

# **COUNTER A DRONE**

**USING DEEP REINFORCEMENT LEARNING**



HUBERT KOWALSKI, ADAM KANIASTY, IGOR KOŁODZIEJ



**DRONY**

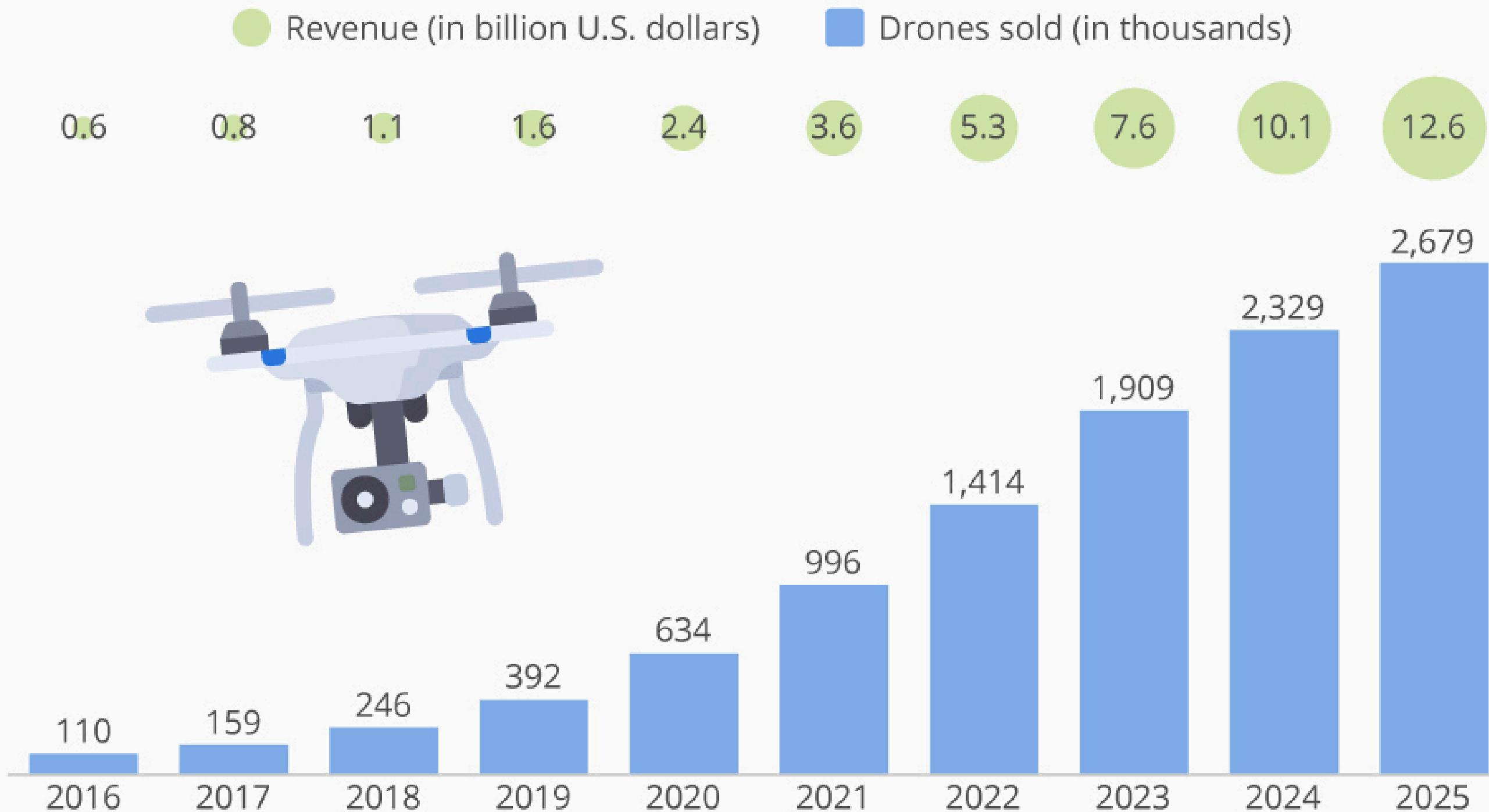
---



Drone used to smash ice off  
power lines

# Commercial Drones are Taking Off

Projected worldwide market growth for commercial drones



@StatistaCharts Source: Tractica

statista



# Father who shot down drone hovering over his house as his daughters sunbathed is arrested and charged - sparking new privacy debate

By Dailymail.com Reporter

21:20 EST 31 Jul 2015 , updated 13:45 EST 01 Aug 2015









# **MONITOROWANIE DRONÓW**

---

## Metoda

Radar

Radio

Optyka

Akustyka

## Zalety

Daleki zasięg, ciągłe śledzenie, duża dokładność, odporny na warunki pogodowe

Tanie

Pozwala zobaczyć drona i np. jego ładunek

Wykrywa wszystkie drony w pobliżu tam, gdzie inne metody mogą zawieść, łatwa w użyciu

## Wady

Zasięg zależy od rozmiaru drona, większość nie zróżóżnia ptaków od dronów, może dojść do interferencji fal

Nie wykryje autonomicznego drona, krótki zasięg, problem w zatłoczonych w obszarach

Trudna w użyciu, duże ryzyko fałszywych alarmów, podatna na warunki pogodowe

Słabo działa w głośnym otoczeniu, krótki zasięg



# ZWALCZANIE DRONÓW

---



**imjustculture**   
@imjustculture\_

An eagle trained to neutralize drones  
in Switzerland



## Metoda

Zakłócanie sygnału radiowego

GPS Spoofing

Impulsy elektromagnetyczne

Sieci

Lasery

Cybernetyka

## Zalety

Umiarkowane koszty  
Bezdotykowa

Umiarkowane koszty  
Bezdotykowa

Daleki zasięg  
Bezdotykowa

Pozwalają schwytać drona,  
niskie ryzyko pobocznych uszkodzeń

Duży zasięg,  
szybka neutralizacja wroga

Duża precyzja,  
niskie ryzyko pobocznych uszkodzeń

## Wady

Krótki zasięg działania  
Może zakłócić pozostałą komunikację  
Nieprzewidywalne zachowanie drona

Krótki zasięg działania  
Może zakłócić pozostałą komunikację

Duże ryzyko uszkodzenia innych urządzeń  
Może spowodować natychmiastowe wyłączenie drona

Niska precyzja,  
długi czas przeładowania,  
krótki zasięg

Skomplikowana technologia, jeszcze eksperimentalna, duże ryzyko pobocznych obrażeń, również dla ludzi

Nowa i nie przetestowana technologia, może nie działać na wszystkich modelach dronów





