Lékařská biofyzika, biometrie a výpočetní technika

Základy umělé inteligence.

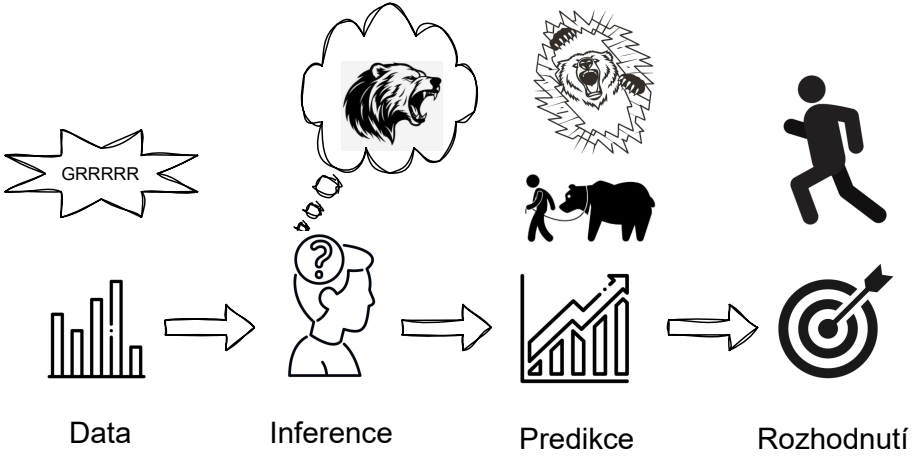
Mgr. Markéta Trnečková, Ph.D.

Umělá inteligence (AI)

Příklad

Co je to umělá inteligence?

Umělá inteligence (AI)

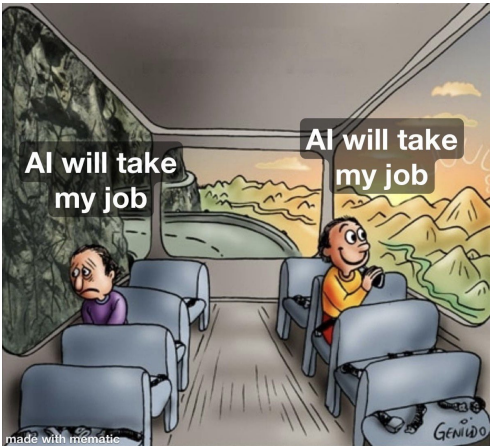


Umělá inteligence (AI)

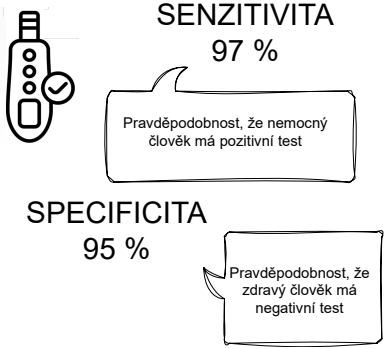
Příklad

Co je to umělá inteligence?

- Dříve: Umí stroje myslet?
- Nyní spíše: Dokáží stroje to, co lidé?
- Obecná umělá inteligence – nyní pouze teoretický koncept



Umělá inteligence (AI)



Příklad

Jaká je pravděpodobnost, že otestovaný člověk s pozitivním testem je doopravdy nemocný?

Umělá inteligence (AI)

- **Senzitivita** – $P(T^+|N+)$
  - máme 100 nemocných pacientů, uděláme jim test
  - u 97 z nich je odpověď kladná
  - na 3 test selže
- **Specificita** – $P(T^-|N-)$
  - máme 100 zdravých lidí, uděláme jim test
  - u 95 bude test negativní
  - u 5 z nich bude falešně pozitivní
- Otázka je ale, jaká je pravděpodobnost, že pokud je test pozitivní, je pacient doopravdy nemocný $P(N^+|T^+)$

Umělá inteligence (AI)

10 000 lidí
1 % nemocných

N^+ 100

N^- 9 900

Umělá inteligence (AI)

- $T^+ = 97$
- $T^- = 3$

10 000 lidí
1 % nemocných

N^+ 100

N^- 9 900

Umělá inteligence (AI)

10 000 lidí
1 % nemocných

N^+ — 100

N^- — 9 900

- $T^+ = 97$
- $T^- = 3$

- $T^+ = 495$
- $T^- = 9\ 405$

Umělá inteligence (AI)

10 000 lidí
1 % nemocných

N^+ — 100

N^- — 9 900

- $T^+ = 97$
- $T^- = 3$

- $T^+ = 495$
- $T^- = 9\ 405$

$$P(N^+|T^+) = \frac{97}{97+495} = \frac{97}{592} \approx 16\%$$

Umělá inteligence (AI)

Netriviální úsudek, **jak dopadne ChatGPT?**

Mám test se senzitivitou 97 %. Jeho specificita je 95 %. Jaká je pravděpodobnost, že člověk, kterému vyšel test pozitivní je doopravdy nemocný? Pokud předpokládáme, že se v populaci 1 % nemocných lidí.

Výpočet vychází z Bayesova pravidla.

Zadané hodnoty

- Prevalence (P(Nemocný)) = 1 % = 0,01
- Senzitivita (P(Pozitivní | Nemocný)) = 97 % = 0,97
- Specificita (P(Negativní | Zdravý)) = 95 % → P(Pozitivní | Zdravý) = 1 – 0,95 = 0,05

Hledáme: P(Nemocný | Pozitivní)

Výpočet

$$P(N|+) = \frac{P(+|N)\,P(N)}{P(+|N)\,P(N) + P(+|\neg N)\,P(\neg N)}$$

$$P(N|+) = \frac{0.97 \cdot 0.01}{0.97 \cdot 0.01 + 0.05 \cdot 0.99}$$

$$P(N|+) = \frac{0.0097}{0.0097 + 0.0495} = \frac{0.0097}{0.0592} \approx 0.1637$$

Výsledek

Pravděpodobnost, že člověk s pozitivním výsledkem je skutečně nemocný, je přibližně **16 %**.

Umělá inteligence (AI)

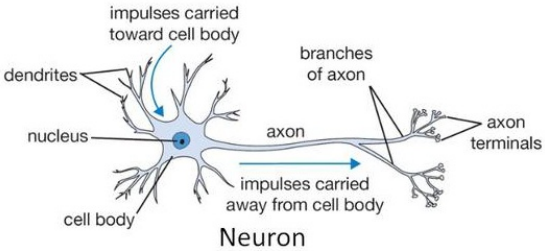
- **Je ChatGPT** inteligentní?
- Turingův test
- Je inteligentní
- Je inteligentnější než velká část lidí

Intelligence is the ability to acquire, understand, and apply knowledge and skills to solve problems, adapt to new situations, and learn from the experience.

