

# Hur kan sensorer integreras i en lagerrobot?

Andreas Nordström  
Sigge Rystedt

16 april 2025

Version 1.0



## Status

Granskad	Sigge Rystedt	2025-04-16
Godkänd	Namn	2025-xx-xx

**Beställare:**

Mattias Krysander, Linköpings universitet

Telefon: +46 13282198

E-post: mattias.krysander@liu.se

**Handledare:**

Theodor Lindberg, Linköpings universitet

E-post: theodor.lindberg@liu.se

**Projektdeltagare**

<b>Namn</b>	<b>Ansvar</b>	<b>E-post</b>
Linus Funquist		linfu930@student.liu.se
Ebba Lundberg	Dokumentansvarig	ebblu474@student.liu.se
Andreas Nordström	Projektledare	andno7733@student.liu.se
Sigge Rystedt		sigry751@student.liu.se
Ida Sonesson	Dokumentansvarig	idaso956@student.liu.se
Lisa Ståhl	Designansvarig	lisst342@student.liu.se

## INNEHÅLL

1	Inledning	1
2	Problemformulering	1
3	Teoretisk bakgrund	1
3.1	Avståndssensor . . . . .	1
3.2	Reflexsensor . . . . .	6
3.3	Vinkelhastighetssensor . . . . .	7
3.4	Odometer . . . . .	8
3.5	Kamera . . . . .	8
4	Diskussion	8

## DOKUMENTHISTORIK

Version	Datum	Utförda ändringar	Utförda av	Granskad
0.1	2025-02-24	Första utkast	AN, SR	AN, SR
0.2	2025-04-01	Andra utkast	AN, SR	AN, SR
1.0	2025-04-16	Första version	AN, SR	AN, SR

## 1 INLEDNING

Den här förstudien görs inom kursen TSEA56 och handlar om att undersöka vilka sensortyper som passar bäst för att bygga en autonom lagerrobot. Förstudien görs innan konstruktionen av roboten för att få en bra överblick över vilka sensorer som finns att välja mellan, vilka som passar för uppgiften och hur de fungerar i praktiken.

Sensorer som har liknande funktioner jämförs utifrån olika kriterier, till exempel noggrannhet, räckvidd och hur lätt de kan användas tillsammans med resten av systemet. Målet är att hitta de sensorer som fungerar bäst för att roboten ska kunna navigera och arbeta på ett bra sätt i ett lager.

Syftet med förstudien är att få en bättre förståelse för de sensorer som finns tillgängliga i kursen TSEA56, så att det blir lättare att välja rätt sensorer till projektet. Endast de sensorer som finns i Vanheden-labbet används i studien, eftersom det är dessa som går att använda i kursens praktiska delar [1].

## 2 PROBLEMFORMULERING

I kursen finns flera olika sensorer tillgängliga där många kan uppfylla samma funktion inom lagerroboten med varierande resultat. Dessutom kan samma sensor ofta implementeras på många olika sätt. Därför är det viktigt att undersöka de olika sensorerna utifrån frågorna:

- Hur fungerar sensorn?
- Hur kan sensorn användas i lagerroboten?
- Hur ska sensorn integreras i systemet?

## 3 TEORETISK BAKGRUND

I det här kapitlet presenteras den tekniska och teoretiska grunden som behövs för att förstå och jämföra olika sensorer inför konstruktionen av en autonom lagerrobot. Kapitlet är uppdelat efter sensortyper där varje avsnitt beskriver hur sensorn fungerar, dess tillämpning inom projektet och dess praktiska begränsningar. Informationen bygger främst på datablad, teknisk dokumentation och kursmaterial från TSEA56. Endast sensorer som finns tillgängliga i Vanheden har undersökts.

Kunskapsbasen som ligger till grund för förstudien baseras främst på datablad och teknisk dokumentation. Andra internetkällor kan komma att användas. De sensorer som listas i Vanheden används som utgångspunkt för den vidare informationssökningen.

### 3.1 Avståndssensor

I det följande kapitlet analyseras olika avståndsmätare, deras teoretiska grund, tillämpningar inom projektet och hur de kan integreras i systemet.