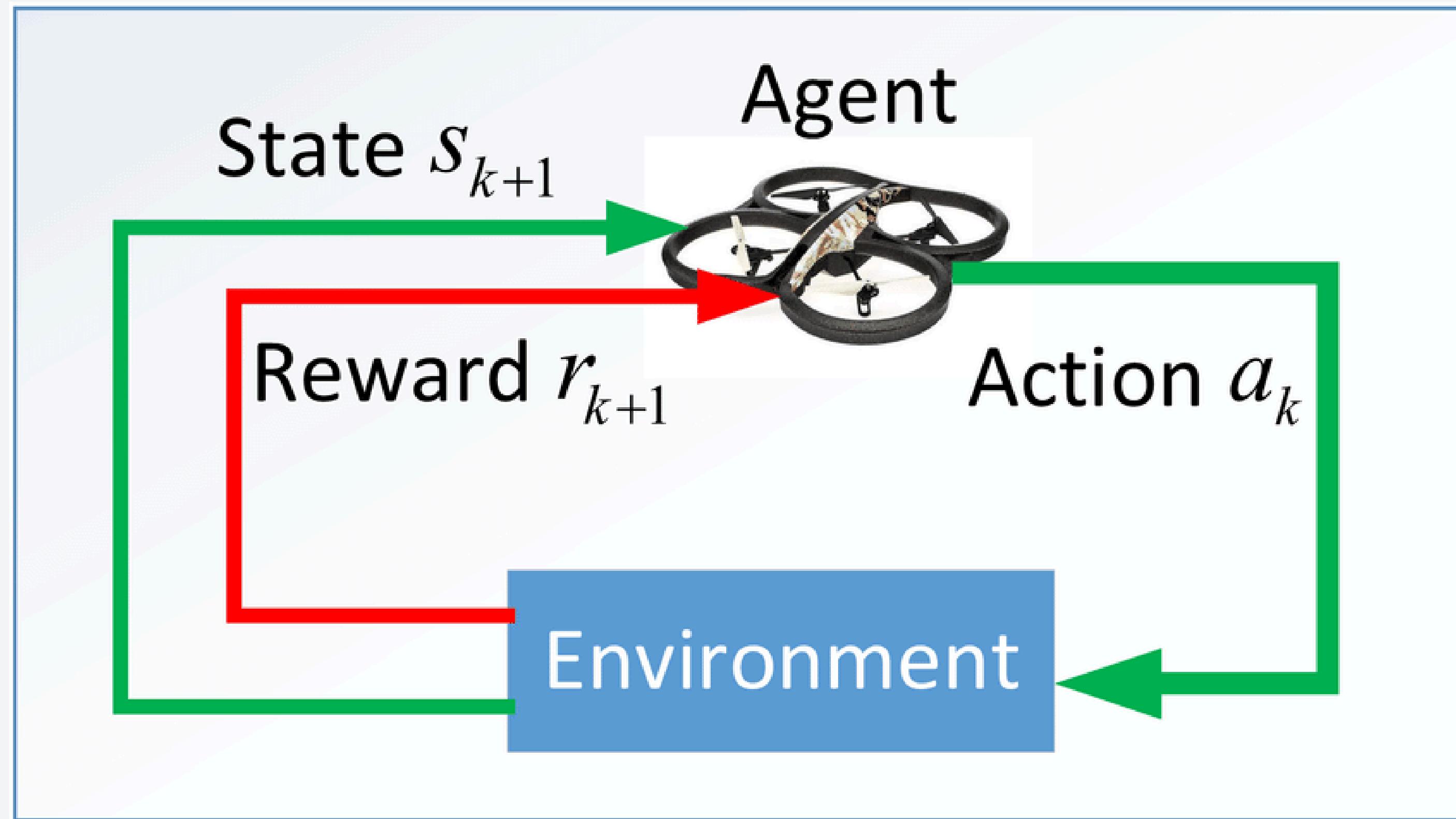
**A GDYBY TAK UŻYĆ  
RL?**

---



# **COUNTER A DRONE IN A COMPLEX NEIGHBORHOOD AREA BY DEEP REINFORCEMENT LEARNING**

---





# **ARCHITEKTURA SYSTEMU**

---



# **ŚRODOWISKO**

---

# AIRSIM

---



# AIRSIM

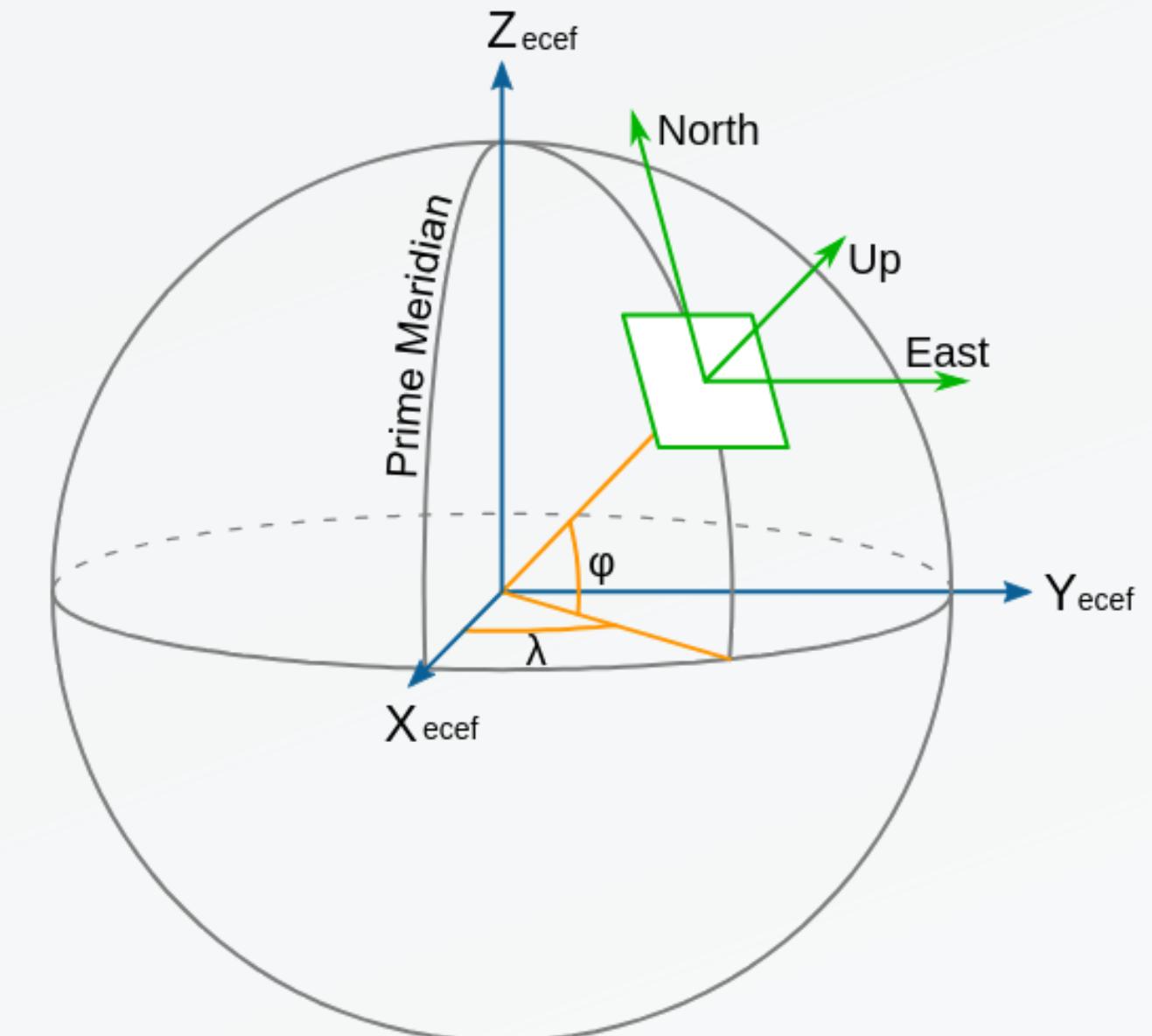
---



GEOFENCE

# AIRSIM

---



NED COORDINATES

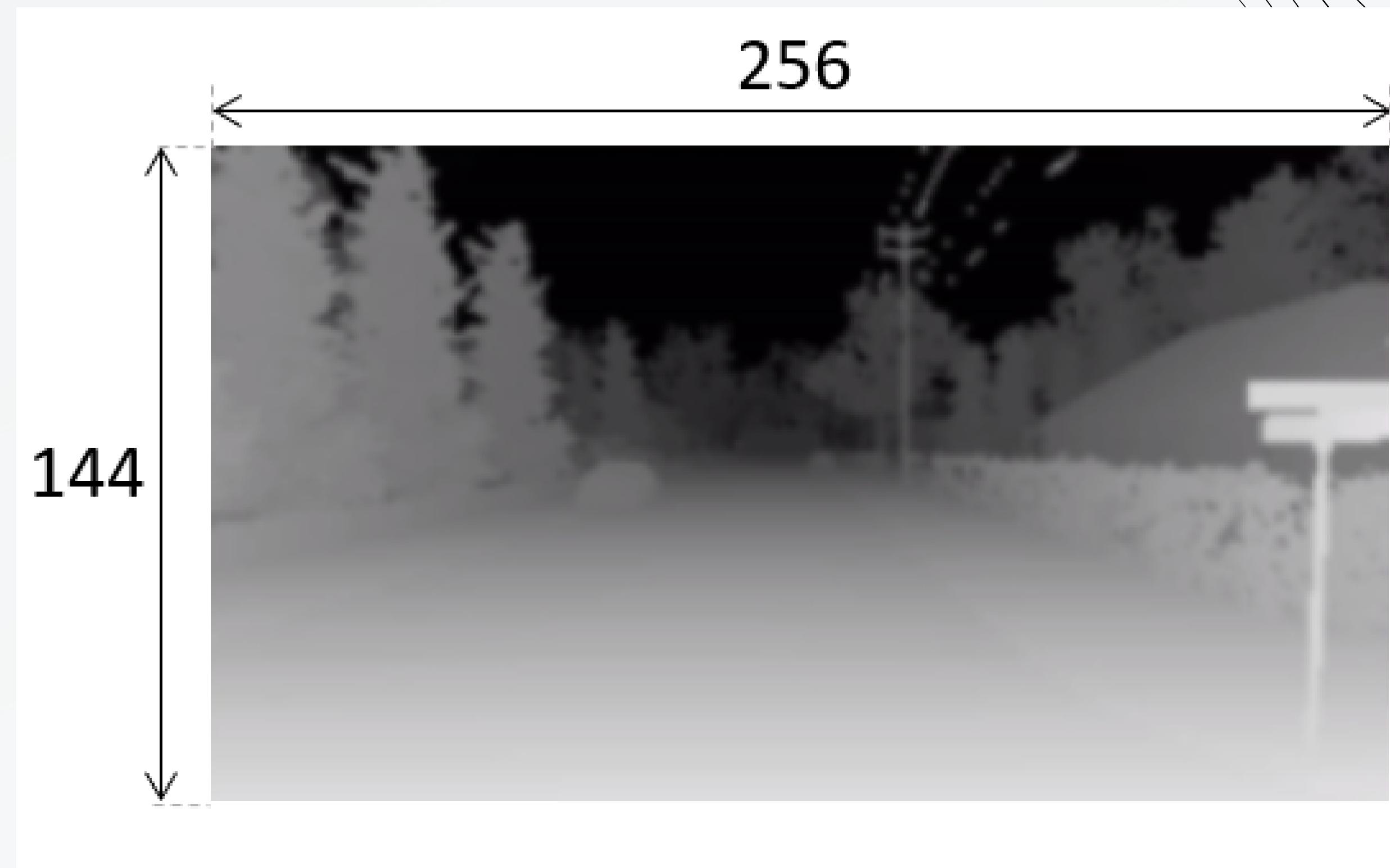


**STANY / INPUT**

---

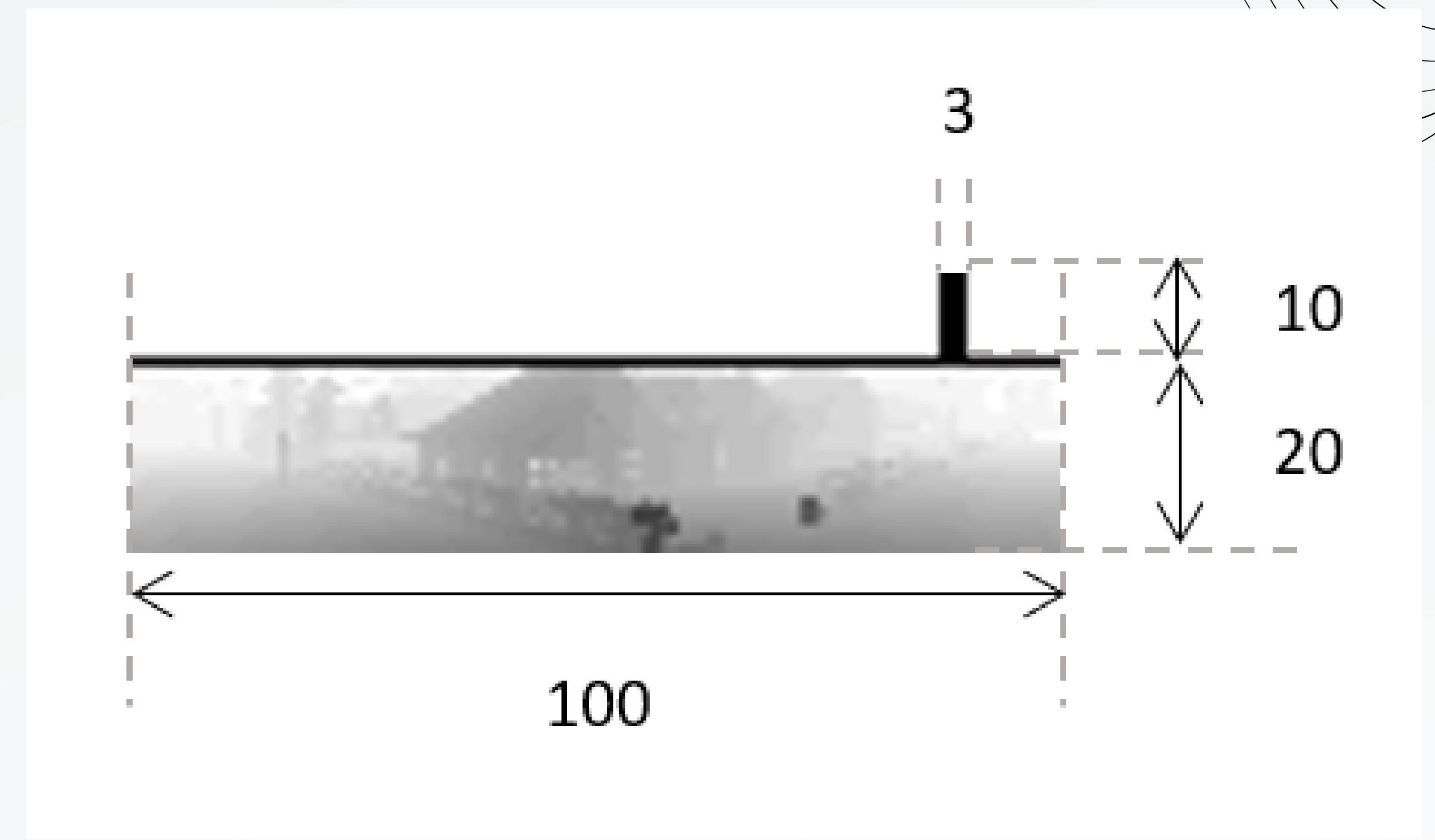
# ZDJĘCIA

---



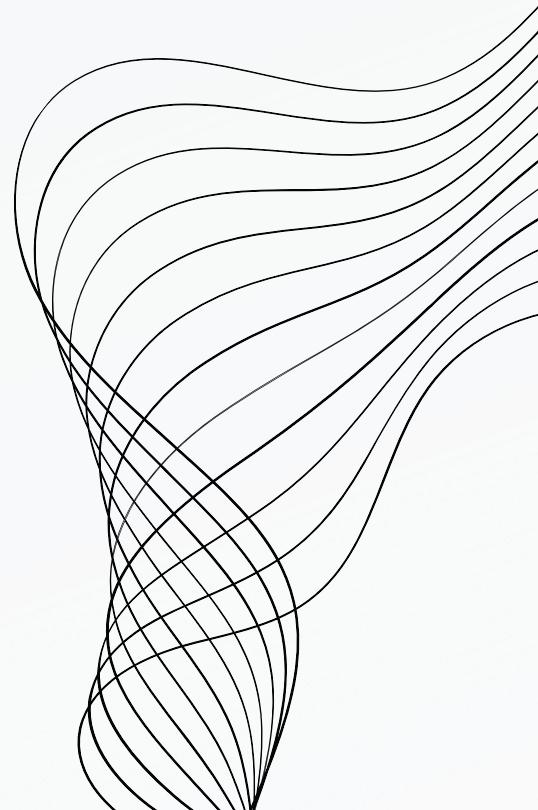
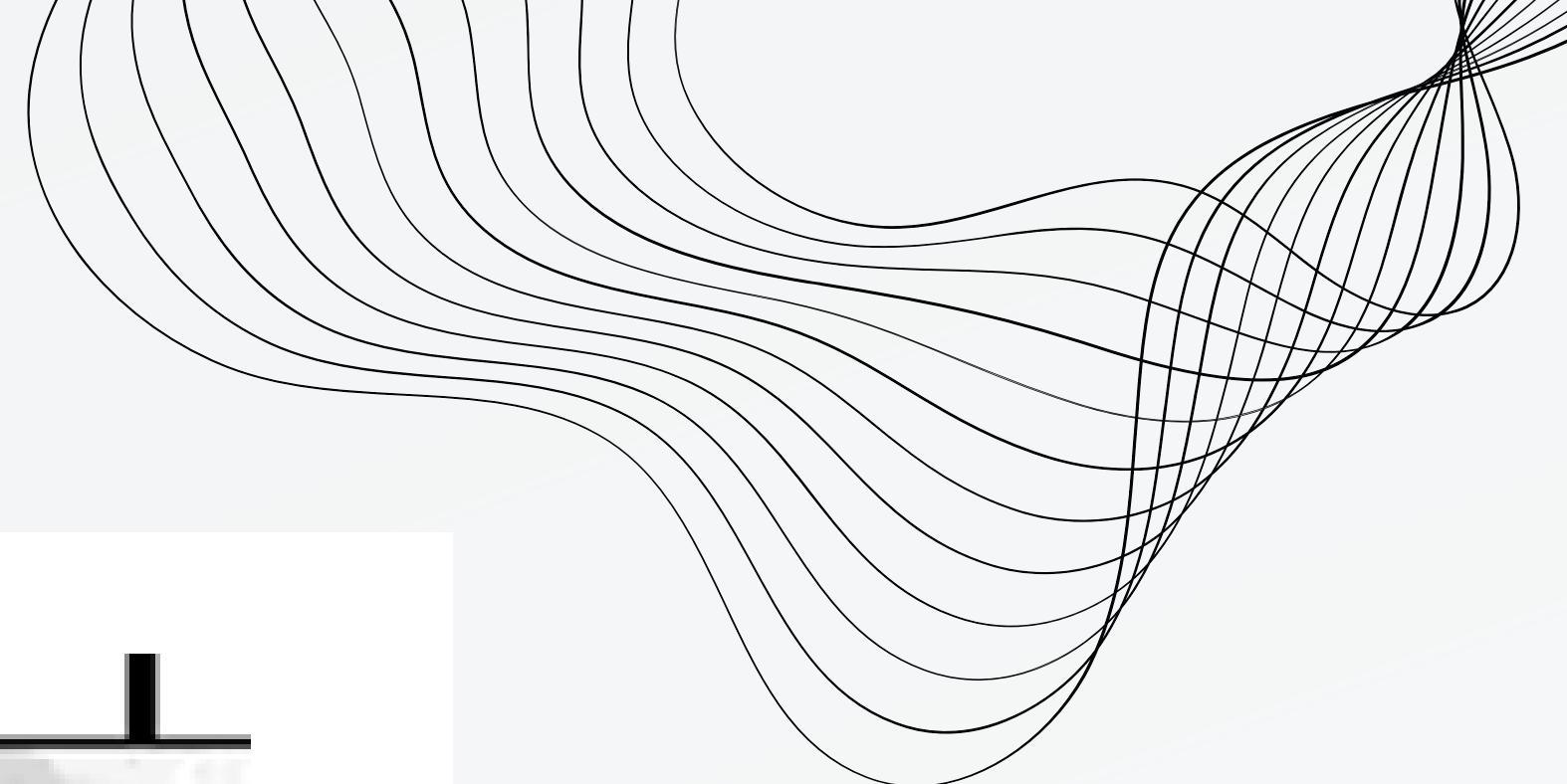
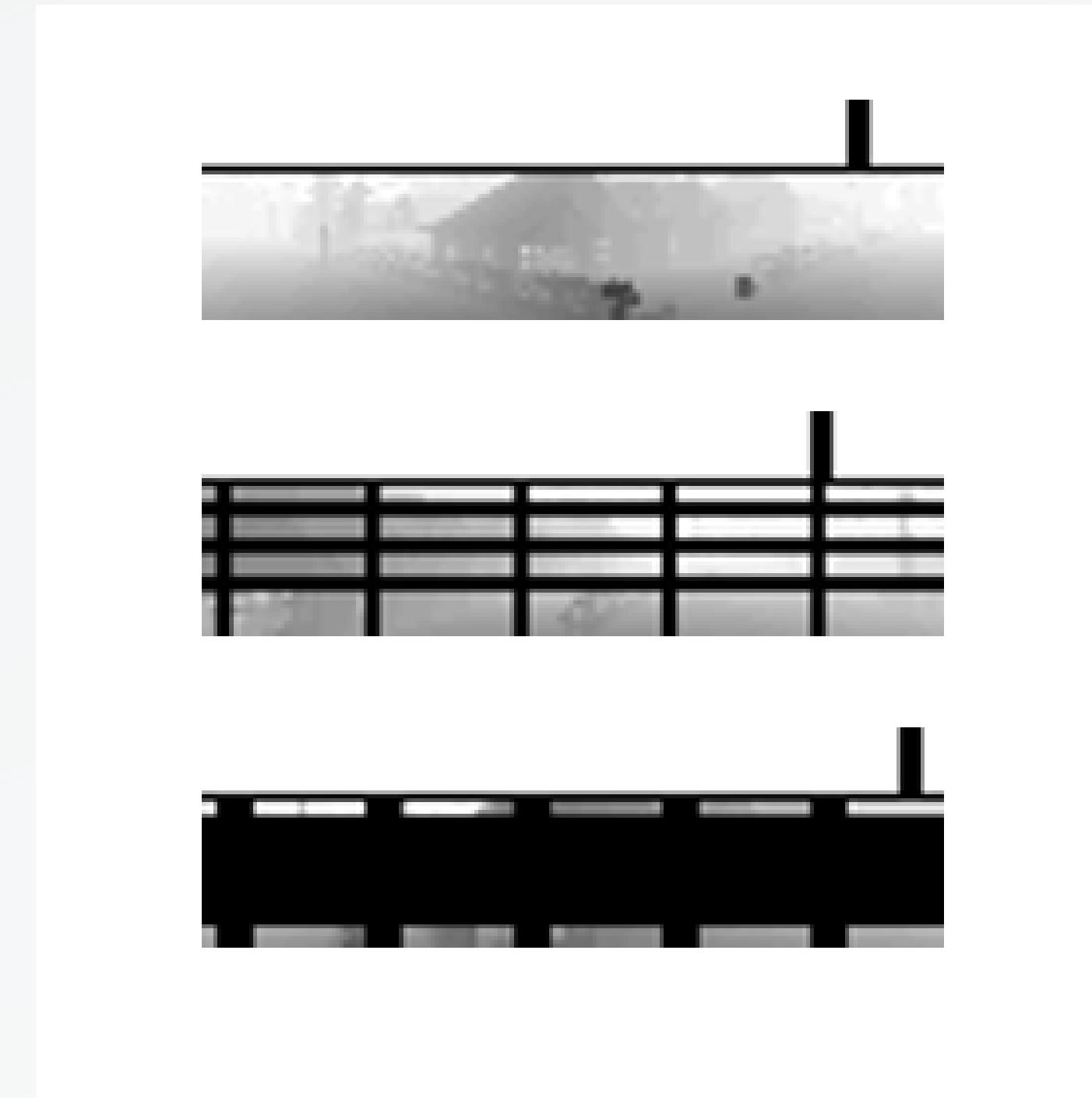
# ZDJĘCIA