- To, co je teď považováno za AI – velké jazykové modely (LLM)

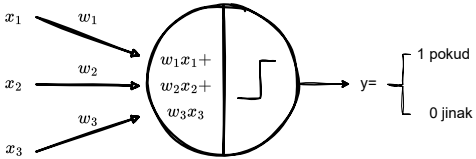
Neuronová síť – inspirace biologií

- Inspirováno činností nervových buněk v mozku.
- **Neuron** = jednoduchá výpočetní jednotka.
- Každý neuron:
  - přijímá vstupy,
  - každý vstup má svou **váhu** (síla spojení),
  - spočítá součet a aplikuje **aktivační funkci**.
- Mozek: 86 miliard neuronů, každý cca 10 tisíc synapsí



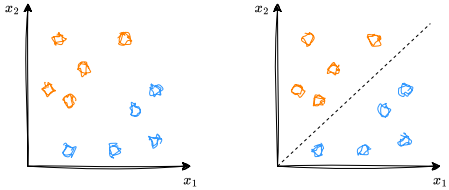
Matematický model

model neuronu (perceptron)



$$w_1x_1 + w_2x_2 + w_3x_3 > t$$

klasifikátor



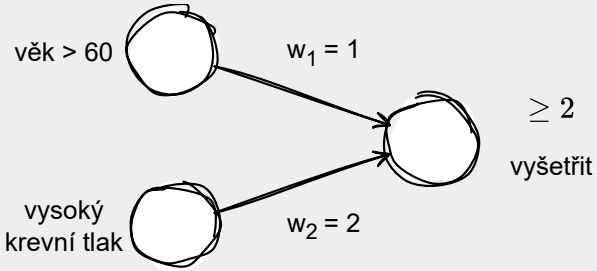
Příklad

Jak starý je matematický model neuronu?

Příklad

Příklad

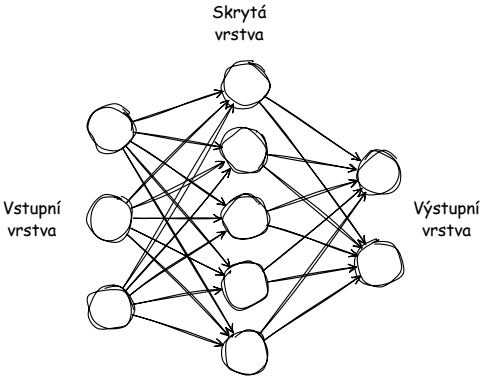
Jaký bude výstup pro staršího pacienta s vysokým krevním tlakem?
Jaký bude výstup pro staršího pacienta s normálním tlakem?
Jaký bude výstup pro mladšího pacienta s vysokým tlakem?



Jak bychom upravili neuron, aby se vyšetřili jen starší pacienti s vysokým tlakem?

Jak funguje neuronová síť

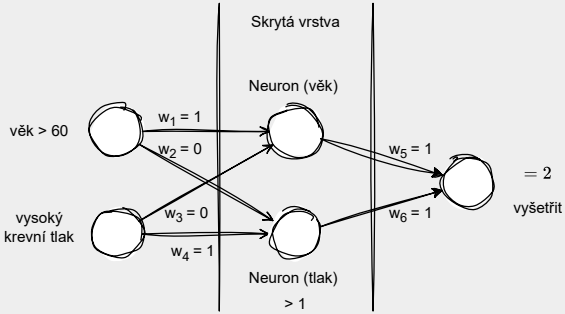
- Neurony jsou propojené do vrstev:
  - vstupní vrstva — přijímá data (např. obrázek, EKG signál),
  - skryté vrstvy — zpracovávají a kombinují informace,
  - výstupní vrstva — dává výsledek (např. diagnóza).
- **Hluboké sítě** – více skrytých vrstev



Příklad

Příklad

Jaký bude výstup pro staršího pacienta s vysokým krevním tlakem?
Jaký bude výstup pro staršího pacienta s normálním tlakem?
Jaký bude výstup pro mladšího pacienta s vysokým tlakem?



Učení neuronové sítě

- Síť se učí podobně jako člověk:
  - dostane vstup (např. RTG snímek) a správný výstup (diagnóza),
  - propočítá svůj výsledek,
  - **chyba** se použije k úpravě vah spojů (*zpětná propagace*).
- Opakováním na tisících příkladů se síť „naučí“ rozpoznávat vzory.
- Až donedávna velmi výpočetně náročné.
- **Simulace**: `https://playground.tensorflow.org/`

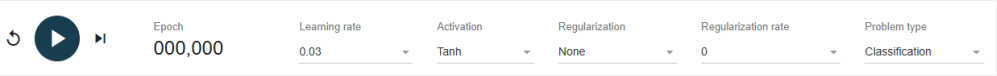
Vizualizace učení neuronové sítě

- **TensorFlow Playground**: `https://playground.tensorflow.org/`
- demonstrace učení neuronové sítě na základě počtu a volbě parametrů a počtu neuronů

Příklad

1. Vyberte data Exclusive or (tedy taková, která se nedají rozdělit přímkou)

2. Nastavme si síť – Features jen x_1 a x_2, jedna skrytá vrstva se dvěma neurony



Vizualizace učení neuronové sítě

Co můžeme pozorovat:

- Skrytá vrstva umožňuje rozdělit data, která nelze oddělit lineárně.
- Chyba (loss) se s tréninkem snižuje $\rightarrow$ vizualizace učení.
- Rychlost učení: zvyšte / snižte learning rate $\rightarrow$ ukázka, že příliš vysoká hodnota způsobí „přeskakování“ optima, příliš nízká $\rightarrow$ pomalé učení.
- Vliv počtu neuronů: 1 neuron $\rightarrow$ síť se nenaučí; 4 neurony $\rightarrow$ rychlejší a přesnější učení.

Příklad

Vyzkoušejte si vytvořit a správně nastavit neuronovou síť pro spirálová data.

Příklad využití v medicíně

- Rozpoznávání nádorů na snímcích (mamografie, CT, MRI).
- Automatická detekce arytmií z EKG.
- Predikce rizika komplikací u pacientů.
- Neurony nerozumí medicíně – jen hledají vzory v datech.

Neuronová síť = **statistický model**, který se učí z velkého množství příkladů.