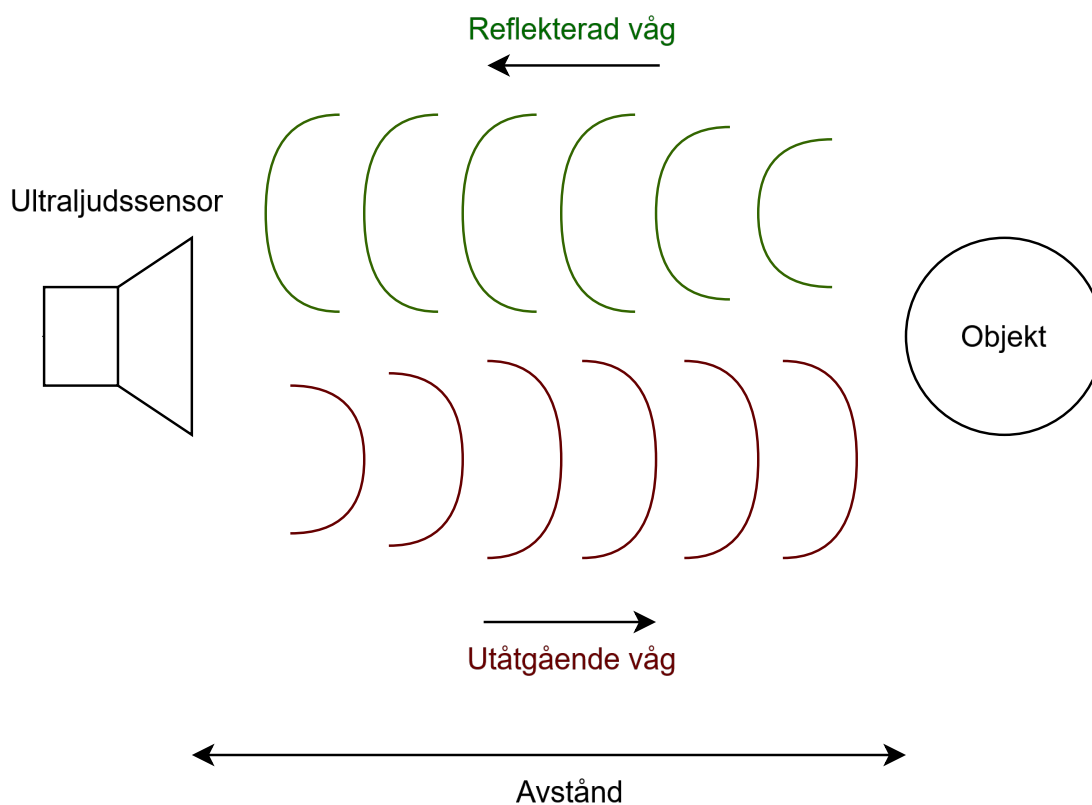
### 3.1.1 Ultraljud

Ett konstruktionsalternativ för avståndssensorerna är ultraljudssensorer. Det är en typ av akustisk sensor, vilket innebär att den använder ljud för att mäta avstånd. De är ofta mindre noggranna än andra alternativ, men har potential att användas för hinderdetektering [2] [3].

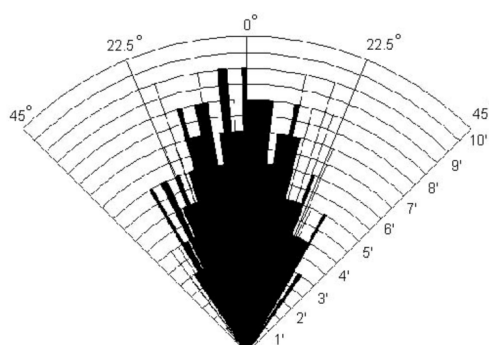
En ultraljudssensor mäter avstånd genom att använda ekotid, vilket visas i figur 1. Sensorn skickar ut en högfrekvent ljudvåg, som reflekteras från ett objekt och därefter tas emot av sensorn. Tiden det tar för en ljudvåg att färdas fram och tillbaka till sensorn är ekotiden. Med denna kan avståndet räknas ut enligt

$$\text{Avstånd} = \frac{\text{Ekotid} \cdot \text{Ljudets hastighet i luft}}{2}. \quad (1)$$

Ultraljudssensorer är vanligtvis mindre noggranna än optiska sensorer, men de är ofta mer kostnadseffektiva och mindre känsliga för störningar. Den ultraljudssensor SRF04 som används i kursen har ett mätintervall på 3-300 cm och sänder ut en ljudvåg med frekvensen 40 kHz. SRF04 har ett detektionsområde som är ungefär 30 grader brett vilket kan ses i figur 2 [2] [3].