---



# ZDJĘCIA

---



# SKALARY

---

- Velocity V<sub>x</sub>, V<sub>y</sub>
- Euklidesowska odległość od celu D<sub>x</sub>, D<sub>y</sub>, D<sub>z</sub>
- Kąty pionowo i poziomo od celu
- Odległość od ścian Geofence'a



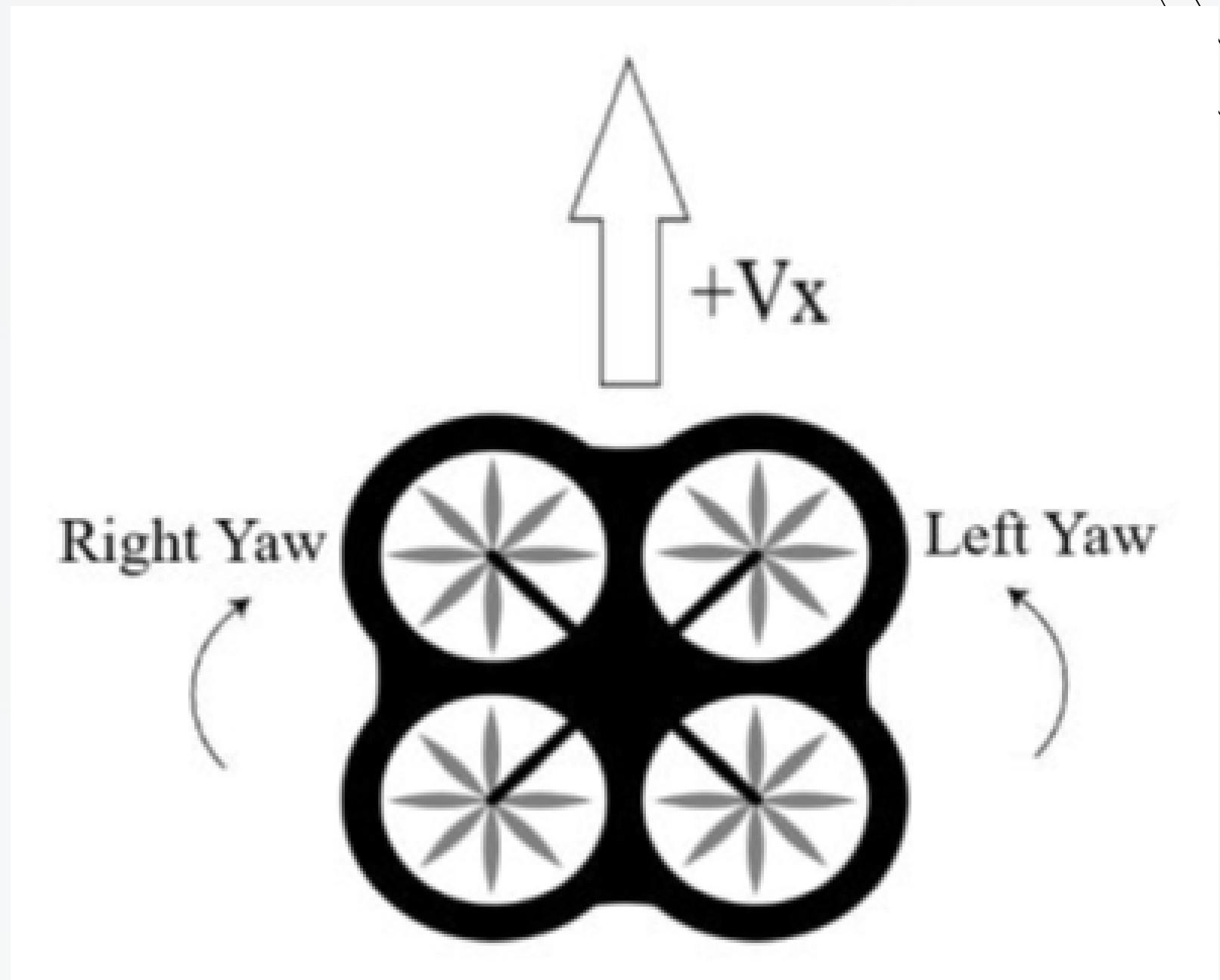
**AKCJE**

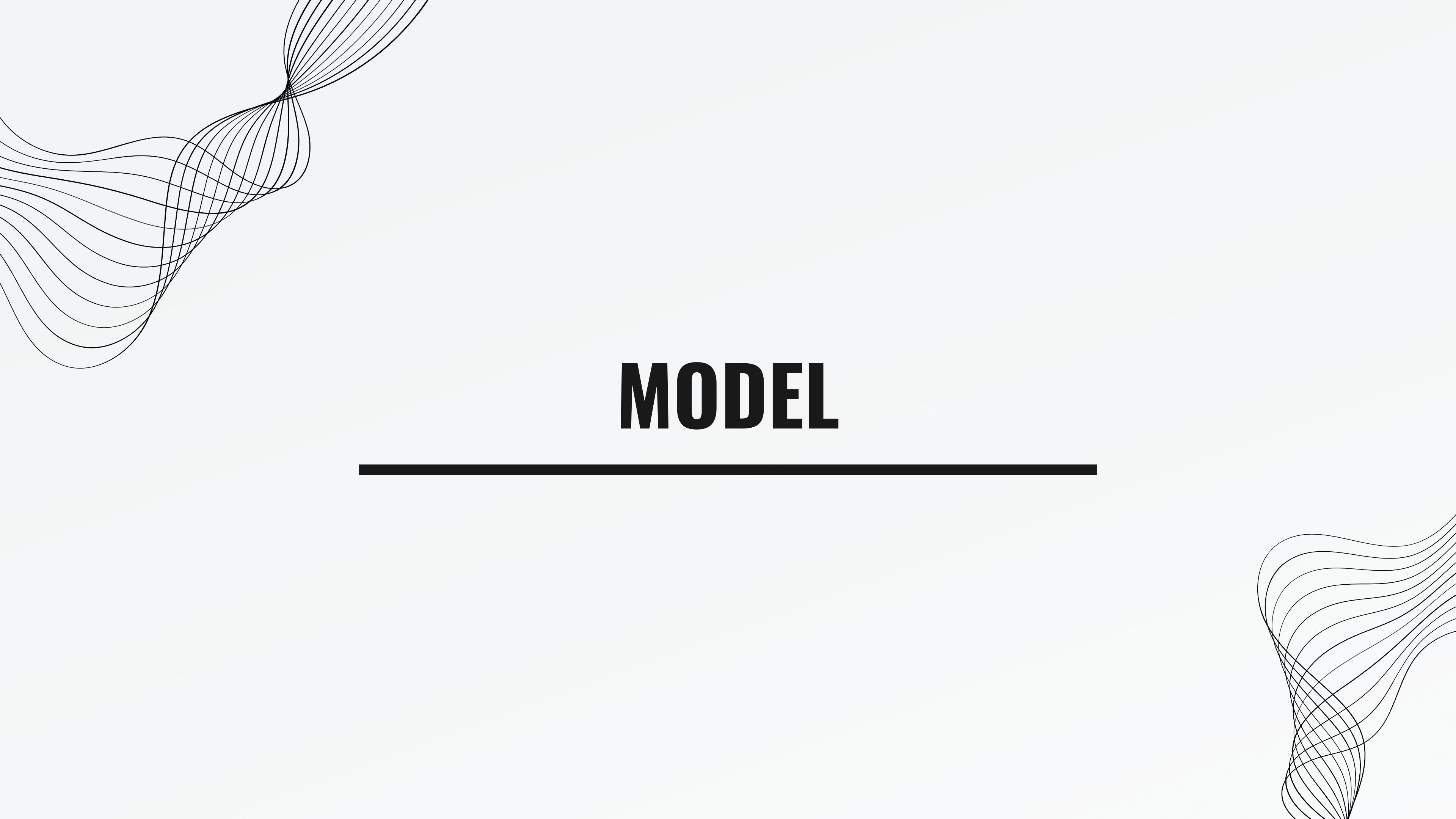
---

# AKCJE

---

Prosto: 4m/s  
Rotacje: 30deg/s





# MODEL

---

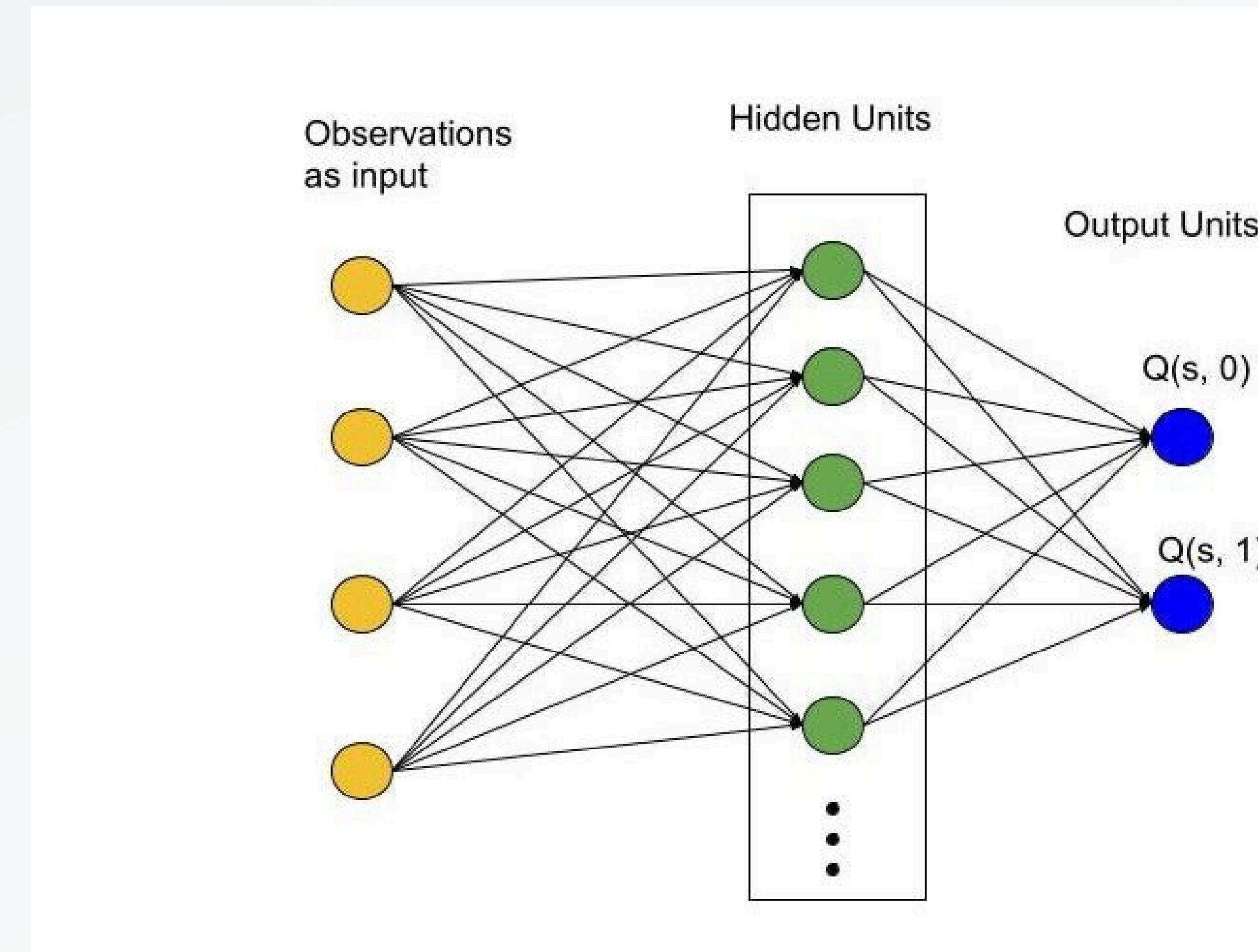


# **PRZERYWNIK ML'OWY**

---

# DQN

---



# DQN

---

$$L(\theta_i) = \mathbb{E}_{s,a \sim p(\cdot)}[(y_i - Q(s, a; \theta_i))^2]$$

where

$$y_i = \begin{cases} R_T & \text{for terminal state } s_T \\ R_{t+1} + \gamma \max_{a'} Q(s_{t+1}, a') & \text{for non-terminal state } s_t \end{cases}$$

$$\nabla_{\theta_i} L(\theta_i) = \mathbb{E}_{s,a \sim p(\cdot), s' \sim \mathcal{E}}[(R_{t+1} + \gamma \max_{a'} Q(s_{t+1}, a') - Q(s, a; \theta_i)) \nabla_{\theta_i} Q(s, a; \theta_i)]$$

