

# Využití umělé inteligence v astronomii

Tomáš Plšek

# High Energy Astrophysics group

---

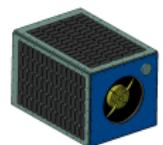


# High Energy Astrophysics group

---

[www.hea.physics.muni.cz](http://www.hea.physics.muni.cz)

- Přírodovědecká Fakulta, MUNI
  - budova 8, Kotlářská 2, Brno
- vedoucí skupiny: prof. Norbert Werner
- výzkum horkého vesmíru:
  - AGN, radiové galaxie
  - chemické složení galaxií a kup
  - detekce GRB pomocí nanosatelitů
  - český UV teleskop (QUVIK)



# Obsah

---

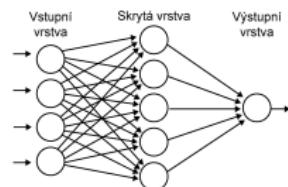
- Umělá inteligence
- Neuronová síť
- Využití umělé inteligence
- Umělá inteligence v astronomii
- Cavity Detection Tool (CADET)



# Obsah

---

- Umělá inteligence
- **Neuronová síť**
- Využití umělé inteligence
- Umělá inteligence v astronomii
- Cavity Detection Tool (CADET)



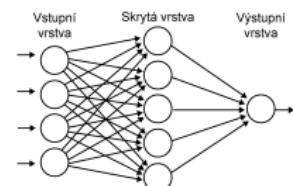
# Obsah

---

- Umělá inteligence



- Neuronová síť



- Využití umělé inteligence



- Umělá inteligence v astronomii

- Cavity Detection Tool (CADET)

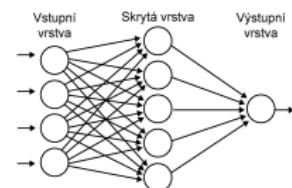
# Obsah

---

- Umělá inteligence



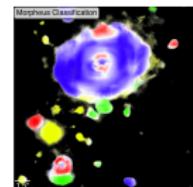
- Neuronová síť



- Využití umělé inteligence



- **Umělá inteligence v astronomii**



- Cavity Detection Tool (CADET)

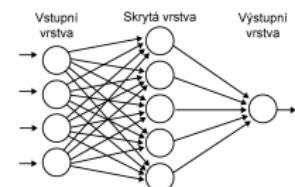
# Obsah

---

- Umělá inteligence



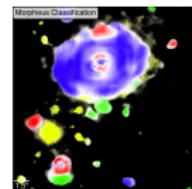
- Neuronová síť



- Využití umělé inteligence



- Umělá inteligence v astronomii



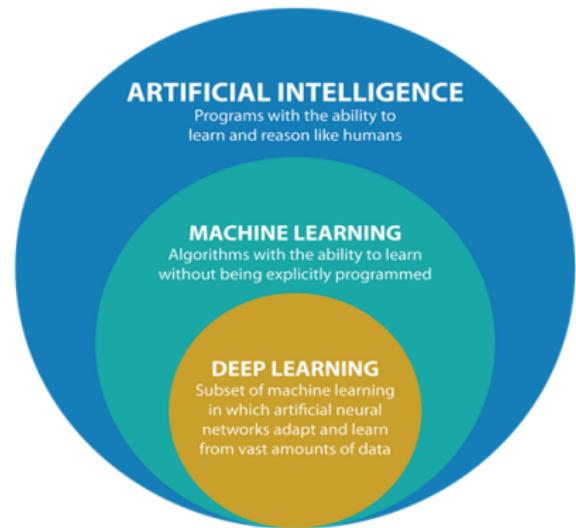
- Cavity Detection Tool (CADET)



# Co je to AI?

---

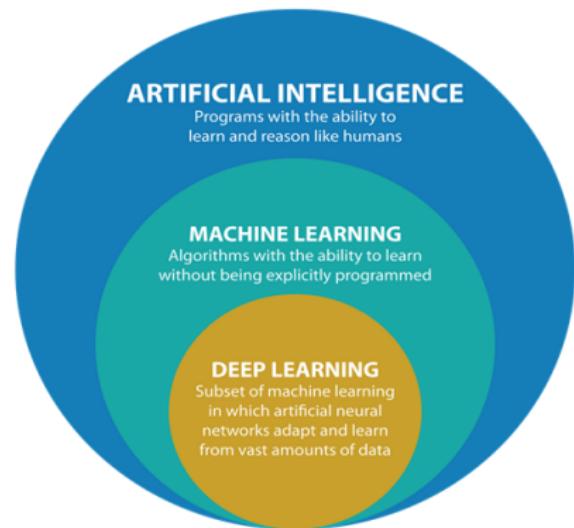
- AI = *artificial intelligence*
  - umělá inteligence



# Co je to AI?

---

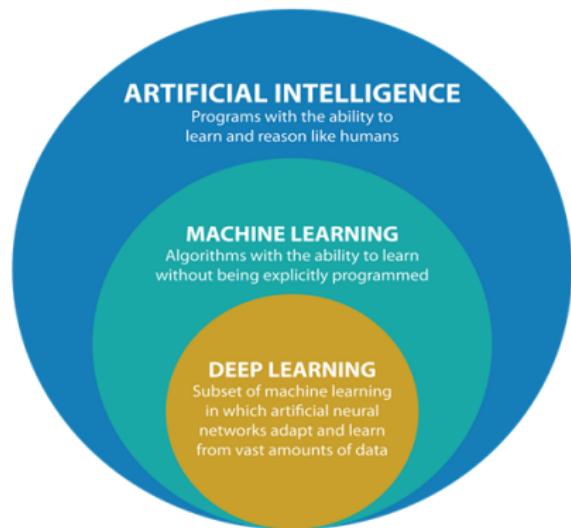
- AI = *artificial intelligence*
  - umělá inteligence
- ML = *machine learning*
  - strojové učení
- DL = *deep learning*
  - hluboké učení



# Co je to AI?

---

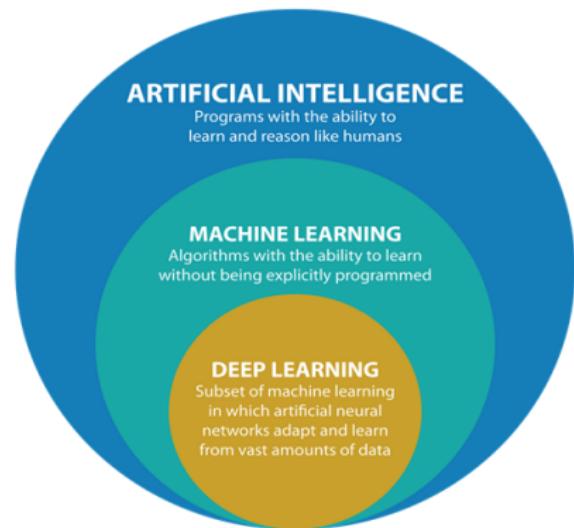
- AI = *artificial intelligence*
  - umělá inteligence
- ML = *machine learning*
  - strojové učení
- DL = *deep learning*
  - hluboké učení
- (D)NN = *(deep) neural network*
  - (hluboká) neuronová síť



# Co je to AI?

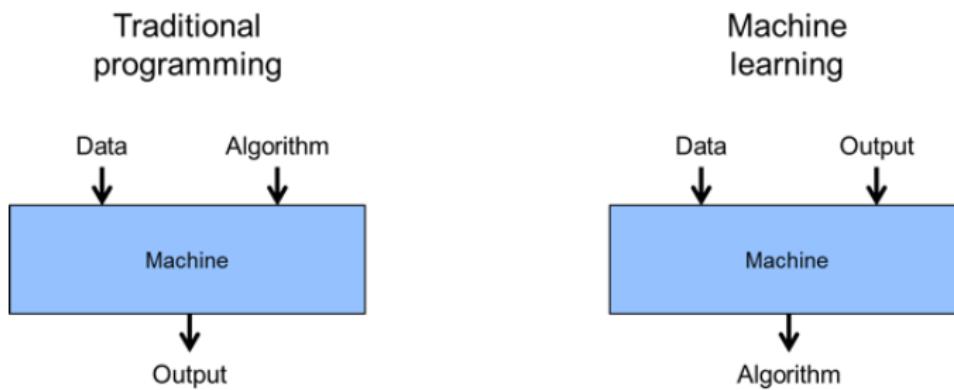
---

- AI = *artificial intelligence*
  - umělá inteligence
- ML = *machine learning*
  - strojové učení
- DL = *deep learning*
  - hluboké učení
- (D)NN = *(deep) neural network*
  - (hluboká) neuronová síť
- AGI = *artificial general intelligence*
  - všeobecná umělá inteligence



# Strojové učení

Strojové učení je soubor algoritmů s nastavitelnými parametry, které se pomocí trénovacích dat dokáží naučit zobecňovat a předpovídat pro dříve neviděné data.



# Historický vývoj

1952 - program hrající dámku (Arthur Samuel)

1957 - **perceptron** (Frank Rosenblatt)

1967 - algoritmus N-nejbližších sousedů

...

1997 - Deep Blue (IBM) poráží G. Kasparova

2012 - neuronová síť na rozpoznávání koček a psů (Google Brain)

2014 - systém na rozpoznávání obličejů (Facebook)

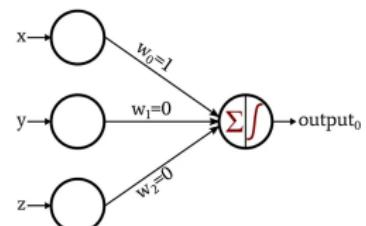
2016 - AlphaGo (Deepmind) poráží Lee Sedola

2018 - predikce struktury proteinů (AlphaFold)

2021 - velké jazykové modely (**ChatGPT**)

...

2050? - všeobecná umělá inteligence (AGI)



# Proč až teď? - Hardware

---

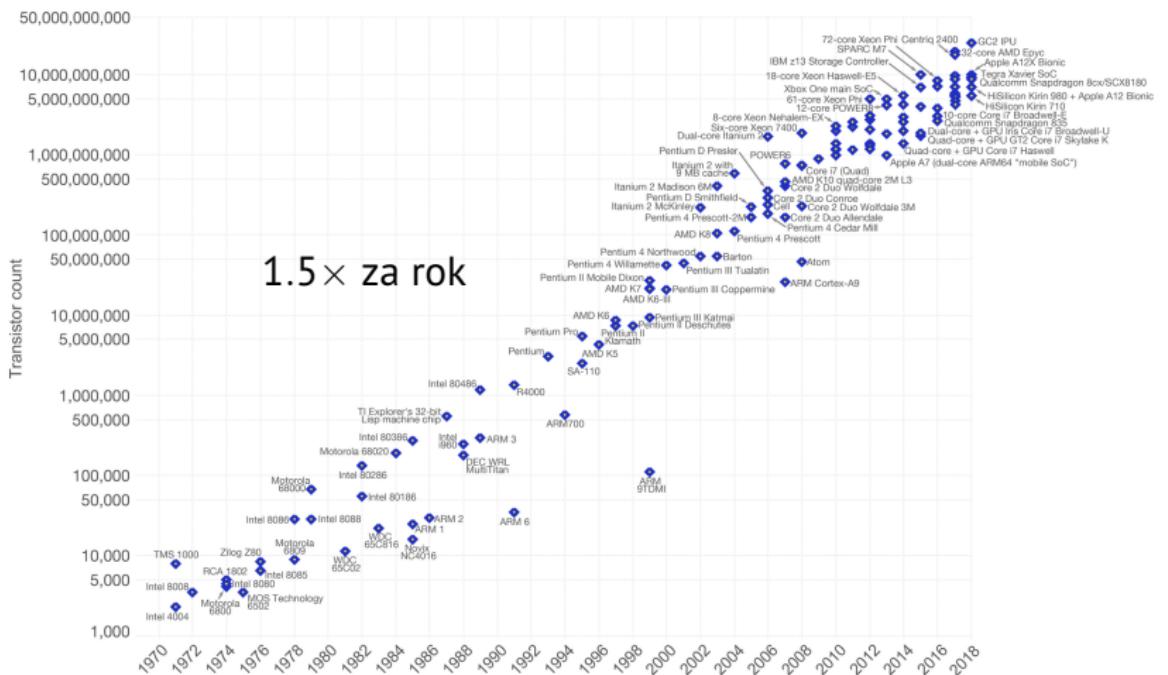
**2010s**

**1950s**



# Proč až teď? - Hardware

## Počet tranzistorů na jednom čipu - Moorův zákon

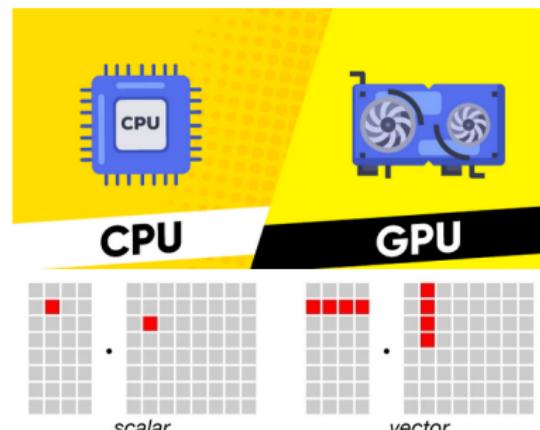


# Proč až teď? - Hardware

---

## CPU

- = central processing unit
- procesor
- skalární operace
- rychlé výpočty (GHz)



# Proč až teď? - Hardware

## CPU

= central processing unit

- procesor

- skalární operace

- rychlé výpočty (GHz)

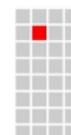
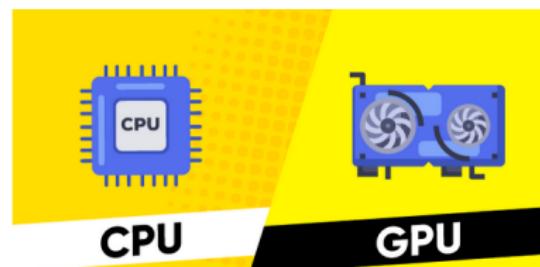
## GPU

= graphical processing unit

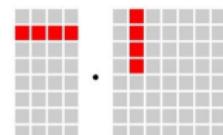
- grafická karta

- vektorové operace

- pomaleji tisíce výpočtů



scalar



vector

# Proč až teď? - Hardware

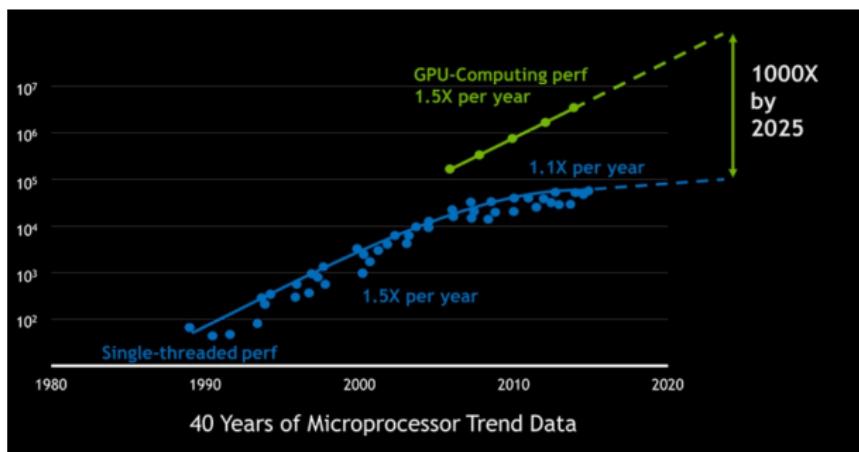
---

## CPU

- = central processing unit
- procesor
- skalární operace
- rychlé výpočty (GHz)

