



# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Umělá inteligence ve zdravotnictví

## **STUDIJNÍ PROGRAM**

Projektové řízení inovací

## **VEDOUCÍ PRÁCE**

doc. RNDr. Bohumír Štědroň, CSc.



# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Lálová** Jméno: **Barbora** Osobní číslo: **503524**  
Fakulta/ústav: **Masarykův ústav vyšších studií**  
Zadávací katedra/ústav: **Institut ekonomických studií**  
Studijní program: **Projektové řízení inovací**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Umělá inteligence ve zdravotnictví**

Název diplomové práce anglicky:

**Artificial Intelligence in Healthcare**

Pokyny pro vypracování:

Posluchač provede rozbor trendů v AI a aplikaci ve zdravotnictví.  
Výsledkem bude i prognóza do roku 2030.  
Výsledky mohou být publikovány v odborných časopisech.

Seznam doporučené literatury:

Literatura:  
Štědroň B. a kol.: Prognostické metody a jejich aplikace, C.H.BECK, Praha 2012  
Štědroň B. a kol.: Prognostika, C.H.BECK, Praha 2019  
Štědroň B. a kol.: Právo a umělá inteligence, A.Čeněk, Praha 2020

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**doc. RNDr. Bohumír Štědroň, CSc. Masarykův ústav vyšších studií ČVUT v Praze**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **05.01.2022** Termín odevzdání diplomové práce: **19.08.2022**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
doc. RNDr. Bohumír Štědroň, CSc.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
Mgr. František Hřebík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústav/katedry

\_\_\_\_\_  
prof. PhDr. Vladimíra Dvořáková, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, a výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studentky

LÁLOVÁ, Barbora. Umělá inteligence ve zdravotnictví. Praha: ČVUT 2022. Diplomová práce.  
České vysoké učení technické v Praze, Masarykův ústav vyšších studií.



**MASARYKŮV ÚSTAV  
VYŠŠÍCH STUDIÍ  
ČVUT V PRAZE**

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracovala samostatně. Dále prohlašuji, že jsem všechny použité zdroje správně a úplně citovala a uvádím je v přiloženém seznamu použité literatury.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této závěrečné práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Praze dne: 09. 08. 2022

Podpis:

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu práce doc. RNDR. Bohumíru Štědroňovi, CSc. za cenné rady, pomoc, podporu a odborné vedení, které mi bylo poskytováno při zpracovávání mé diplomové práce. Dále děkuji všem odborníkům, kteří byli ochotni zúčastnit se dotazníkového šetření, které je součástí této práce. V neposlední řadě pak děkuji rodině a přátelům za jejich velkou podporu.

# Abstrakt

Diplomová práce se věnuje využití umělé inteligence a bioinženýrství ve zdravotnictví. Cílem práce je pomocí prognostické metody Delphi určit klíčové oblasti jejího dalšího vývoje, vytvořit scénáře dalšího vývoje trhu a dopadů využití těchto technologií pro společnost. V teoretické části jsou popsány možnosti umělé inteligence, trendy biotechnologií a jejich vzájemné propojení. Práce se zaměřuje na tři klíčové oblasti bioinženýrství: genové manipulace, neuromodulace a nanotechnologie. Shrnuje historický vývoj a současné úspěchy ve výzkumu těchto metod. V praktické části práce je využito metod situačních analýz k mapování trhu. Metodou expertního dotazníku Delphi jsou stanoveny technologie s největším potenciálem uplatnění ve zdravotnictví a jsou navrženy scénáře vývoje trhu bioinženýrství do roku 2030.

## Klíčová slova

Biotechnologie, genové manipulace, neuromodulace, nanotechnologie, umělá inteligence, prognóza

# Abstract

The diploma thesis focuses on use of artificial intelligence and bioengineering in healthcare. The aim of this work is to use Delphi analyze method to analyze the market of artificial intelligence in healthcare and predict key areas of development and their forecast, to create scenarios of further market development and the impact of the use of these technologies for society. The theoretical part describes the possibilities of artificial intelligence, biotechnology trends as well as their interconnection. The thesis focuses on three bioengineering key areas: gene manipulation, neuromodulation and nanotechnology. It summarizes the historical development and current achievements in the research of these methods. The practical part is devoted to the market analysis and its growth prediction as well as the prediction of bioengineering use in medicine in year 2030, using Delphi method.