# DDQN

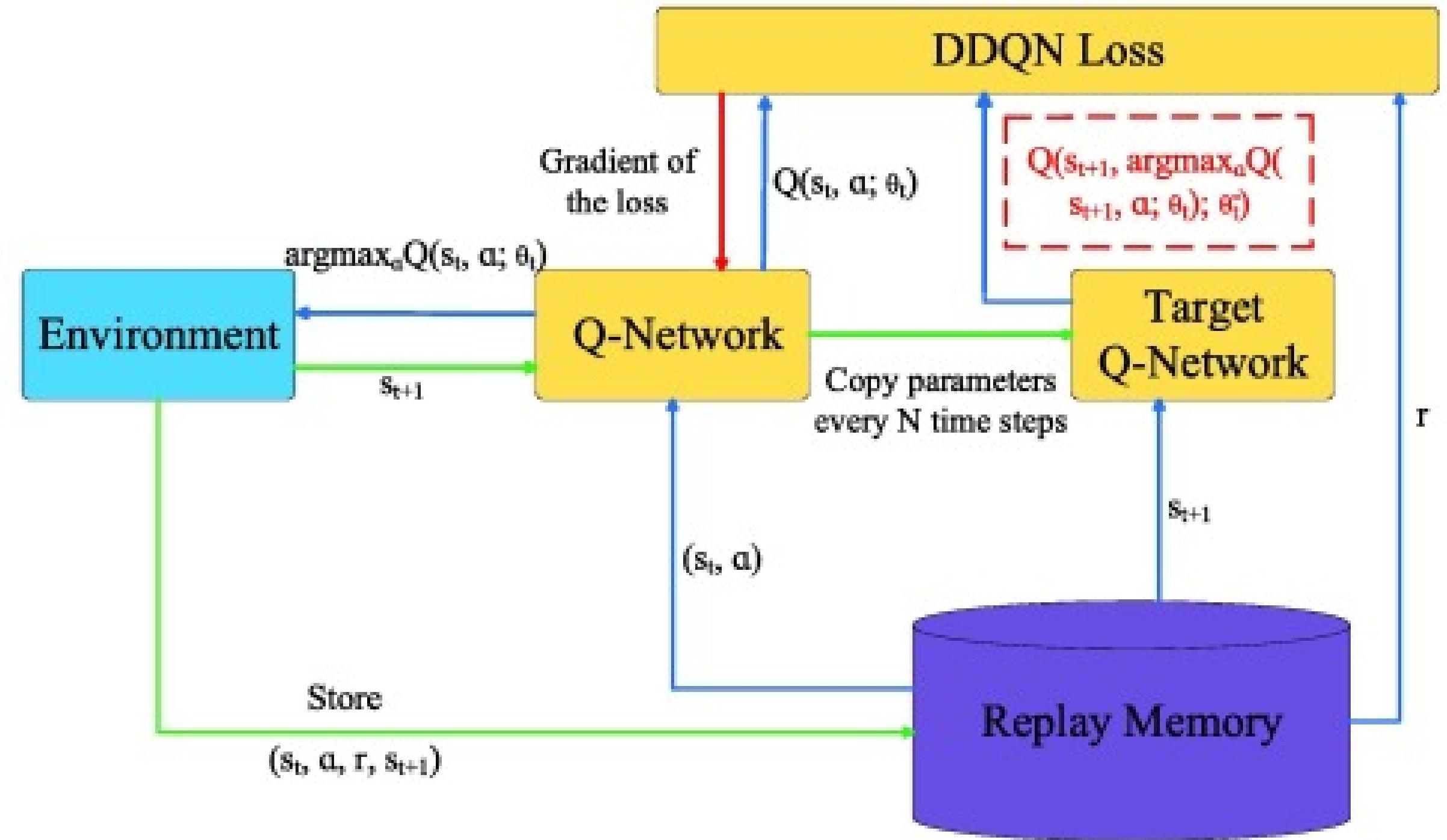
---

$$Q^*(s, a) = \mathbb{E}_{s' \sim \mathcal{E}} [r + \gamma \max_{a'} Q^*(s', a') | s, a]$$

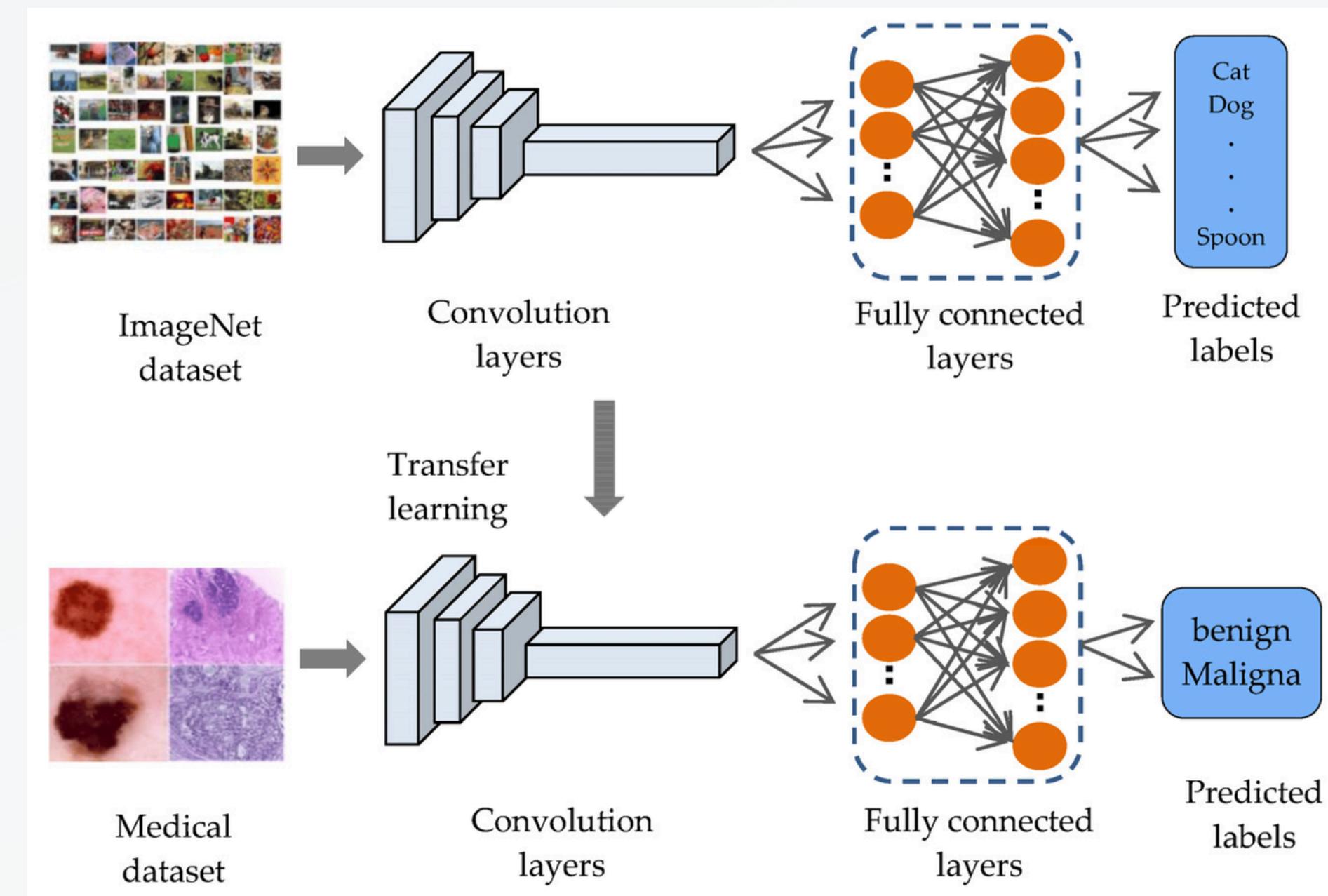


$$Q^*(s_t, a_t) \approx r_t + \gamma Q(s_{t+1}, \text{argmax}_{a'} Q'(s_t, a_t))$$

