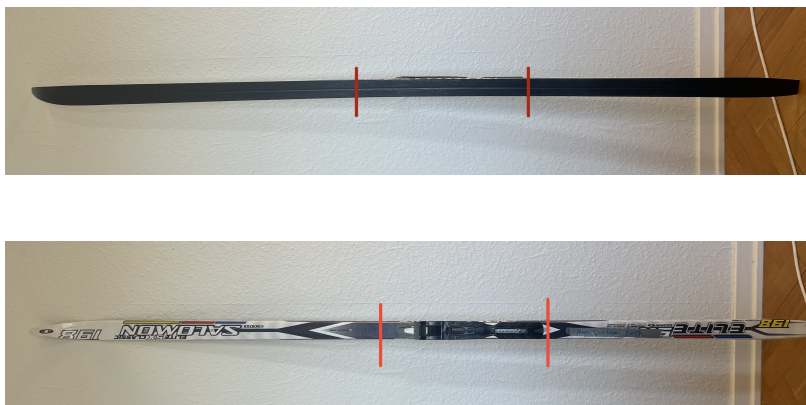
<b>1 Inledning</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund . . . . .	2
1.2 Syfte . . . . .	3
1.3 Mål . . . . .	3
1.3.1 Delmål . . . . .	3
1.4 Avgränsningar . . . . .	4
1.5 Precisering av frågeställningen . . . . .	4
1.6 Avhandlingens disposition . . . . .	4
<b>2 Teori</b>	<b>5</b>
2.1 Maskininlärning . . . . .	5
2.1.1 Beslutsträd . . . . .	5
2.1.2 Stödvektormaskin . . . . .	5
2.1.3 Neuronnät . . . . .	6
2.2 Givare . . . . .	7
<b>3 Metod</b>	<b>8</b>
3.1 Mätinstrument för temperatur och fuktighet . . . . .	8
3.2 Algoritmer för rekommendation av fästvalla . . . . .	10
3.3 Utvärdering av fäste . . . . .	11
3.3.1 Tester med accelerometer . . . . .	13
3.3.2 Analys av tester från accelerometer . . . . .	13
3.4 Adaptivitet för systemet . . . . .	15
<b>4 Samhälleliga och etiska aspekter</b>	<b>16</b>
<b>5 Resultat</b>	<b>17</b>
5.1 Hjälpmedlet . . . . .	17
5.2 Algoritmer för rekommendation av fästvalla . . . . .	17
5.3 Mätinstrument . . . . .	18
5.4 Testdata från accelerometer . . . . .	19
<b>6 Diskussion</b>	<b>25</b>
6.1 Algoritmer för rekommendation av fästvalla . . . . .	25
6.2 Mätinstrumentet . . . . .	25
6.3 Testdata från accelerometer . . . . .	25
6.4 Hjälpmedlet . . . . .	26
6.5 Vidareutveckling . . . . .	27
<b>7 Slutsatser</b>	<b>29</b>
<b>Referenser</b>	<b>30</b>

## Begreppslista

- Bakhalt - Skidan får inte fäste i snön. Skidan glider därmed bakåt.
- Fästvalla - Valla som är menad att ge fäste i snön.
- Glidvalla - Valla som är menad att ge glid i snön.
- Struktur av längdskida - Ett mönster på undersidan av skidan för att ge bättre glid vid olika förhållanden.
- Skidtunnel - En inomhusanläggning med konstsnö för längdskidor.
- Slipning av längdskida - En behandling av längdskidans undersida för att ge bättre glid.
- Valla - Fett som man stryker under skidorna för att få bättre glid och/eller fäste.
- Vallatabeller - Tabeller som rekommenderar en typ av valla beroende på väderförhållandet.
- Vallningsfria skidor - Skidor som har en päls under fästzonen vilket gör att fästvalla ej behövs.

## 1 Inledning

Skidåkning är en populär aktivitet i Norden. Anledningarna är många: för att tävla, motionera, komma ut i naturen eller för att det är roligt. Oavsett anledning behöver skidorna vallas för att få den upplevelse skidåkare söker, precis som fotbollar behöver pumpas och skridskor slipas. Det finns två olika typer av valla som används av olika anledningar, fästvalla och glidvalla. Fästvalla används för att skidan ska få fäste i snön och därmed ge skidåkaren möjlighet att förflytta sig framåt med hjälp av benen. Denna valla appliceras i den upphöjda delen mitt på skidan, mellan de två röda strecken i Figur 1. Den upphöjda delen i mitten av skidan kallas för spann. Glidvalla används för att skidan ska få minskad friktion mellan snön och skidan och således glida så bra som möjligt. Glidvalla appliceras utanför de röda markeringar som illustreras i Figur 1; den appliceras alltså på båda sidor om fästvallen. Vallan väljs beroende på det aktuella väderförhållandet samt önskad åkupplevelse. I kombination med att olika vallor passar olika bra för olika väderförhållanden, samt att det finns många olika företag som gör valla, finns det ett stort utbud av olika vallor att välja mellan. Att välja rätt valla är därför en svår uppgift för många, inte minst för motionärer eller nybörjare med begränsad kunskap och erfarenhet.



Figur 1: Zonerna för applicering av valla. Vallan appliceras på undersidan av skidan.

Att det generellt anses svårt att valla skidor kan ses i en ökande trend inom försäljning av vallningsfria skidor. Företaget Udéns Sport säljer nästan uteslutande vallningsfria skidor numera, 80% av skidorna de säljer är vallningsfria skidor, och så har trenden varit de senaste två åren [1]. Till skillnad från skidor man vallar själv fungerar vallningsfria skidor bra i alla förhållanden, man behöver alltså ingen kunskap om hur skidorna bör anpassas till olika väderförhållanden för att ha en bra skidupplevelse. Däremot ger klassiska vallningsbara skidor bäst förutsättningar vid korrekt applicerad valla [2]. Anders Byström, chef för det svenska längdlandslaget, menar att skidåkare på elitnivå uteslutande använder sig av vallningsbara skidor, vilket förstärker tesen om att vallade skidor har möjligheten att ge bättre förutsättningar [3]. Den ökade trenden med försäljning av vallningsfria skidor förstärker i sin tur bilden av att de flesta motionärer inte vet hur de ska valla sina skidor rätt.

Detta arbete går därför ut på att ta fram ett hjälpmedel för att underlätta för motionärer och nybörjare att välja rätt fästvalla för skidturens specifika förhållanden.

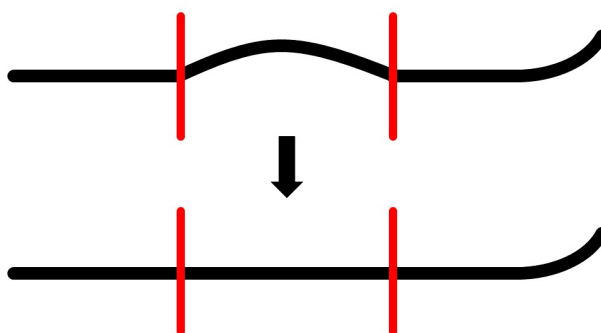
## 1.1 Bakgrund

Det är många olika faktorer som påverkar prestandan på ett par längdskidor. Egenskaper såsom skidans längd och skidans spann påverkar hur bra den fungerar i olika förhållanden [4]. Förutom skidans egenskaper har även slipning och struktur stor påverkan på prestandan hos skidan [5]. För motionärer kan det vara svårt att göra ett skidval utifrån ett specifikt väderförhållande eftersom de flesta bara har tillgång till ett eller ett fåtal par skidor. Vallan på skidorna är därför den faktor som motionärer lättast kan påverka för att förbättra skidornas prestanda.

Väderförhållande har en stor påverkan på vilken valla som är lämplig för det specifika åket. Snötyp, temperatur i luft och snö samt fuktighet i dito är viktiga parametrar som påverkar vallans prestation [5]. Dessa grundparametrar används av företaget Swix, ett företag som tillverkar valla, när de utför tester av olika vallor [6]. Men bara rätt val av valla räcker inte, det krävs också att vallan appliceras på ett korrekt sätt. Snötyp delas, av Svenska Skidlandslagets vallare, upp i kategorierna nysnö, blandad snö (fint), blandad snö (grovt), grovsnö och konstsnö [5].

Att det är svårt att bestämma valla har inte bara med väderförhållanden att göra. Miljöaspekter är något som också spelar in. Förr användes främst flour i vallor för att ge det glid som önskades [7], men idag avråds vallor innehållande detta ämne då dito är skadligt för miljön [8]. Det är även ohälsosamt för människan att andas in flour, vilket sker vid applicering av denna vallatyp [9]. Det räcker alltså inte att bara ha koll på appliceringstekniken av vallor och vilken valla som lämpar sig bäst för det aktuella väderförhållandet. Innehållet i vallan är en extra faktor att hålla koll på, vilket ytterligare bidrar till det höga kunskapskrav vallning sätter på den oerfarne skidåkaren.

Lämplig fästvalla betyder inte nödvändigtvis att fäste uppnås, även rätt teknik hos skidåkaren krävs. Korrekt åkteknik innebär att trycket på skidan är tillräckligt mycket för att fästvallen ska få fäste i snön. Att trycket är tillräckligt innebär att skidåkaren trycker ner fästzonen på skidan (mellan de röda linjerna, som illustrerats i Figur 2) i snön. Trycket uppkommer när skidåkaren lägger över kroppsvikten på den skida där fäste önskas. Med korrekt åkteknik är det möjligt att avgöra om vallan är lämplig eller inte. Lämplig fästvalla innebär i sin tur att när skidan trycks ned enligt Figur 2 ska det bli tillräckligt hög friktion för att skidan inte kan glida varken framåt eller bakåt. Med en lämplig fästvalla och korrekt teknik får åkaren fäste. Denna åkteknik är även känd som diagonalåkning och är en av de två vanligaste teknikerna vid klassisk längdskidåkning. Den andra mest vanliga är stakning, vilket ej utnyttjar fästvallen som diagonalåkning gör [10].



Figur 2: Illustration av skida före och efter tryck har satts på spannet så det trycks ned i underlaget.

Idag väljs fästvalla genom att avläsa och avgöra vad det är för temperatur och snötyp för att sedan jämföra det med vallaburkarnas etiketter (likt den i Figur 3), eller genom att studera vallatabeller [11]. Detta trots att fler viktiga parameterar såsom snöns och luftens fuktighet också har en påverkan [5]. Med hjälp av ett datorprogram som kan rekommendera valla utifrån dagens förhållanden skulle valet kunna underlättas och förbättras.



Figur 3: Bild på en vallaburk, valla är från företaget Swix.