## GPU

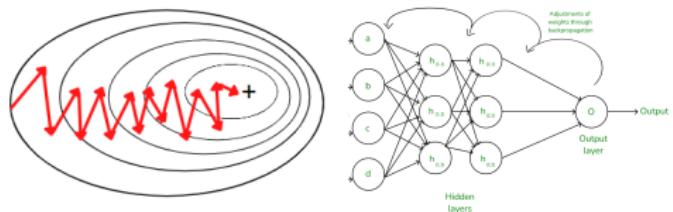
- = graphical processing unit
- grafická karta
- vektorové operace
- pomaleji tisíce výpočtů



# Proč až teď? - Software

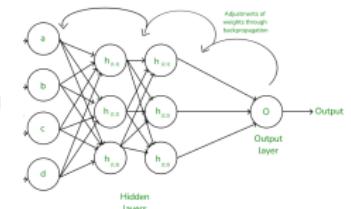
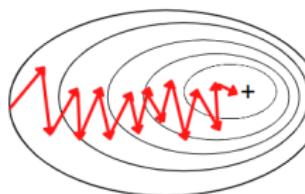
---

- vývoj algoritmů strojového učení
  - stochastické hledání minima
  - zpětná propagace
- ⇒ hluboké neuronové sítě



# Proč až teď? - Software

- vývoj algoritmů strojového učení
  - stochastické hledání minima
  - zpětná propagace⇒ hluboké neuronové sítě
- optimalizace GPU knihoven
  - CUDA (**NVIDIA**)
  - řádové zrychlení výpočtů



**cuBLAS**  
GPU-accelerated basic linear algebra (BLAS) library



**cuFFT**  
GPU-accelerated library for Fast Fourier Transforms



**CUDA Math Library**  
GPU-accelerated standard mathematical function library

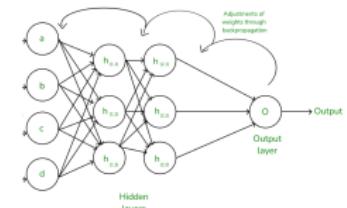
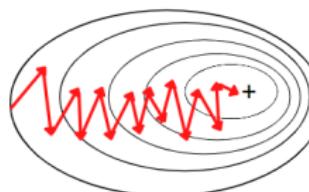


**cuRAND**  
GPU-accelerated random number generation [RNG]

# Proč až teď? - Software

- vývoj algoritmů strojového učení
  - stochastické hledání minima
  - zpětná propagace

⇒ hluboké neuronové sítě
- optimalizace GPU knihoven
  - CUDA (**NVIDIA**)
  - řádové zrychlení výpočtů



cuBLAS  
GPU-accelerated basic linear algebra (BLAS) library



cuFFT  
GPU-accelerated library for Fast Fourier Transforms



CUDA Math Library  
GPU-accelerated standard mathematical function library



cuRAND  
GPU-accelerated random number generation [RNG]

- velmi jednoduché použití
  - Keras (**Google**), Pytorch (**Meta**)
  - cloudrové služby (Google Colab)

```
1 from keras.models import Sequential
2 from keras.layers import Dense
3 from keras.optimizers import Adam
4
5 model = Sequential()
6 model.add(Dense(units=32, activation='relu', input_dim=2))
7 model.add(Dense(units=32, activation='relu', input_dim=2))
8 model.add(Dense(units=1))
9
10 model.compile(optimizer=Adam(lr=0.001), loss='mean_squared_error')
11
12 model.fit(X_train, y_train, epochs=100, batch_size=4)
```

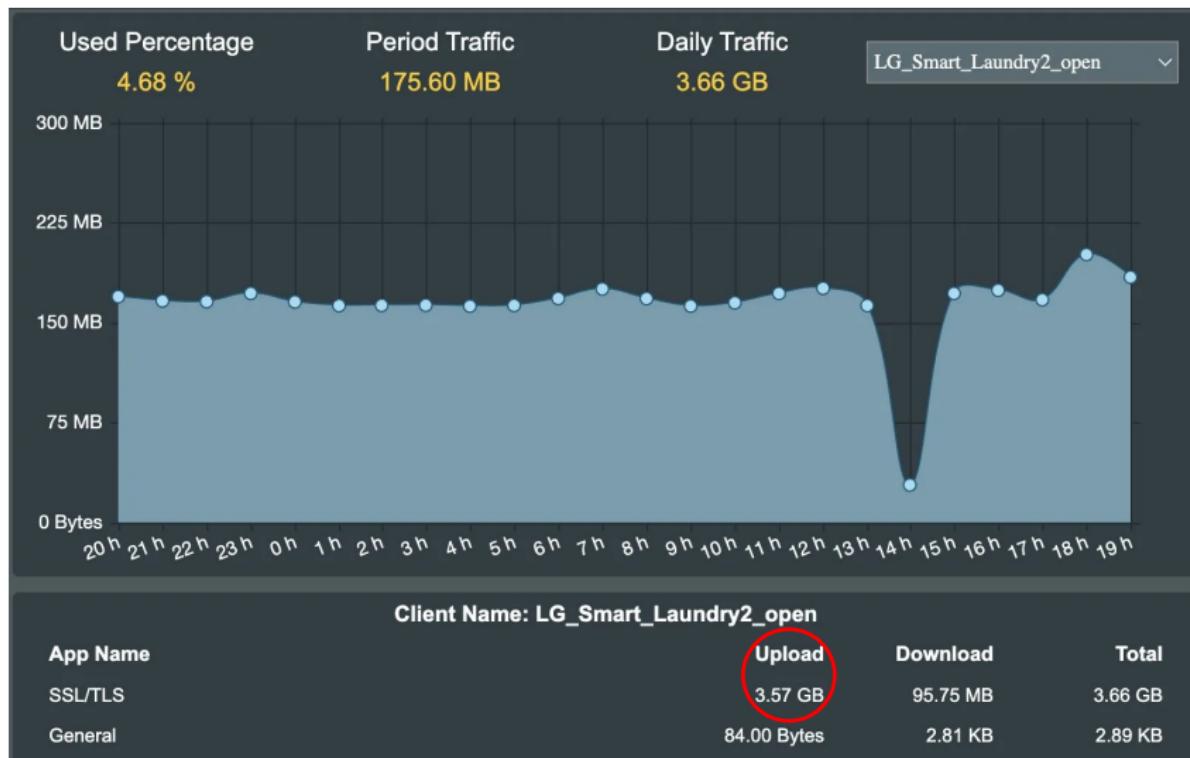
# Proč až teď? - Data

---

- záznamová zařízení
  - fotoaparáty, mobilní telefony
  - bezpečnostní/palubní kamery
- chytrá zařízení
  - IoT = *internet of things*
  - hodinky, pračky, domácnost..



# Proč až teď? - Data



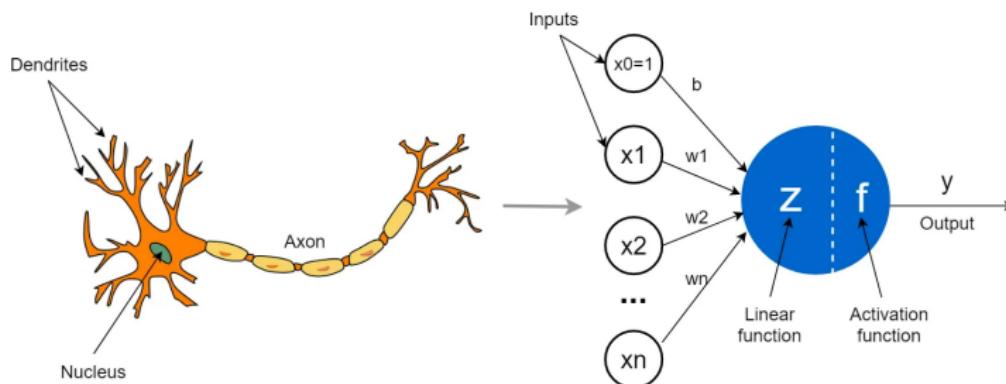
# Proč až teď? - Data

- záznamová zařízení
  - fotoaparáty, mobilní telefony
  - bezpečnostní/palubní kamery
- chytré zařízení
  - IoT = *internet of things*
  - hodinky, pračky, domácnost..
- internet & digitalizace
  - veřejné databáze (Common Crawl)
  - sociální sítě (Facebook, Instagram)
  - clouдовé služby (Google, GitHub)



# Neuron

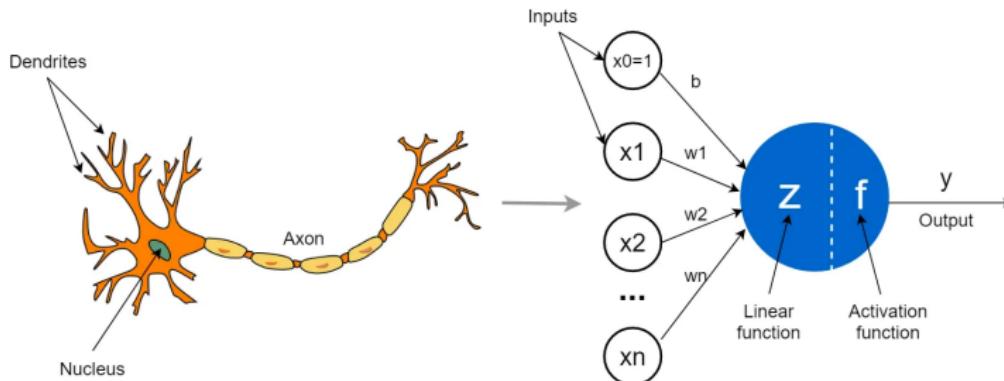
- umělý neuron = základní stavební jednotka
  - každý neuron má vstup  $x_i$
  - každé spojení má váhu  $w_i$
  - každý neuron má tzv. bias  $b$



# Neuron

- umělý neuron = základní stavební jednotka
  - každý neuron má vstup  $x_i$
  - každé spojení má váhu  $w_i$
  - každý neuron má tzv. bias  $b$
  - aktivační funkce  $f$  (sigmoid, ReLU)

$$y = f \left( \sum_i w_i x_i + b \right)$$

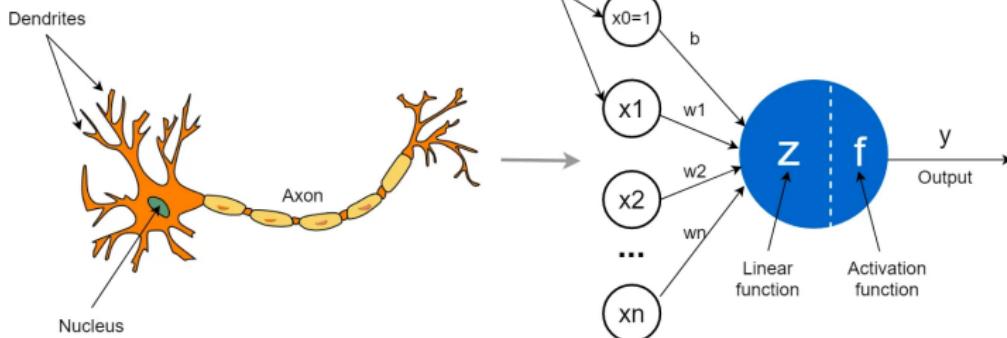
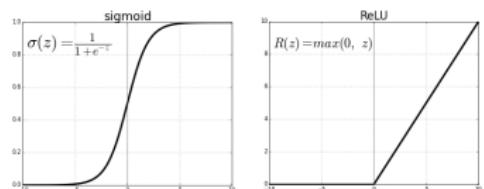


# Neuron

---

- umělý neuron = základní stavební jednotka
  - každý neuron má vstup  $x_i$
  - každé spojení má váhu  $w_i$
  - každý neuron má tzv. bias  $b$
  - aktivační funkce  $f$  (sigmoid, ReLU)

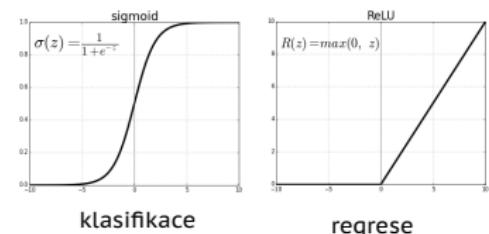
$$y = f \left( \sum_i w_i x_i + b \right)$$



# Neuron

- umělý neuron = základní stavební jednotka
  - každý neuron má vstup  $x_i$
  - každé spojení má váhu  $w_i$
  - každý neuron má tzv. bias  $b$
  - aktivační funkce  $f$  (sigmoid, ReLU)
- neurony se spojují do vrstev
  - vstupní (data) a výstupní vrstva (klasifikace/regrese)

$$y = f(\underbrace{\sum_i w_i x_i}_z + b)$$



# Neuron

---

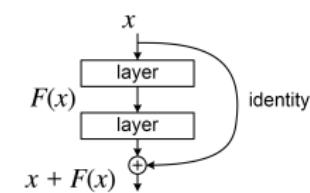
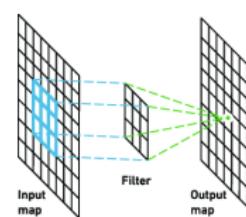
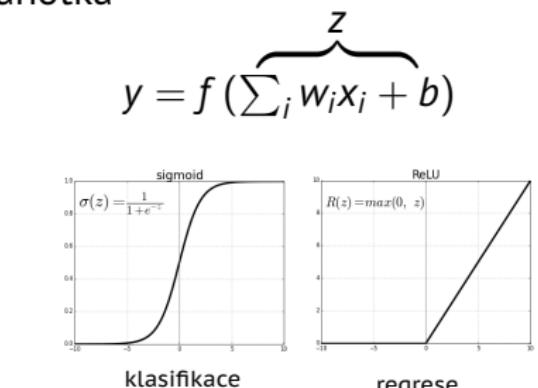
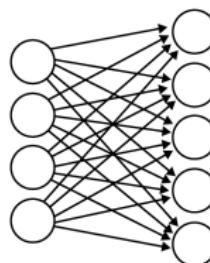
- umělý neuron = základní stavební jednotka

- každý neuron má vstup  $x_i$
- každé spojení má váhu  $w_i$
- každý neuron má tzv. bias  $b$
- aktivační funkce  $f$  (sigmoid, ReLU)