# DDQN

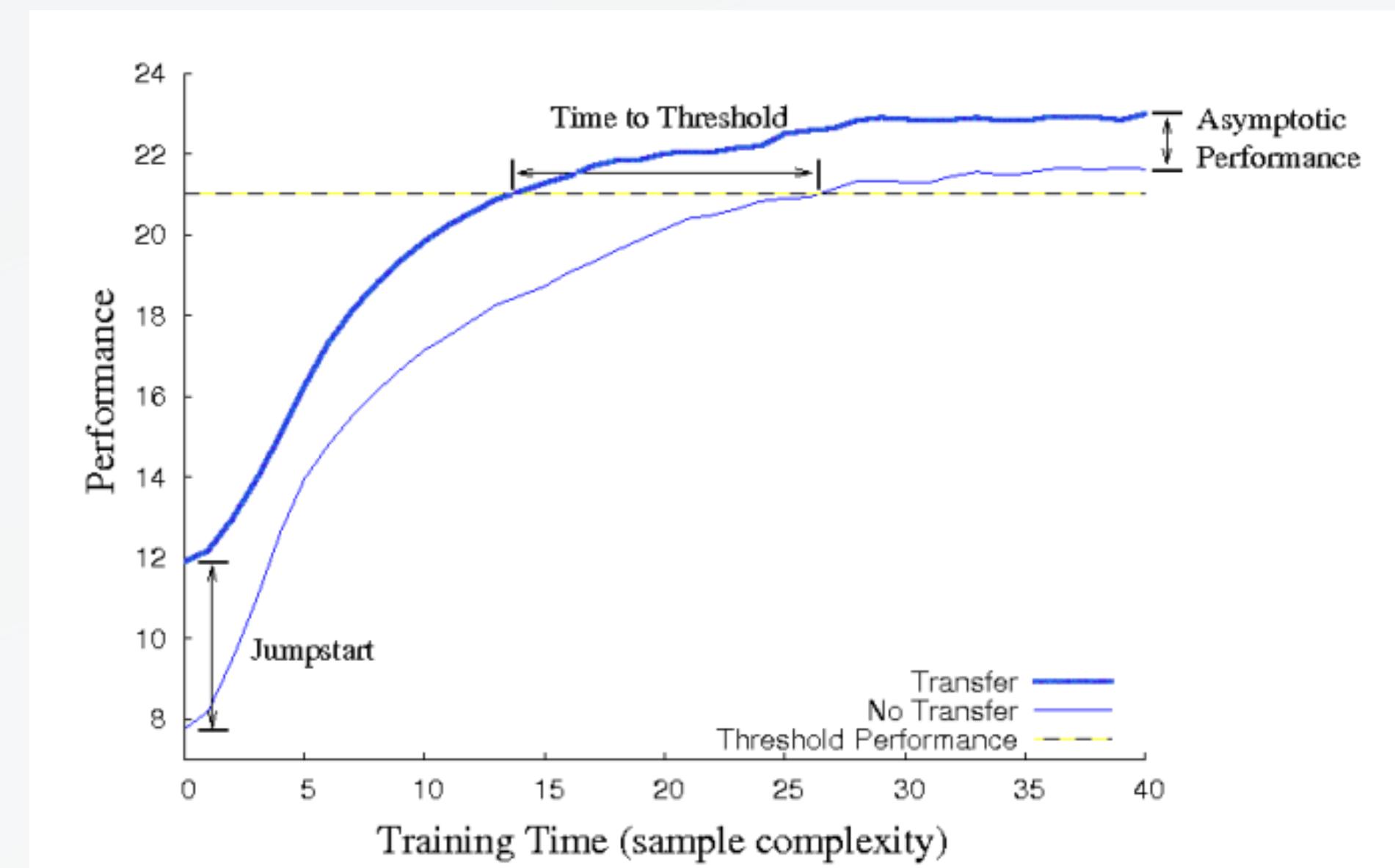


# TRANSFER LEARNING



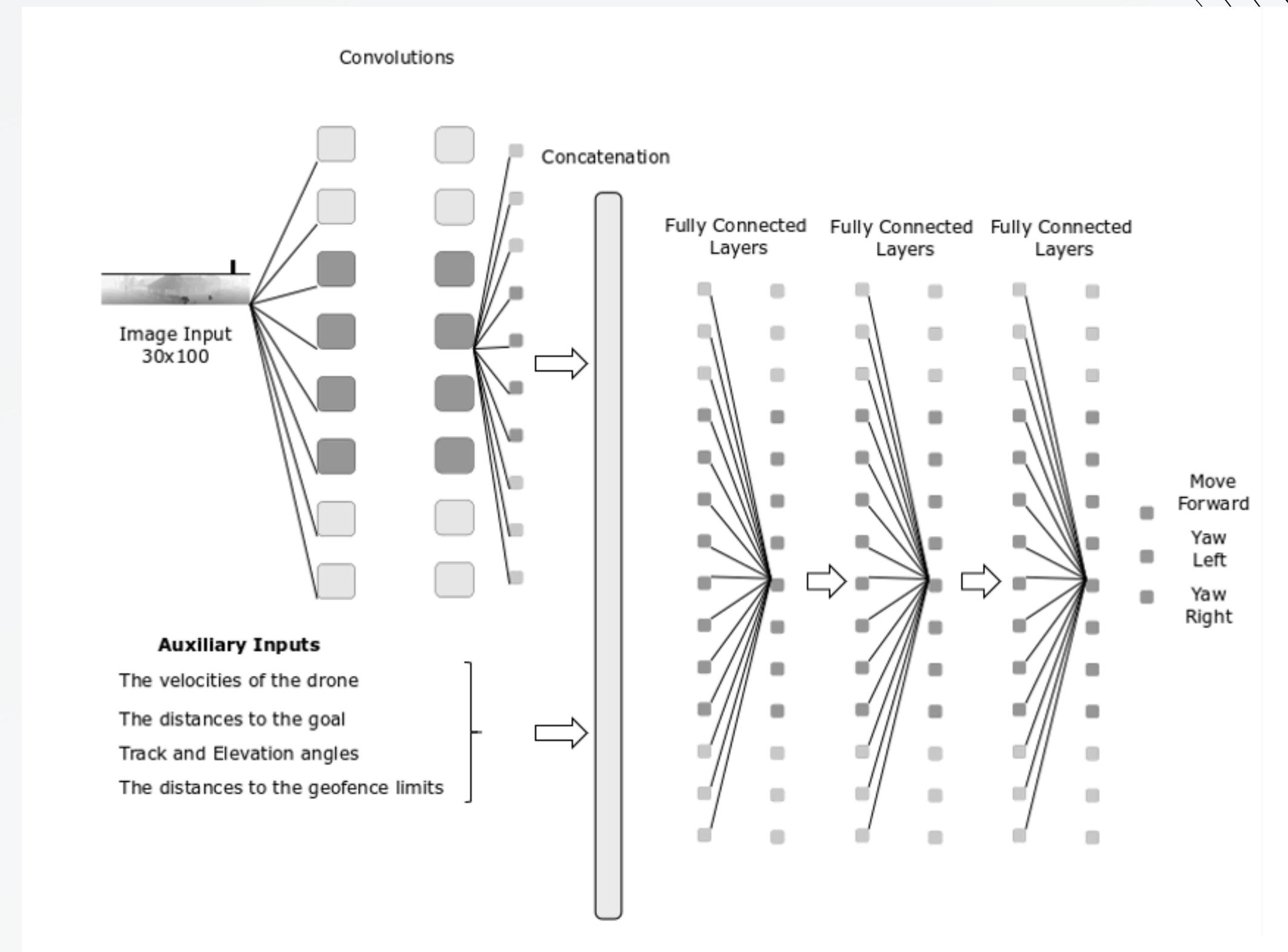
# TRANSFER LEARNING

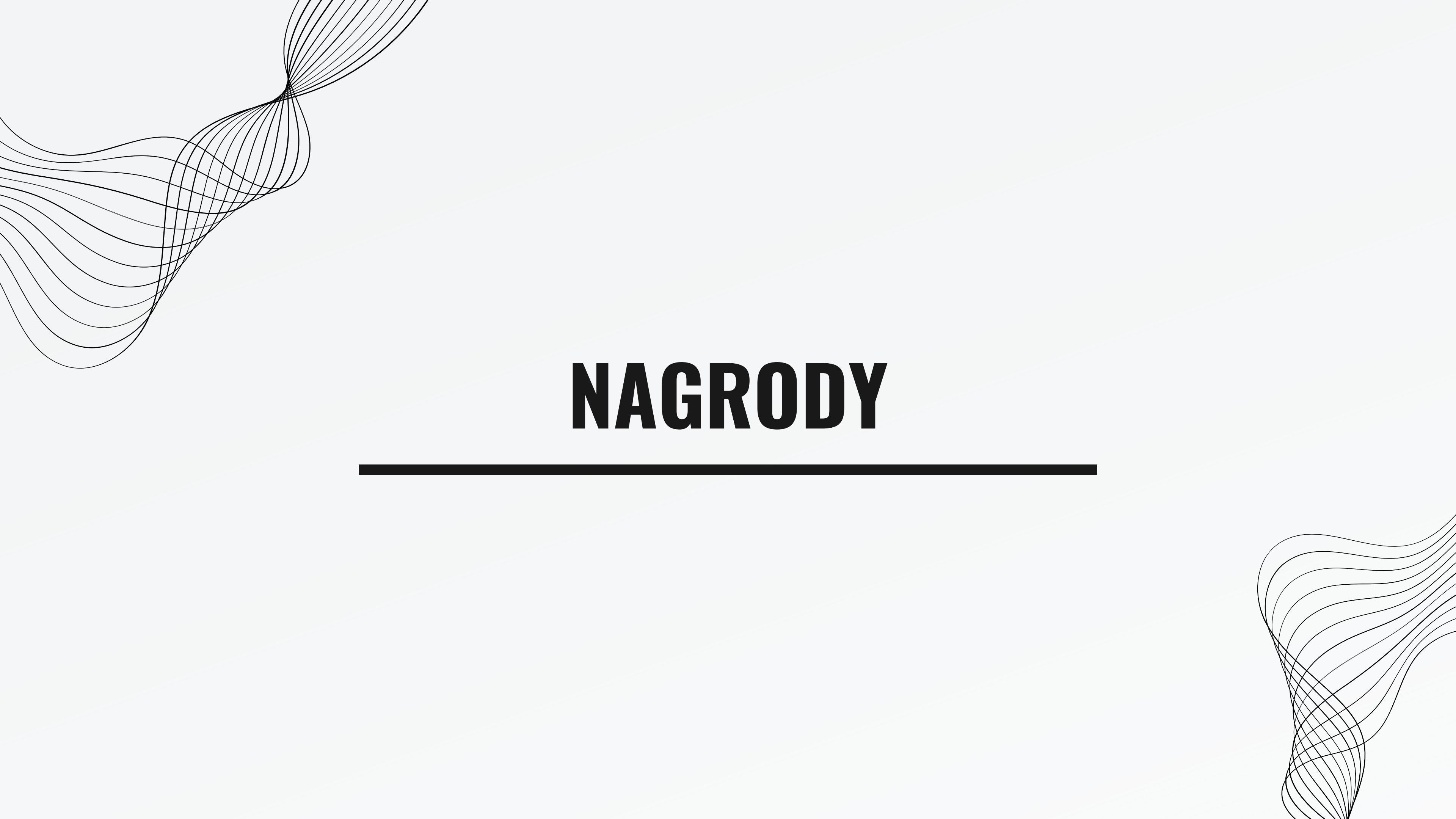
---



# MODEL

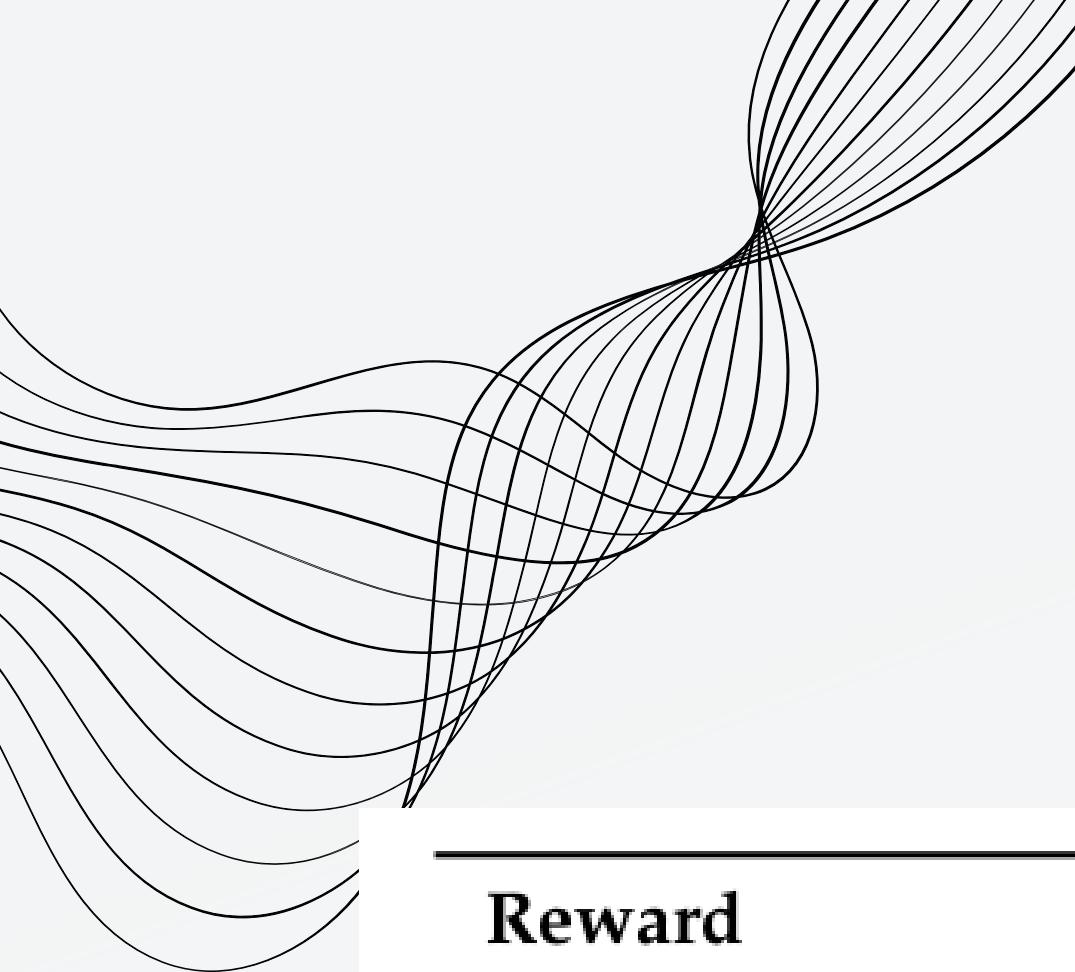
---





# NAGRODY

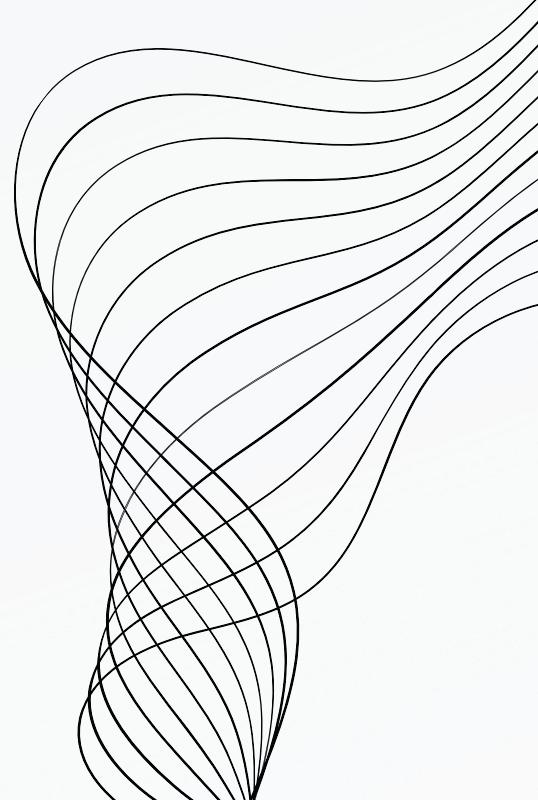
---



# NAGRODY

---

Reward	The Reason
+100	Goal reached
-100	Collision: Obstacle (stationary or moving) or geofence
$-1 + \Delta \text{ Distance} + \text{TrackAngle}$	Otherwise



# **WYNIKI TRENOWANIA**



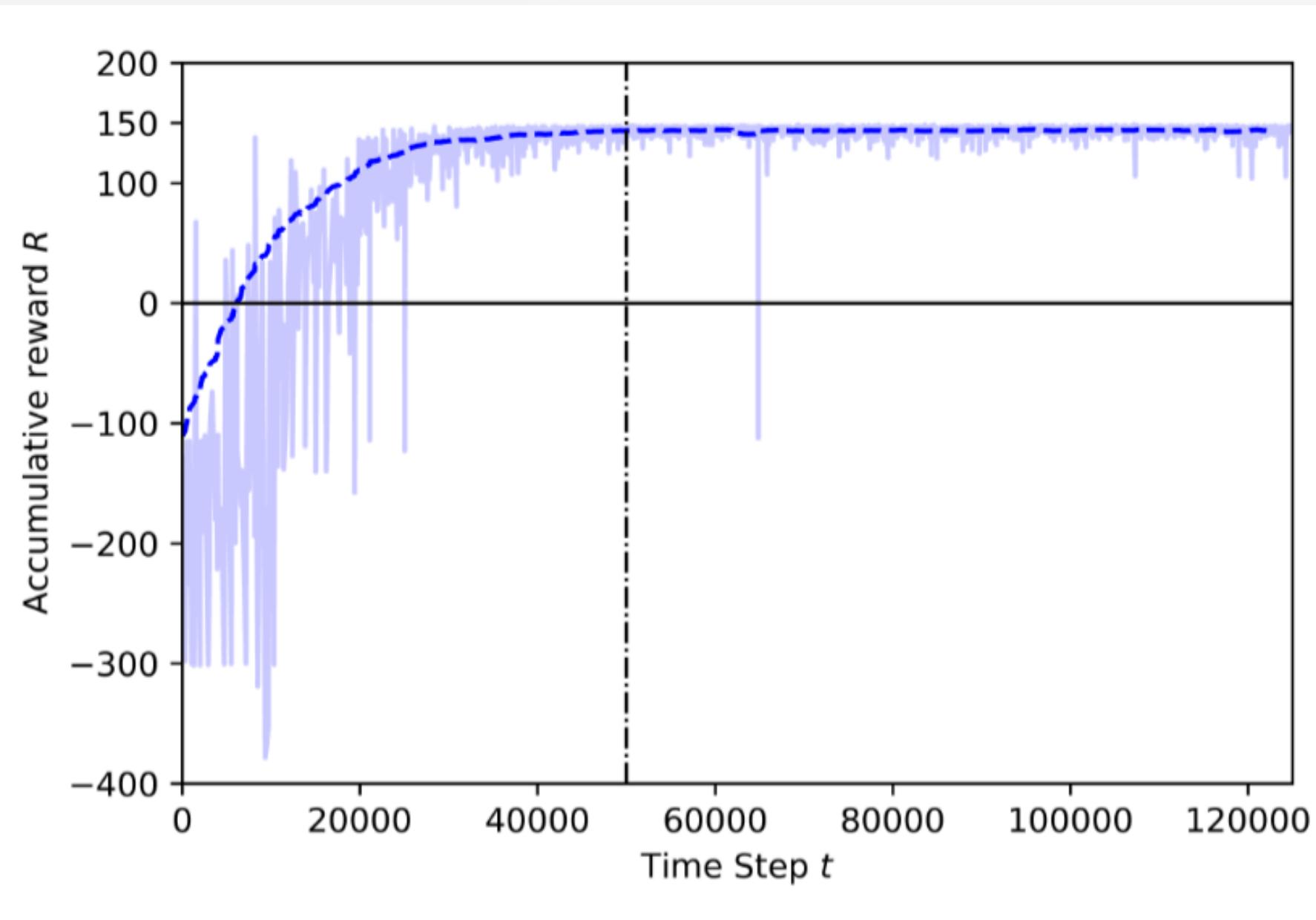
# SCENARIUSZE

Table 3. Training cases summary.

30m

Case	Training	Steps	Annealing	Geofence	Obstacles
Baseline	FULL	125K	50K	YES	NONE
	FULL	75K	50K	YES	stationary 3rd drone
	Transferred	50K	25K	YES	stationary 3rd drone
	FULL	75K	50K	YES	non-stationary 3rd drone
	Transferred	50K	25K	YES	non-stationary 3rd drone
	FULL	125K	50K	YES	houses, trees, electrical, etc.
	Transferred	50K	10K	YES	houses, trees, electrical, etc.