## 1.2 Syfte

Arbetets syfte är att underlätta valet av fästvalla till längdskidor för motionärer och nybörjare. Då valet av fästvalla underlättas blir det lättare att komma igång med skidåkning.

## 1.3 Mål

Målet med projektet är att skapa ett hjälpmedel som rekommenderar rätt fästvalla till dagens väderförhållande. Väderförhållande i detta projektet syftar på snötyp, fuktighet i luft och snö, samt temperatur i dessa.

### 1.3.1 Delmål

För att underlätta vägen till projektets slutgiltiga mål har följande delmål satts upp:

- Skapa ett system som rekommenderar valla med hjälp av maskininlärning.
- Skapa ett mätinstrument som mäter väderförhållanden, det vill säga luftfuktighet, lufttemperatur, snöfuktighet och snötemperatur. Mätinstrumentet ska sedan rapportera förhållandena till systemet.

- Skapa ett verktyg för att utvärdera om åkaren har fått fäste eller inte.
- Skapa ett system som kan fortsätta lära sig om lämpliga fästvallor vid givna väderförhållanden genom att spara ned datan.

### 1.4 Avgränsningar

Det finns många olika vallor, snötyper och människor. Av den anledningen krävs det avgränsningar för att arbetet ska vara hanterbart och inte bli för stort. Projektets avgränsningar är:

- Fokus på fästvalla.
- Fästzonen på skidan antas vara korrekt uppmätt.
- Vallan antas vara applicerad på korrekt sätt.
- Empiriska studier kommer utföras på Skidome i Göteborg.
- Anpassat för motionärer/nybörjare.
- Snötyp rapporteras manuellt och avgränsas till nysnö, konstsnö, gammal snö och skitig snö.

### 1.5 Precisering av frågeställningen

För att ha ett tydligt mål att jobba mot preciseras frågeställningen av följande punkter:

- Går det att använda maskininlärning för att avgöra vilken valla som lämpar sig för ett väderförhållande?
- Är det möjligt att utvärdera om åkaren har fäste eller inte med hjälp av givare?
- Är det möjligt att skapa ett system som fortsätter lära sig under tiden det används?

### 1.6 Avhandlingens disposition

I kapitel 2 presenteras den grundläggande teorin bakom maskininlärningen och de givare som används i arbetet. Därefter beskrivs de metoder som har använts i kapitel 3. I kapitel 4 diskuteras arbetets potentiella samhällliga och etiska aspekter. Arbetets resultat presenteras i kapitel 5. Detta resultat diskuteras därefter i kapitel 6, för att sedan presentera arbetets slutsatser i kapitel 7.

## 2 Teori

I detta avsnitt presenteras grunden till den mest relevanta teorin för detta arbete, däribland grunder till algoritmerna för att rekommendera fästvalla och olika typer av givare.

### 2.1 Maskininlärning

Maskininlärning handlar om att försöka hitta en funktion  $f$  som kan representera verkligheten så att

$$y - \hat{y} \rightarrow 0 \quad (1)$$

där  $y$  är den verkliga utsignalen och  $\hat{y}$  är den skattade utsignalen från algoritmen. Den skattade utsignalen ges som

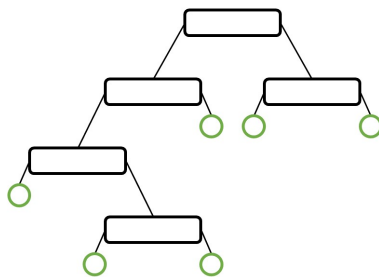
$$\hat{y} = f(x) \quad (2)$$

där  $x$  är insignaler till systemet. För vallningsproblemet skulle  $x$  vara snötyp, snötemperatur, snöfuktighet, lufttemperatur och luftfuktighet, medan  $y$  skulle vara valla.

Det finns många olika sätt att ställa upp ett maskininlärningsproblem, och beroende på hur problemet formuleras kan olika algoritmer användas för att finna  $f$ . Algoritmerna som bedöms lämpliga för vallproblemet är beslutsträd, stödvektormaskiner och neuronät. Teorin berörande algoritmerna är hämtad från [12] där det även finns mer djupgående information för de olika algoritmerna.

#### 2.1.1 Beslutsträd

Ett beslutsträd skapar en funktion  $f$  som ska efterlikna verkligheten genom att data delas upp efter olika delningspunkter för att leda till en klassificering ( $\hat{y}$ ). I Figur 4 synes att beslutsträdet har formen av ett träd med olika beslutspunkter (rektanglar), grenar (streck som förgreningar) och löv (gröna cirklar). Vid varje beslutspunkt finns två grenar. Indatan ( $x$ ) jämförs med dessa två grenar, och den gren som stämmer överens med datan är den som leder till nästa beslutspunkt. När grenarna är slut når datan ett löv som ger datan en klassificering. De olika delningspunkterna kan väljas med hjälp av ett så kallat *Gini index* som är ett mått på hur många felaktiga klassificeringar det finns på de olika löven om man fortsätter ned längs den grenen. Målet vid skapandet av ett beslutsträd är att minimera *Gini index* för att få så lite felklassificeringar som möjligt.

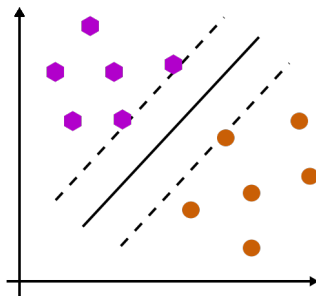


Figur 4: Beslutsträd.

#### 2.1.2 Stödvektormaskin

Stödvektormaskin är en typ av binär statistisk klassificerare, vilket betyder att den avgör vilken av två givna klasser som indatan med störst sannolikhet tillhör. Klasserna delas upp med ett plan där

planet ska separera klasserna med så stor marginal som möjligt. Figur 5 visar ett enkelt exempel av en stödvektormaskin där en linjär funktion avgränsar datapunkterna. Kärnfunktioner används för att beräkna avståndet mellan datapunkter. En kärnfunktion som ofta används inom stödvektormaskiner är *Radial Basis Function*. Resultatet bestäms därefter med hjälp av planet som separerar klasserna. Det finns flera metoder för att behandla fall med fler än två möjliga klasser genom att bryta upp problemet i binära problem. Ett vanligt sätt är att jämföra en klass mot de resterande klasserna och på så sätt besluta om vilken klass en datapunkt med största sannolikhet tillhör. Alla dessa nämnda funktioner bildar funktionen  $f$  som tillsammans med indatan som ska klassificeras ( $x$ ) ger  $\hat{y}$  enligt Ekvation 2.



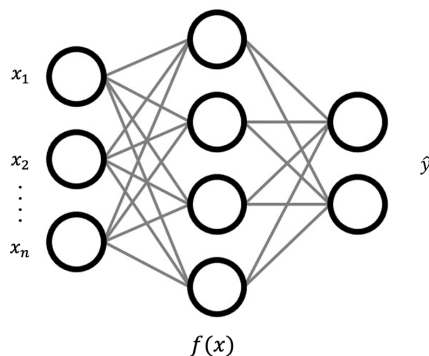
Figur 5: Stödvektormaskin.

### 2.1.3 Neuronnät

Neuronnät efterliknar den mänskliga hjärnan och består av ihopkopplade neuroner. Varje koppling har en vikt, alltså väger vissa kopplingar mer än andra och därmed lär sig nätverket att klassificera indatan. Dessa vikter bestäms då nätverket tränas i en iterativ process. I träningsprocessen används en förlustfunktion och en optimeringsfunktion. Förlustfunktionen mäter hur bra nätverket presterar på den givna träningsdatan och minimeras genom att ändra vikterna. En vanlig förlustfunktion för problem med fler än två klasser är *Multiclass Cross-Entropy/Categorical Cross-Entropy*. Optimeringsfunktionen används för att optimera nätverket baserat på förlustfunktionens resultat. *Stochastic Gradient Decent* är en vanlig optimeringsfunktion för neuronnät. En aktiveringsfunktion används i neuronnät för att aktivera utgången av en neuron baserat på indatan till denna. Den vanligaste aktiveringsfunktionen är *ReLU* som har den matematiska formeln

$$h(z) = \max(0, z)$$

där  $z$  är indatan. Indatan kan efter träning klassificeras med hjälp av nätverket och dess vikter. Figur 6 visar principen med ett neuronnät där vänstersidan representerar inparametrarna och högersidan representerar de olika vallorna. Det kan finnas olika typer av lager i neuronnät. I Figur 6 har alla lager typen *dense*, vilket innebär att alla neuroner i det aktuella lagret är kopplade till samtliga neuroner i både det föregående och efterföljande lagret. Neuronnät kan ha fler lager än vad Figur 6 visar. Vilken av de möjliga klasserna som indatan ( $x$ ) med störst sannolikhet tillhör kan bestämmas med funktionen *Softmax*. Den används för att omvandla en vektor av nummer till en sannolikhetsfördelning, alltså att få det mest sannolika alternativet ( $\hat{y}$ ) baserat på numeriska värden. Hela nätverket fungerar sedan som funktionen  $f$  för att realisera verkligheten där målet är att uppfylla Ekvation 1. Skattningen  $\hat{y}$  fås enligt Ekvation 2.



Figur 6: Neuronnät av typen dense.

## 2.2 Givare

En PT1000-givare är en temperaturgivare som består av en resistans vars motstånd ändras med temperaturen. Om resistansen avläses går det att, med hjälp av en konverteringsfunktion, ta reda på vad för temperatur som givaren mäter [13].

Fuktgivaren AM2320 består av en variabel kapacitans som ändrar värde med fuktighet. Givaren kan skicka fuktighetsdata över två olika protokoll, antingen  $I^2C$  protokollet eller  $1\text{-wire}$  protokoll, mer information om givaren kan hittas här [14].