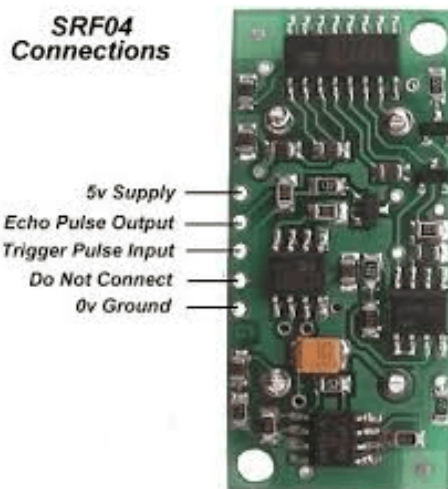


**Figur 1:** Översikt av ultraljudssensor.



**Figur 2:** Detektionsområde för SRF04. Källa: [3].

Ultraljudssensorn kan användas i lagerroboten för att detektera hinder, vilket innebär att de skulle behöva vara installerade på robotens framsida. Vidare kräver sensorn fyra anslutningar för att fungera som illustreras i figur 3. Dessa är ström, jord och signalanslutningar vars data behandlas i mikrodatorn. De två signalanslutningarna är utsignalen av ekot respektive insignalen för ljudpulsen som skickas iväg. Pulsen behöver vara aktiv i minst  $10\ \mu\text{s}$  för att generera en ljudpuls. Mottagaren är redo att ta emot ljud  $100\ \mu\text{s}$  efter att ljudpulsen har skickats iväg. Det är för att den ej ska uppfatta den utskickade ljudpulsen direkt som en mottagen puls. När mottagaren aktiveras aktiveras även utsignalen från ekot [3].



**Figur 3:** Anslutningar för SRF04. Källa: [4].

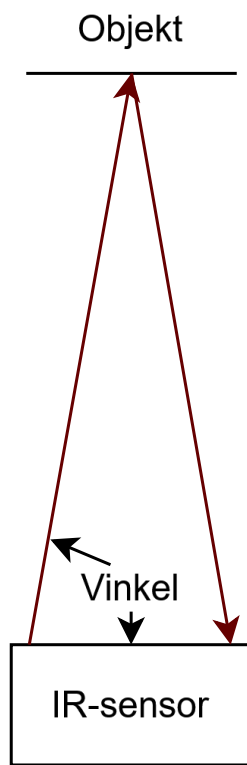
### 3.1.2 IR och triangulering

IR-sensorer är ett konstruktionsalternativ för att lagerroboten ska kunna detektera hinder. De använder sig av infrarött ljus och vinkelberäkningar för att bestämma avstånd.

Kursen TSEA56 har två tillgängliga IR-sensorer med passande detekteringsintervall. Den ena modellen, GP2D120, har ett intervall på 4-30 cm och den andra modellen, GP2Y0A21, 10-80 cm. Båda sensorerna använder sig av triangulering, vilket är en process som illustreras i figur 4. En sändare i sensorn skickar ut infrarött ljus som sedan reflekteras av ett objekt. Därefter tar en mottagare på sensorn emot det reflekterade ljuset med en viss vinkel som sedan används för att avgöra avståndet till objektet. En nackdel med IR-triangulering är att det infraröda ljuset som skickas iväg är väldigt smalt, vilket kan resultera i att objekt som befinner sig i lagerrobotens periferi missas. Detta kommer dock inte vara ett problem då avståndssensorn är till för att upptäcka hinder rakt framför roboten. Ytterligare en nackdel med IR-triangulering är att om flera sensorer är riktade åt samma håll kan interferens uppstå, vilket kan göra mätningarna opålitliga [5].