# BASELINE



Interpretacja:  $E[\text{Return w 1 epizodzie}]$  po czasie  $t$

## Niskie nagrody:

- limit czasu
- zderzenie z geofence

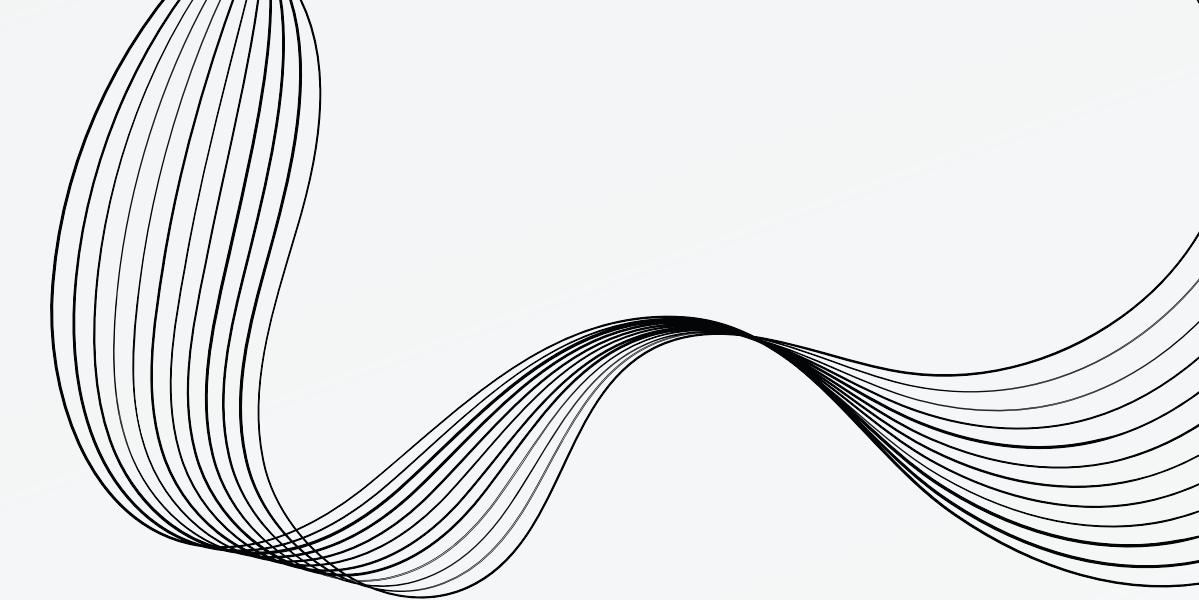
Łącznie zderzeń: 61

Po wychładzaniu: 1

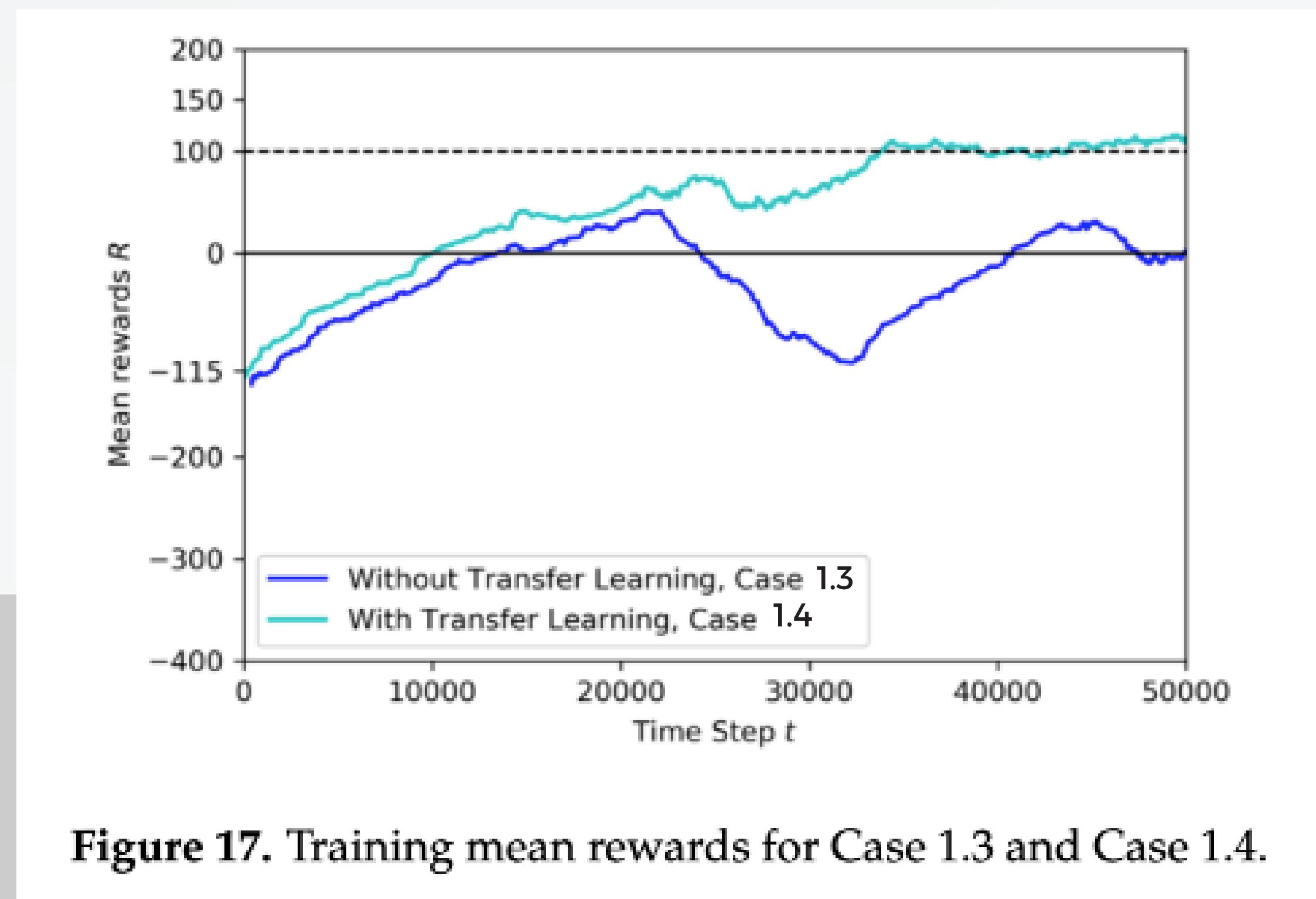
Koniec wychładzania: 50K

$\epsilon = 1 \rightarrow \epsilon = 0.1$

# CASE 1.3 | 1.4



# PORÓWNANIE



# CASE 2 - PRZY ZIEMI

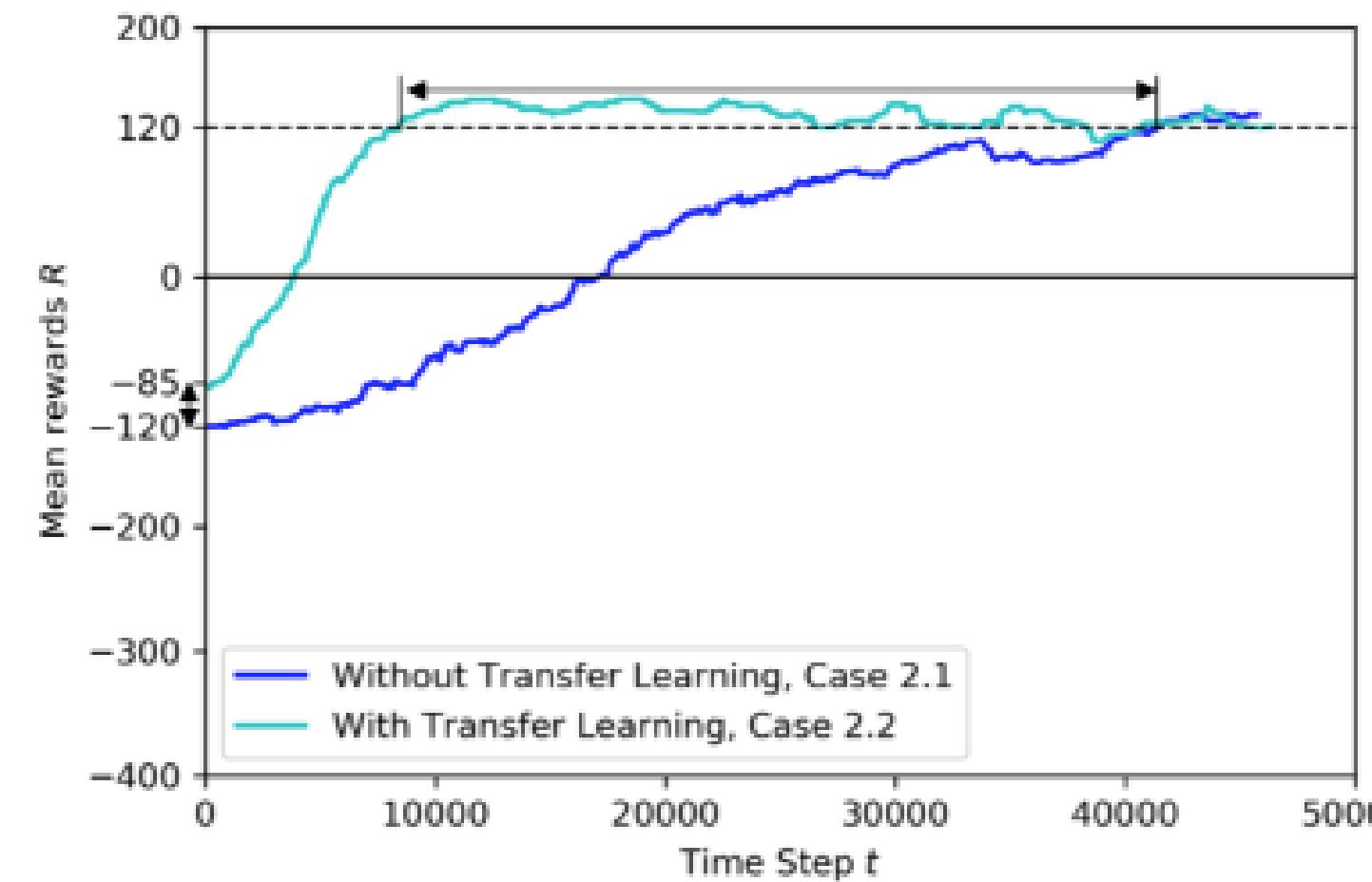


Figure 20. Training mean rewards for Case 2.1 and Case 2.2.

Jumpstart ~ 35

Time to threshold ~  
34 000 time stepów

Asymptotic performance  
difference ~ 0

# CZY DŁUGOŚĆ WYCHŁADZANIA MA ZNACZENIE?

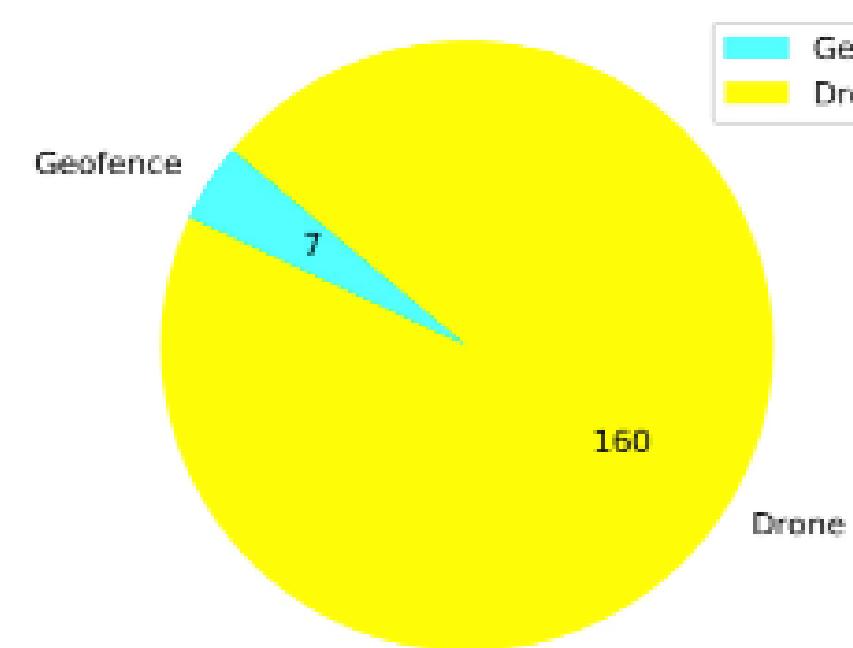


Figure 23. Crash report chart for Case 1.2, Annealing at 10K steps.

Łącznie zderzeń = 167

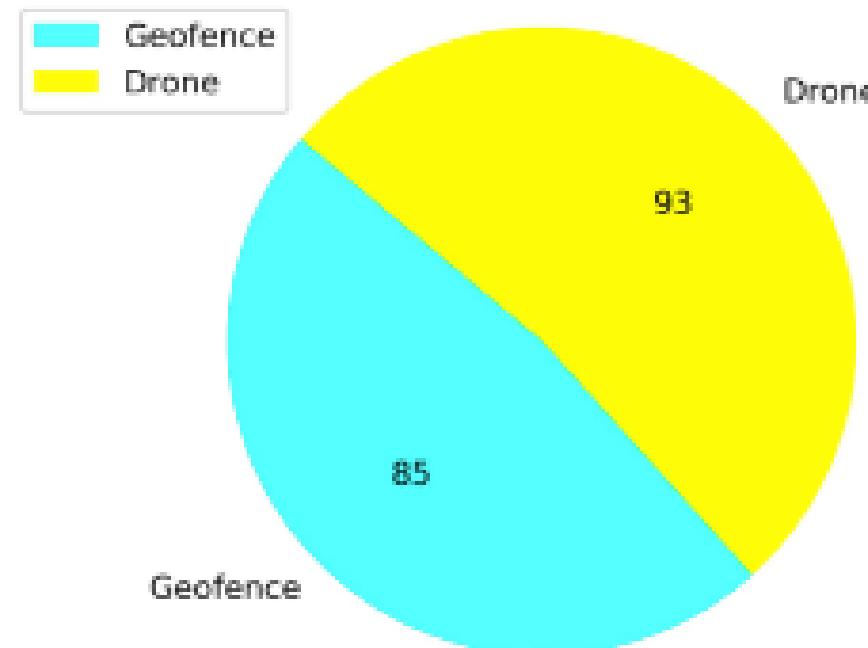
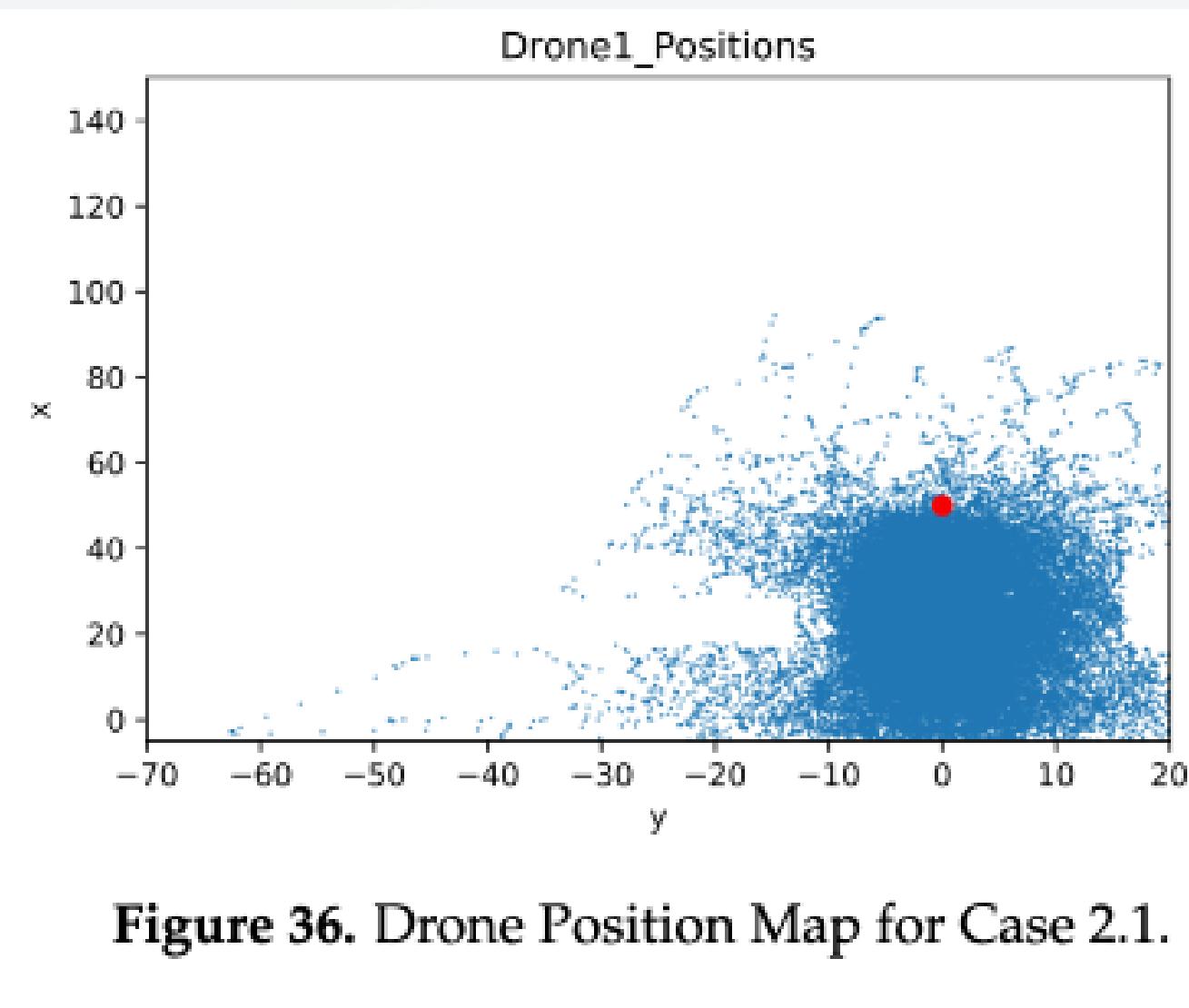