AI v současné a budoucí medicíně

- v poslední době jedno z nejrychleji se rozvíjející odvětví
- v medicíně AI představuje soubor sofistikovaných systémů, které jsou schopny napodobovat procesy lidského myšlení a rozhodování při řešení komplexních úloh
- schopnost analyzovat obrovské objemy dat, rozpoznávat v nich vzory a učit se z předchozích zkušeností

Příklad

Jaký je rozdíl mezi algoritmem a softwarem založeným na AI?

- **Využití v medicíně**:
  - analýza radiologických snímků
  - optimalizace procesů
  - predikce průběhu onemocnění
  - ...
- **Problémy:**
  - řada etických a právních otázek
  - odpovědnost při rozhodování
  - limitace AI

Aplikace AI

Příklad

Víte o nějakém konkrétním příkladu, kde se v medicíně využívá AI?

- analýza biomedicínských dat
- podpora rozhodování lékaře
- počítačem podporovaná detekce (computer-aided detection CADe)
- počítačem podporovaná diagnostika (computer-aided diagnosis CADx)
- personalizovaná medicína
- automatizace administrativních úkonů

Analýza biomedicínských dat

- Analýza dat zahrnuje:
  - získání dat
  - analýza dat
  - interpretace
- jedná se o velké množství dat (digitálních informací z různých zdrojů)
- **Zdroje:**
  - elektronická zdravotní karta/dokumentace
  - lékařské snímky (RTG, MR, . . .)
  - medicínské signály (EMG, . . .)
  - nositelná technologie (chytré hodinky, . . .)

Analýza biomedicínských dat

Konkrétní příklady

- **Vývoj nových léčiv**
  - urychlení vývoje
  - InSilico Medicine využila tuto metodu při vývoji léčby idiopatické plicní fibrózy
  - ze stovek tisíc molekul dokázala jejich AI v krátké době vybrat několik slibných kandidátů
- **Navrhování zcela nových chemických sloučenin na základě požadovaných parametrů**
  - zpracování velkého množství dat a kombinací
  - AI predikuje například i jejich chování v lidském organismu nebo afinitu k cílovým proteinům
  - společnost Schrödinger – zaměřuje se na identifikaci nových terapeutických cílů stávajících, běžně využívaných léků
- **Vývoj lékařských přístrojů**
  - může pomáhat při návrhu a testování nových přístrojů, což může zlepšit jejich výkon a bezpečnost
  - společnost Johnson & Johnson – využívá AI k simulaci a testování nových designů lékařských přístrojů

Podpora rozhodování lékařů

- Systém pro podporu rozhodování (clinical decision support system – CDSS, CDS) je zdravotnický informační systém určený k podpoře rozhodnutí lékaře či jiného zdravotnického pracovníka ve směru diagnostiky, léčby či dalšího postupu u konkrétního pacienta.
- **Dělení:**
  - znalostní (knowledge-based) – obsahují aktuální data např. interakcí léčiv, laboratorních hodnot, doporučených klinických postupů, doporučených způsobů léčby. Takový systém je nutno aktivně aktualizovat, doplňovat nutné informace z aktuálních studií a udržovat databázi znalostí;
  - systémy s umělou inteligencí (machine learning, non-knowledge based) – tyto systémy neobsahují žádné znalosti, ale empiricky sledují různé ukazatele v datech, analyzují je a v případě nutnosti uživateli navrhnou vhodný postup. Pokud vydají nějaké doporučení, pak nedokáží poskytnout žádný relevantní zdroj informací, protože odhad je založen pouze na statistickém a empirickém zhodnocení dosavadních dat (jde například o sledování laboratorních ukazatelů a upozornění lékaře např. na rozvíjející se nemocniční infekci na základě dat dané nemocnice).
- AI asistuje při rozhodování
- poskytuje řadu měřitelných (kvantitativních) parametrů, ty lze individuálně porovnávat

Podpora rozhodování lékařů

AI založené na LLM

- LLM – large language model
- civilizace je založená na textech
- věřilo se, že jen člověk dokáže vytvářet smysluplné texty
- velká revoluce všude, kde se texty využívají (školství, věda, . . .)

- C. E. Shannon – text je sekvence znaků s pravděpodobnostním výskytem
- už v roce 1948 – text lze generovat tak, že pro nějakou množinu slov (n-gram) vybíráme nasledující slovo, podle jeho výskytu v korpusu

AI založené na LLM

Příklad

- Máme začátek nějakého textu: Jak se ...
- Máme korpus (knihovnu)
- Vybereme náhodnou knihu, v ní náhodnou stránku a na ní náhodné slovo
- Najdeme následující nejbližší výskyt začátku věty (Jak se ...)
- Použijeme slovo, které je za ním (např. Jak se jmenuje ...)
- Vezmeme poslední 2 slova (se jmenuje) a hledáme jejich výskyt
- Pokračujeme dokud nenarazíme na konec věty

AI založené na LLM

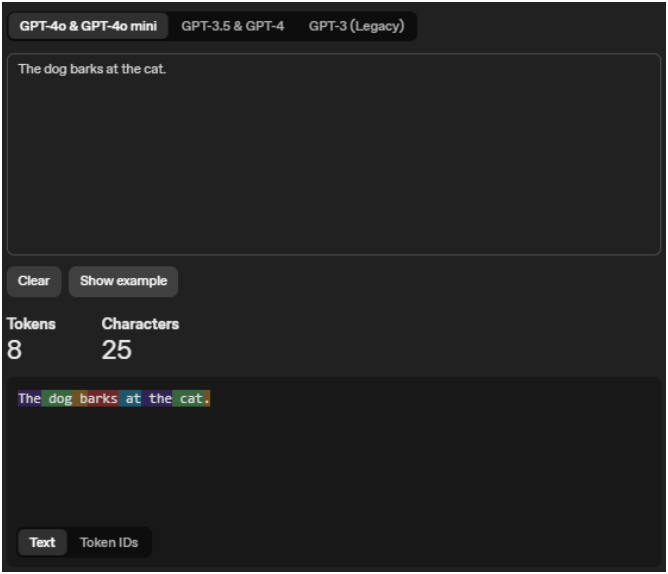
- n-gramy si spočítáme předem:
  - Jak se máš 10×
  - Jak se daří 3×
  - Jak se jmenuje 5×
  - Jak se píše 2×
- Potom:
  - máš 50%
  - daří 15%
  - jmenuje 25%
  - píše 10%