- neurony se spojují do vrstev

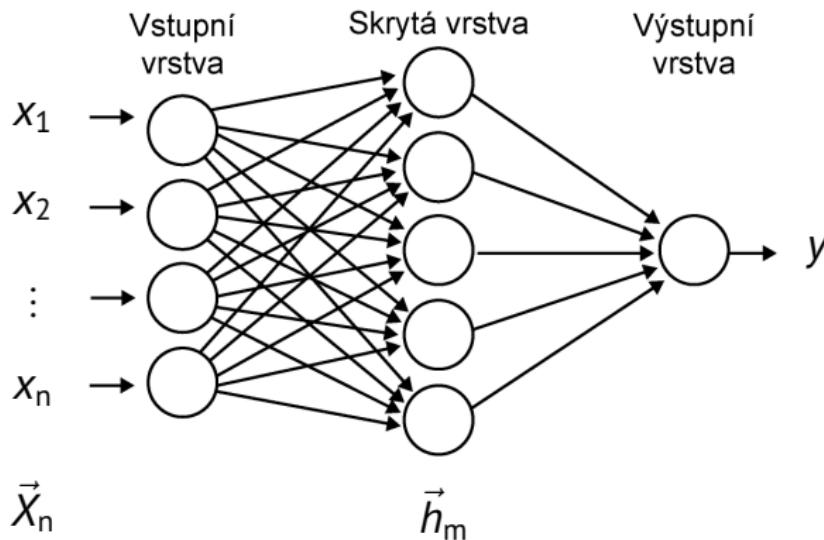
- vstupní (data) a výstupní vrstva (klasifikace/regrese)
- skryté vrstvy

- husté vrstvy
- konvoluční
- reziduální



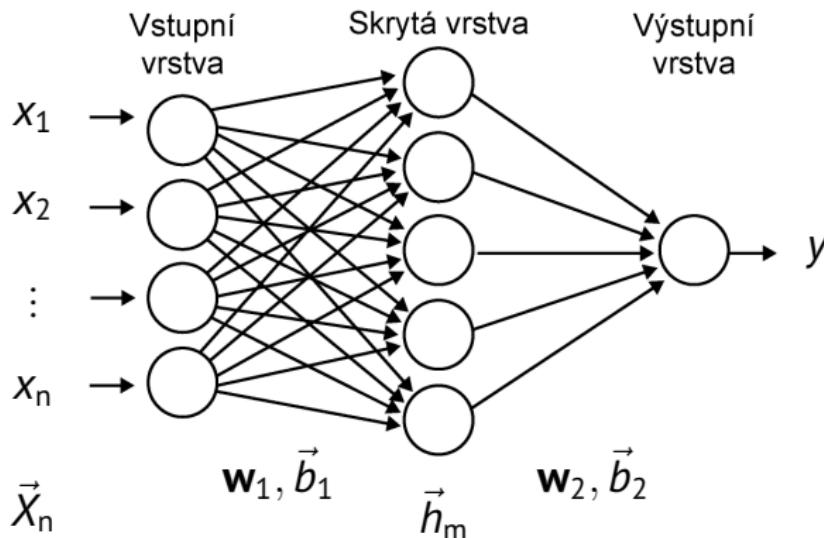
# Neuronová síť

---

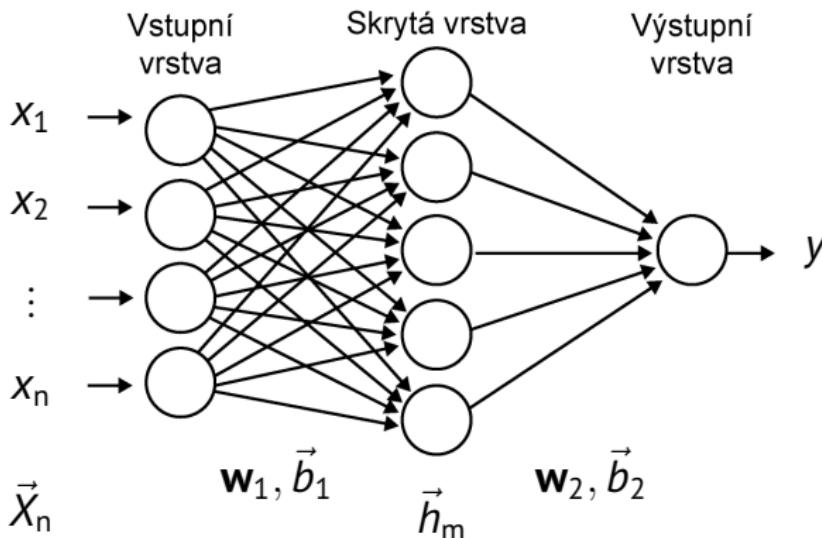


# Neuronová síť

---

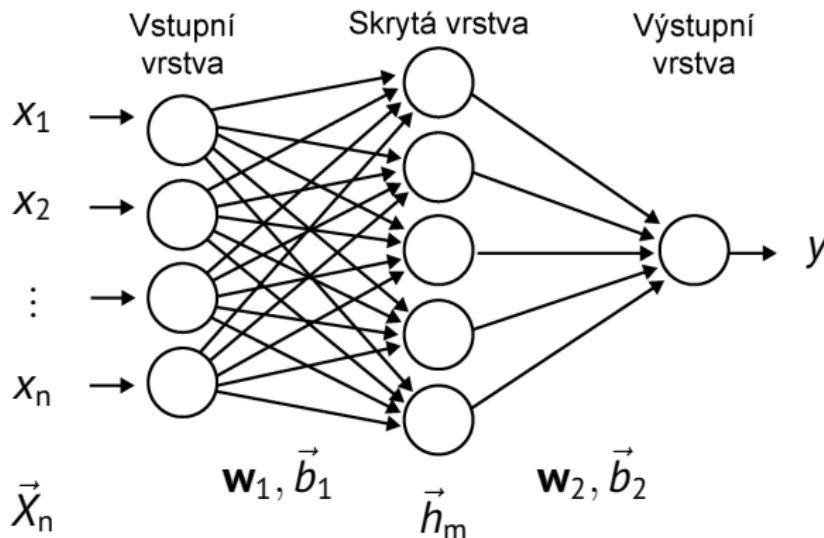


# Neuronová síť



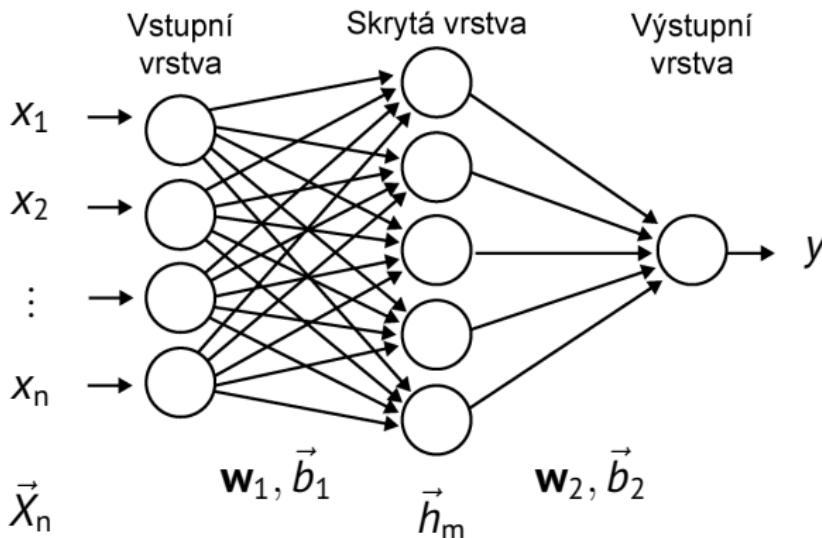
$$\mathbf{w}_1 = \begin{pmatrix} w_{11} & \cdots & w_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{m1} & \cdots & w_{mn} \end{pmatrix} \quad \vec{b}_1 = \begin{pmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_m \end{pmatrix}$$

# Neuronová síť



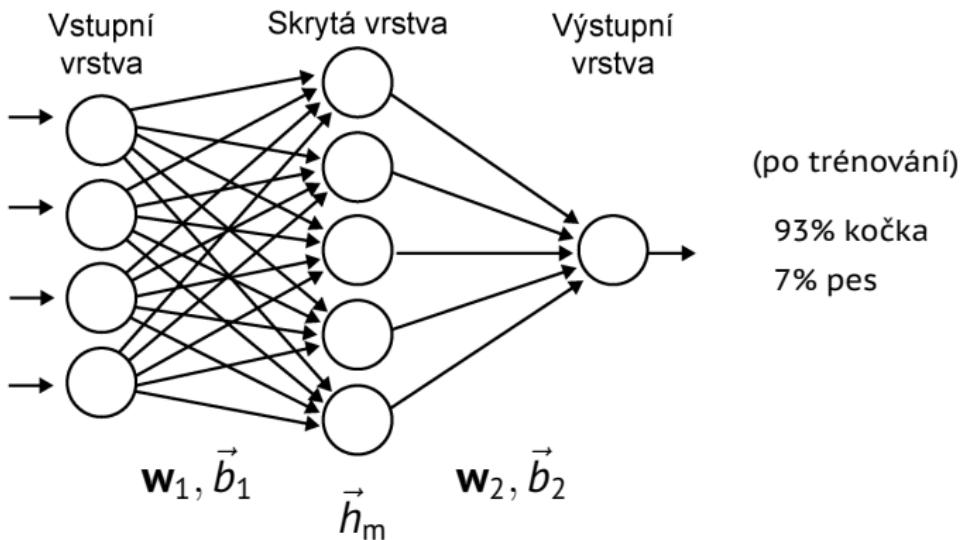
$$\vec{h} = f_1 \left( \mathbf{w}_1 \vec{X} + \vec{b}_1 \right)$$

# Neuronová síť



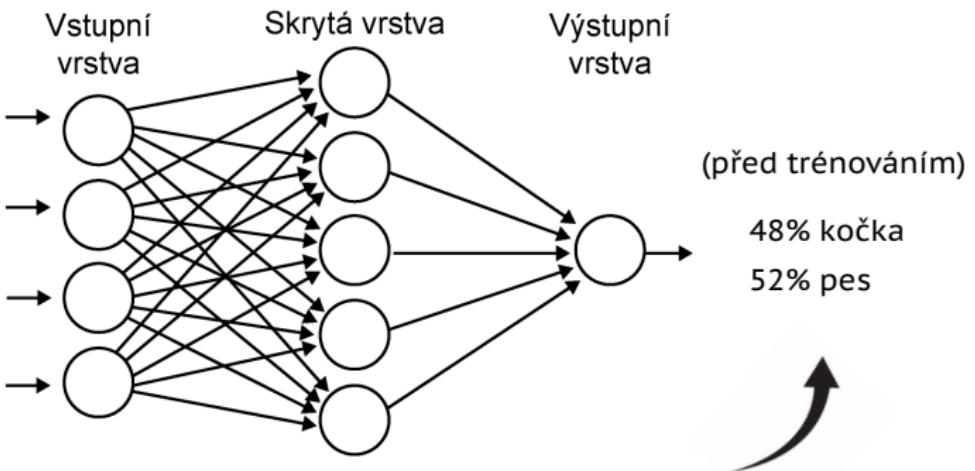
$$\vec{h} = f_1 \left( \mathbf{w}_1 \vec{X} + \vec{b}_1 \right) \quad y = f_2 \left( \mathbf{w}_2 \vec{h} + \vec{b}_2 \right)$$

# Neuronová síť



$$\vec{h} = f_1 \left( \mathbf{w}_1 \vec{X} + \vec{b}_1 \right) \quad y = f_2 \left( \mathbf{w}_2 \vec{h} + \vec{b}_2 \right)$$

# Neuronová síť



náhodné



$$\vec{h} = f_1 \left( \mathbf{w}_1 \vec{X} + \vec{b}_1 \right)$$

náhodné



$$y = f_2 \left( \mathbf{w}_2 \vec{h} + \vec{b}_2 \right)$$

# Trénování

---

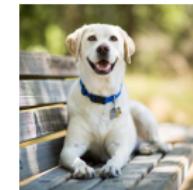
- *supervised learning* = "učení s učitelem"
  - pro každé  $\vec{X}$  máme odpovídající  $y$
  - velké množství snímků ( $\gtrsim 10^4$ )

# Trénování

---

- *supervised learning* = "učení s učitelem"
  - pro každé  $\vec{X}$  máme odpovídající y
  - velké množství snímků ( $\gtrsim 10^4$ )

pes (0)



kočka (1)



# Trénování

---

- *supervised learning* = "učení s učitelem"
  - pro každé  $\vec{X}$  máme odpovídající y
  - velké množství snímků ( $\gtrsim 10^4$ )
- cílem je najít zobrazení  $F(\vec{X}) = y$

pes (0)



kočka (1)



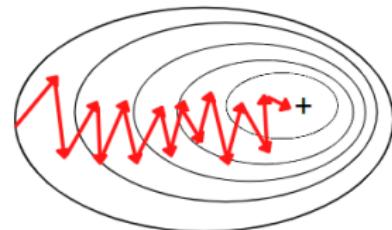
# Trénování

- *supervised learning* = "učení s učitelem"
  - pro každé  $\vec{X}$  máme odpovídající  $y$
  - velké množství snímků ( $\gtrsim 10^4$ )
- cílem je najít zobrazení  $F(\vec{X}) = y$
- *loss function* - funkce penalizující špatné predikce
  - regrese - root mean square error (RMSE)
  - klasifikace - binary crossentropy
- stochastické hledání minima (SGD)
  - postupujeme po krocích (batchích)
- *backpropagation* = zpětná propagace
  - aktualizujeme váhy  $w$  a biasy  $b$

pes (0)

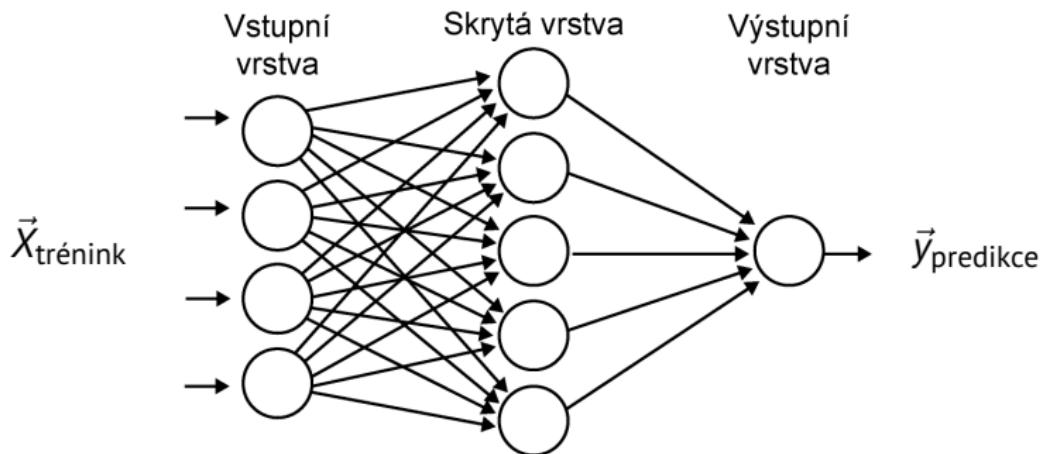


kočka (1)