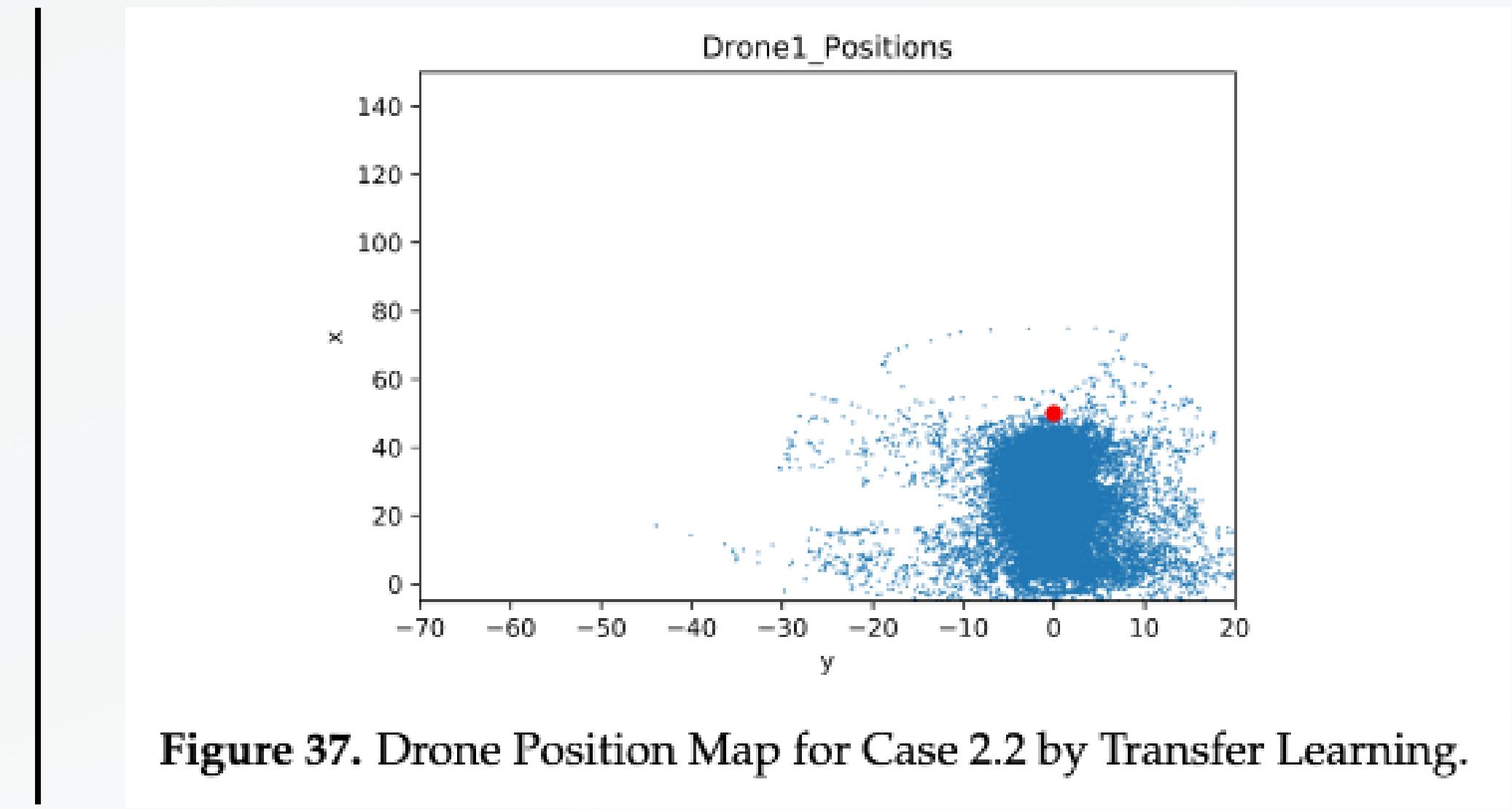
Figure 24. Crash report chart for Case 1.2, Annealing at 25K steps.