AI založené na LLM

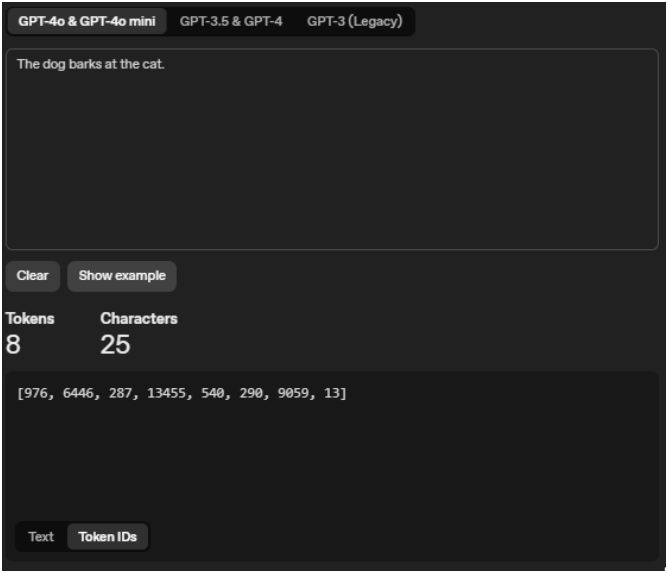
- Není příliš dobrý výsledek
- Lepší výsledek – větší n (ale složitější)
- Aproximace těchto n-gramů modelem

- Ve skutečnosti nepracujeme se slovy, ale s tokeny
- Chat GPT-4 kontextové okno velikosti 128 000 tokenů

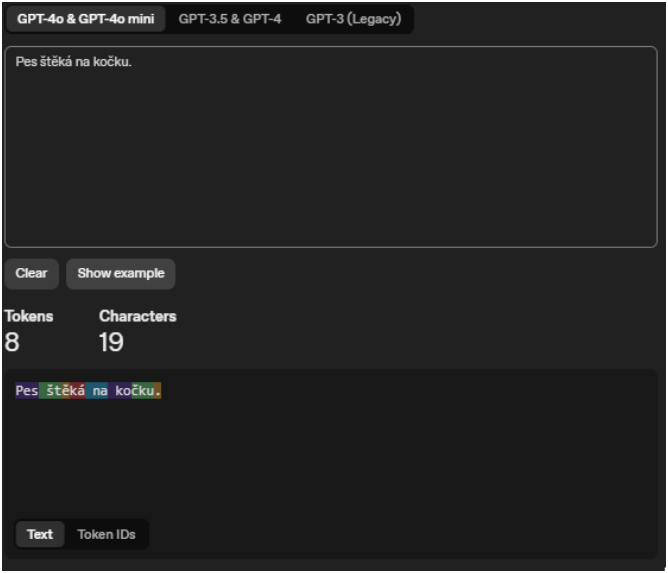
Tokeny


GPT-4o & GPT-4o mini
GPT-3.5 & GPT-4
GPT-3 (Legacy)
The dog barks at the cat.
Clear
Show example
Tokens
8
Characters
25
The dog barks at the cat.
Text
Token IDs

Tokeny


GPT-4o & GPT-4o mini
GPT-3.5 & GPT-4
GPT-3 (Legacy)
The dog barks at the cat.
Clear
Show example
Tokens
8
Characters
25
[976, 6446, 287, 13455, 540, 290, 9059, 13]
Text
Token IDs

Tokeny

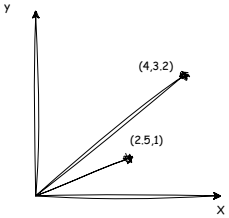

GPT-4o & GPT-4o mini
GPT-3.5 & GPT-4
GPT-3 (Legacy)
Pes štěká na kočku.
Clear
Show example
Tokens
8
Characters
19
Pes štěká na kočku.
Text
Token IDs

AI založené na LLM

- Místo přesné tabulky:
  - máš 50%
  - daří 15%
  - jmenuje 25%
  - píše 10%
- Máme nějaký model, který není tak přesný:
  - máš 51%
  - daří 12%
  - jmenuje 24%
  - píše 12%
  - ahoj 1%
- **Rekurentní neuronové sítě**
  - Výhody: menší paměť
  - dokáže generovat i nikdy neviděné sekvence

AI založené na LLM

- Neuronové sítě pracují s čísly, ne slovy
- Tokeny jsou převedeny na vektory (embending)
- Př. 2 dimenze



- Vztahy mezi vektory zachycují sémantickou podobnost mezi odpovídajícími tokeny
- Realita: tisíce dimenzí (GPT-3 12 288, GPT-4 nebylo zveřejněno)

AI založené na LLM

- Embedding nezohledňuje vztahy mezi tokeny ani hlubší kontext
- Pozornostní mechanismus (attention)
- Neuronová síť upravuje pozici tokenů v prostoru a tím, že se tokeny posouvají, nabývají hlubšího významu
- Ve fázi trénování – attention a feedforward fáze (opakují se: GPT-3 96×, GPT-4 nebylo zveřejněno, ale odhaduje se na 120˘160×)
- Pes – zvíře, domácí mazlíček, štěká, obvykle štěká na kočku, která je výš než pes, ...
- Muž × žena, král × královna

Jak AI chatboti fungují?

Jak to funguje více podrobně?

- model při generování vidí jen omezený počet posledních tokenů (tzv. kontextové okno)
- model maximalizuje pravděpodobnost textu, ne „pravdu“ – když data v kontextu nestačí, doplní nejpravděpodobnější informace (i smyšlené) – **halucinace**
- RAG (Retrieval-Augmented Generation): před generováním se vyhledají relevantní dokumenty (guidelines, lokální protokoly) a přidají se do kontextu $\rightarrow$ snižuje halucinace a zvyšuje aktuálnost
- Safety & filtering layers: dodatečné moduly pro detekci nebezpečného obsahu, ochranu soukromí, kontrolu faktické přesnosti
- Tooling / plugins: model může volat kalkulačku, lékové databáze, EHR API apod. a začlenit výsledky do odpovědi
- Hlavní omezení:
  - Bias v tréninkových datech: model může reprodukovat demografické nebo diagnostické zkreslení
  - Nedostatečné schopnosti kauzálního uvažování — model je silný v korelaci a vzorech, slabší v provádění komplexních, certifikovatelných závěrů bez dalších nástrojů

Podpora rozhodování lékařů

Příklad

Příklad

Co myslíte, dá se využít ChatGPT k určení diagnózy?
Jsou zde nějaká omezení, nebo limitace?

Jak AI chatboti fungují?