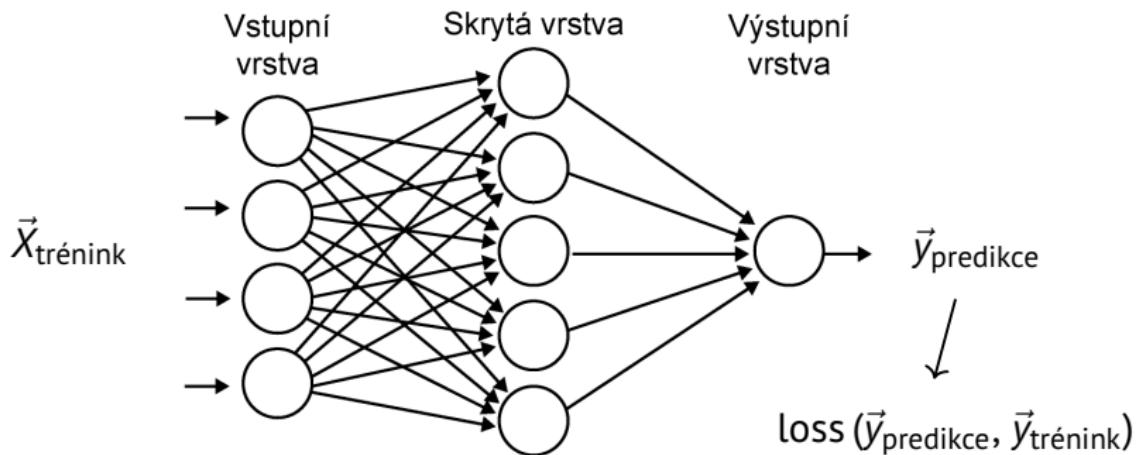
# Trénování

---

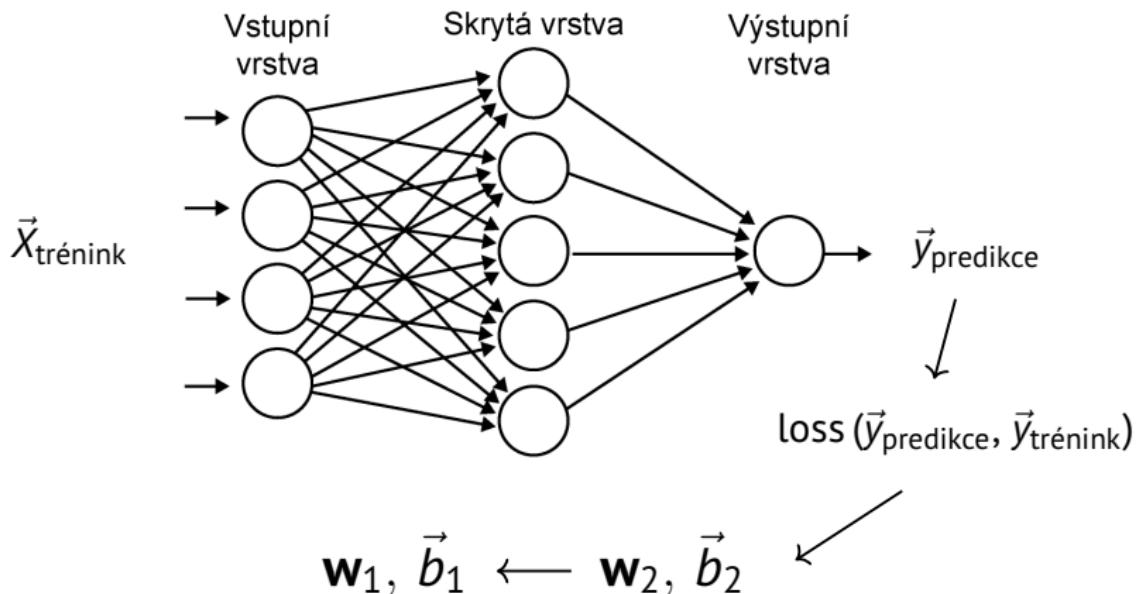


# Trénování

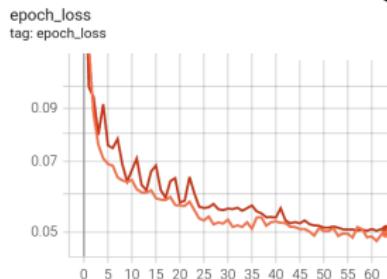
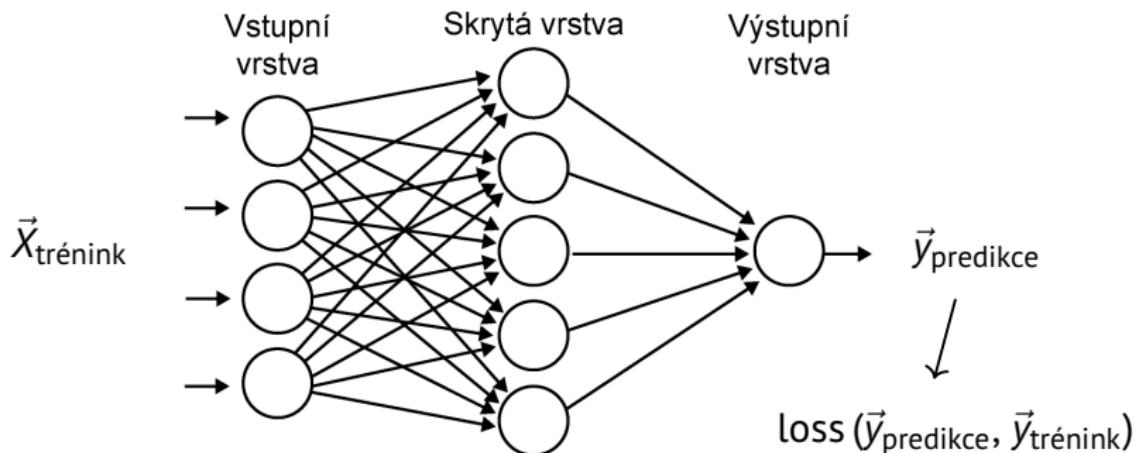
---



# Trénování



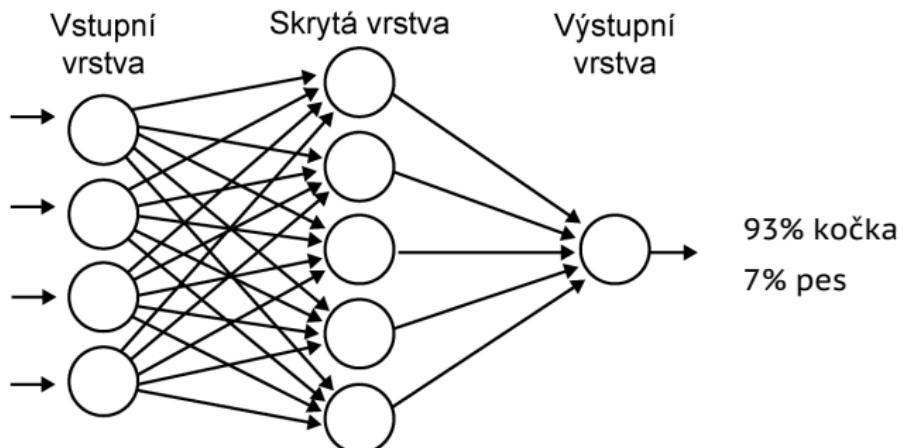
# Trénování



$$\mathbf{w}_1, \vec{b}_1 \leftarrow \mathbf{w}_2, \vec{b}_2$$

# Použití

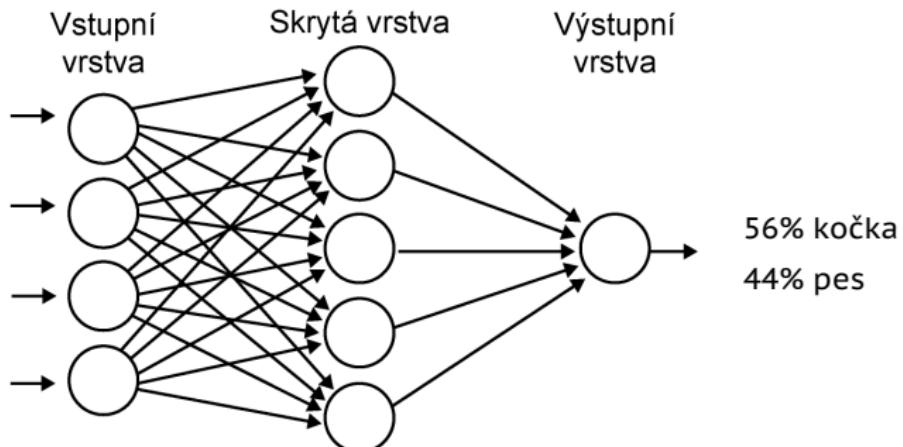
- omezené použití - klasifikátor psů a koček zná jen kočky a psy
- jen určitý typ vstupu (snímek  $128 \times 128 \times 3$ ) a výstupu (0 – 1)



# Použití

---

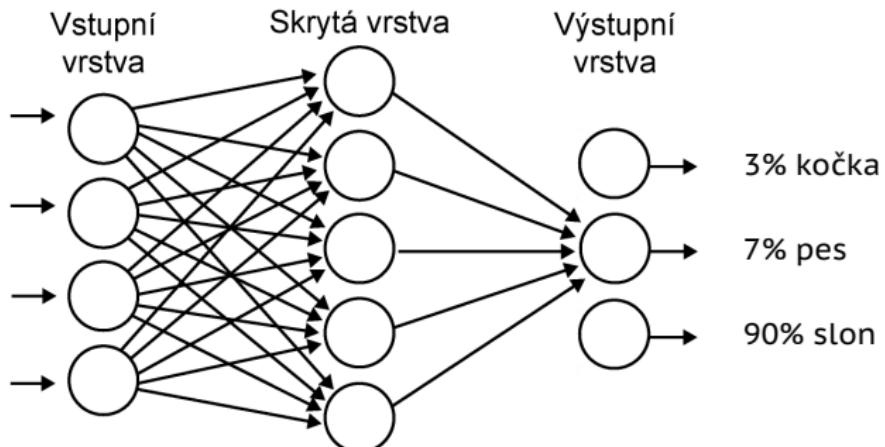
- omezené použití - klasifikátor psů a koček zná jen kočky a psy
- jen určitý typ vstupu (snímek  $128 \times 128 \times 3$ ) a výstupu (0 – 1)



# Použití

---

- omezené použití - klasifikátor psů a koček zná jen kočky a psy
- jen určitý typ vstupu (snímek  $128 \times 128 \times 3$ ) a výstupu (0 – 1)
- pro použití na slony je potřeba přidat výstupní neurony a přetrénovat



# Co je a co není AI?

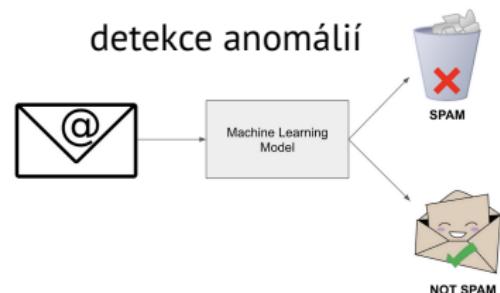
---

## spam filtr

klíčová slova

„výhra“  
„zdarma“  
„Nigerijský princ“

detekce anomálií



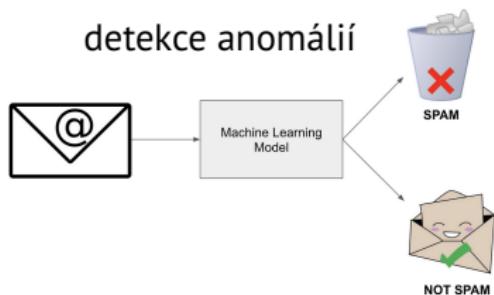
# Co je a co není AI?

## spam filtr

klíčová slova

„výhra“  
„zdarma“  
„Nigerijský princ“

detekce anomálií



## automatické otevírání dveří

fotobuňka



rozpoznání obličejů



# Analýza zvuku & obrazu

---

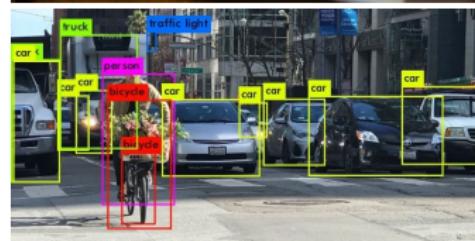
- rozpoznání řeči
  - domácí asistenti
  - hlasové ovládání
  - převod řeči na text



# Analýza zvuku & obrazu

---

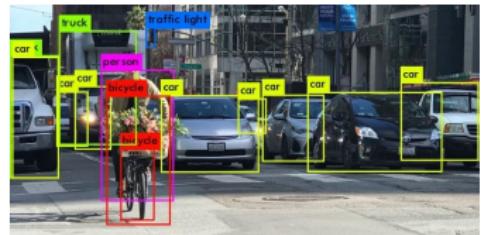
- rozpoznání řeči
  - domácí asistenti
  - hlasové ovládání
  - převod řeči na text
- rozpoznávání objektů, obličejů
  - zdravotnictví
  - bezpečnostní systémy



# Analýza zvuku & obrazu

---

- rozpoznání řeči
  - domácí asistenti
  - hlasové ovládání
  - převod řeči na text
- rozpoznávání objektů, obličejů
  - zdravotnictví
  - bezpečnostní systémy
- obrazová segmentace
  - automatizace v průmyslu
  - např. hledání defektů



# Generování obsahu

---

- generování obrázků
  - Dall-E (OpenAI)
  - Midjourney
- deepfake videa (Vít Rakušan)
- překlad videí (Donald Trump)
- velké jazykové modely
  - ChatGPT (OpenAI)
  - Gemini (Google)
  - Claude (Anthropic AI)
  - Copilot (generování kódu)

„Astronaut na Měsíci jedoucí na koni.“



# Komplexní systémy

---

- rozšířená realita (Augmented Reality)
  - průmysl, architektura



# Komplexní systémy

---

- rozšířená realita (Augmented Reality)
  - průmysl, architektura
- samořídící auta
  - Tesla, Waymo



# Komplexní systémy

---

- rozšířená realita (Augmented Reality)

- průmysl, architektura



- samořídící auta

- Tesla, Waymo



- vrtulník Ingenuity na Marsu

- zpoždění až 20 minut

- automatické řízení

# Komplexní systémy

---

- rozšířená realita (Augmented Reality)