Sensorns utsignal är en analog spänning. Det är viktigt att notera att utsignalen ej är linjär. Olinjäriteten är särskilt påtaglig vid korta avstånd. I databladet för sensorn finns det exempel på spänningsvärden för många olika avstånd. För ett godtyckligt avstånd inom detekteringsintervallet kan man ha en skalfaktor dividerat med spänningen från utsignalen. Detta görs efter att det digitala värdet efter ADC-konverteringen görs om till volt. Datan blir då i cm. Beräkningar med flyttal är väldigt långsamma i mikrodatorn och ska gärna undvikas så mycket det bara går. Ett alternativ till att använda flyttal (float) på mikrodatorer är att representera icke-heltal med så kallad fixed point-aritmetik. I fixed point används heltal för att approximera decimaltal genom att man förbestämmer hur många bitar (eller decimaler) som ska representera den fraktionella delen. Det är alltså ett sätt att simulera decimaler med heltal, vilket är mycket snabbare än att använda inbyggt stöd för flyttal – särskilt på enheter som AVR-mikrodatorer, där flyttalsberäkningar är långsamma och resurskrävande. I databladet finns en graf med relationen mellan spänning och avstånd. Det kan användas för att skapa en tabell och då slipper man beräkningarna [6] [7].





**Figur 4:** Översikt av triangulering med IR.

### 3.1.3 Laser

Detta kapitel beskriver lasersensors funktion och varför den kan behövs på roboten. Lasersensorn fungerar principiellt på samma sätt som de andra två avståndssensorerna med skillnad att den har högre precision. Sensorn som används i kursen är en VL53L0X från Adafruit, även kallad mikrolidar. Till skillnad från en ultraljudssensor har den en mycket smal detekteringskon, och jämfört med en IR-sensor har den högre mät noggrannhet utan linjäritetsproblem. Sensorns detekteringsintervall sträcker sig från 50 till 1200 mm och fungerar annars på samma sätt som de andra två avståndssensorerna: ljus skickas, reflekteras och tas emot av en mottagare i sensorn som beräknar avståndet [8].

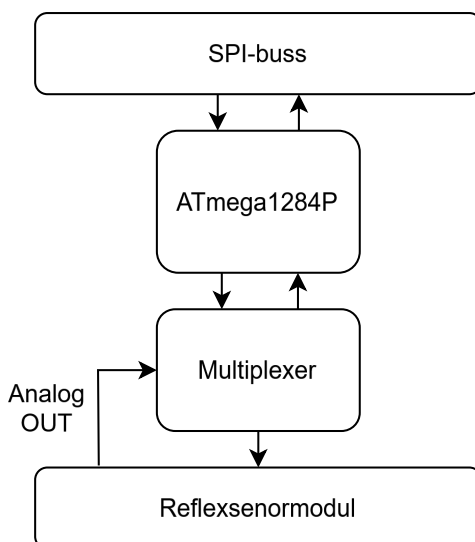
Sensorn kan användas för avståndsmätning till objekten som robotarmen ska kunna plocka upp. Om detta ska ske autonomt behövs hög precision på avståndet, varav denna typ av sensor passar bra. Således behövs två sensorer, en på höger och en på vänstersidan av roboten. Lasersensorn behöver då anslutningar för spänning, jord och två pinnar för I2C. De två sensorerna kan vara kopplade till samma buss så länge man ser till att båda inte har samma adress [8].

### 3.2 Reflexsensor

I följande kapitel undersöks hur reflexsensorer och reflexsensormodulen kan användas och implementeras på roboten. För att roboten ska kunna identifiera och tolka tejplinjer på marken kan reflexsensorer användas. Sensorerna består av detektorer vars utdata måste omvandlas och tolkas av en AVR-mikrodator. Dessutom måste sensorerna multiplexas för att undvika överhettning [9].

En reflexsensor innehåller en detektor som avger låg respektive hög utsignal när underlaget reflekterar mycket eller lite ljus [10]. I reflexsensormodulen finns 11 reflexsensorer monterade. Modulen kan kopplas till en multiplexer för att individuellt kontrollera vilka detektorer som är av eller på.

Reflexsensormodulen kan användas till att läsa av tejplinjerna under körning och behövs för att roboten ska kunna följa tejplinjer och identifiera plockstationerna samt hämtstationen.