Vid tillfällen där en acceleration behöver mätas kan en accelerometer användas. En accelerometer är ett enkelt instrument som konverterar mekanisk rörelse till elektriska signaler. Accelerometern är anpassad för att i fritt fall ha accelerationen  $0g$  [ $m/s^2$ ] i alla axlar, alltså när den befinner sig stilla i förhållande till marken verkar jordens gravitationskonstant på accelerometern. Acceleration ges som

$$F = m \cdot a$$

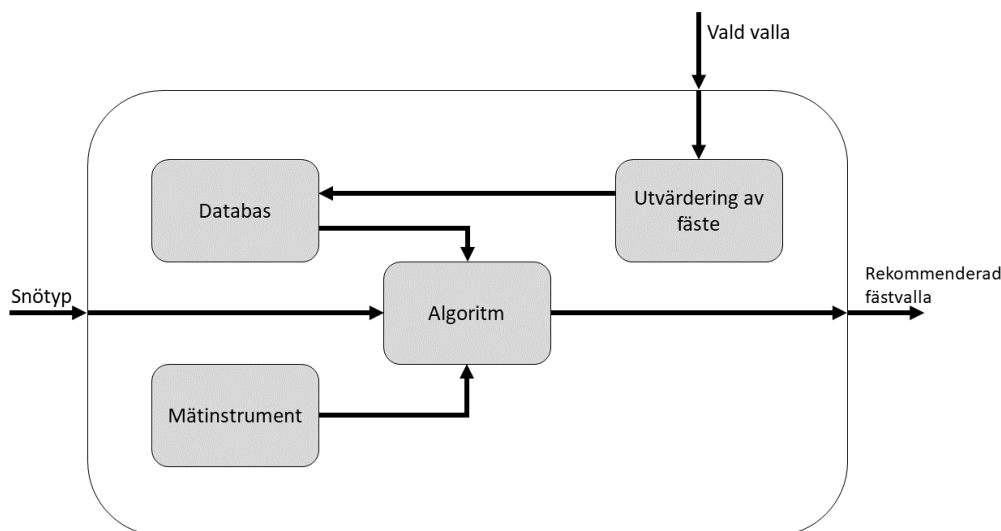
där  $F$  är kraften [ $N$ ],  $m$  är massan [ $kg$ ] och  $a$  är accelerationen [ $m/s^2$ ] [15]. Därför kan accelerationen tas reda på genom att uppmäta vilken kraft en känd massa verkar på någon form utav kraftgivare.

För att enkelt kontrollera elektronik, däribland givare, är en Arduino lämplig [16]. En Arduino är en kontrollkort som kan programmeras. Ett exempel på en Arduino är Arduino Nano RP2040 Connect som bland annat har en accelerometer inbyggd samt BLE (Bluetooth Low Energy) [17]. BLE kan användas för att skicka data mellan enheter trådlöst.

### 3 Metod

De olika delar som presenteras i metoden är mätinstrument som användes för att mäta fuktighet och temperatur i luft såväl som snö, algoritmens uppbyggnad, samt metoden för utvärdering av fäste. Det kommer även att presenteras hur hjälpmedlets adaptivitet har utvecklats för att systemet ska förbättras över tid.

I Figur 7 illustreras det blockschema som utgör grunden för systemets uppbyggnad. Användaren matar först in snötypen för den kommande åkturen (av de fyra olika snötyper projektet är avgränsat till). Snötypen matas in i algoritmen tillsammans med datan från mätinstrumentet innehållande snöns och luftens temperatur samt fuktighet. Denna data i kombination med den inmatade snötypen utnyttjas sedan av algoritmen för att rekommendera valla. Användaren anger därefter vilken valla som har valts. Under åket utvärderas fästet för att avgöra om fästvallen är lämplig. Denna utvärdering tillsammans med användarens valda valla sparas ned till databasen för att träna om algoritmen, vilket leder till en förbättring av systemet.



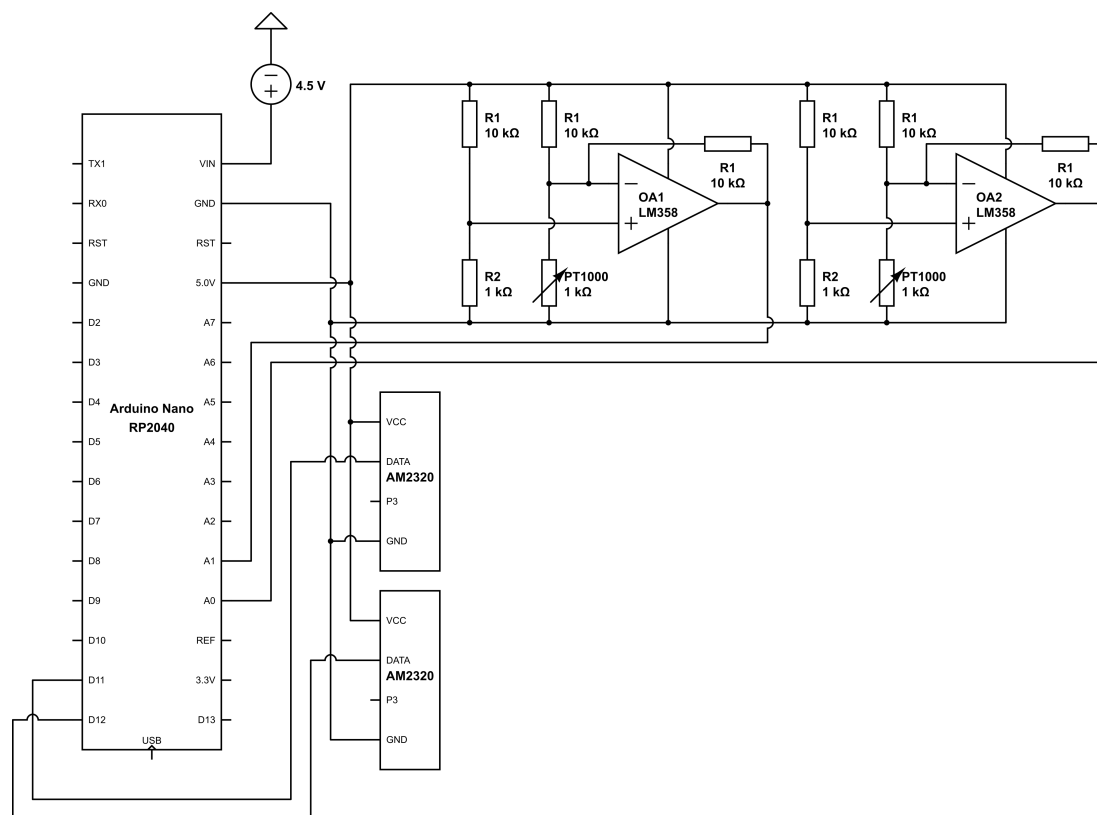
Figur 7: Blockdiagram över processen från inmatning av snötyp till rekommenderad fästvalla.

#### 3.1 Mätinstrument för temperatur och fuktighet

För att ha möjlighet att tillhandhålla temperatur och fuktighetsdata till maskininlärningsalgoritmen skapades ett mätinstrument. Mätinstrumentet byggdes med avsikten att kunna mäta temperaturen och fuktigheten i snön och i luften för att sedan skicka datan trådlöst via BLE.

Instrumentet byggdes med en Arduino Nano RP2040 som kontrollkort. Till den anslöts fyra olika sensorer, två stycken fuktighetssensorer och två stycken temperatursensorer. Det är två temperatur och fuktighetstgivare eftersom det ska mätas temperatur och fuktighet i både luft och snö samtidigt. Arduino Nano RP2040 valdes just eftersom den var liten och hade inbyggd BLE. Temperaturgivarna var av typen PT1000 och valdes eftersom de är billiga och dessutom har en hög precision. En AM2320-

givare valdes för att mäta fuktigheterna då den hade bra precision och var enkel att implementera. Figur 8 visar hur de fyra givarna anslöts till kontrollkortet.



Figur 8: Kretsschema över temperatur- och fuktighetsmätinstrument.

För att mäta temperaturen med PT1000-givaren kopplades en av de två anslutningarna på givaren till jord. Potentialen mättes sedan på den andra anslutningen. Den uppmätta potentialen omvandlades sedan till temperatur med hjälp av en ekvation,

$$t = \frac{U \cdot 100}{3} + \text{offset}$$

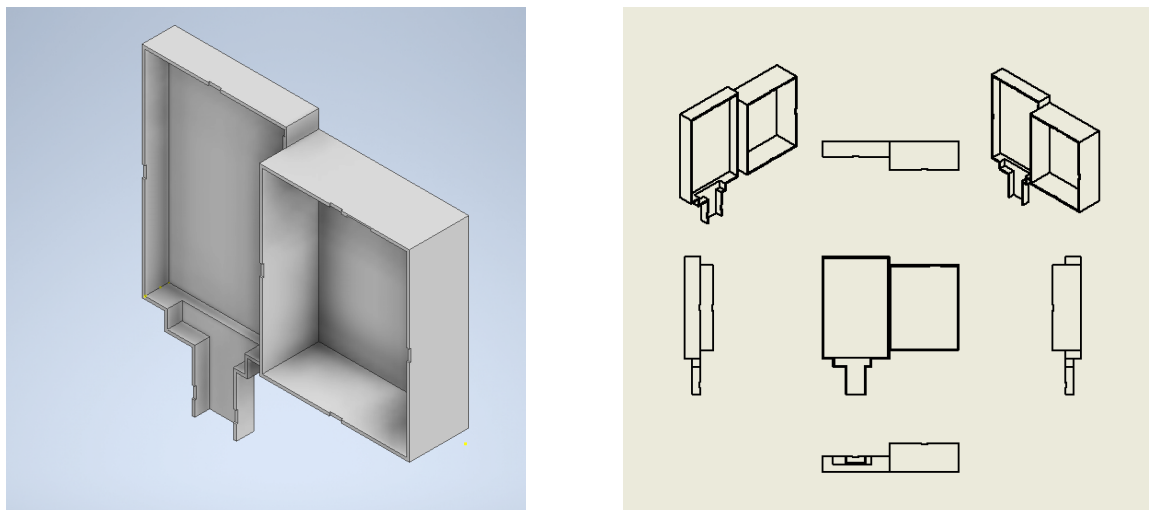
där  $t$  är temperaturen i  $^{\circ}\text{C}$ ,  $U$  är potentialen i volt och offset en konstant för kalibrering. Detta eftersom potentialen är relaterad till hur temperaturen runt givaren ändras. Då potentialskillnaden var väldigt liten för små temperaturskillnader behövdes PT1000-givarna anslutas till en förstärkarkrets. Denna krets förstärkte givarens signal, eftersom att kontrollkortet skulle få en möjlighet att urskilja, de annars små, potentialskillnaderna vid temperaturförändringar.

Mätinstrumentet försågs med en spänning på 4,5 V via en batterihållare med tre stycken AA-batterier. Detta gjorde att den enkelt kunde placeras i snön utan att behöva vara ansluten till en dator eller vägguttag.

Kontrollkortet, Arduino Nano RP2040 Connect, programmerades med Arduino IDE [18] och koden

inkluderade biblioteken *ArduinoBLE.h* och *dhtnew.h* för att enkelt implementera BLE och även fuktgivarna av typen AM2320. Se Github [19] för komplett kod.

För att skydda kretskortet mot fukt designades ett hölje med lock, se Figur 9, som kretskortet placerades i. I den högra delen av höljet placerades batterihållaren och i den vänstra placerades kretskortet med dess givare.



Figur 9: CAD-hölje för mätverktyget.