- průmysl, architektura



- samořídící auta

- Tesla, Waymo



- vrtulník Ingenuity na Marsu

- zpoždění až 20 minut

- automatické řízení



- ovládání robotů

- Boston Dynamics

# Proč používat AI v astronomii?

---

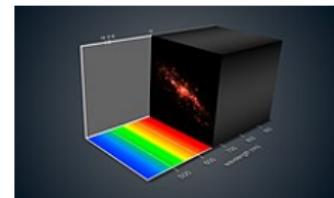
- množství & komplexnost data ("petabajty")
- automatizace & nahrazení lidských úkonů

$$1 \text{ PB} = 10^6 \text{ GB}$$

# Proč používat AI v astronomii?

---

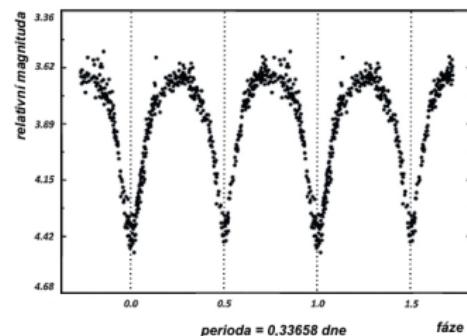
- množství & komplexnost data ("petabajty")
- automatizace & nahrazení lidských úkonů  $1 \text{ PB} = 10^6 \text{ GB}$
- data v astronomii
  - 1D (fotometrie, světelné křivky, spektra)
  - 2D (snímky mlhovin, galaxií..)
  - komplexní data (Muse, XRISM)
- typy problémů
  - klasifikace - proměnné/neproměnné, hvězda/kvazar
  - regrese - teplota hvězdy, hmotnost galaxie
  - komplexní - odšumění obrazu, segmentace obrazu



# Klasifikace: světelné křivky

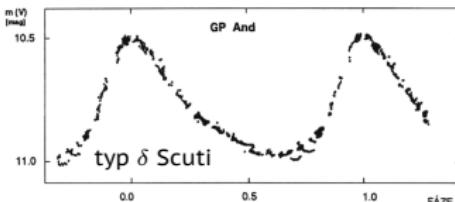
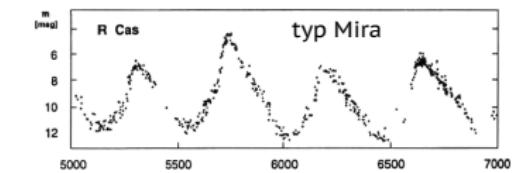
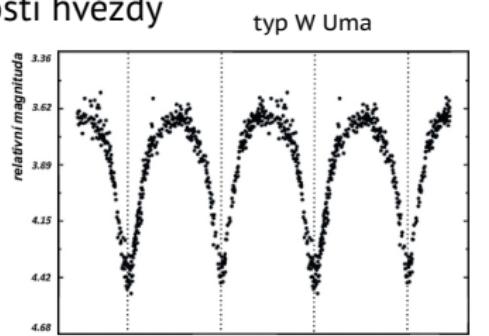
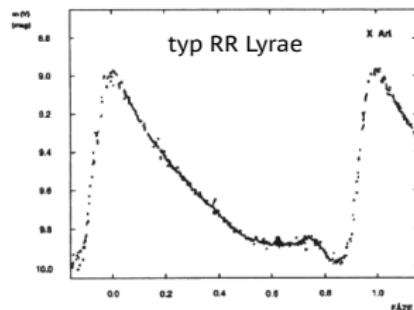
---

- světelná křivka = časová závislost jasnosti hvězdy



# Klasifikace: světelné křivky

- světelná křivka = časová závislost jasnosti hvězdy
- liší se pro různé typy proměnnosti
  - oddělené zákrytové dvojhvězdy
  - blízké zákrytové (W Uma)
  - rotující proměnné hvězdy
  - pulzující hvězdy (RR Lyrae,  $\delta$  Scuti)
  - dlouhoperiodické hvězdy (Mira)



# Klasifikace: světelné křivky II

- databáze OGLE a CRTS
  - celkem  $\approx 170\,000$  křivek
- 5 typů objektů
  - klasické cefeidy (CEPH)
  - hvězdy typu  $\delta$  Scuti (DSCT)
  - zákrytové dvojhvězdy (ECLP)
  - dlouhoperiodické hvězdy (LPV)
  - hvězdy typu RR Lyrae (RRL)

ORIGINAL RESEARCH article

Front. Astron. Space Sci., 08 November 2021

Sec. Astrostatistics

Volume 8 - 2021 | <https://doi.org/10.3389/fspas.2021.718139>

## Classification of Variable Stars Light Curves Using Long Short Term Memory Network



Saksham Bassi<sup>1\*</sup>



Kaushal Sharma<sup>2</sup>



Atharva Gomekar<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University, New York, NY, United States

<sup>2</sup> Aryabhatta Research Institute of Observational Sciences (ARIES), Nainital, India

<sup>3</sup> Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, United States

# Klasifikace: světelné křivky II

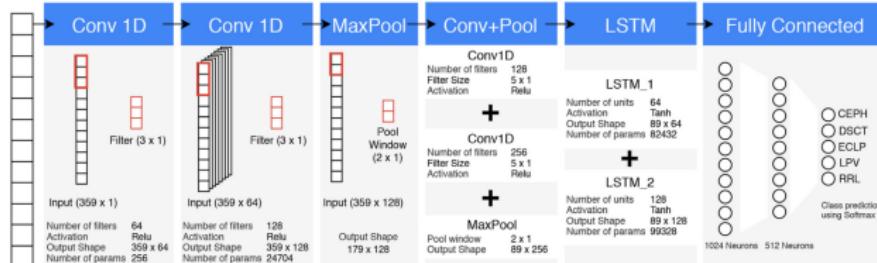
- databáze OGLE a CRTS
  - celkem  $\approx 170\,000$  křivek
- 5 typů objektů
  - klasické cefeidy (CEPH)
  - hvězdy typu  $\delta$  Scuti (DSCT)
  - zákrytové dvojhvězdy (ECLP)
  - dlouhoperiodické hvězdy (LPV)
  - hvězdy typu RR Lyrae (RRL)

ORIGINAL RESEARCH article  
 Front. Astron. Space Sci., 08 November 2021  
 Sec. Astrostatistics  
 Volume 8 - 2021 | https://doi.org/10.3389/fspas.2021.718139

**Classification of Variable Stars Light Curves Using Long Short Term Memory Network**

Saksham Bassi<sup>1\*</sup>, Kaushal Sharma<sup>2</sup>, Atharva Gomekar<sup>3</sup>

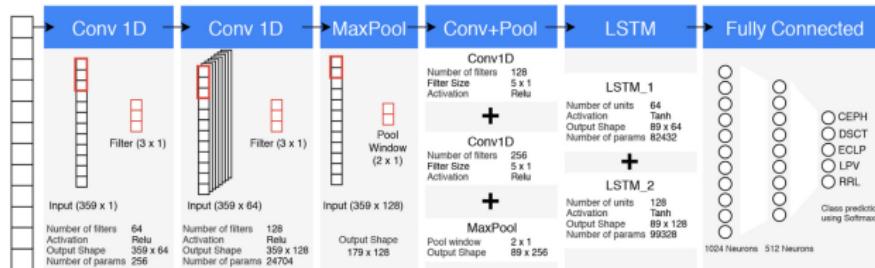
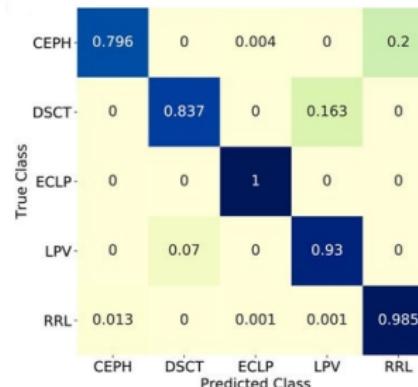
<sup>1</sup> Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University, New York, NY, United States  
<sup>2</sup> Aryabhata Research Institute of Observational Sciences (ARIES), Nainital, India  
<sup>3</sup> Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, United States



# Klasifikace: světelné křivky II

- databáze OGLE a CRTS
  - celkem  $\approx 170\,000$  křivek
- 5 typů objektů
  - klasické cefeidy (CEPH)
  - hvězdy typu  $\delta$  Scuti (DSCT)
  - zákrytové dvojhvězdy (ECLP)
  - dlouhoperiodické hvězdy (LPV)
  - hvězdy typu RR Lyrae (RRL)

úspěšnost  $\approx 91\%$



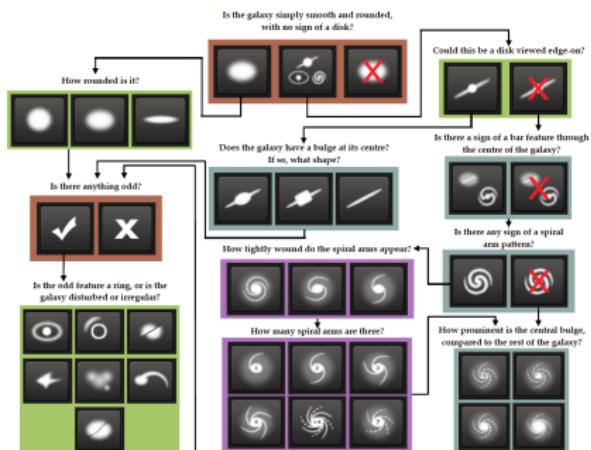
# Klasifikace: galaxie

---



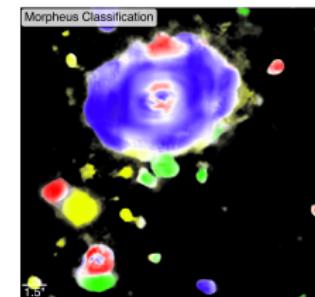
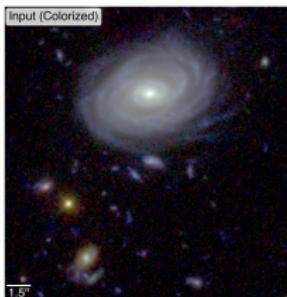
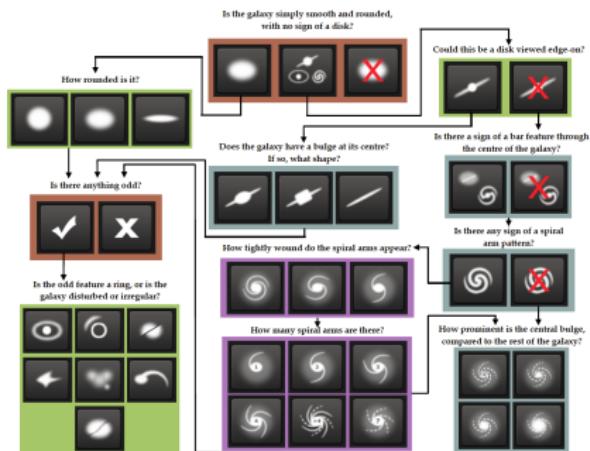
# Klasifikace: galaxie

- Galaxy Zoo (odkaz)
  - využívá občanskou vědu
  - cílem vytvořit trénovací data
  - klasifikace galaxií
    - spirální, eliptické, čočkové
    - prstence, mergery



# Klasifikace: galaxie

- Galaxy Zoo (odkaz)
  - využívá občanskou vědu
  - cílem vytvořit trénovací data
  - klasifikace galaxií
    - spirální, eliptické, čočkové
    - prstence, mergery
- Morpheus (odkaz)
  - obrazová segmentace
  - sférické (**červená**)
  - diskové (**modrá**)
  - nepravidelné (**zelená**)
  - kompaktní zdroje (**žlutá**)

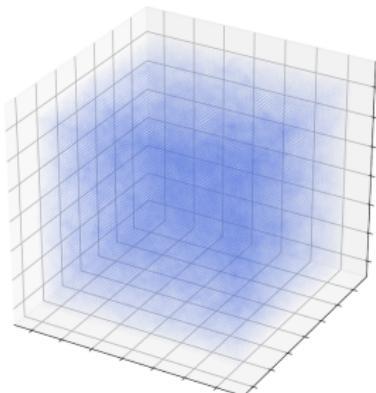


# Predikce kosmologických simulací

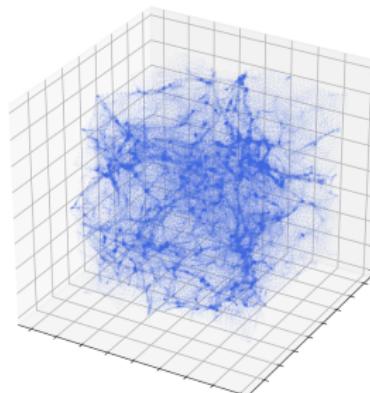
---

Kosmologické parametry:  $H_0$ ,  $\Omega_m$ ,  $\Omega_\Lambda$ ,  $\sigma_8$ ,  $A_s$

Initial conditions of the Universe



Large Scale Structures



počáteční podnímky ( $z \approx 100$ )

výsledek simulace ( $z = 0$ )

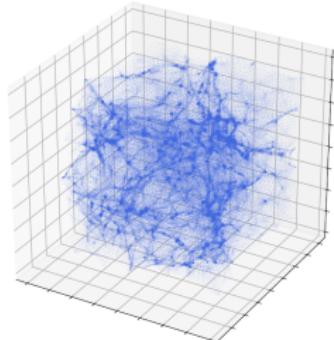
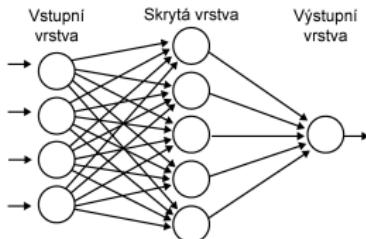
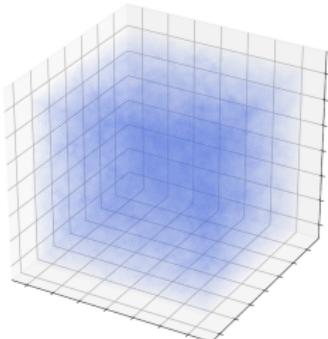
# Predikce kosmologických simulací