**Figur 5:** Diagram av sensorenheten.

Reflexsensormodulen ska vara monterad under roboten några millimeter från underlaget. Figur 5 visar det översiktliga flödesschemat för reflexsensormodulen där sensorerna är kopplade till en ATmega1284P. Mikrodatorn kommer att omskriva sensorernas analoga utsignal till 10-bitars genom en inbyggd A/D-omvandlare [11]. Därefter kommer den att tolka indatan och skicka informationen till styrenheten. Ifall roboten befinner sig på sträckan till lagret från hämtningstationen kommer en enkel tyngdpunktsberäkning användas enligt

$$k_T = \frac{\sum_k m_k k}{\sum_k m_k} \quad (2)$$

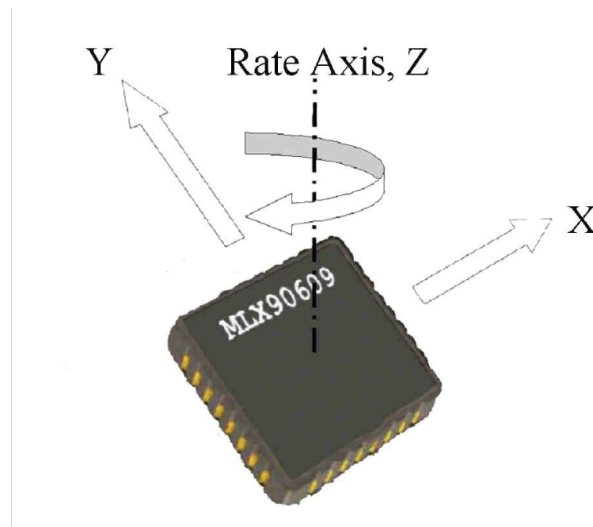
där  $k_T$  och  $m$  är tyngdpunkten respektive magnituden en reflektor detekterar. Syftet är att hitta tyngdpunktens avvikelse från ett jämviktswärde för att beräkna hur mycket roboten ska svänga åt höger eller vänster. För att identifiera hämtningstationen används dock de yttersta detektorerna. Roboten är framme vid hämtningstationen när båda är höga

och lagret när bara en av dem är hög. De kommer fortsätta att användas på samma sätt för att identifiera korsningar och plockstationer i lagret. AVR-mikrodatorn kommer dessutom att kontrollera multiplexern som är kopplad till reflektionsmodulen som periodvis kommer att stänga av detektorerna för att undvika överhettning.

### 3.3 Vinkelhastighetssensor

I detta kapitel presenteras information om hur en vinkelhastighetssensor fungerar och hur den kan implementeras på roboten. Vinkelhastighetssensorn används för att mäta vinkelhastighet och hjälpa till med orientering och stabilisering. Den sensor som finns tillgänglig är MLX90609, vilken mäter vinkelhastigheten på z-axeln enligt figur 6. Sensorn är en *Vibrating Structure Gyroscope* (VSG) som använder corioliseffekten för att beräkna rotation. Det innebär att sensorn innehåller en komponent som mekaniskt oscillerar. När vinkelhastighetssensorn sedan roterar, alltså roboten svänger, skapas ytterligare en oscillation av corioliseffekten. När detta sker mäts en skillnad i kapacitans ut som därefter görs om till en spänning som representerar svängning [12].

Vinkelhastighetssensors utsignal är en analog vinkelhastighet som är kopplad till AVR-mikrodatorns ADC-omvandlare. Då styrenheten arbetar med vinklar måste vinkelhastigheten integreras över tid för att omvandla denna till en vinkel. Vid integration är tidssteget viktigt, det kan därför vara bra att sampla med en bestämd frekvens med hjälp av hårdvarutimers [12].