### 3.2 Algoritmer för rekommendation av fästvalla

Maskininlärning användes för att skapa en algoritm som lärde sig sambandet mellan tidigare nämnda väderförhållanden (snötyp, temperatur samt fuktighet i både snö och luft) och vilken valla som var lämplig. Detta samband användes därefter för att rekommendera valla enligt Ekvation 2 där  $f$  är den tränade algoritmen,  $x$  är åkarens väderförhållanden och  $\hat{y}$  är den rekommenderade valla.

För att träna och utvärdera algoritmerna skapades en databas med data över vilken valla som var lämplig för ett visst väderförhållande, detta sparades i formen av ett datapar. För att skapa denna databas samlades data in från Skistarts vallatabell [20]. Eftersom vallatabeller är uppbyggda genom att rekommendera vilken valla som är lämplig för ett givet temperaturspann lades de temperaturspannen in genom att skapa en datapunkt för varje  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Denna data delades sedan upp i två delar, en större del för träning och en mindre del för utvärdering av algoritmen. För att sedan utvärdera möjligheterna för en bättre träffsäkerhet från algoritmerna om mer träningsdata var tillgänglig skapades en till större databas på samma sätt som den första. Men temperaturspannen lades in genom att skapa en datapunkt för varje  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  istället för  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  som tidigare. Databaserna implementerades i form av csv-filer som data kan hämtas från och skrivs till med hjälp av Pythonbiblioteket *Pandas*. Tre maskininlärningsalgoritmer implementerades för att ta fram en rekommenderad valla. Olika algoritmer användes för att avgöra vilken som var lämpligast för problemet. De algoritmer som implementerades var neuronnät, beslutsträd och stödvektormaskin. Djupare beskrivning av implementeringen av dessa följer nedan.

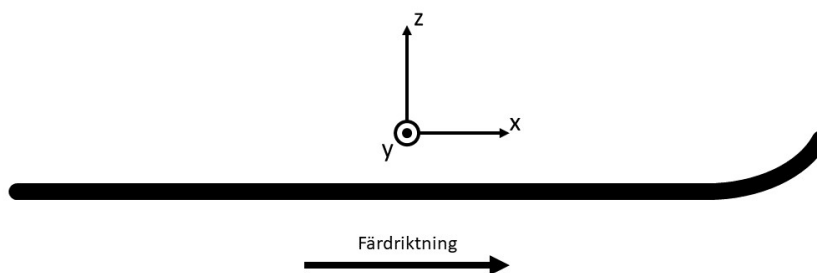
De olika algoritmerna tränades för att lära sig identifiera samband mellan olika väderförhållanden och olika typer av fästvalla. Detta skedde genom att den fick en del av datan från databasen. Sedan utvärderades algoritmerna med hjälp av den data som var reserverad för utvärdering. Modellen förutspådde då vilken valla som tillhörde de olika dataparen, detta jämfördes sedan med vilken valla som faktiskt tillhörde de olika dataparen. På så vis avgjordes tillförlitligheten hos modellen och träffsäkerheten evaluerades, där träffsäkerheten är  $\frac{\text{Antalet korrekta klassificeringar}}{\text{Totala antalet klassificeringar}}$ .

De olika algoritmerna implementerades i Python. Neuronnätet implementerades med biblioteken *Keras* och *Tensorflow*. Nätverket byggdes med tre lager av typen dense, det första med 64 neuroner, det andra med 32 neuroner och det sista med lika många neuroner som antalet tillgängliga vallor. *ReLU* användes som aktiveringsfunktion och *Softmax* användes för att avgöra vilken valla som var lämplig att använda. Som förlustfunktion användes *Categorical Cross-Entropy*, och *Stochastic Gradient Decent* användes som optimeringsfunktion. Biblioteket *Sklearn* användes för att implementera en stödvektormaskin där *Radial Basis Function* användes som kärnfunktion. Beslutsträdet skapades med *Gini index* för att bestämma de bästa delningspunkterna. Se Github [19] för komplett kod.

En hemsida utvecklades med *Flask*, *HTML* och *CSS* för att öka användarvänligheten. Genom hemsidan kan användaren få en överblick och köra de olika algoritmerna på ett enkelt sätt. Användaren kan även ange vilken valla som valdes på hemsidan vilket gör att vallan kan utvärderas. Se hur hemsidans implementerades på Github [19].

### 3.3 Utvärdering av fäste

För att åstadkomma datainsamling för utvärderingen av valla, som tidigare synes i blockschemat i Figur 7, behövdes ett mätverktyg för att mäta åkarens rörelse. Mätverktyget som valdes var en accelerometer inbyggd i en Arduino Nano RP2040 Connect. Denna valdes för att data kan överföras med Bluetooth till en dator. Med en accelerometer kunde accelerationen mätas i x-, y- och z-led. Principen med accelerometern var att se om åkaren fått fäste eller ej, dvs. att observera hur accelerationen förändrades när åkaren lagt tryck på skidan och utifrån den datan utvärdera hur väl fästvallan verkat. Accelerometerns riktningar relativt färdriktning syns i Figur 10. I Arduino IDE skrevs grundkoden för att få accelerometern att fungera, medan i Python skrevs koden för att data skulle kunna samlas in med hjälp av BLE. Se Github [19] för komplett kod.



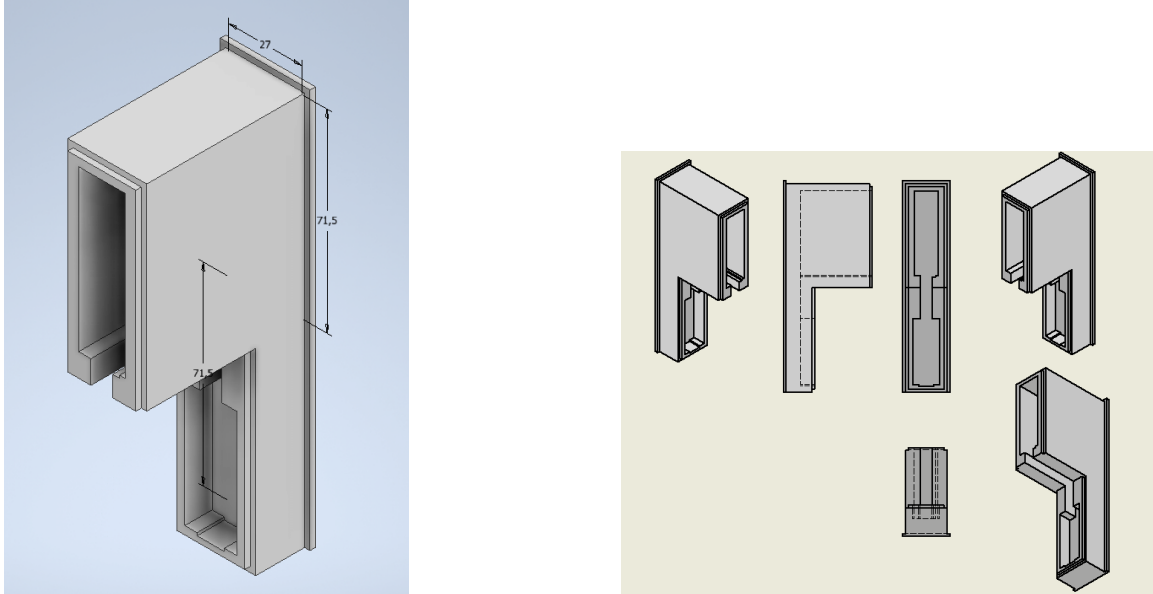
Figur 10: Accelerometerns riktningar relativt färdriktningen.

Accelerometern är ett kretskort som kopplades till en batterihållare med hjälp av lödning. Dessutom löddes 5 V ihop på baksidan av kretskortet för att kunna nyttja hela kortets funktion och för

### 3 METOD

---

kalibrering. Accelerometern tillsammans med batterihållare placerades sedan i ett 3D-printat hölje, som synes i Figur 11 nedan, med ett tillhörande lock. Figur 12 visar hur höljet placerades på skidan.



Figur 11: CAD-hölje för accelerometern.



Figur 12: Accelerometer på skida.

### 3.3.1 Tester med accelerometer

Tester med accelerometern skedde i två omgångar. Båda testerna har utförts i Skidomes skidtunnel. Första testomgången var för att se hur accelerometern fungerade och vad som behövde förbättras samt ändras på inför testomgång två. Testomgång två var omgången då den data som ligger till grund för analysen samlades in.

Den valla som användes vid testerna i Skidome som lämplig var SwixV50. Denna valdes efter rekommendation från personalen på Skidome.

Accelerometern gav möjligheten att observera accelerationen i x-, y- och z-led. Det samlades dock enbart in data ifrån x-led och z-led eftersom y-led ansågs irrelevant och begränsade mängden data från x- och z-led. Begränsningen beror på kontrollerkortets kapacitet att skicka data. Syftet med testerna var att se ifall det gick att skilja på ej lämplig fästvalla och lämplig fästvalla med hjälp av accelerometern och med kunskapen att bakhalt kan förekomma utan valla.

Innan testerna utfördes fästes accelerometern på ena skidan med hjälp av dubbelhäftande tejp. Totalt utfördes 36 tester av två olika personer på skidorna. Test utan stavar gjordes eftersom det kräver att åkaren använder fästvallen och inte kan fuska genom att förlita sig på stavarna. Varje testperson utförde tre åk av följande sex typer:

- Lång, platt raksträcka med stavar, med ej lämplig fästvalla.
- Lång, platt raksträcka med stavar, med lämplig fästvalla.
- Lång, platt raksträcka utan stavar, med ej lämplig fästvalla.
- Lång, platt raksträcka utan stavar, med lämplig fästvalla.
- Brant backe, med ej lämplig fästvalla.
- Brant backe, med lämplig fästvalla.

Samtliga åk filmades av en person som sprang bredvid. Detta för att efteråt lätt kunna jämföra åken med graferna från accelerometern.

I Tabell 1 nedan syns vilka av de dokumenterade testnumren som var av vilken typ och vem av de två testpersonerna som utförde testet. De dokumenterade testerna återfinns i [19].

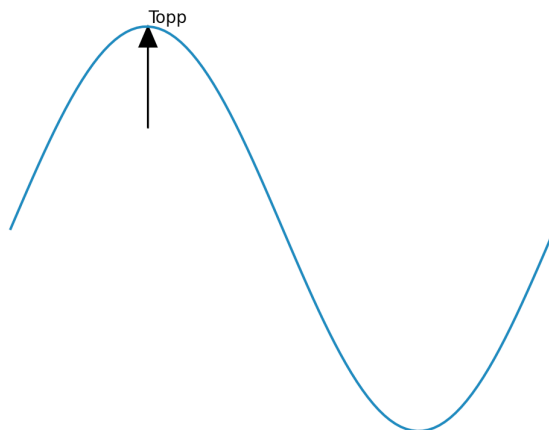
Tabell 1: En tabellkarta som visar vilket test som motsvarar vilket nummer.