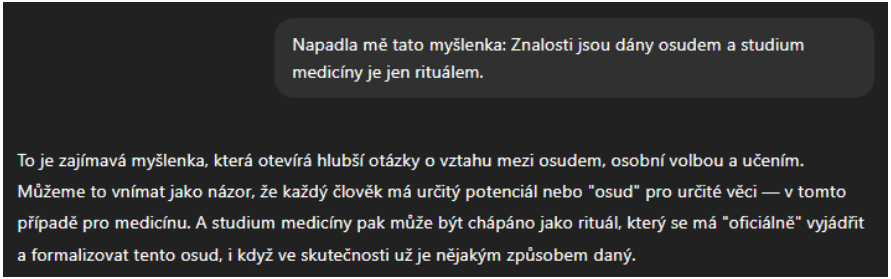
- generativní (textová) AI je statistický model jazyka
- učí se z velkého množství textů předpovídat další „kousek textu“ (tzv. token – část slova nebo slovo) na základě toho, co už viděla
- místo „databáze faktů“ je to pravděpodobnostní stroj: pro daný kontext spočítá rozdělení pravděpodobností pro další token a „vylosuje“ z něj pokračování
- jako kdybyste po přečtení tisíců zpráv a učebnic odhadovali, jak pravděpodobně bude pokračovat další věta v dané diagnóze

Jak AI chatboti fungují?

- Odhadování následujícího slova stačí k tomu, aby překonal obyčejného člověka v mnoha směrech:
  - Gramatická a stylistická korektura
  - Překlady mezi jazyky
  - Sumarizace textu
  - Vyhledání informací
  - Kódování
  - Pokrývá široké spektrum oblastí

Představují AI chatboti nějaké nebezpečí?

- Lidé se cítí jako experti na všechno
- Echo chamber efekt – AI potvrzuje a chválí všechny vaše myšlenky (lidé jsou přesvědčeni o své vyjímečnosti)



- Lidé mají sklony antropomorfizovat – připisovat lidské vlastnosti strojům „AI ví, že . . . “, „AI se rozhodla . . . “

Jak AI chatboti fungují?

Rady, co dělat při využití v klinické praxi

- Používejte modely jako pomocníka, nikoli jako definitivní zdroj
- Vyžadujte zdroje / citace a ověřujte je (ideálně RAG-podporované systémy)
- Logujte vstupy a výstupy a udržujte audit trail — důležité pro odpovědnost
- Preferujte specializované/schválené systémy (CDSS, radiologické modely) pro diagnostická rozhodnutí; ChatGPT je užitečný pro sumarizace, edukaci, návrhy otázek, tvorbu dokumentace

studie ukazují, že i ChatGPT dosahuje jen kolem 37% správnosti v otevřené diagnostické situaci vs. specializované systémy.

Podpora rozhodování lékařů

Specializovaní medicínští AI

- DrugGPT (Oxford) – asistuje lékařům při předepisování léčby, flaguje lékové interakce a vysvětluje výběr léčiva s odkazem na klinické studie a postupy
- Doctronic – anonymní chat s pacientem 24/7, poskytuje až 4 možné diagnózy + výstupy v „čisté angličtině“ i formátu SOAP, s možností rapidního přesměrování na lékaře; HIPAA-kompatibilní
- MedSync – zadávání symptomů přes AI konverzační rozhraní, analýza, možné diagnózy a doporučení; HIPAA-kompatibilní
- VisualDx — umožňuje zadání symptomů a nabízí obrázkové srovnání diagnóz včetně možných medikamentózních reakcí
- Další: `https://www.keragon.com/blog/ai-chatbots-in-healthcare`

Výhody:

- Používají pro trénování medicínské databáze, odbornou logiku (na rozdíl od ChatGPT, který je obecný)
- Dosahují vysoké přesnosti ve specializovaných úlohách
- Jsou regulované a mají lékařský dohled

Velké jazykové modely
Filozofická otázka

- Je inteligence schovaná v jazyce?

Stručná odpověď: **z velké části ano, ale ne výhradně.**

Podrobněji:

1. Jazyk jako nosič kolektivní inteligence

Lidská inteligence není jen v jednotlivých mozcích, ale je **distribuovaná**. Jazyk umožňuje:

- akumulaci znalostí napříč generacemi,
- abstrakci (pojmy, teorie, matematika),
- přenos složitých struktur myšlení bez nutnosti osobní zkušenosti.

  V tomto smyslu je značná část *kolektivní* inteligence lidstva skutečně „uložena" v jazyce (včetně formálních jazyků, jako je matematika).

2. Jazyk není totéž co myšlení

Existují kognitivní schopnosti, které:

- předcházejí jazyku (percepce, motorické učení),
- fungují částečně mimo jazyk (vizuální představivost, prostorové myšlení),
- jsou obtížně verbalizovatelné (tacitní znalosti, intuice).

  To ukazuje, že inteligence není redukovatelná pouze na jazyk.

3. Jazyk jako „rozhraní" inteligence

Užitečný pohled je chápat jazyk jako:

- rozhraní mezi individuálním myšlením a společností,
- kompresní mechanismus pro složité mentální struktury,
- nástroj, který inteligenci **zesiluje**, ale nevytváří ji sám o sobě.

4. Důsledek pro AI a vědu

To, že velká část lidské inteligence je zachycena v jazyce, vysvětluje:

- proč jazykové modely působí „inteligentně",
- proč přesto narážejí na limity v úlohách vyžadujících tělesnost, interakci se světem nebo dlouhodobé cíle.

Shrnutí

Jazyk je hlavní archiv a přenosový kanál lidské inteligence, ale nikoli její úplný zdroj. Inteligence vzniká z interakce mozku, těla, prostředí a jazyka — jazyk z ní činí něco, co může přežít jednotlivce.

Velké jazykové modely

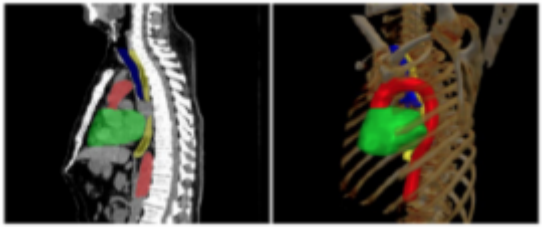
Poslední poznámka

- Emergentní schopnosti = schopnosti na které nebyly trénovány
  - Odpovídání na otázky
  - In-context learning
  - Generování programového kódu
  - ...