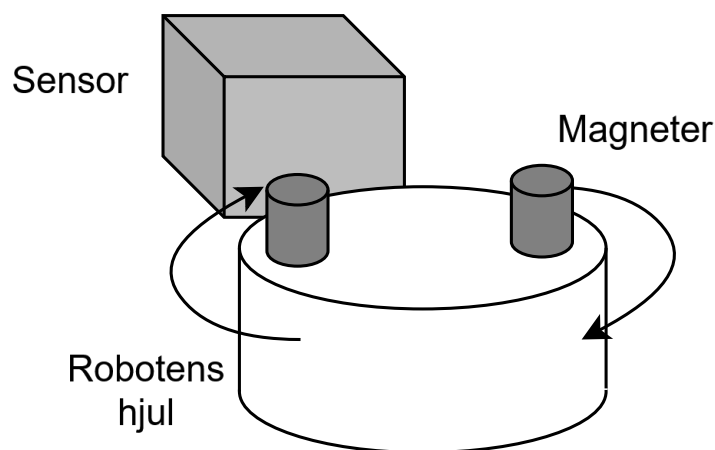
**Figur 6:** Rotationsaxeln för Vinkelhastighetssensor. Källa: [12].

Sensorerna kommer att användas för att komplettera befintlig data, framför allt då roboten behöver svänga. Vinkelhastighetssensor behövs eftersom roboten kan glida eller slira på underlaget, vilket gör mätningarna opålitliga utan en sådan sensor. Vinkelhastighetssensor behöver placeras vinkelrätt mot den axel som den mäter på, förslagsvis i mitten av roboten.

### 3.4 Odometer

Kapitlet beskriver de olika metoderna för att implementera en odometer i lagerroboten men eftersom en odometer inte kommer att användas i projektet, så ges endast en övergripande beskrivning.

En odometer används för att mäta färdat avstånd och sensorn kan vara elektrisk eller mekanisk. En av metoderna använder halleffekten. Hjulen är då utrustade med magneter, illustrerat i figur 7. Sensorn mäter spänningen och hur magnetfältet förändras. Med den informationen kan antalet hjulrotationer mätas vilket sedan används för att beräkna avståndet som roboten har färdats [13]. En annan metod som går att använda är att ha en reflexsensor som mäter svart-vita band på hjulen. Därmed går det att avgöra rotationer. Man kan även använda en kugghjulsskiva som är 3D-utskrivna. Den i sin tur går att läsa av med två olika läsgafflar som finns att tillgå i kursen.



**Figur 7:** Översikt över hallsensorn på ett hjul.

### 3.5 Kamera

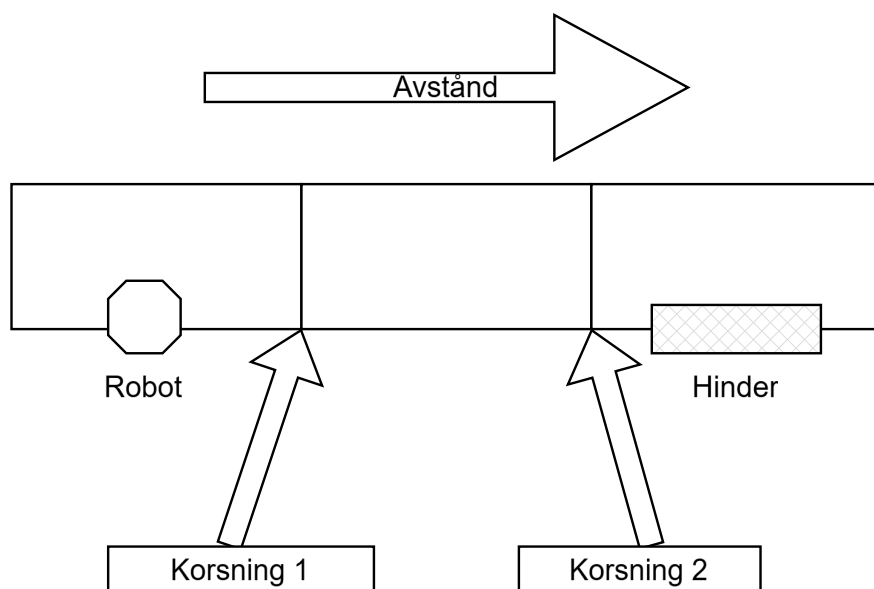
Följande kapitel beskriver kameran som finns att tillgå i kursen. Då kameran förmodligen inte kommer att användas så görs endast en kort beskrivning av den. Det är nödvändigt med en kamera på lagerroboten för att det ska vara möjligt att manuellt plocka upp varor utan att användaren ser roboten. Detta är dock inget krav i projektet utan något som kan implementeras i mån av tid. Modellen som är tillgänglig är en Raspberry Pi Camera Module 2 som kopplas till mikrodatorns CSI-port via en plattkabel. Kameraströmmen måste sedan skickas via blåtand till PC:n. Blåtandsmodulen som finns tillgänglig har en överföringshastighet på ungefär 0,12 MBPS och strömning av en 360p-video med 30 bilder per sekund kräver minst 1 MBPS [14] [15]. Detta innebär att videon måste kraftigt komprimeras för att kunna strömmas till PC:n.