Valla	Med stavar - plan raksträcka		Utan stavar - plan raksträcka		Uppförsbacke	
	ej lämplig	lämplig	ej lämplig	lämplig	ej lämplig	lämplig
Motionär	1, 2, 3	19, 20, 21	7, 8, 9	25, 26, 27	13, 14, 15	31, 32, 33
Nybjörjare	4, 5, 6	22, 23, 24	10, 11, 12	28, 29, 30	16, 17, 18	34, 35, 36

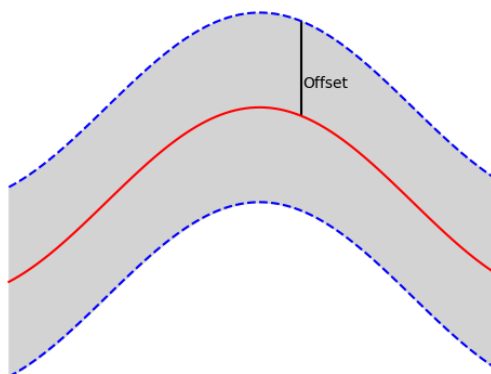
### 3.3.2 Analys av tester från accelerometer

MATLAB har använts för analys av testerna. Då testdatan plottades över tid skapades en relativt periodisk kurva där flera tydliga positiva toppar urskiljdes. Dessa toppar var separerade ifrån varandra med ett mellanrum. Testdatan delades upp i intervall där datapunkterna kring en topp utgör ett intervall. En topp är maxvärdet av en kurva som syns i Figur 13. Detta gjordes för att försöka se ifall det fanns någon repeterbarhet för rörelsen som sker vid diagonalåkning. En hypotes

var att rörelsen var mer repetitiv om valla var lämplig, samt att vid ej lämplig valla hade rörelsen varit mindre repetitiv. Genom att använda polynomial kurvanpassning har en kurva approximerats genom datapunkterna och skapat en generaliserad kurva. En offset till den anpassade kurvan bestämdes för att skapa ett intervall kring den anpassade kurvan. Se Github [19] för komplett kod. Kurvanpassningen med intervall illustreras i Figur 14 där intervallet är grått och kurvanpassningen är röd. En procentsats bestämdes som  $\frac{\text{Antalet datapunkter utanför intervaller}}{\text{Totala antalet datapunkter}}$ .



Figur 13: Markerar kurvans topp.



Figur 14: Kurvanpassning med offset.

Efter skapandet av kurvorna från respektive test kunde kurvorna jämföras för att dra slutsatser. Endast toppar över  $3,9g [m/s^2]$  räknades in. Efter analys bestämdes offset till  $1,7g$  och valla bedömdes som lämplig om procentsatsen var mindre än 15%.

### 3.4 Adaptivitet för systemet

För att systemet ska kunna utvecklas och bli bättre inkluderades en funktion kallad *Feedback*. *Feedback* sparar ned datan från mätinstrumentet medan åkaren utvärderar fästet med hjälp av accelerometern. När vällan sedan testats avgör utvärderingen om det var en lämplig valla för de uppmätta förhållandena. I det fall då verktyg anser att vällan var lämplig sparas datan från mätinstrumentet ned till databasen ihop med den använda vällan. Vid ej lämplig valla ignorerar systemet den datan och fortsätter som innan. När datan är nedsparat tränas alla modeller om med datan från databasen för att på så sätt få tillgång till mer data än vad som fanns i vallatabellerna. Användaren kan även välja att använda en annan valla än den som algoritmerna rekommenderade och använda verktyget för utvärdering av valla. På så sätt kan användaren spara ned data med en annan typ av valla än de som systemet rekommenderade. För komplett kod se Github [19].

### 4 Samhälleliga och etiska aspekter

Potentiella negativa etiska aspekter som detta projekt kan stöta på är exempelvis om hjälpmedlet kan ge ett övertag vid tävling och ifall personlig information samlas in för maskininläringen och hur detta då ska hanteras. Samhälleliga positiva aspekter skulle kunna vara att hjälpmedlet leder till fler personer som väljer att åka längdskidor.

Huruvida det slutgiltiga hjälpmedlet potentiellt sett kan ge ett visst övertag, vid exempelvis tävling, kan diskuteras. Bra vallade skidor ger ett stort övertag över skidor som ej är bra vallade, men som det ser ut nu existerar redan tjänster för att få sina skidor professionellt vallade inför olika tävlingar, till exempel Vasaloppets vallaservice [21]. Ifall det anses vara mer etiskt att utnyttja en sådan tjänst jämfört med detta projekts utvecklade hjälpmedel är upp till individen eller eventuella tävlingsarrangörer. Projektet riktar sig dock främst mot nybörjare och amatörer, vilket vidare leder till att just det etiska dilemma blir ytterligare mer irrelevant.

Eftersom projektet bygger på ett program som rekommenderar rätt valla för längdskidor beroende på väderförhållande existerar det ett ansvar hos utvecklarna av programmet i vad för valla som rekommenderas. Det har historiskt sett funnits mycket olika vallor som är skadliga för miljön [22], därför bör dessa vallor uteslutas ur programmet för att det ej ska leda till en ökad användning av dessa.

För att uppnå målen för projektet finns det ingen anledning för insamling och lagring av personlig data. Detta eftersom datan som maskininläringen använder sig av enbart är relaterad till rådande väderförhållande. Det ska dock inte uteslutas att det vid en potentiell vidareutveckling av projektet skulle kunna införas extra funktionalitet som kräver personlig data. I det fallet måste det övervägas hur man ska hantera datan för att exempelvis tillfredsställa GDPR.

## 5 Resultat

Resultatet från arbetet presenteras i detta avsnitt, däribland algoritmernas träffsäkerhet, testdata, mätinstrumentet och hemsidans utseende.

### 5.1 Hjälpmedlet

Hjälpmedlet kan samla in data för väderförhållandet och ge en rekommendation av valla baserat på de olika algoritmerna. Systemet kan även samla in data från åkare och spara ner datan. Figur 15 visar hur hjälpmedlet ser ut vid användning från användarens perspektiv.



Figur 15: Hemsidans utseende.

### 5.2 Algoritmer för rekommendation av fästvalla

Tabell 2 visar de olika algoritmernas träffsäkerhet när de tränats på huvuddatabasen respektive den större databasen. Träffsäkerheten visas i ett spann eftersom den varierar beroende på hur tränings- och evalueringsdatan har delats upp vid olika körningar. Spannet går från de lägsta resultat som givits till det högsta resultatet vid olika träningsomgångar. Som synes i Tabell 2 är beslutsträd den

mest träffsäkra algoritmen i båda databaserna, neuronnät var den algoritmen som presterade sämst på huvuddatabasen och stödvektormaskin hade minst träffsäkerhet på den större databasen av de olika algoritmerna.

Tabell 2: En tabell över de olika algoritmernas träffsäkerhet.

	Beslutsträd	Neuronnät	Stödvektormaskin
Huvuddatabas	68 - 79%	48 - 61%	47 - 69%
Större databas	85 - 93%	77 - 91%	61 - 82%

### 5.3 Mätinstrument

Mätinstrumentet för temperatur och fuktigheter testades både inomhus på Chalmers och i Skidome innan åktesterna genomfördes. I Tabell 3 nedan presenteras de temperaturer och fuktigheter som instrumentet rapporterade under dessa tester. Mätinstrumentet kan ses i Figur 16.

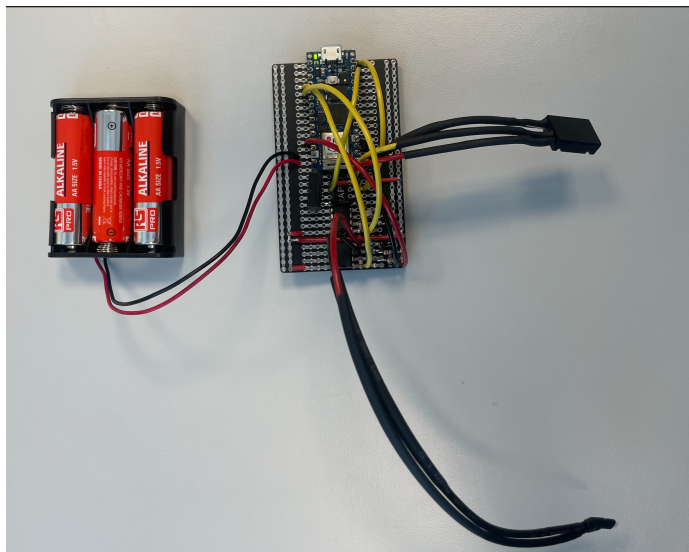
Tabell 3: Testvärden ifrån mätinstrument vid Skidome och inomhus.

	Skidome	Inomhus
Givaren för snötemperatur	-3,6 °C	22,9 °C
Givaren för snöfuktighet	94% RH	38,0% RH
Givaren för lufttemperatur	-0,7 °C	22,5 °C
Givaren för luftfuktighet	63% RH	34,5% RH

Tabell 4 visar temperaturen i Skidome uppmätt av Skidomes personal samt temperaturen givet av inomhustermomter i maskinhuset på Chalmers tekniska högskola.

Tabell 4: Referensmätning.

	Skidome	Inomhus
Snötemperatur	-3,4 °C	23.1 °C
Lufttemperatur	-2,8 °C	23.1 °C



Figur 16: Temperatur- och fuktgivare.

#### 5.4 Testdata från accelerometer

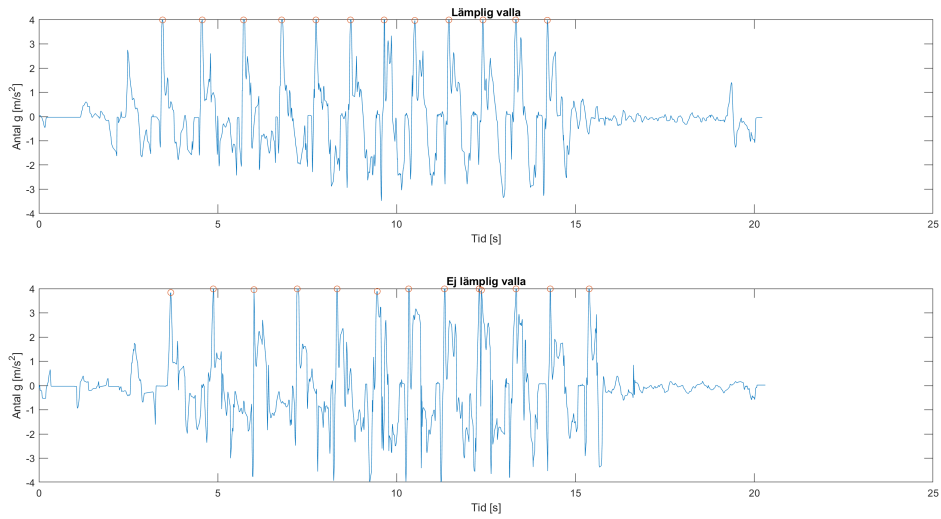
Nedan presenteras ett urval av de 36 testerna som genomfördes i Skidome utifrån datan som accelerometern registrerade. Datan har behandlats och sammanställts i MATLAB för att presentera datan i grafer.