## Learning to Predict the Cosmological Structure Formation

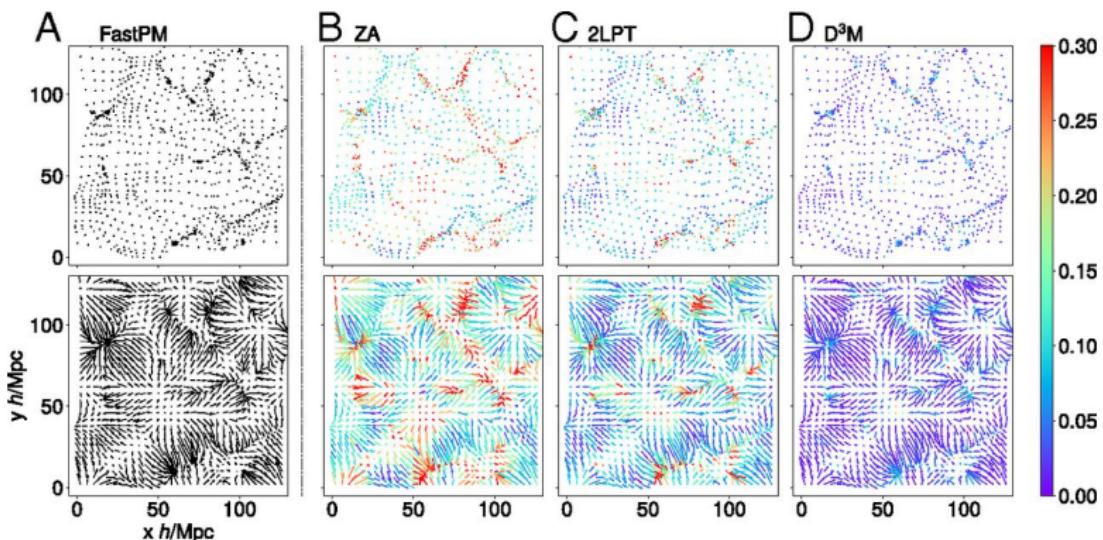
Siyu He<sup>a,b,c,1</sup>, Yin Li<sup>d,e,f</sup>, Yu Feng<sup>d,e</sup>, Shirley Ho<sup>c,e,d,a,b,1</sup>, Siyamak Ravankhosh<sup>g</sup>, Wei Chen<sup>c</sup>, and Barnabás Póczos<sup>h</sup>

<sup>a</sup>Physics Department, Carnegie Mellon University, Pittsburgh PA 15213; <sup>b</sup>McWilliams Center for Cosmology, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA 15213, USA; <sup>c</sup>Center for Computational Astrophysics, Flatiron Institute, New York, NY 10010; <sup>d</sup>Berkeley Center for Cosmological Physics, University of California, Berkeley, CA 94720, USA;

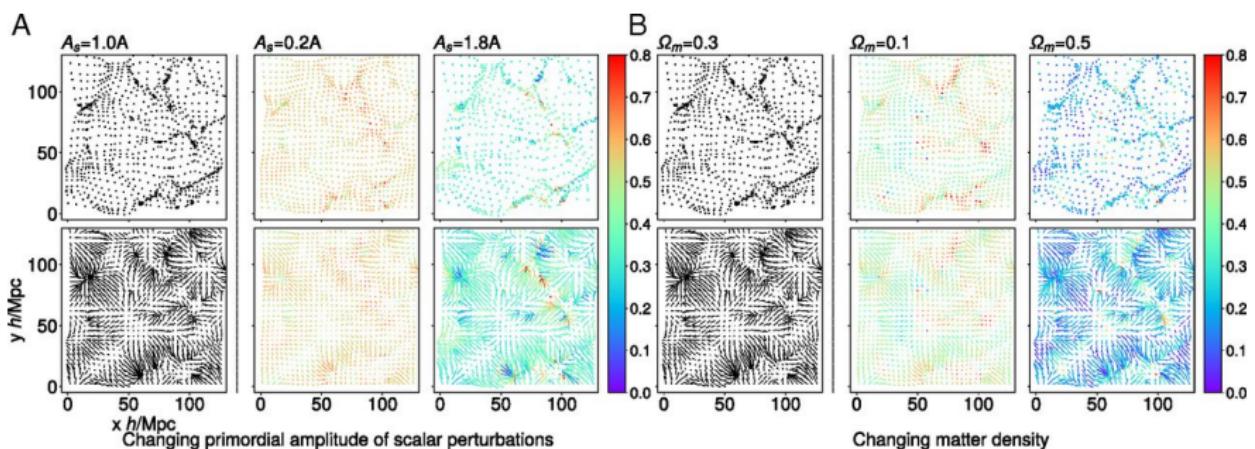
<sup>g</sup>Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA 94720, USA; <sup>f</sup>Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe, University of Tokyo Institutes for Advanced Study, The University of Tokyo, Chiba 277-8583, Japan; <sup>h</sup>Computer Science Department, University of British Columbia, Vancouver, BC V6T1Z4, Canada; <sup>1</sup>Machine Learning Department, Carnegie Mellon University, Pittsburgh PA 15213



# Predikce kosmologických simulací



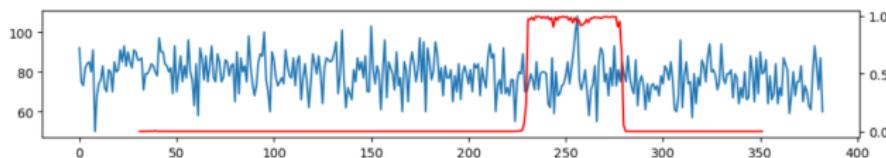
# Predikce kosmologických simulací



## Další využití

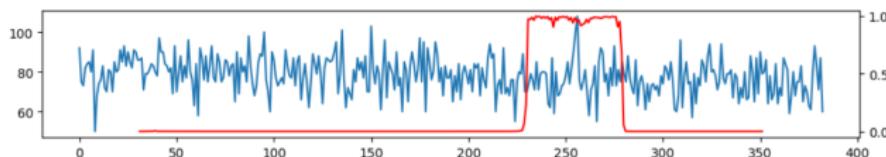
---

- hledání záblesků gamma

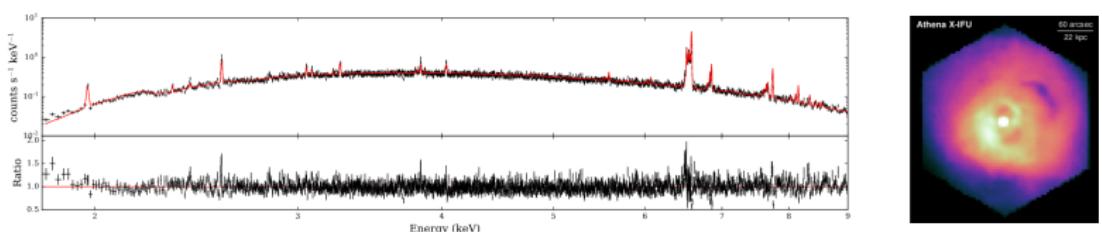


# Další využití

- hledání záblesků gamma

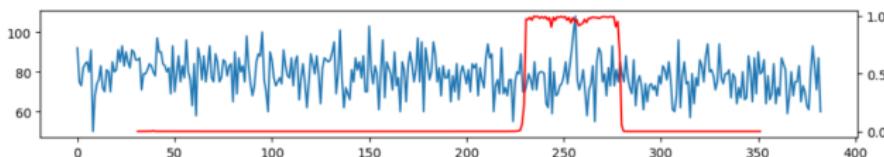


- spektrální klasifikace

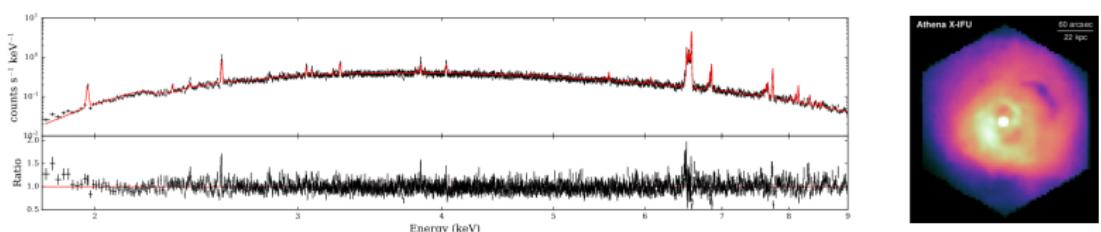


# Další využití

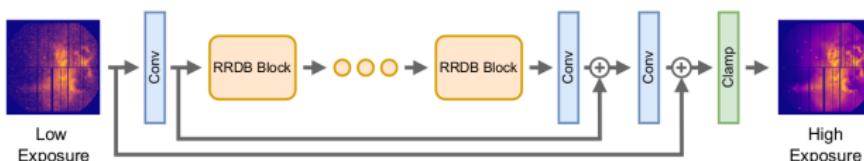
- hledání záblesků gamma



- spektrální klasifikace



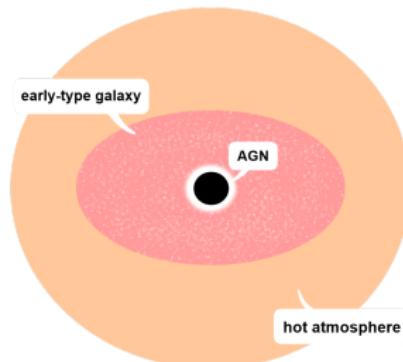
- odšumění snímků (optických, rentgenových)



# Cavity Detection Tool (CADET)

---

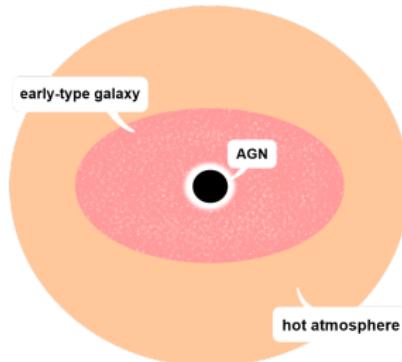
- obří eliptické galaxie
  - horké atmosféry ( $> 10^{12} M_{\odot}$ )
  - supermasivní černé díry
  - aktivní galaktická jádra
  - relativistické jety
  - rentgenové dutiny



# Cavity Detection Tool (CADET)

---

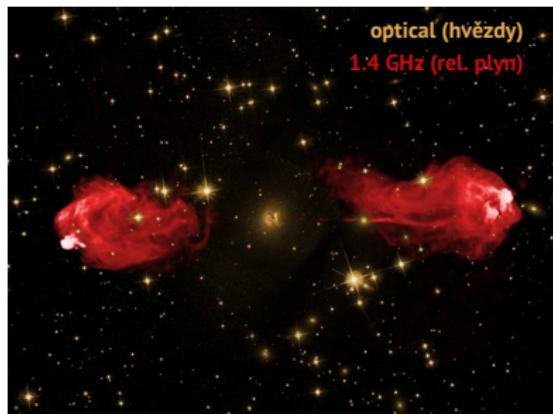
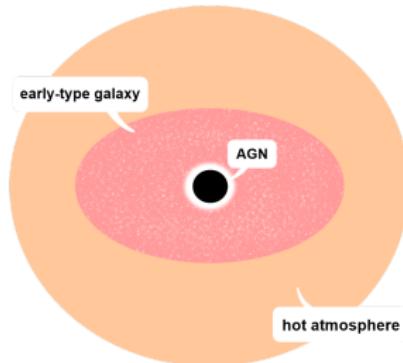
- obří eliptické galaxie
  - horké atmosféry ( $> 10^{12} M_{\odot}$ )
  - supermasivní černé díry
  - aktivní galaktická jádra
  - relativistické jety
  - rentgenové dutiny



# Cavity Detection Tool (CADET)

---

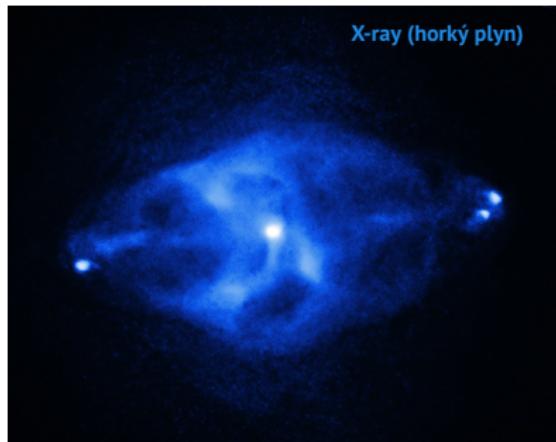
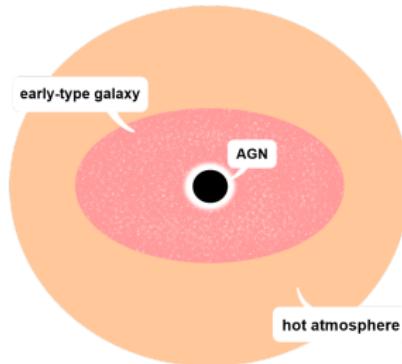
- obří eliptické galaxie
  - horké atmosféry ( $> 10^{12} M_{\odot}$ )
  - supermasivní černé díry
  - aktivní galaktická jádra
  - relativistické jety
  - rentgenové dutiny



# Cavity Detection Tool (CADET)

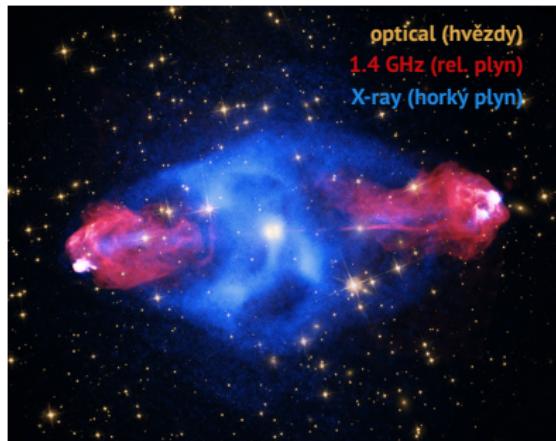
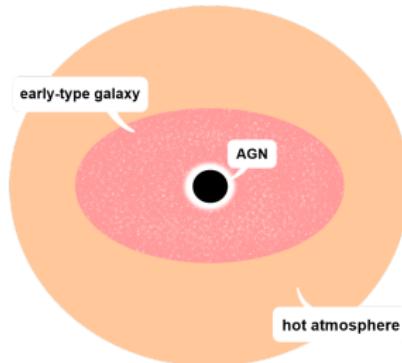
---

- obří eliptické galaxie
  - horké atmosféry ( $> 10^{12} M_{\odot}$ )
  - supermasivní černé díry
  - aktivní galaktická jádra
  - relativistické jety
  - rentgenové dutiny



# Cavity Detection Tool (CADET)

- obří eliptické galaxie
  - horké atmosféry ( $> 10^{12} M_{\odot}$ )
  - supermasivní černé díry
  - aktivní galaktická jádra
  - relativistické jety
  - rentgenové dutiny



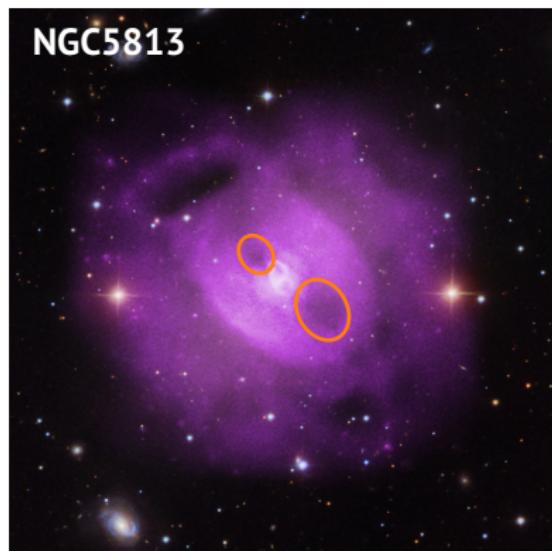
# Rentgenové dutiny (X-ray cavities)