## Key words

Biotechnology, gene manipulation, neuromodulation, nanotechnology, artificial intelligence, forecast





# Obsah

Úvod.....	13
Seznam zkratk.....	15
<b>1 Cíl práce a a výzkumné metody .....</b>	<b>16</b>
<b>2 Technologické prognózy.....</b>	<b>17</b>
2.1 Prognostika.....	17
2.2 Prognóza.....	18
2.3 Postup prognostických metod.....	18
2.5 Vybrané prognostické metody.....	19
2.6 Metoda Delphi .....	21
2.7 Kolo budoucnosti.....	21
2.8 Scénáře.....	22
2.9 CAGR.....	23
<b>2. Umělá inteligence .....</b>	<b>23</b>
2.1. Historie umělé inteligence .....	23
2.2. Expertní systémy .....	24
2.3. Neuronové sítě.....	25
2.4. Strojové učení .....	26
2.5. Deep learning.....	27
2.6. Big Data .....	27
<b>3. Role bioinženýrství ve zdravotnictví.....</b>	<b>28</b>
3.1. Historie bioinženýrství .....	28
3.2. Členění bioinženýrství.....	29
<b>4. Propojení bioinženýrství s UI.....</b>	<b>29</b>
4.1. Genové manipulace .....	30
4.1.1. DNA historie a význam.....	30
4.1.2. Technologie sekvenování DNA.....	31
4.1.3. Databáze.....	33
4.1.4. Genetické inženýrství.....	34
4.1.5. Preimplantační genetika .....	34

4.1.6.	Genomika – personalizovaná medicína .....	37
4.1.7.	Kmenové buňky.....	37
4.1.8.	Nesmrtelnost .....	38
4.1.9.	Modelové organismy – transgenní modely.....	39
4.1.10.	Editace DNA – CRISPR-Cas9.....	40
4.2.	Neuromodulace.....	43
4.2.1.	Historie a členění neuromodulace .....	43
4.2.2.	EEG Biofeedback.....	44
4.2.3.	Neuralink .....	45
4.2.4.	Propojení neuromodulace s virtuální realitou .....	46
4.3.	Nanotechnologie .....	47
4.3.1.	Historie a současné trendy nanotechnologií .....	47
4.3.2.	Monitorovací a diagnostická zařízení .....	47
4.3.3.	Biočipy .....	48
4.3.4.	Tkáňové inženýrství .....	48
4.3.5.	Nanoroboti .....	49
<b>5.</b>	<b>Kritika metod a jejich etický a právní rámec .....</b>	<b>50</b>
<b>6.</b>	<b>Analýza a predikce vývoje trhu .....</b>	<b>54</b>
6.1.	Analýza trhu UI v bioinženýrství.....	54
6.1.1.	Růst množství datových souborů.....	54
6.1.2.	Dopad pandemie Covid-19 na trh s UI.....	55
6.1.3.	Podíl biotechnologií na Hrubé přidané hodnotě (GVA) v EU .....	56
6.1.4.	Podíl biotechnologií na trhu práce .....	57
6.2.	Analýza růstu trhu CAGR.....	58
6.2.1.	Trh s genetickým inženýrstvím .....	58
6.2.2.	Trh s BCI .....	60
6.2.3.	Trh nanotechnologií .....	61
6.2.4.	Predikce penetrace trhu biotechnologiemi.....	62
6.3.	Největší hráči na trhu s UI .....	63
6.3.1.	Specifika trhu s bioinženýrstvím a UI.....	64
6.3.2.	Analýza prostředí – Porterův model.....	65
6.3.3.	Agilent Technologies, Inc. ....	66