Graferna i Figur 17, 19 och 21 visar accelerometerens x-värden över tid, topparna på dessa grafer är markerade med cirklar. I Figur 18, 20 och 22 har alla toppar som är markerade med en cirkel, i graferna plottade över tid, plockats ut och lagt över varandra. De röda kurvorna i de graferna är anpassade efter alla mätpunkter i grafen och de blå-streckade kurvorna är plottade utifrån en offset från dess röda kurva. Kryssen i graferna representerar datapunkter som faller utanför intervallet som begränsas av de blå-streckade kurvorna. Andelen punkter som faller utanför intervallet beräknas i procent av totala antal punkter.

Endast toppar över  $3,9g [m/s^2]$  markeras med en cirkel och offseten är satt till  $1,7g [m/s^2]$ .

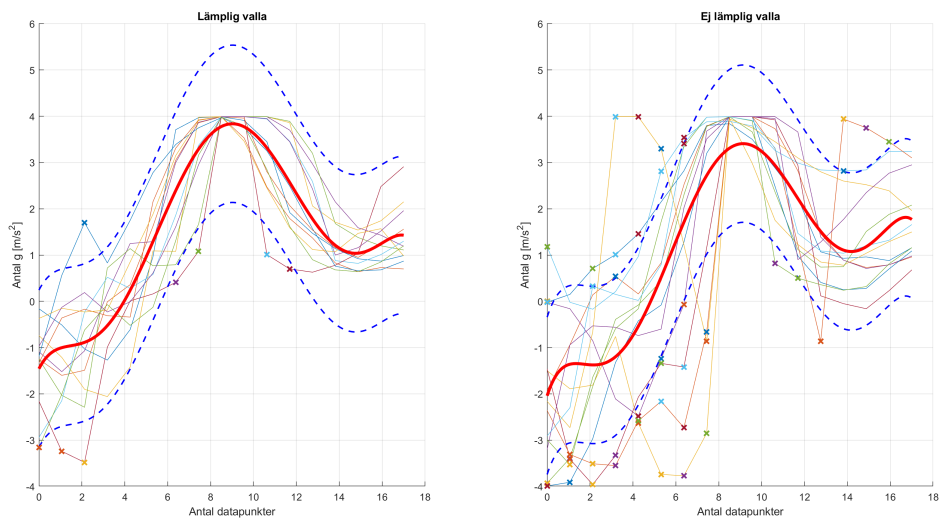
I figurerna 17, 19 och 21 motsvarar varje tydlig topp som är markerad med en cirkel ett diagonaltag för den skidan som accelerometern är monterad på.

Figur 17 visar testdata från Test 16 nederst och testdata från Test 34 överst. Medan i Figur 18 visar testdata från Test 16 till vänster och testdata från Test 34 till höger. Båda testerna är utförda av en nybörjare. Tabell 5 visar andelen datapunkter utanför intervallet.



Figur 17: Test 34 vs Test 16. Varje tydlig topp som är markerad med en cirkel motsvarar ett diagonaltag för den skidan som accelerometern är monterad på.

I Figur 18 har alla topparna från Figur 17 tagits ut och placerats över varandra. I grafen med ej lämplig valla synes att det är en större spridning mellan topparnas form.



Figur 18: Test 34 vs Test 16. Generaliseringskurvan i rött samt blå-streckad kurva som motsvarar offset från den generaliserade kurvan.

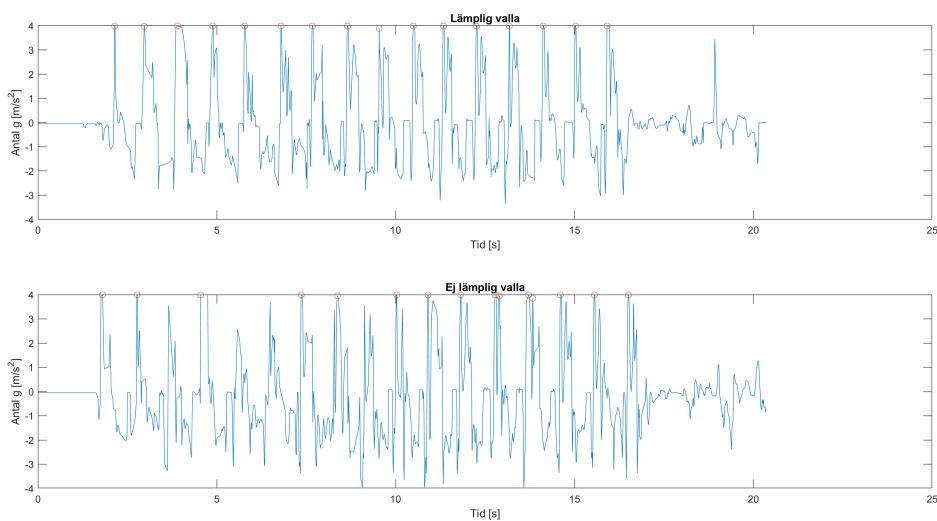
Tabell 5 redovisar hur stor andel i procent av datapunkterna i graferna i Figur 18 som faller utanför

intervallet definierat av de blåa linjerna.

Tabell 5: Test 34 vs Test 16.

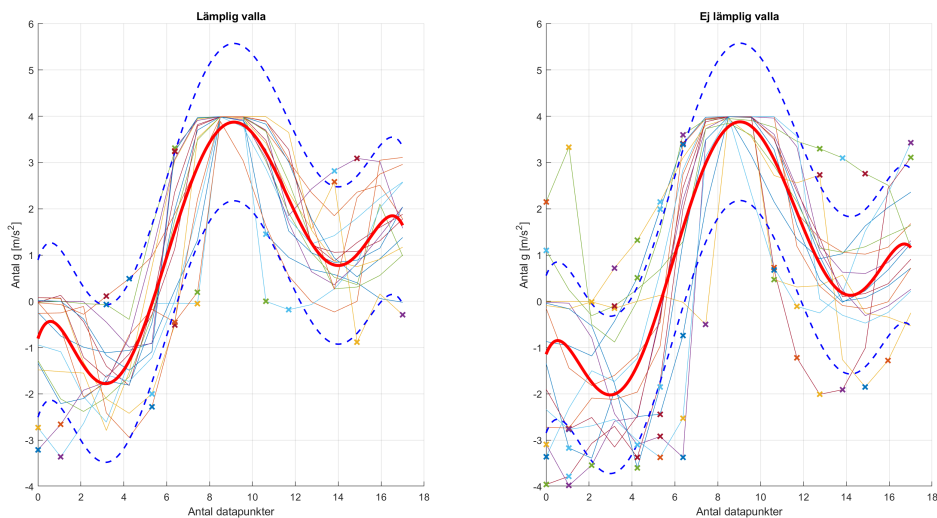
Procent av datapunkter utanför intervall	
Test 34, lämplig valla	3,9%
Test 16, ej lämplig valla	21,2%

Figur 19 och Figur 20 illustrerar datan från Test 15 och Test 33 som är genomförda av en motionär. Tabell 6 visar andelen datapunkter utanför intervallet.



Figur 19: Test 33 vs Test 15. Varje tydlig topp som är markerad med en cirkel motsvarar ett diagonaltag för den skidan som accelerometern är monterad på.

I Figur 20 har alla topparna från Figur 19 tagits ut och placerats över varandra. I grafen med ej lämplig valla synes att det är en större spridning mellan topparnas form.



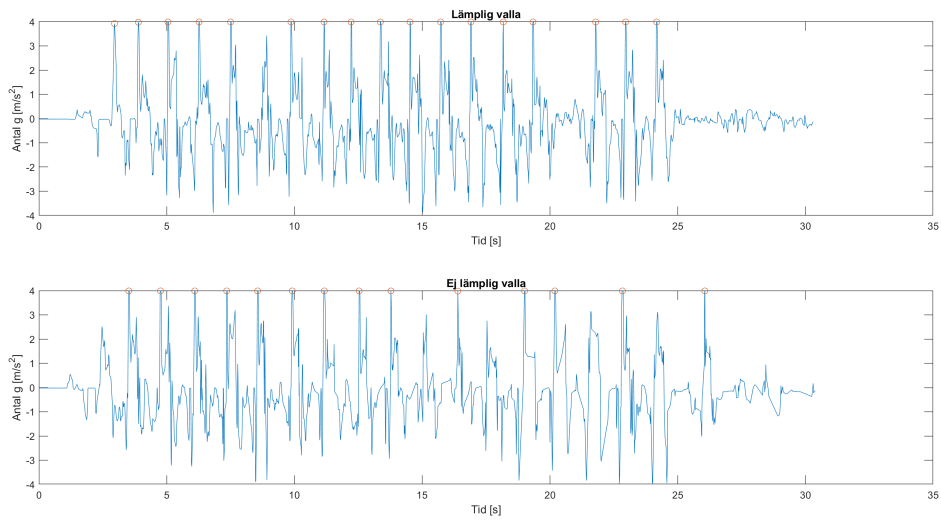
Figur 20: Test 33 vs Test 15. Generaliseringskurvan i rött samt blå-streckad kurva som motsvarar offset från den generaliserade kurvan.

Tabell 6 redovisar hur stor andel i procent av datapunkterna i graferna i Figur 20 som faller utanför intervallet definierat av de blåa linjerna.

Tabell 6: Test 33 vs Test 15.