Počítačem podporovaná detekce

computer-aided detection CADe

- umožňuje detekci abnormalit v medicínských datech (identifikace lézí, jejich počtu, objemu, sledování změn v čase, . . .)
- **Příklady:**
  - nnU-Net – automaticky segmentuje lékařské snímky (např. CT nebo MRI). Používá se k „označení“ různých struktur v těle (např. nádorů, orgánů) v obraze.
  - MedSAM – také automaticky segmentuje lékařské snímky

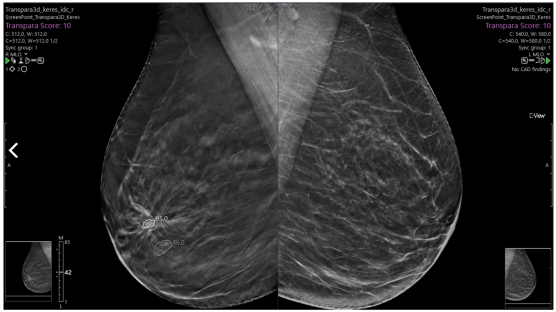


Segmentace obrazu znamená, že počítač rozdělí obrázek na oblasti podle toho, co k sobě patří – např. odliší orgán od okolní tkáně.

Počítačem podporovaná diagnostika

computer-aided diagnosis CADx

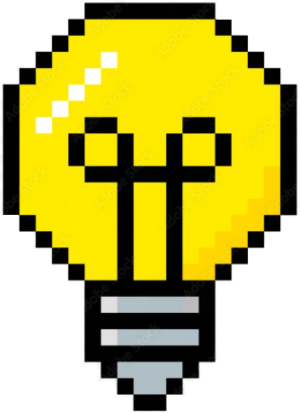
- na základě detekovaných abnormalit AI umožňuje určovat typ či grading nádoru nebo klasifikovat jiné patologické nálezy
- např. prognóza na základě objemu ischemických změn u mozkového infarktu
- poskytuje informace nad rámec pouhé identifikace → přesnější diagnóza i léčba
- **Systém Transpara pro mamografii**
  - Výrobce: ScreenPoint Medical
  - Automaticky analyzuje mamografické snímky (2D i 3D); Označí oblasti s podezřením na rakovinu prsu; Vyhodnotí riziko u každého nálezu (od 1 do 10)



Reprezentace obrazu v počítači

2D obraz

- obraz je reprezentován obrazovými body – **pixely**
- každý pixel nese informaci o barvě
  - B/W obrázek – každý pixel hodnota 0 nebo 1 (1 bit)
  - šedotónový – světlost obrázku (většinou hodnota $0, \ldots, 255 = 1$ byte)
  - barevný obrázek – barevný model (např. RGB), pro každou složku jedna hodnota tj. 3 byty
- **Příklad**: RTG snímek, mamografie



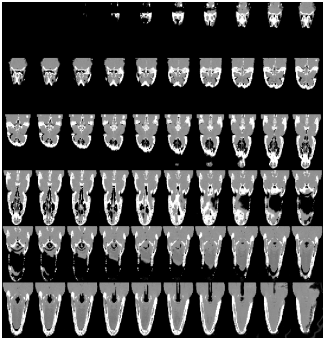
Příklad

Předpokládejme, že máme barevný obrázek velikosti 1000×500. Kolik hodnot ho reprezentuje?

Reprezentace obrazových dat

3D data

- 3D obraz: objemová data – **voxely** (např. CT, MRI)
- každý voxel nese informaci o intenzitě (např. hustota tkáně)
- 3D data umožňují rekonstrukci orgánů, měření objemů, sledování změn

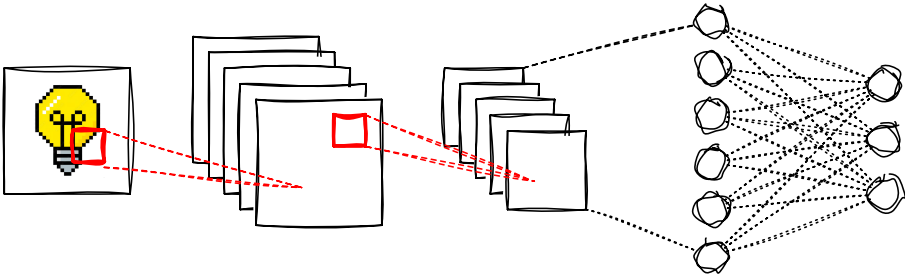


Příklad

Kolik voxelů obsahuje CT snímek o rozměrech $512 \times 512 \times 100$?

Jak AI pracuje s obrazy?

- každá hodnota (nebo jen pixel) jako vstupní hodnota → obrovské množství parametrů
- pixely mají lokální strukturu – sousední pixely spolu souvisí
- řešení = **konvoluční neuronové sítě**



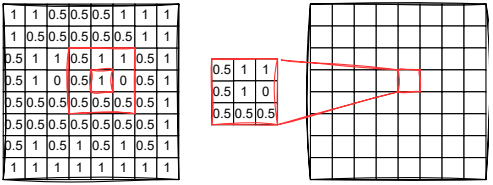
Jak AI pracuje s obrazy?

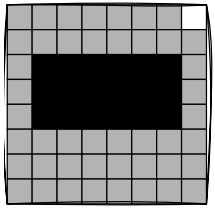
- Máme digitální obrázek

1	1	0.5	0.5	0.5	1	1	1
1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1
0.5	1	1	0.5	1	1	0.5	1
0.5	1	0	0.5	1	0	0.5	1
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1
0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1
1	1	1	1	1	1	1	1

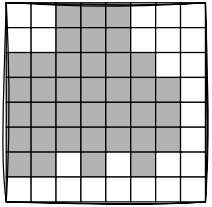
Jak AI pracuje s obrazy?

- na obrázek aplikujeme několik filtrů (konvoluce), pomocí kterých hledáme nějaké vzory, textury, tvary (feature extraction)

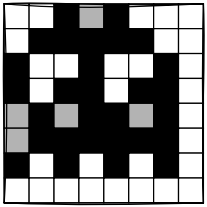




Min filtr



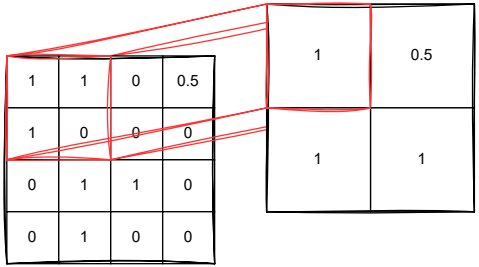
Mediánový filtr



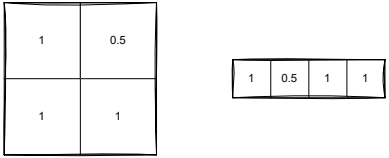
Laplaceův filtr

Jak AI pracuje s obrazy?