Łącznie zderzeń = 178

# CZY TL POMAGA?

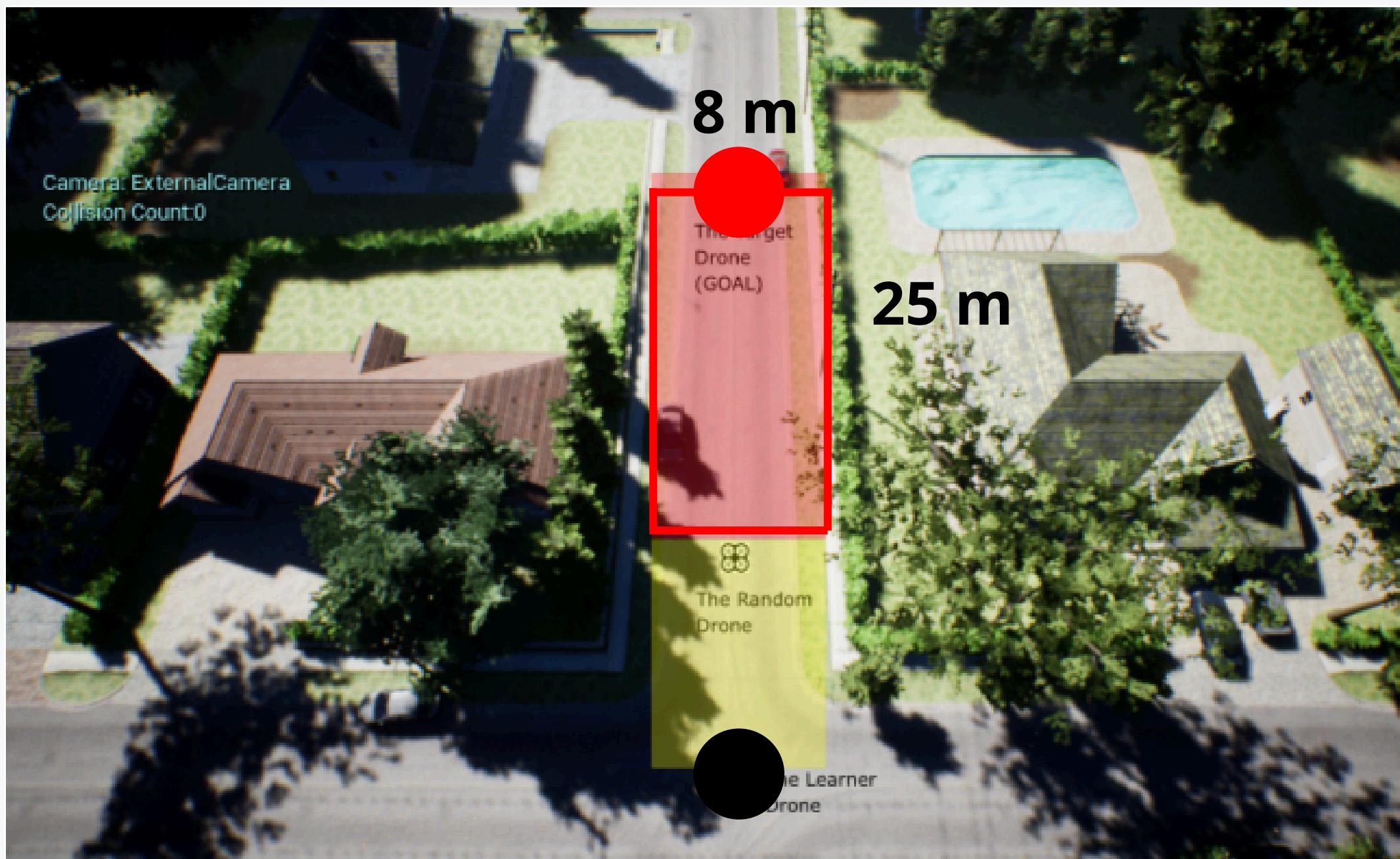


**Figure 36.** Drone Position Map for Case 2.1.

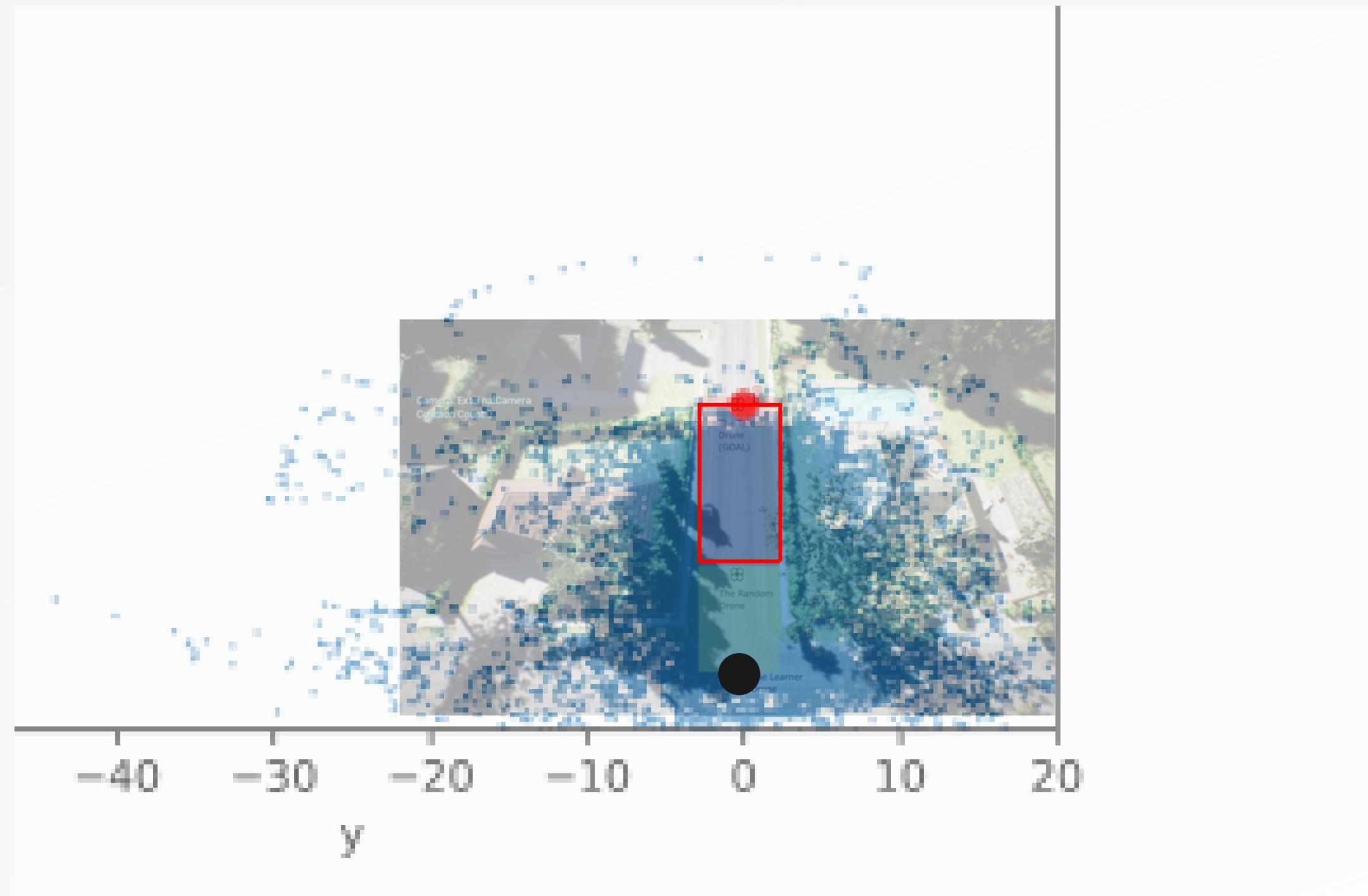


**Figure 37.** Drone Position Map for Case 2.2 by Transfer Learning.

# CZY TL POMAGA?



# CZY TL POMAGA?



# CZY TL POMAGA?

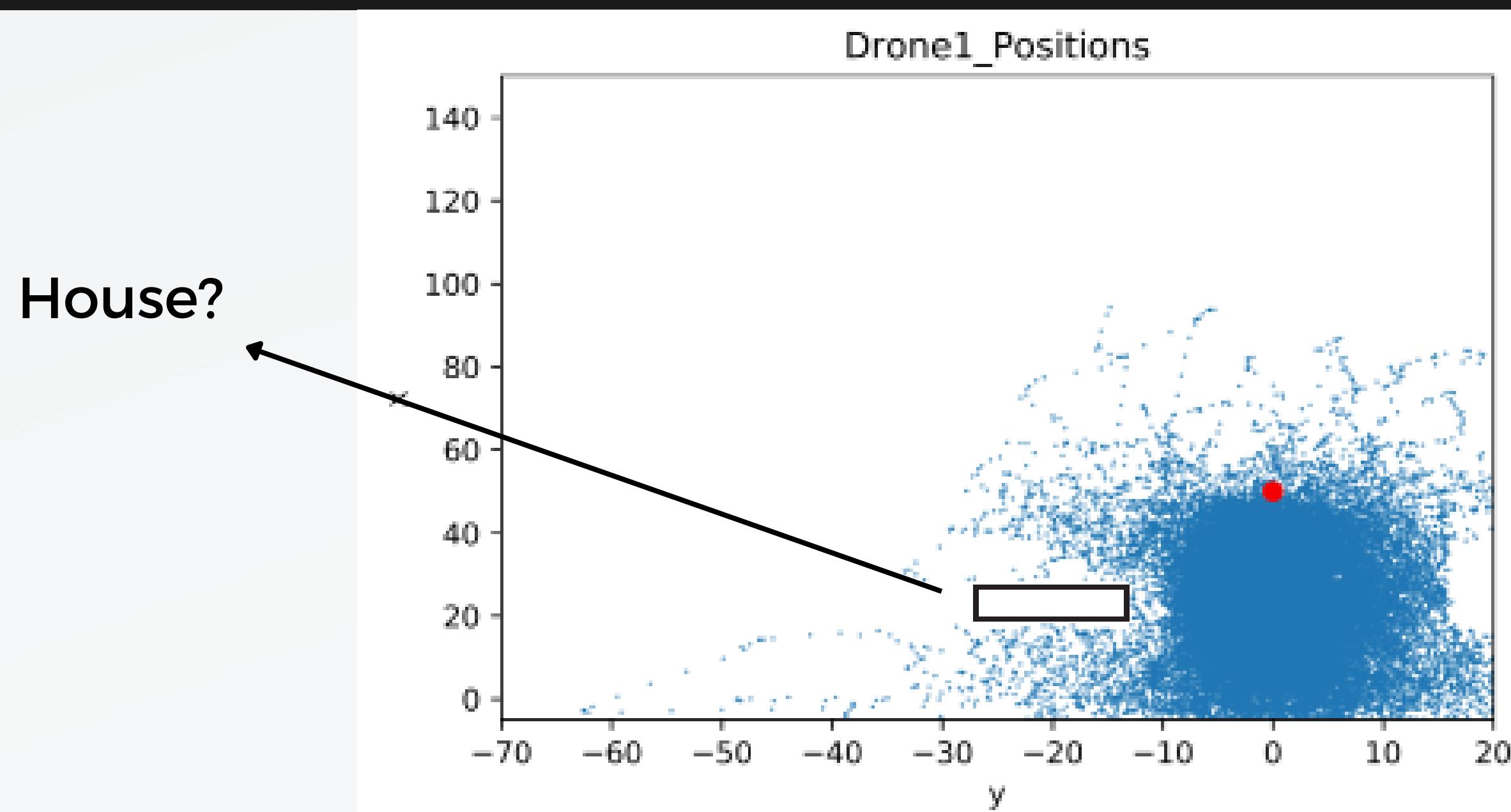
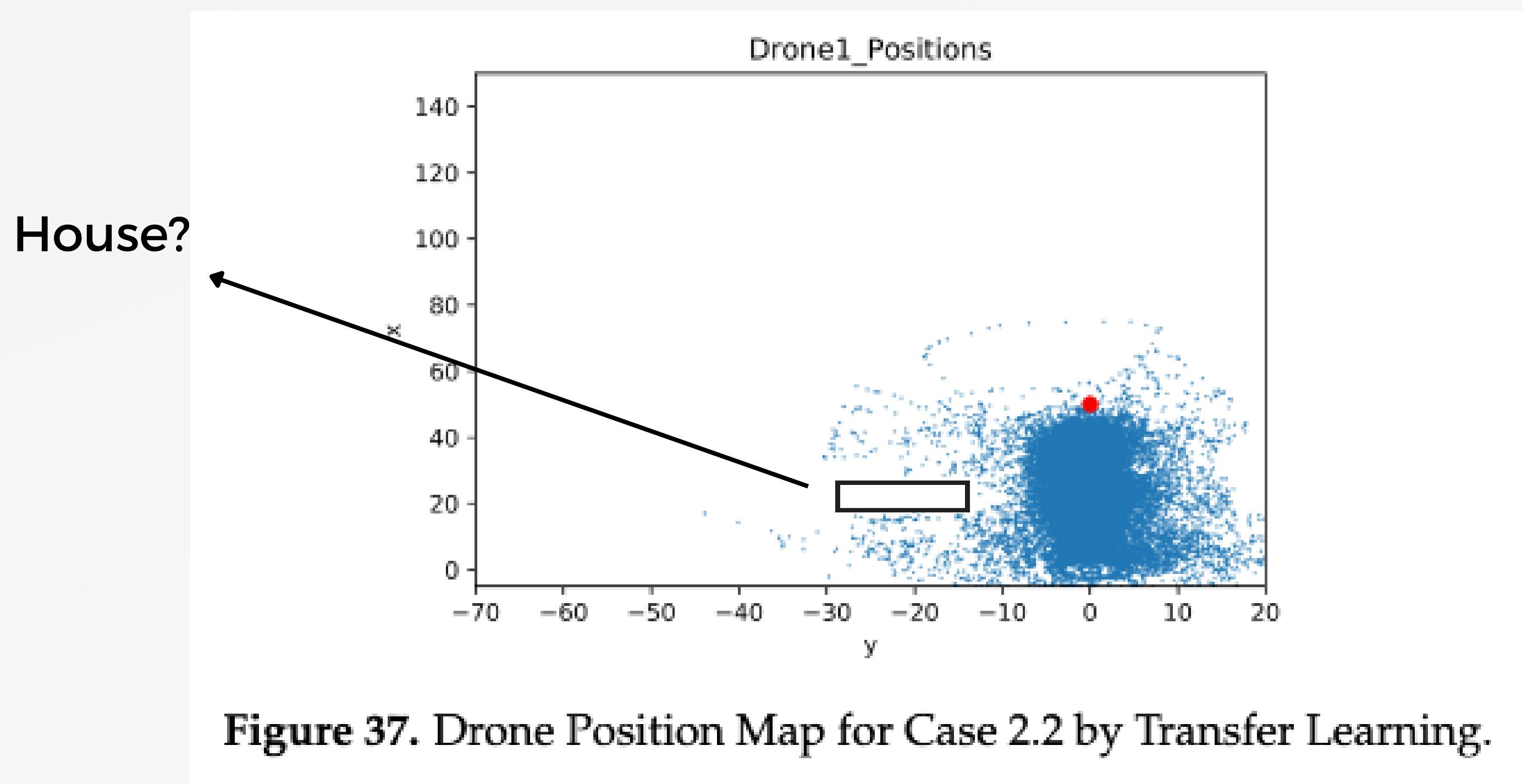


Figure 36. Drone Position Map for Case 2.1.

# DOES TL HELP?



# TEST RESULTS

# TL CZY PEŁNA NAUKA?

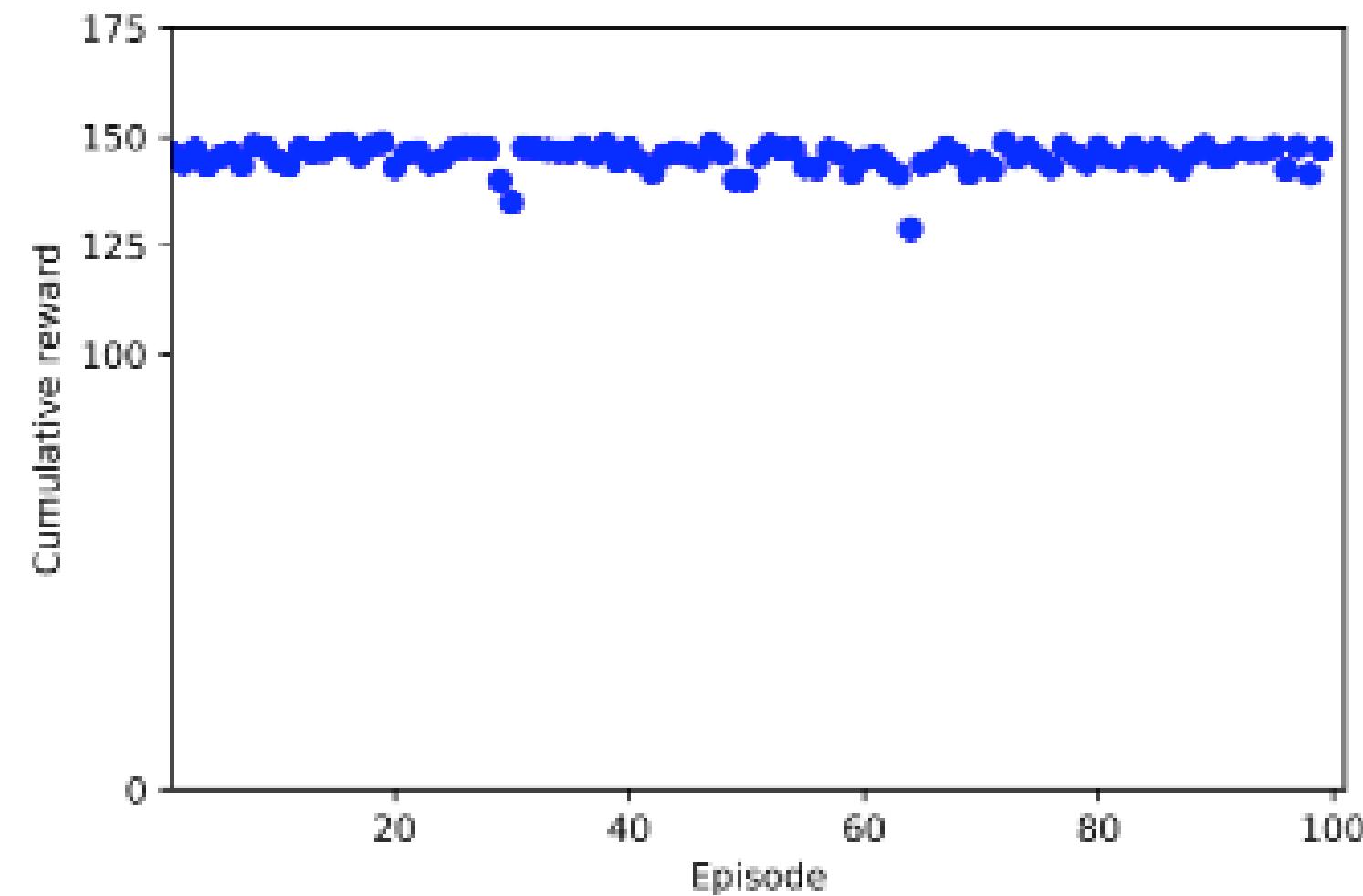


Figure 38. Test Result for Case 2.1 (Without TL).

Długość uczenia = 125K

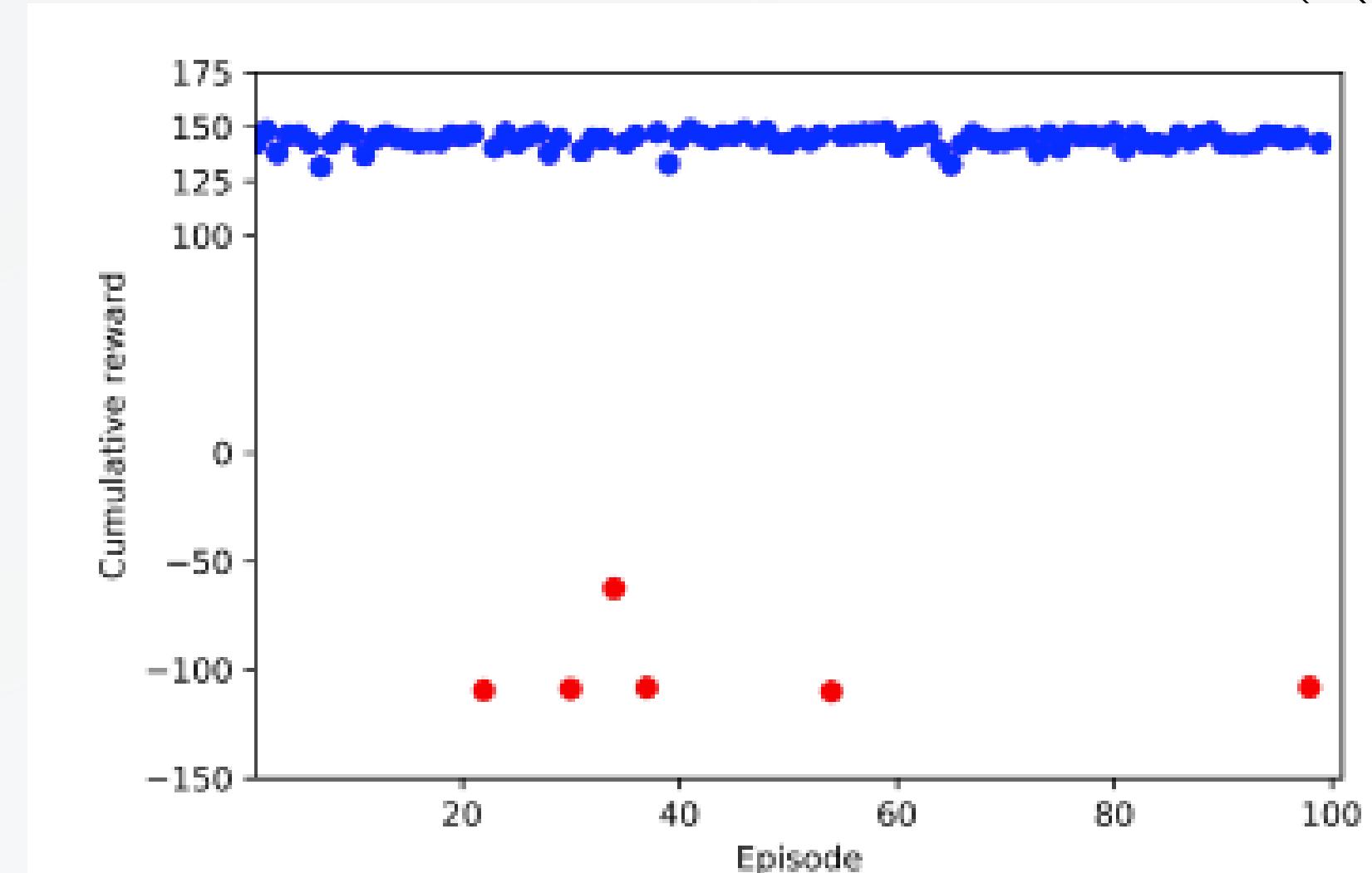


Figure 39. Test Result for Case 2.2 (With TL).

Długość uczenia = 50K





DZIĘKUJEMY  
ZA UWAGĘ



**IB&B Droneradars**

**[HTTPS://WWW.ROBINRADAR.COM/PRESS/BLOG/10-COUNTER-DRONE-TECHNOLOGIES-TO-DETECT-AND-STOP-DRONES-TODAY](https://www.robinradar.com/press/blog/10-counter-drone-technologies-to-detect-and-stop-drones-today)**