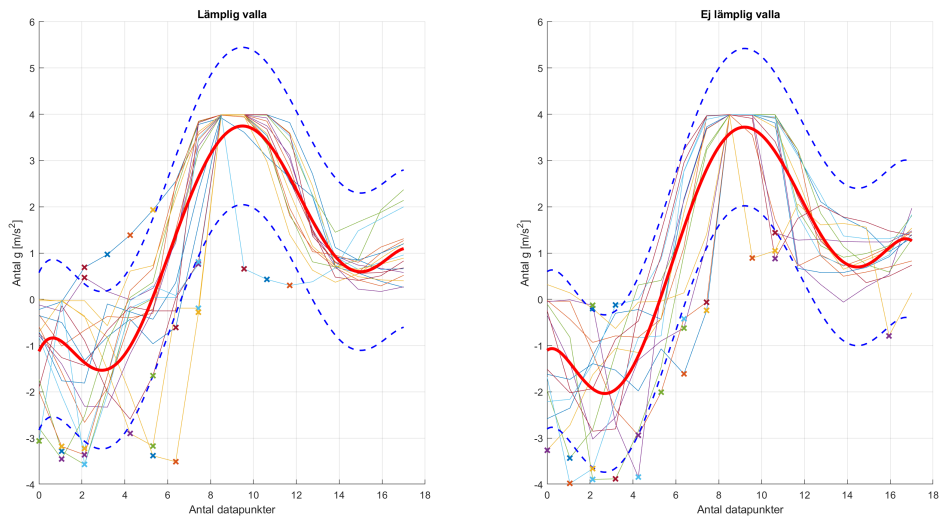
Procent av datapunkter utanför intervall	
Test 33, lämplig valla	9,2%
Test 15, ej lämplig valla	19,9%

Figur 21 och Figur 22 illustrerar data från Test 5 och Test 23. Dessa tester är utförda av en nybörjare på plan mark med stavar. Tabell 7 visar andelen datapunkter utanför intervallet.



Figur 21: Test 23 vs Test 5. Varje tydlig topp som är markerad med en cirkel motsvarar ett diagonaltag för den skidan som accelerometern är monterad på.

I Figur 22 kan det ses att spridningen mellan de två testerna, lämplig valla och ej lämplig valla, har väldigt liknande mängd spridning på topparnas form. Det syns även i Tabell 7 att andelen datapunkter i procent utanför intervallet är snarlika.



Figur 22: Test 23 vs Test 5. Generaliseringskurvan i rött samt blå-streckad kurva som motsvarar offset från den generaliserade kurvan.

Tabell 7: Test 23 vs Test 5.

Procent av datapunkter utanför intervall	
Test 23, lämplig valla	8,9%
Test 5, ej lämplig valla	9,2%

Då alla toppar från testerna med lämplig valla kalkylerades tillsammans beräknades det att 13,9% av datapunkterna föll utanför intervallet. Samma beräkning genomfördes på alla tester med ej lämplig valla vilket genererade 24,6% av datapunkterna utanför intervallet, vilket kan ses i Tabell 8.

Tabell 8: Avvikelser från intervallet på alla toppar.

Procent av datapunkter utanför intervall	
Alla tester, lämplig valla	13,9%
Alla tester, ej lämplig valla	24,6%

Tabell 9 visar andel mätpunkter som faller utanför respektive intervall runt den anpassade kurvan i alla 36 tester. Tabellen är uppdelad i två kolumner med lämplig och ej lämplig valla där testerna på samma rad har utförts på samma vis. Alla tester med ej lämplig valla, förutom de som är rödmarkerade, hade en högre andel mätpunkter utanför intervallet än samma test med lämplig valla.

Tabell 9: Andel av datapunkter utanför intervallet för alla 36 tester.

Procent av datapunkter utanför intervall			
Test med ej lämplig valla		Test med lämplig valla	
Test 1	15,0%	Test 19	14,0%
Test 2	10,9%	Test 20	15,0%
Test 3	22,8%	Test 21	10,3%
Test 4	6,2%	Test 22	10,0%
Test 5	9,2%	Test 23	8,9%
Test 6	12,8%	Test 24	5,9%
Test 7	23,0%	Test 25	13,5%
Test 8	16,1%	Test 26	9,0%
Test 9	15,7%	Test 27	10,2%
Test 10	12,2%	Test 28	7,8%
Test 11	11,7%	Test 29	4,9%
Test 12	14,8%	Test 30	6,4%
Test 13	18,2%	Test 31	16,6%
Test 14	19,0%	Test 32	18,3%
Test 15	19,9%	Test 33	9,2%
Test 16	21,2%	Test 34	3,9%
Test 17	22,2%	Test 35	8,0%
Test 18	11,2%	Test 36	9,3%

## 6 Diskussion

I detta avsnitt diskuteras metoden och resultaten som presenterats. Det som diskuteras är algoritmer för rekommendation av fästvalla, mätinstrumentet, testdata från accelerometer, hjälpmedlet och vidareutveckling.

### 6.1 Algoritmer för rekommendation av fästvalla

De tre olika algoritmerna uppvisade en högre träffsäkerhet med en större databas än vad den gjorde med en mindre databas, som kan ses i Tabell 2. Detta är lovande eftersom systemet bygger på att det ska kunna lära sig själv vad för valla som är lämpligast för givna förhållanden. Med fler tester får dessutom algoritmen mer data vid användning av systemet. Det går inte att avgöra vilken av algoritmerna som skulle fungera bäst för systemet eftersom det inte finns tillräckligt mycket data för att kunna optimera och evaluera algoritmerna. Algoritmernas träffsäkerhet varierar mycket när algoritmerna körs upprepade gånger, vilket beror på att uppdelningen i tränings- och testdata påverkar träffsäkerheten mycket då mängden data är liten. Det är också svårt att optimera de enskilda algoritmerna på grund av den bristande mängden data, till exempel är det svårt att avgöra vilka lager och hur många som är lämpliga till neuronätet.

### 6.2 Mätinstrumentet

Mätinstrumentet för fukt och temperatur ger ej exakt temperaturer och fuktigheter i nuläget eftersom det inte har kalibrerats. Detta kan ses ifall man studerar värdena som fåtts vid test inomhus i Tabell 3 i Resultat. I tabellen ses det att temperaturerna och fuktigheterna ej är samma mellan luft och snö, vilket de bör vara då de testas i samma miljö. Vid tillgång till en kalibrerad fukt- och temperaturmätare hade det varit möjligt att kalibrera mätinstrumentet då programmeringskoden är förberedd för det. Detta hade resulterat i att datan utifrån mätinstrumentet hade varit bättre och mer tillförlitlig. Det är något som behöver förbättras för att det ska bli ett korrekt fungerade hjälpmedel.

### 6.3 Testdata från accelerometer

I resultatet presenteras grafer av skidåkning med en nybörjare och en motionär. Med dessa grafer, och de procentuella avvikelserna som fås av graferna, visas det att det är möjligt att utvärdera fäste med en accelerometer.

Genom att kolla på hela grafen från en åktur kan en tydlig skillnad i lämplig valla och ej lämplig valla ses. I graferna från lämplig valla är det tydlig repeterbarhet, medan de testerna med ej lämplig valla konstateras större spridning. Större spridning visar på att det är mer svåråkt, vilket kan tyda på ej lämpligt vallade skidor eller dålig åkteknik. Till en början gjordes analyser på varje topp för att se om det var möjligt att hitta en tydlig avvikelse som visade på bakhalt. Det var vissa toppar som kunde identifieras som bakhalt, till exempel när det var två eller flera toppar som var mycket nära varandra. Detta var dock tydligare vid första testomgången då bakhalt gjordes med avsikt. På grund av att det var svårare att identifiera bakhalt för varje topp vid andra testomgången, där bakhalt inte gjordes med avsikt, användes ett annat tillvägagångssätt. Metoden vid de andra testerna är tillvägagångssättet som nämnts ovan, alltså att hela grafen analyserades.

Vid testerna 13-18 och 31-36 som utfördes i en uppförsbacke syns den största skillnaden mellan lämpligt vallade skidor och ej lämpligt vallade skidor. Det är rimligt att anta att det beror på att

det i uppförbacke ställs ett högre krav på fästvallen i jämförelse mot en horisontell sträcka där det är lättare att komma undan med sämre fäste. Denna skillnaden kan illustreras genom att jämföra graferna i Figur 18 och Figur 22. I Figur 18, test utfört i backe, ses det en markant större spridning av datapunkterna mellan testet med lämpligt vallade och ej lämpligt vallade skidor. Däremot i Figur 22, test utfört på plan mark, är spridningen av datapunkter väldigt lik mellan testet med lämplig valla och testet med ej lämplig valla. Detta gör att tillförlitligheten i att utvärdera vallans kvalitet är sämre på plan mark än när det går lätt uppför. I praktiken bör detta dock spela mindre roll eftersom det vid längdskidåkning främst används diagonalteknik vid uppförbacke, vilket kräver bra fästvalla annars används stakningsteknik, vilket ej påverkas av fästvalla. Det hade dock krävts fler längre tester i mer varierande terräng än Skidome i Göteborg för att utvärdera tillförlitligheten på metoden som använts för att konstatera om det uppstår fäste eller ej.

Som utläst i resultatet blev andelen datapunkter utanför intervallet vid något tillfälle högre när lämplig valla användes än när ej lämplig valla användes. Det beror på att en generellt ej lämplig valla för en åktur kan fungera vid vissa tillfällen under åket. Lämplig valla kan fungera dåligt vid enstaka tillfällen av åkturen även om den fungerar bra i stort. För att lösa detta problem är det lämpligt att utföra testerna under en längre period. Detta visar även Tabell 8 där många datapunkter analyseras och skillnaden mellan lämplig och ej lämplig valla blir stor.

Spridning i procent visar hur bra repeterbarhet som åstadkommit i testerna. Som tidigare nämnt ställs det större krav på fästvallans verkan vid backe. Trenden från testerna visar alltså att åkaren lyckas få en bättre repeterbarhet, mindre spridning, med den bättre valla. Resultatet i sig visar en skillnad mellan testerna, problemet med att klassificera testerna var för sig kvarstår. Många av de procentuella värdena som presenteras kan antingen bero på fästvallans verkan vilket var önskat att utvärdera eller åkarens prestation, så som åktekniken påverkas under ett åk.

Med systemet är det möjligt att utvärdera fästet under en åktur, däremot är det inte möjligt att utvärdera vad som orsakar bristande fäste. Det vill säga ifall det beror på åkarens åkteknik eller om det är fästvallen som inte är lämplig.

Slutligen har accelerometern som använts vid detta projekt varit begränsad till max  $4g$  [ $m/s^2$ ] som synes i Figur 18. Detta påverkar antagligen inte resultaten märkvärt vid den använda analysmetoden men ifall det hade varit möjligt att registrera högre värden hade kanske andra analysmetoder varit möjliga att använda istället eller som komplement.

## 6.4 Hjälpmédlet

Hjälpmédlet fungerar som ett bra verktyg för datainsamling för lämplig valla till givna snöförhållanden. Det besitter även algoritmer som uppvisar bra potential i rekommendationerna av valla om de hade fått tillgång till mer data. När detta då kombineras skulle det kunna användas för rekommendationer av valla vid olika tillfällen. Med hjälp av möjligheten att samla in mer data skulle det kunna leda till ett verktyg för rekommendation av valla. Detta i sin tur kan vara till stor hjälp för motionärer och nybörjare som vill åka längdskidor, men som inte har mycket kunskap om fästvalla. Med en stor mängd vidare datainsamling skulle det kunna leda till en kunskapsbank som motsvarar en erfaren vallaers kunskap. Det behövs ett smidigt sätt att plocka ut kunskapen ur databasen och bestämma vilken valla som bör användas och det är där de olika algoritmerna kommer in. De skulle då kunna fungera som länken mellan databas till en användare som inte besitter kunskap om olika typer av valla.