## 4 DISKUSSION

För att avgöra vilka sensorer som är bäst lämpade till konstruktionen av en lagerrobot har olika sensorer med olika funktioner undersökts i resultatet. För avståndsbedömningen kan ultraljud-, IR- eller lasersensorer användas. Sen-

sorer som vinkelhastighetssensorn, odometern och kameran har diskuterats för att undersöka om den behöver vara installerad på roboten. En reflexsensormodul måste vara installerad och i kapitlet 3.2 beskrivs hur denna potentiellt kan implementeras.

Då det finns flera avståndssensorer med samma funktion, kommer en diskussion om deras för- och nackdelar att föras. De största skillnaderna mellan den akustiska och IR-sensorn är tekniken de använder för avståndsbedömning samt detekteringsavståndet. Ultraljudssensorn har ett längre detekteringsintervall än båda IR-sensorerna. Även om ultraljudssensorn kan mäta avstånd upp till 3 m, så kommer det aldrig behövas i det här projektet. Avståndssensorernas primära uppgift är att upptäcka hinder i lagermiljön. Sensorer med lång detekteringsförmåga kan upptäcka hindren väldigt tidigt vilket kan resultera i att den uträknade vägen kan göras mer optimal. Detta illustreras i figur 8 där sensorn svänger vänster redan i korsning 1, istället för korsning 2. Vidare så behöver avståndssensorn bara upptäcka hinder som är rakt framför roboten, alltså är konen på 30 grader som ultraljudssensorn har som detekteringsområde överflödigt. IR-sensorerna är mer noggranna än ultraljudssensorn, men de är också mer känsliga för störningar. Detta bör dock inte vara ett problem så länge inte flera IR-sensorer sitter nära varandra och mäter i samma riktning. På bilderna i Vanheden ser det även ut som att ultraljudssensorn tar mer plats än IR-sensorerna.



**Figur 8:** Ultraljudssensorn problem med för tidig hinderupptäckt.

Lasersensorn är mer exakt än både ultraljuds- och IR-sensorerna, men enligt ISY är den svårare att använda. Den är tänkt att mäta avståndet mellan roboten och de varor som ska plockas upp med robotarmen. För autonom hantering är noggranna mätningar avgörande för att säkerställa precision. Dessutom är det viktigt att roboten är i rätt höjd i förhållande till varan, eftersom lasern annars riskerar att missa den [1].

Vinkelhastighetssensorn behövs på roboten då enbart avståndsbedömning inte är tillräckligt för att säkerställa att roboten rör sig på ett korrekt sätt. Om hjulen glider på underlaget så räcker det inte med data från de andra sensorerna för att göra en korrekt rotation, utan då behöver vinkelhastighetssensorn kompensera för detta.

Med hänsyn till projektets restriktioner samt hur lagermiljön ser ut, så kommer en odometer ej att vara nödvändig att ha på roboten.

I mån av tid kan manuell upplockning av varor utan att se roboten implementeras och då krävs en kamera. Raspberry Pi Camera Module 2 är den enda som finns tillgänglig i Vanheden. På grund av de tidigare beskrivna problemen med att strömma videon till PC:n är det dock låg sannolikhet att det kommer finnas tid att implementera kameran.

Sammanfattningsvis kommer följande sensorer mest lämpade att använda i projektet: GP2Y0A21 (avståndssensor), MLX90609(Vinkelhastighetssensor) och reflexsensormodulen. Lasersensorn GP2Y0A21 är det bästa valet för navigering i lagerutrymmet då roboten kommer att följa en fixerad väg och att det ej är nödvändigt att använda ultraljudssensorn. Reflexsensormodulen kommer installeras med en multiplexer och använda en enkel tyngdpunktsberäkning för att beräkna vilken riktning lagerroboten ska åka. Reflexsensorn är helt nödvändig då roboten ska följa tejp på marken. För att undvika problem med att hjulen glider på underlaget vid svängning kommer en vinkelhastighetssensor att användas. Varken en odometer eller kamera kommer behövas på roboten.