---



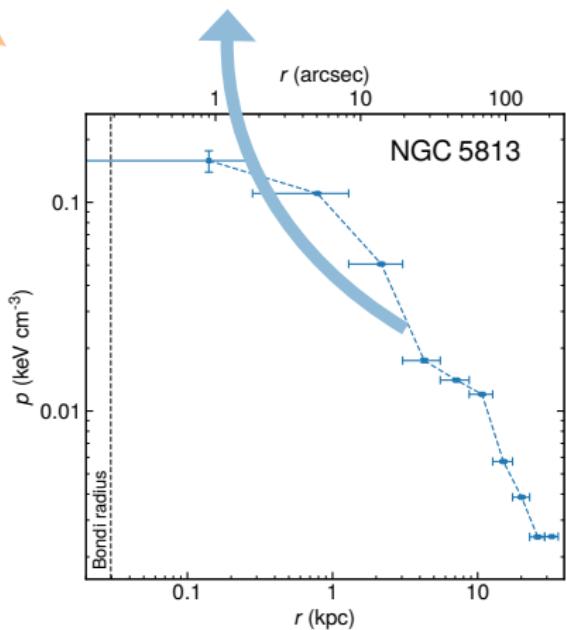
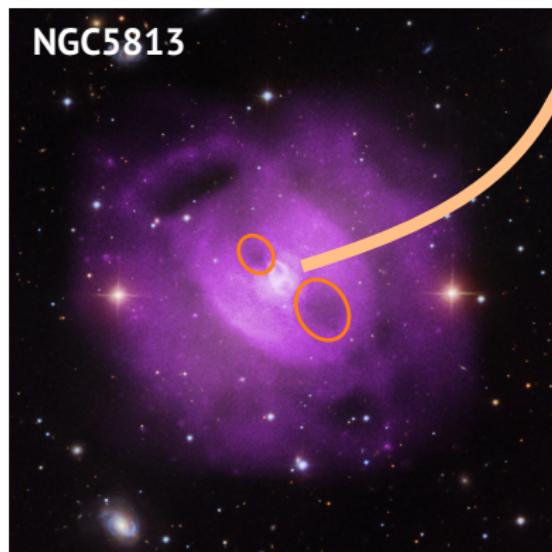
# Rentgenové dutiny (X-ray cavities)

---



# Rentgenové dutiny (X-ray cavities)

Energie  $\approx$  objem  $\times$  tlak



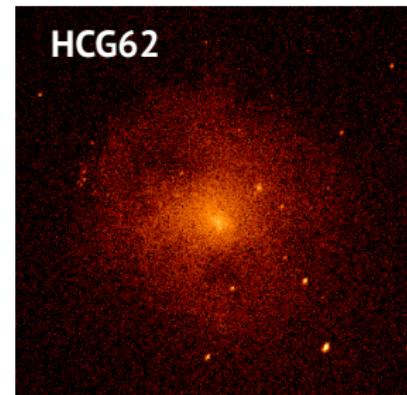
# Proč používat strojové učení?

---



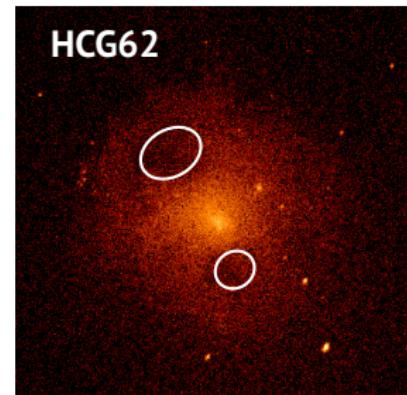
# Proč používat strojové učení?

---



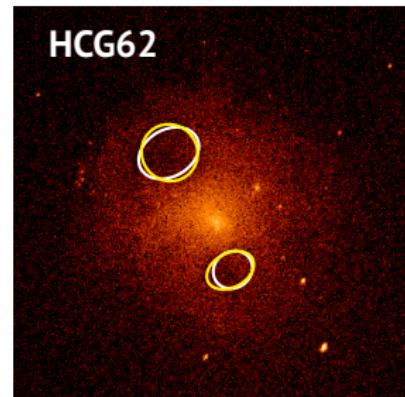
# Proč používat strojové učení?

---



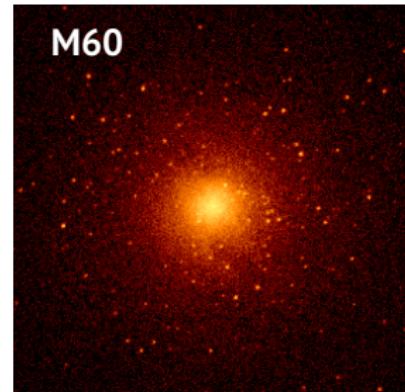
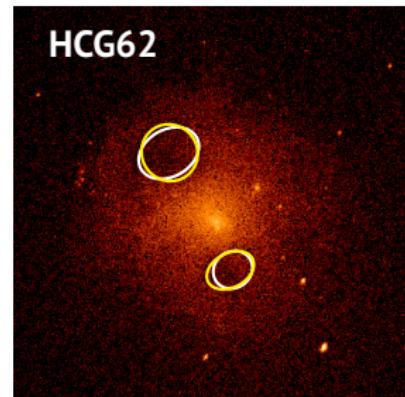
# Proč používat strojové učení?

---



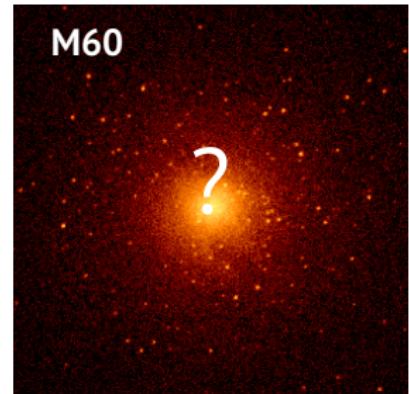
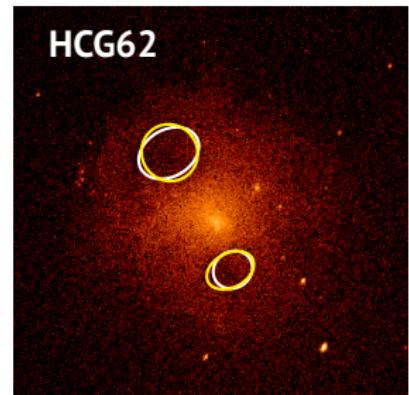
# Proč používat strojové učení?

---



# Proč používat strojové učení?

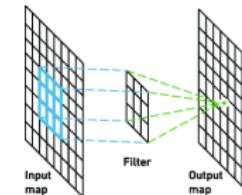
---



# Architektura sítě CADET

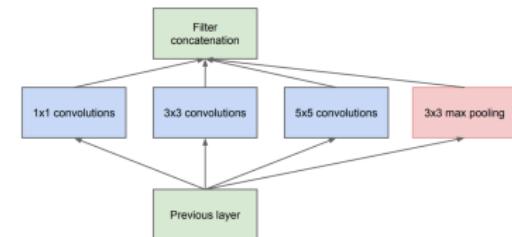
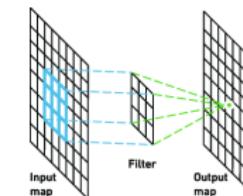
---

- konvoluční neuronová síť



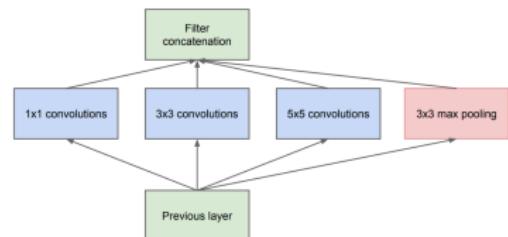
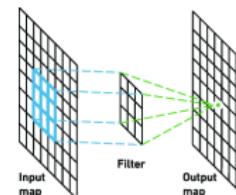
# Architektura sítě CADET

- konvoluční neuronová síť
- složena z Inception bloků
  - = paralelní spojení konv. filtrů



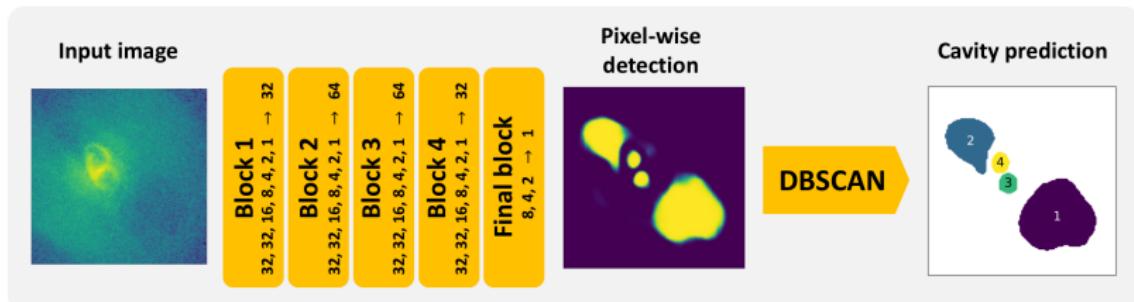
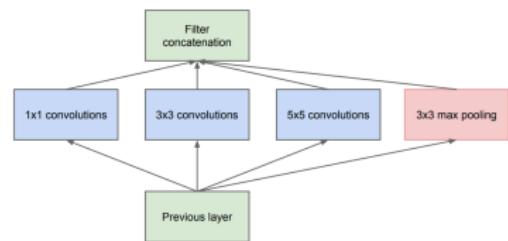
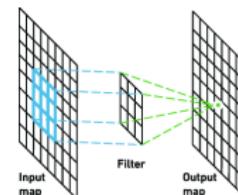
# Architektura sítě CADET

- konvoluční neuronová síť
- složena z Inception bloků
  - = paralelní spojení konv. filtrů
- fixní vstup (128x128 pixelů)
- fixní výstup (hodnoty 0 – 1)



# Architektura sítě CADET

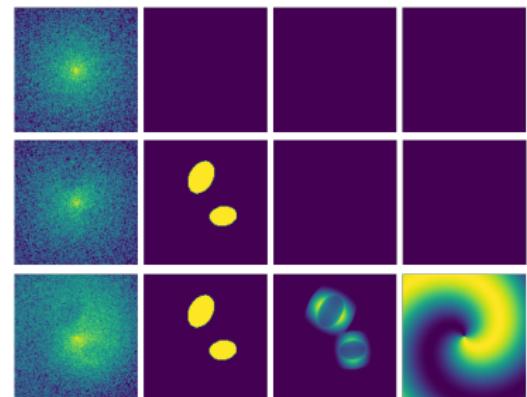
- konvoluční neuronová síť
- složena z Inception bloků  
= paralelní spojení konv. filtrů
- fixní vstup (128x128 pixelů)
- fixní výstup (hodnoty 0 – 1)
- clustering DBSCAN



# Trénování

---

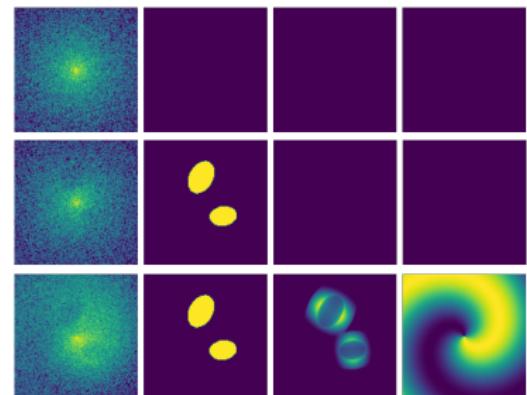
- umělé trénovací data
  - inspirování reálnými galaxiemi
  - eliptické dutiny
  - jasnější okraje dutin
  - sloshing (spirála)



# Trénování

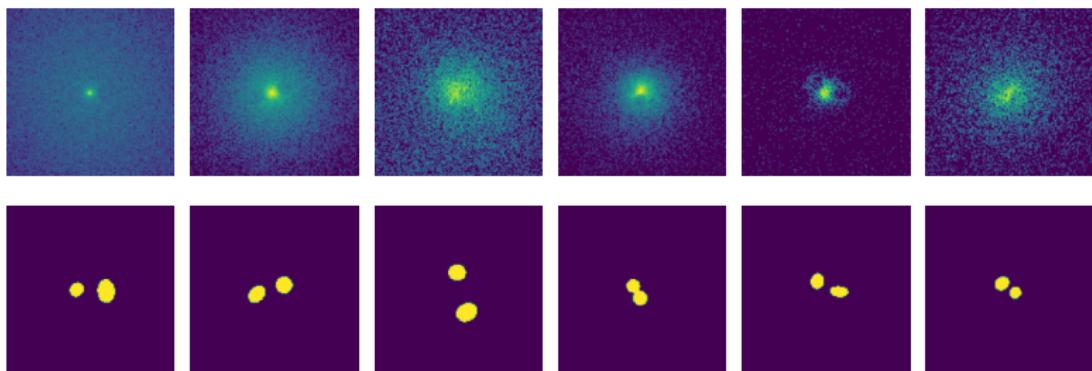
---

- umělé trénovací data
  - inspirování reálnými galaxiemi
  - eliptické dutiny
  - jasnější okraje dutin
  - sloshing (spirála)
- 800 tisíc snímků
  - 50% snímků s dutinami

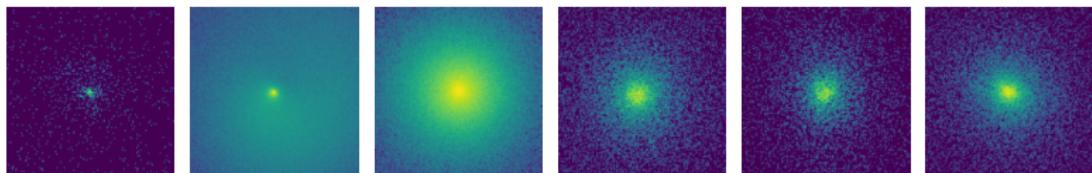


# Trénování

---



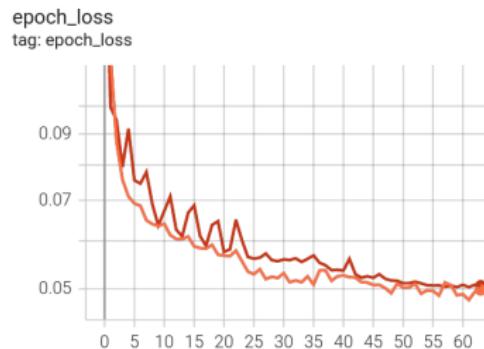
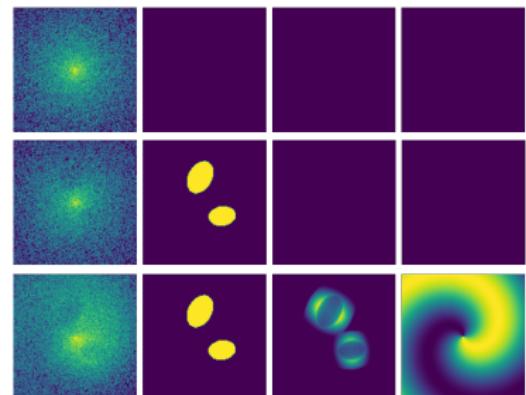
Umělé snímky obsahující dutiny (horní řada) a odpovídající masky (spodní řada).