- po každém filtrování se obrázek zmenší (např. se vezme z 2×2 pixelů maximum) (pooling)

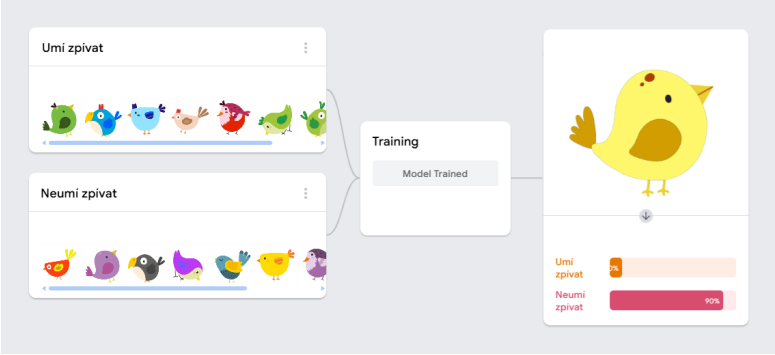


- toto můžeme udělat několikrát
- nakonec z matic uděláme jeden vektor čísel (flatten)



Jak AI pracuje s obrazy?

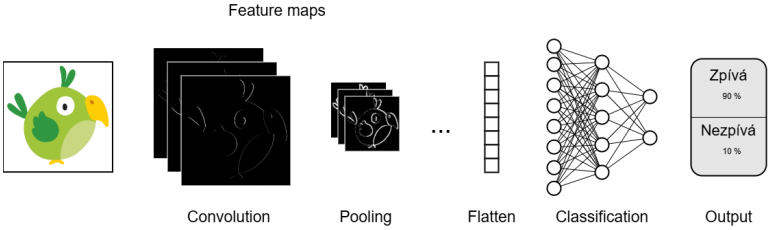
- tento vektor je vstupem do plně propojené neuronové sítě
- nakonec se nalezené rysy pošlou do klasifikátoru, který určí s jakou pravděpodobností se jedná o nějaký objekt



https://teachablemachine.withgoogle.com/

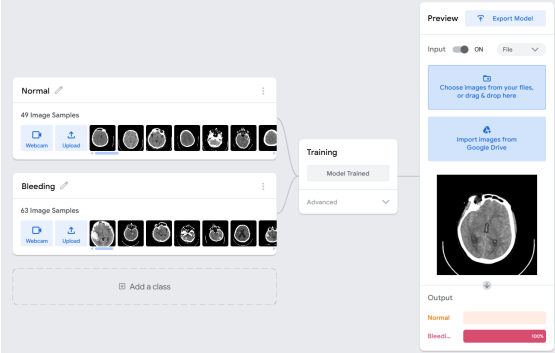
Jak AI pracuje s obrazy?
Příklad

- **Teachable machine**: `https://teachablemachine.withgoogle.com/`
- v Teachable Machine neprogramujeme filtry ručně
- filtry jsou předtrénované na milionu obrázků
- síť je možné dotrénovat vlastními obrázky



Jak AI pracuje s obrazy?

Příklad



Příklad

Jaké jsou limitace využití AI pro klasifikaci?

Jak AI pracuje s obrazy?

Limitace

- Velikost datasetu – příliš málo obrazů, nebude fungovat správně
- Různorodost snímků – různá pohlaví, různé přístroje, různé rasy, ...
- Výstup je pravděpodobnost s jakou patří snímek do jedné z kategorií, nepoví proč tak rozhodl
- Regulace (např. EU AI Act, FDA approval) – model musí projít validací.

Jak AI pracuje s obrazy?
Příklad

- Velikost datasetu – příliš málo obrazů, nebude fungovat správně
- Různorodost snímků – různá pohlaví, různé přístroje, různé rasy, ...
- Výstup je pravděpodobnost s jakou patří snímek do jedné z kategorií, nepoví proč tak rozhodl
- Regulace (např. EU AI Act, FDA approval) – model musí projít validací.

Jak AI pracuje s obrazy?
Limitace

Příklad

Předpokládejme, že máme neuronovou síť pro rozpoznávání hrníčků natrénovanou na následujících příkladech.

Proč tato síť špatně vyhodnocuje následující obrázky?

Jak AI pracuje s obrazy?

Limitace

Příklad

Předpokládejme, že máme neuronovou síť pro rozpoznávání koček natrénovanou na následujících příkladech.

Proč tato síť špatně vyhodnocuje následující obrázky?

Personalizovaná medicína

- tradiční hodnocení – na základě velikosti, tvaru lézí, . . .
- personalizovaná medicína – zohledňuje i další (epi)genetické, environmentální a životní faktory (chronická onemocnění)
- AI umožní zdravotnickým pracovníkům přizpůsobit léčebné strategie přímo pacientovi na míru
- to vede ke zlepšení kvality výsledku

Automatizace administrativních úkonů

- efektivnější provoz zdravotnických zařízení
- Příklad:
  - automatické přepisování a strukturování lékařských záznamů
  - vystavovat a posílat elektronické žádanky
  - extrahovat informace
- **Konkrétní příklad**:
  - Emory Toolbox – automatizované generování zpráv (využívá více než 230 pravidel – zatím jen omezení na kardiologii, komplexní ještě neexistuje)

Vysvětlitelná umělá inteligence (xAI)

- zaměřuje se na transparentnost AI systémů
- zejména tak, aby byly rozhodovací systémy pochopitelné pro lidi
- v medicíně je důležité porozumět, jak AI dospěla k nějakému závěru, aby lí lékaři mohli důvěřovat a vysvětlit zjištění pacientům
- transparentnost = akceptace AI v medicíně (rozhodnutí jsou eticky a klinicky opodstatněné)