## REFERENSER

- [1] ISY, *Sensorer*, Hämtad: 2025-03-31, [Online]. Tillgänglig: <https://da-proj.gitlab-pages.liu.se/vanheden/page/sensorer/>, 2003.
- [2] Vayuyaan, *Ultrasonic Sensor in Robotics*, Hämtad: 2025-02-06, [Online]. Tillgänglig: <https://vayuyaan.com/blog/ultrasonic-sensor-in-robotics/>, 2023.
- [3] ISY, *SRF04 Ultrasonic Range Finder*, Hämtad: 2025-02-06, [Online]. Tillgänglig: <https://da-proj.gitlab-pages.liu.se/vanheden/pdf/srf04.pdf>, 2003.
- [4] Robot-Electronics, *SRF04 - Ultra-Sonic Ranger Technical Specification*, Hämtad: 2025-02-24, [Online]. Tillgänglig: <https://www.robot-electronics.co.uk/htm/srf04tech.htm>, 2003.
- [5] S. O. Robots, *SENSORS - SHARP IR RANGE FINDER*, Hämtad: 2025-02-11, [Online]. Tillgänglig: [https://www.societyofrobots.com/sensors\\_sharpirrange.shtml](https://www.societyofrobots.com/sensors_sharpirrange.shtml), 2025.
- [6] ISY, *GP2Y0A21YK Optoelectronic Device*, Hämtad: 2025-04-01, [Online]. Tillgänglig: <https://da-proj.gitlab-pages.liu.se/vanheden/pdf/gp2y0a21.pdf>, no date.
- [7] Pololu, *Sharp/Socle GP2Y0A21YK0F Analog Distance Sensor 10-80cm*, Hämtad: 2025-04-01, [Online]. Tillgänglig: <https://www.pololu.com/product/136>, no date.
- [8] ISY, *Adafruit VL53L0X Time of Flight Micro-LIDAR Distance Sensor Breakout*, Hämtad: 2025-02-11, [Online]. Tillgänglig: <https://da-proj.gitlab-pages.liu.se/vanheden/pdf/VL53L0X.pdf>, 2017.
- [9] ISY, *Reflektion*, Hämtad: 2025-04-15, [Online]. Tillgänglig: <https://da-proj.gitlab-pages.liu.se/vanheden/page/sensorer/>.
- [10] ISY, *Reflexsensor*, Hämtad: 2025-02-18, [Online]. Tillgänglig: [https://da-proj.gitlab-pages.liu.se/vanheden/pdf/reflex\\_sensor.pdf](https://da-proj.gitlab-pages.liu.se/vanheden/pdf/reflex_sensor.pdf), 2007.
- [11] A. Corporation, *ATmega16(L) Datasheet*, Tillgänglig på: <https://da-proj.gitlab-pages.liu.se/vanheden/pdf/atmega16.pdf>, 2007.
- [12] ISY, *MLX90609 Angular Rate Sensor (Standard version)*, Hämtad: 2025-02-17, [Online]. Tillgänglig: <https://da-proj.gitlab-pages.liu.se/vanheden/pdf/mlx90609.pdf>, 2008.
- [13] R. C. AB, *What is a Hall effect sensor?* Hämtad: 2025-02-18, [Online]. Tillgänglig: <https://se.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=ideas-and-advice/hall-effect-sensors-guide>, 2025.
- [14] golightstream, *What is Video Bitrate, and How Does it Affect Video Quality?* Hämtad: 2025-04-01, [Online]. Tillgänglig: <https://golightstream.com/what-is-video-bitrate/>, 2022.
- [15] ISY, *FireFly Bluetooth Modem - BlueSMiRF Gold*, Hämtad: 2025-04-01, [Online]. Tillgänglig: <https://da-proj.gitlab-pages.liu.se/vanheden/pdf/firefly.pdf>, no date.