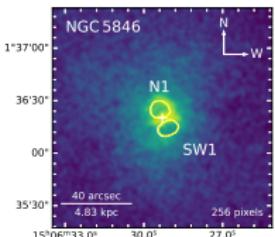
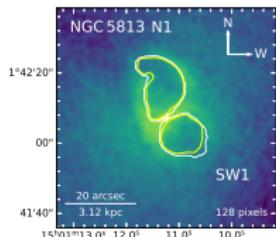
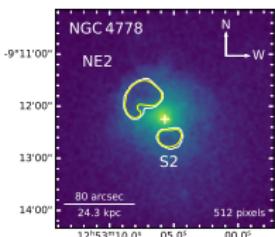
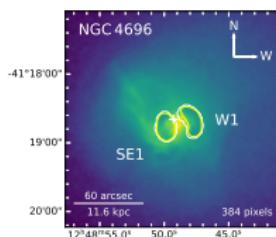
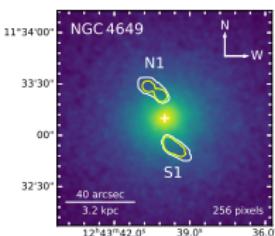
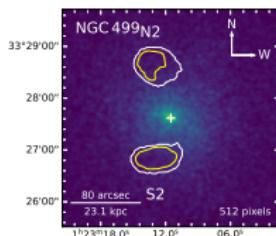
Umělé snímky neobsahující dutiny.

# Trénování

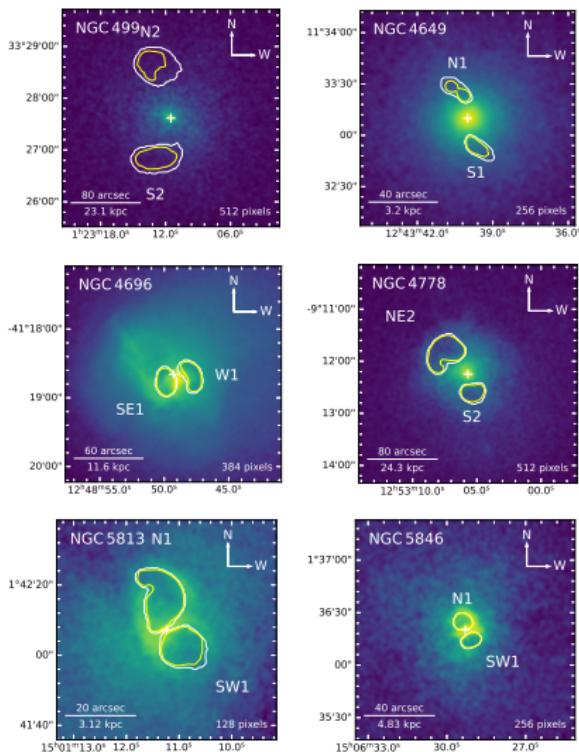
- umělé trénovací data
  - inspirování reálnými galaxiemi
  - eliptické dutiny
  - jasnější okraje dutin
  - sloshing (spirála)
- 800 tisíc snímků
  - 50% snímků s dutinami
- trénováno 8 hodin
  - 64 epoch
  - NVIDIA GeForce RTX 3080



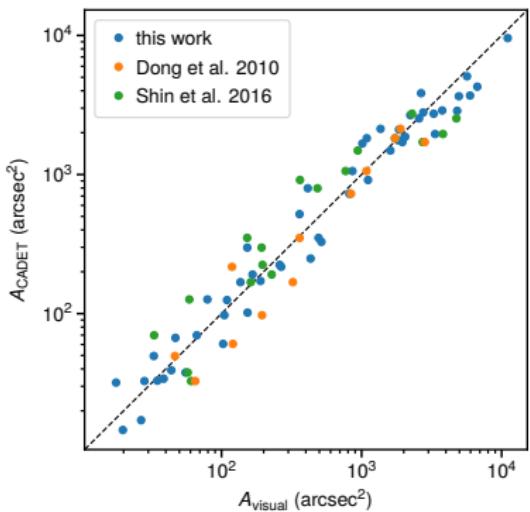
# Testování na reálných datech



# Testování na reálných datech

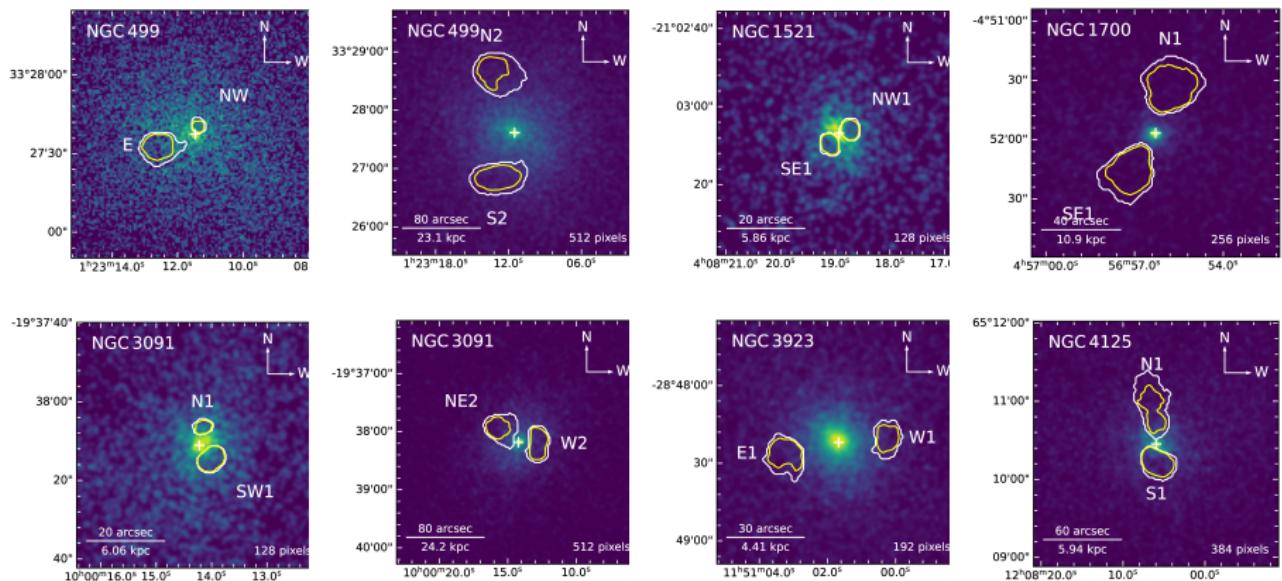


93 / 97 známých dutin  
20 – 40 % rozdíl objemů



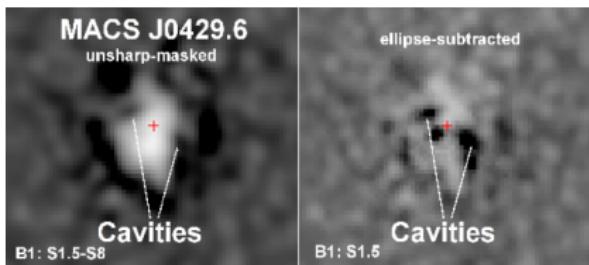
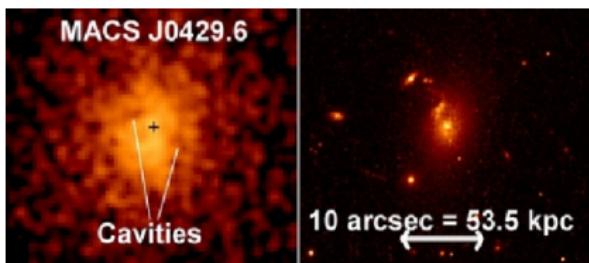
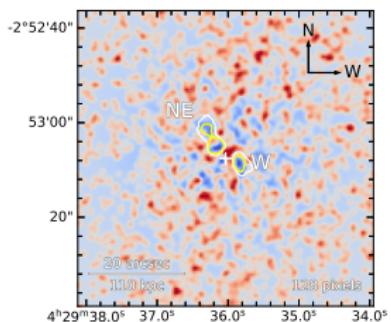
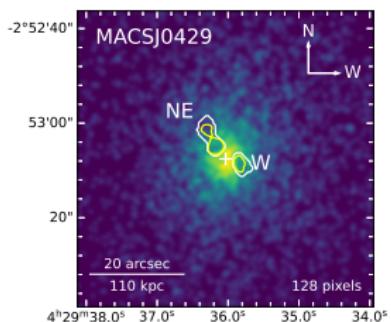
# Nové detekce

- 7 nových párů dutin + 8 kandidátů



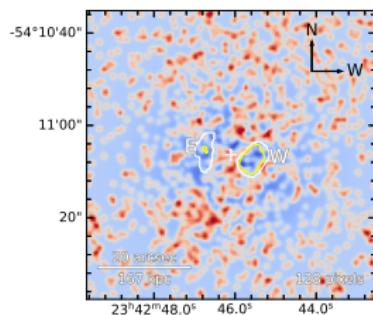
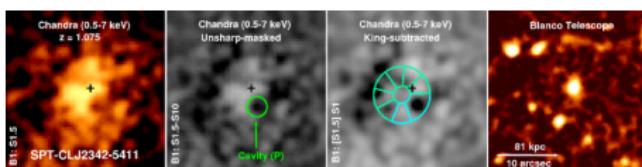
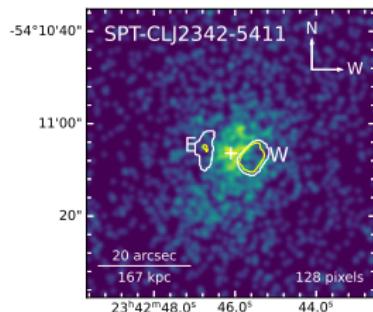
# Vzdálené kupy galaxií

MACS J0429.6 ( $z \approx 0.4$ , před 4.5 miliardami let)



# Vzdálené kupy galaxií

SPT-CLJ2342-5411 ( $z \approx 1.3$ , před 7 miliardami let)



# Použití CADETu na simulace

---

## HYENAS: X-ray Bubbles and Cavities in the Intra-Group Medium

Fred Jennings,<sup>1</sup>\* Arif Babul,<sup>2,3,4</sup> Romeel Dave,<sup>1,5,6</sup> Weiguang Cui,<sup>1,7,8</sup> and Douglas Rennehan<sup>9</sup>

<sup>1</sup>Institute for Astronomy, University of Edinburgh, Royal Observatory, Blackford Hill, Edinburgh, EH9 3HJ, United Kingdom

<sup>2</sup>Leverhulme Visiting Prof., Institute for Astronomy, University of Edinburgh, Royal Observatory, Blackford Hill, Edinburgh, EH9 3HJ, United Kingdom

<sup>3</sup>Department of Physics & Astronomy, University of Victoria, BC V8X 4M6, Canada

<sup>4</sup>Infosys Visiting Chair Professor, Indian Institute of Science, Bangalore 560012, India

<sup>5</sup>University of the Western Cape, Bellville, Cape Town 7535, South Africa

<sup>6</sup>South African Astronomical Observatories, Observatory, Cape Town 7925, South Africa

<sup>7</sup>Departamento de Física Teórica, Universidad Autónoma de Madrid, Módulo 15, E-28049 Madrid, Spain

<sup>8</sup>Centro de Investigación Avanzada en Física Fundamental (CIAFF), Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid, Spain

<sup>9</sup>Center for Computational Astrophysics, Flatiron Institute, 162 Fifth Ave, New York, NY 10010, USA

# Použití CADETu na simulace

## HYENAS: X-ray Bubbles and Cavities in the Intra-Group Medium

Fred Jennings,<sup>1\*</sup> Arif Babul,<sup>2,3,4</sup> Romeel Dave,<sup>1,5,6</sup> Weiguang Cui,<sup>1,7,8</sup> and Douglas Rennehan<sup>9</sup>

<sup>1</sup>Institute for Astronomy, University of Edinburgh, Royal Observatory, Blackford Hill, Edinburgh, EH9 3HJ, United Kingdom

<sup>2</sup>Leverhulme Visiting Prof., Institute for Astronomy, University of Edinburgh, Royal Observatory, Blackford Hill, Edinburgh, EH9 3HJ, United Kingdom

<sup>3</sup>Department of Physics & Astronomy, University of Victoria, BC V8X 4M6, Canada

<sup>4</sup>Infosys Visiting Chair Professor, Indian Institute of Science, Bangalore 560012, India

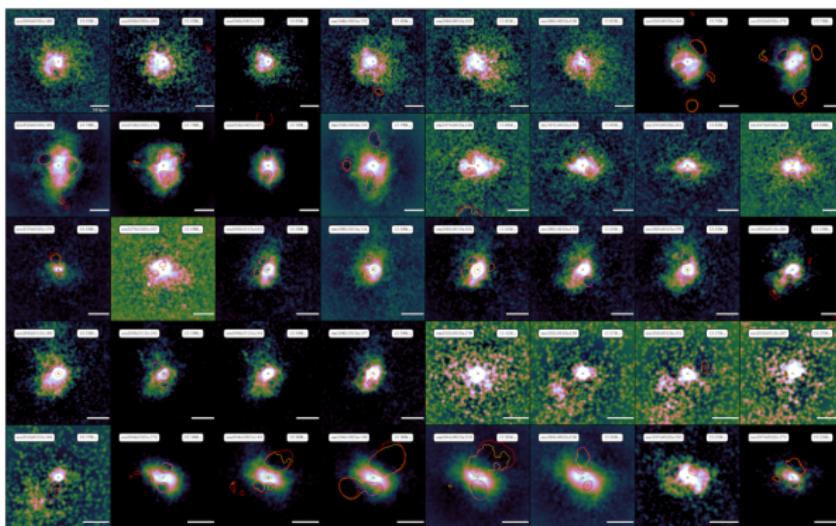
<sup>5</sup>University of the Western Cape, Bellville, Cape Town 7535, South Africa

<sup>6</sup>South African Astronomical Observatories, Observatory, Cape Town 7925, South Africa

<sup>7</sup>Departamento de Física Teórica, Universidad Autónoma de Madrid, Módulo 15, E-28049 Madrid, Spain

<sup>8</sup>Centro de Investigación Avanzada en Física Fundamental (CIAFF), Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid, 28049 Madrid, Spain

<sup>9</sup>Center for Computational Astrophysics, Flatiron Institute, 162 Fifth Ave, New York, NY 10010, USA



# Závěr

---

AI sama nevyřeší všechny  
věděcké otázky jako např.  
kvantovou gravitaci či teorii strun  
ale bezpochyby bude nápomocná  
v cestě k jejich pochopení.