Systemet utgår från den mindre databasen där träffsäkerheten var lägre. Detta på grund av att

det ska gå snabbare för att samla in tillräckligt mycket data för att ändra rekommendationerna. Förhoppningen med systemet är att det ska ge bättre rekommendationer än vad som kan avläsas från en vallatabell. Därför är målet att systemet ska bygga på mer data än vad som är möjligt att hämta från en vallatabell. Den större databasen var enbart menad till att se om algoritmerna uppvisade potential för bättre träffsäkerhet vid mer data.

## 6.5 Vidareutveckling

Systemet har stor potential men kräver vidareutveckling för att fungera optimalt. En större mängd data om vilken valla som är lämplig givet väderförhållanden är, som tidigare nämnt, nödvändigt för att en maskininlärningsalgoritm ska rekommendera en lämplig valla med högre träffsäkerhet. Mer data från accelerometern ger också möjligheter till att utveckla systemet eftersom noggrannheten troligen kan ökas. Grunden till analysen om vällan är lämplig görs för tillfället på 36 tester, vilket är en relativt liten mängd data. Om mer data från accelerometern finns tillgänglig kan andra metoder för att klassificera lämplig och ej lämplig valla visa sig mer noggrannare än den som används för tillfället. Neuronnät, beslutsträd och stödvektormaskiner som används för att välja valla kan möjligen även vara användbara för att analysera om en valla är lämplig eller inte om mängden data vore större.

För tillfället är systemet inte användarvänligt, data skickas från accelerometern till dator med Bluetooth. För att det ska bli användarvänligt krävs det att användaren lätt kan hantera systemet. Av den anledningen hade en vidareutveckling kunnat vara att koppla ett minneskort till accelerometern och skicka all data efter åkturen. Datan skickas från accelerometern till datorn kontinuerligt. Ett alternativ är att få systemet att fungera på en mobiltelefon. Detta hade inneburit att datan skickas från accelerometern till mobiltelefonen. Det skulle leda till bättre användarvänlighet eftersom det är lättare att ta med sig en mobiltelefon än en dator vid längdskidåkning. Hemsidans användarvänlighet kan också förbättras eftersom den vid felanvändning kraschar och ger inga tydliga felmeddelanden. Det ställer krav på användaren.

Systemet har endast information om ett antal vallor från varumärket Swix. För att systemet ska gå från ett koncept till ett fungerande hjälpmedel krävs det att fler vallor kan rekommenderas, vilket kräver mer data. Användaren har troligen inte tillgång till alla vallor och därför hade det varit fördelaktigt om användaren kan ange vilka vallor som finns tillgängliga för att systemet sedan ska rekommendera någon av dem. I systemet går det endast att ange vallor som finns inlagda när användaren anger vilken valla som har valts. Systemet kan utvecklas genom att tillåta andra vallor eftersom det leder till att algoritmen kan lära sig om nya vallor. Systemet kan också utvecklas genom att göra det möjligt att ta bort vallor som inte fungerar. Systemet använder inte datan om vällan inte bedöms som lämplig eftersom det både kan vara åktekniken och vällan som är bristande. Om åktekniken kan utvärderas kan systemet även nyttja valla som inte bedöms som lämplig för att utvecklas. Ett sätt att vidareutveckla detta är att lägga till en lastcell för att upptäcka ifall åkaren trycker ner skidans spann tillräckligt mycket. Med kombinationen, utvärdering av fäste och utvärdering av åkteknik, kan systemet även lära sig vad som är ej lämplig valla, istället för att endast lära sig av lämplig valla.

Utvärdering av fäste sker med en accelerometer, detta är en givare som valdes för arbetet då det ansågs kunna användas för att konstatera bakhalt. Som nämnt är det svårt att konstatera bakhalt och därför fick andra tillvägagångssätt, som visserligen fungerar, genomföras. Av den anledningen finns det potential i arbetet att analysera vidare ifall det finns andra möjliga sätt att utvärdera fästet på, där fästet kan utvärderas på ett tydligare sätt samt med mindre felmarginal. I arbetet låg fokus

på att analysera accelerationen i x-led. I graferna som visade accelerationen i x-led var det enklast att upptäcka skillnader mellan lämplig och ej lämplig valla. Eventuellt kan data från accelerometern i z- eller y-led också ge information om valla är lämplig eller inte.

En bättre accelerometer hade potentiellt sett kunnat ge mer data att analysera. Eftersom accelerometern, som användes för testerna, inte registrerade accelerationer på över  $4g \left[\frac{m}{s^2}\right]$  fanns det en viss förlust av data. En accelerometer med möjlighet att läsa av större accelerationer hade potentiellt sett öppnat nya möjligheter för att analysera datan.

## 7 Slutsatser

Avhandlingen visar att det är möjligt att skapa ett hjälpmedel för rekommendation av lämplig fästvalla med hjälp av maskininlärning. Ett komplett och användarvänligt hjälpmedel kunde dock inte färdigställas, däremot fungerar det som ett koncept för fortsatt arbete.

Genomgående problem är att det inte utförts tillräckligt med tester för att utvärdera systemet och att mer data hade behövts. Datan som finns är begränsad både till mängd och variation. Detta gör det bland annat svårt att välja en lämplig algoritm för rekommendation av valla samt optimera algoritmen på grund av den bristande datamängden. Systemet är adaptivt i den mening att det kan samla in data och lära sig allteftersom det används. Avsaknaden av variation samt mängd av data, då tester och datainsamling enbart utförts i Skidomes skidtunnel, leder till att utvärderingen av adaptiviteten samt tillförlitligheten av systemet ej går att utvärdera.

Det var möjligt att tillverka ett mätverktyg för att mäta temperaturer och fuktigheter i luft och snö med möjligheten att rapportera detta till hjälpmedlet. Mätverktyget som skapades hade bra funktionalitet men hade behövt kalibreras för att ge värden som är helt korrekta.

Resultaten visar tendenser att det hade varit möjligt att utvärdera om åkaren har fäste eller inte. Denna utvärdering kan ske med hjälp av givare, mer specifikt en accelerometer. Däremot går det inte att urskilja om det är ej lämplig valla eller bristande åkteknik som leder till förlust av fäste. En metod för utvärdering av åkteknik hade behövts för att för att ge en bättre rekommendation av valla.

Arbetet fungerar alltså som ett koncept som visar att det är möjligt att lära ett system för att välja rätt valla och utvärdera ifall fäste har uppnåtts. Det hade dock krävts en större och mer varierande datamängd för att skapa ett välfungerade system.

## Referenser

- [1] Udens Sport. Privat kommunikation, Jan 2023.
- [2] Pölder: *Köpguide - Längdskidor*. <https://polder.se/kopguider/kopguide-langdskidor>, hämtad 2023-01-31.
- [3] Byström, Anders. Privat kommunikation, Feb 2023.
- [4] Kalliorinne, Kalle, Joakim Sandberg, Gustav Hindér, Roland Larsson, Hans Christer Holmberg och Andreas Almqvist: *Characterisation of the Contact between Cross-Country Skis and Snow: A Macro-Scale Investigation of the Apparent Contact*. *Lubricants*, 10(11):279, 2022.
- [5] Nelson, Lars: *App based ski management with performance predictions*, 2018.
- [6] Swix: *Read wax tips and test results from our racing service*. <https://www.swixsport.com/en/tips/wax-tips-for-races/racing-service-exp/>, hämtad 2023-01-31.
- [7] skistart.com: *Allt du behöver veta om fluorfri valla*. <https://www.skistart.com/t-Skistart.Om-Fluorfri-Valla.aspx>, hämtad 2023-03-13.
- [8] Stockholms Universitet: *Vanliga vallor går lika bra*. <https://www.su.se/forskning/vanliga-vallor-g%C3%A5r-lika-bra-1.484956>, hämtad 2023-03-13.
- [9] Kemikalieinspektionen: *Fem frågor och svar om fluorvalla och PFAS*, 2021. hämtad 2023-05-05.
- [10] *Tekniker för längdskidåkning*. <https://www.langdskidor.se/skidteknik/>, hämtad 2023-05-08.
- [11] Swix Sport AB: *Vallning för nybörjare*. <https://www.swixsport.com/se/tips/artiklar/wax-se/>, hämtad 2023-05-09.
- [12] Lindholm, Andreas, Niklas Wahlström, Fredrik Lindsten och Thomas B Schön: *Machine learning: a first course for engineers and scientists*. Cambridge University Press, 2022.
- [13] Te Connectivity: *RTD temperature sensor, PT1000*. <https://www.te.com/usa-en/product-CAT-RTD0048.html>, hämtad 2023-05-05.
- [14] Aosong Electronic Co: *Digital temperature and humidity sensor, AM2320*. <https://datasheetspdf.com/pdf-file/952504/Aosong/AM2320/1>, hämtad 2023-05-05.
- [15] *How accelerometers work*. <https://www.explainthatstuff.com/accelerometers.html>, hämtad 2023-05-10.
- [16] Arduino: *About Arduino*, Sep 2021. <https://www.arduino.cc/en/about>, hämtad 2023-05-10.
- [17] Arduino: *Nano RP2040 Connect*. <https://docs.arduino.cc/hardware/nano-rp2040-connect>, hämtad 2023-05-10.
- [18] Arduino: *Arduino Software*. <https://www.arduino.cc/en/software>, hämtad 2023-05-05.
- [19] *EENX16-23-19*, 2023. <https://github.com/filipwramdemark/EENX16-23-19>.
- [20] skistart.com: *skistart.com vallatabell*. [https://www.skistart.com/messages/Documents/Vallatabell\\_skidvalla\\_langdskidor.pdf](https://www.skistart.com/messages/Documents/Vallatabell_skidvalla_langdskidor.pdf), hämtad 2023-02-05.

## REFERENSER

---

- [21] Vasaloppet: *Vallaservice*, 2023. <https://www.vasaloppet.se/vinter/vallaservice/>, hämtad 2023-02-02.
- [22] RISE: *Naturskyddsföreningen - Valla utan gift*, Juni 2019. <https://www.ri.se/sv/naturskyddsforeningen-valla-utan-gift>, hämtad 2023-02-02.

**INSTITUTIONEN FÖR ELEKTROTEKNIK  
SYSTEM- OCH REGLERTEKNIK  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA**

Göteborg, Sverige 2023  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**