Etické a právní aspekty využití AI v medicíně

- Ochrana soukromí pacientů
- Odpovědnost za rozhodnutí učiněná s podporou AI
- Regulace a standardizace AI systémů v medicíně

https://czch.tv/zavislostai

Etické a právní aspekty využití AI v medicíně

Ochrana soukromí pacientů

- zejména ochrana osobních údajů
- v ČR pravidla vycházejí z
  - obecného nařízení EU o ochraně osobních údajů (GDPR)
  - občanského zákoníku
  - zákona o zdravotních službách
  - zákona o zpracování osobních údajů
- klíčové otázky
  - právní důvod shromažďování údajů ze soukromí pacienta a jejich dalšího uchovávání
  - oprávnění přístupu k těmto údajům
  - oprávnění využívání těchto dat pro jiné účely než je poskytování zdravotních služeb (včetně trénování AI)
- je-li AI využívaná při poskytování zdravotních služeb (např. jako nástroj pro zpracování zdravotní dokumentace), jedná se o **dovolené zpracování údajů**
- právním důvodem je plnění povinností stanovených právními předpisy
- není potřeba souhlas pacienta
- v případě, že jsou data využívaná neoprávněně, má pacient právo se domáhat toho, aby od tohoto jednání bylo upuštěno a aby byl odstraněn následek tohoto zásahu do soukromí

Etické a právní aspekty využití AI v medicíně

Odpovědnost za rozhodnutí učiněná s podporou AI

- pokud zdravotnický pracovník používá pro své rozhodnutí o tom, zda a jakou zdravotní péči pacientovi poskytnout, nástroje založené na AI, je prvním přikázáním pro tento jeho postup povinnost poskytovat zdravotní služby na náležité odborné úrovni (viz § 49 odst. 1 zákona o zdravotních službách)
- to znamená, že musí poskytovat zdravotní služby zejména podle pravidel vědy a uznávaných medicínských postupů
- pokud je AI komponentou zdravotnického prostředku, je povinností zdravotníka používat tento prostředek v souladu s pokyny výrobce (viz § 39 odst. 1 o zdravotních prostředcích a diagnostických zdravotnických prostředcích in vitro)
- poskytovatel zdravotnických služeb (až na výjimky) neodpovídá za výsledek, ale za dodržování povinností spojených s poskytováním zdravotních služeb
- samotný zdravotnický pracovník může v této souvislosti čelit možným trestům od profesní komory (disciplinární odpovědnost), nebo může být vyžadována kompenzace zaměstnavateli náhradu škody (pracovněprávní odpovědnost)

Etické a právní aspekty využití AI v medicíně

Odpovědnost za rozhodnutí učiněná s podporou AI

Příklad

Může se stát, že poskytovatel nic nezanedbá, ale ukáže se, že nástroj obsahující AI, který u pacienta použil, byl vadný a v důsledku toho vznikla pacientovi škoda. Kdo by podle vás měl pacientovi škodu nahradit?

Etické a právní aspekty využití AI v medicíně

Odpovědnost za rozhodnutí učiněná s podporou AI

Příklad

Může se stát, že poskytovatel nic nezanedbá, ale ukáže se, že nástroj obsahující AI, který u pacienta použil, byl vadný a v důsledku toho vznikla pacientovi škoda. Kdo by podle vás měl pacientovi škodu nahradit?

- dle § 2936 občanského zákoníku – škodu je povinen nahradit poskytovatel zdravotní péče
- stejně tak pokud použije AI pro to, aby pacientovi poskytl hrazenou radu nebo informaci, a pacientovi vznikne škoda, neboť daná informace byla nesprávná nebo neúplná, respektive rada byla škodlivá, bude povinen tuto škodu pacientovi nahradit

Etické a právní aspekty využití AI v medicíně

Regulace a standardizace AI systémů v medicíně

- AI nástroje jsou schopné výrazně ovlivnit diagnostiku, léčbu a správu zdravotnických služeb
- je nutné zavést pravidla, která zajistí bezpečnost, efektivitu a etické využití těchto technologií
- je vhodné, aby existovala mezinárodní spolupráce při tvorbě těchto pravidel
- 2024 EU publikovala nařízení (EU) 2024/1689 – nařízení které stanovuje harmonizovaná pravidla pro umělou inteligenci (**akt o umělé inteligenci**)
- v medicíně se uplatňují specifická pravidla pro vývoj, prodej a použití zdravotnických prostředků (zejména nařízení (EU) 2017/745 o zdravotnických prostředcích)

Etické a právní aspekty využití AI v medicíně

Přehled zásadních právních předpisů EU vztahujících se k AI

1. nařízení (EU) 2024/1689, stanovuje harmonizovaná pravidla pro umělou inteligenci (akt o umělé inteligenci, **AI Act**)
2. nařízení (EU) 2016/679 o ochraně fyzických osob v souvislosti se zpracováním osobních údajů (obecné nařízení o ochraně osobních údajů, **GDPR**)
3. směrnice (EU) 2016/2102 o přístupnosti webových stránek, mobilních aplikací subjektů veřejného sektoru (**WAD**)
4. nařízení (EU) 2017/745 o zdravotnických prostředcích (**MDR**)
5. nařízení (EU) 2017/746 o diagnostických zdravotnických prostředcích in vitro (**IVDR**)
6. směrnice (EU) 2019/1024 o otevřených datech a opakovaném použití informací veřejného sektoru (**ODD**)
7. nařízení (EU) 2022/868 o správě dat (Data Governance Act, **DGA**)
8. směrnice (EU) 2022/2555 o opatřeních k zajištění vysoké společné úrovně kybernetické bezpečnosti v Unii (**NIS2**)

Etické a právní aspekty využití AI v medicíně

Přehled zásadních právních předpisů EU vztahujících se k AI

9. nařízení (EU) 2023/988 o obecné bezpečnosti výrobků (**GPSR**)
10. nařízení (EU) 2023/2854 o spravedlivém přístupu k datům a jejich využívání (o datech, **Data Act**)
11. nařízení (EU) 2024/903 o interoperabilitě veřejného sektoru (**Interoperable Europe Act**)
12. nařízení (EU) 2024/1183 o evropské digitální identitě rámec (**EUDI**)

Závěrečné zamyšlení

- Kolik stojí LLM?
  - Trénování ChatGPT-4: výrazně více než 100 milionů dolarů
  - spotřeba elektrické energie na trénování: až 60 GWh (spotřeba 24 tisíc průměrných českých domácností za rok)

Kolik stojí jeden běžný dotaz

Příklad:

- tvůj dotaz: **30–50 tokenů**
- odpověď: **200–400 tokenů**

Výpočet (střed odhadu):

- vstup: 50 tokenů → ~0,00001 USD
- výstup: 300 tokenů → ~0,0002 USD

👉 **Celkem: cca 0,0002–0,0003 USD**

To je zhruba:

- **0,005–0,007 Kč za jeden dotaz**

  - Konzervativní odhad: ≈50–150 milionů dotazů / den (cca 750 000 Kč/den)
- Z čeho se bude dál učit?
- Mají běžné weby nyní význam?