6.3.4. Illumina .....	66
6.3.5. Pfizer Inc.....	67
6.4. Analýza faktorů .....	68
6.4.1. Socio-demografické.....	68
6.4.2. Technologické faktory .....	70
6.4.3. Ekonomické faktory.....	71
6.4.4. Politické faktory .....	71
<b>7. Prognóza roku 2030 .....</b>	<b>73</b>
7.1. Metoda Delphi .....	73
7.2. Scénáře.....	81
7.2.1. Optimistický scénář - trh bioinženýrství v roce 2030.....	82
7.2.2. Realistický scénář-trh bioinženýrství v roce 2030 .....	83
7.2.3. Pesimistický scénář-trh bioinženýrství v roce 2030.....	84
7.2.4 Výběr scénáře .....	85
<b>Závěr .....</b>	<b>86</b>
<b>Zdroje.....</b>	<b>88</b>
<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>94</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>95</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>95</b>

# Úvod

Oblast umělé inteligence byla ještě před pandemií Covid-19 ve zdravotnictví ve fázi zrodu. Pandemie ovšem vyvolala růst poptávky po podpoře zdravotnictví umělou inteligencí. Vládní regulace v době pandemie ustoupily mnoha procesům brzdících růst trhu a začaly podporovat právě řešení založená na jejích principech. Téma umělé inteligence ve zdravotnictví se stalo ještě více aktuálním i vzhledem k tomu, že pandemie spustila vlnu financování tohoto sektoru, což potvrzuje aktuálnost tématu diplomové práce.

Jedna z oblastí s největším využitím umělé inteligence ve zdravotnictví jsou biotechnologie. Vědecký pokrok v oblasti zdravotní péče exponenciálně roste a je stále více zásadním způsobem závislý na využívání ohromného množství dat, které generují moderní biotechnologie. Vědci přečetli lidský genom, naučili se rozpoznávat rozdíly v DNA a tím odhalovat vrozené vady. Během života je možné předcházet nemocem personalizovanou celostní medicínou. Genové nůžky umožňují přesně vyjímát a nahrazovat (manipulovat) konkrétní gen a tím ovládat evoluci. Světoví giganti a vizionáři zakládají společnosti, kde koncentrují odborníky zabývající se možnostmi přesně cílené za pomoci umělé inteligence a nanotechnologií. Data získaná moderními přístrojovými metodami jsou sdružována v tisících databázích a možnost jejich využití je závislá na schopnostech umělé inteligence. Zatímco v období před přečtením lidského genomu se objevy odehrávaly především v laboratořích prováděním a analýzou experimentu, kdy výzkumná centra většinou pracovala s malým množstvím dat, v období po přečtení lidského genomu se tento způsob výzkumu významně změnil a není již možné dosáhnout významného pokroku bez použití dat z obsáhlých databází a bez užití tzv. Big data.

Diplomová práce se věnuje vztahům mezi moderními přístrojovými biotechnologiemi a umělou inteligencí a predikcí jejich vývoje za pomoci prognostických metod. V teoretické části jsou nejprve popsány metody tvorby technologických prognóz, z nichž některé byly využity ke stanovení predikce trhů s biotechnologiemi v roce 2030. Dále je popsána umělá inteligence a principy, na kterých pracuje. Samostatná kapitola je věnována trendům bioinženýrství ve zdravotnictví a ve vědeckém výzkumu. V této kapitole se čtenář seznámí s metodami čtení lidského genomu a možnostmi jeho manipulace, další kapitola se bude zabývat nanotechnologiemi a neuromodulací mozku a jejich spojením s umělou inteligencí, strojovým učením a big daty, které budou jistě základním článkem všech bioinženýrských procesů.

Celosvětový trh s biotechnologiemi v roce 2021 představoval téměř 753 miliard amerických dolarů. Biotechnologie se staly velmi oblíbenou položkou mezi investory z důvodu dlouhodobé růstové tendence trhu, která se nezměnila ani v době finanční krize v roce 2008 a v době pandemie Covid-19 dokonce trh s biotechnologiemi silně posílil. Jedním z cílů diplomové práce je zjistit, zda bude tento rostoucí trend pokračovat. Další vývoj trhů bude ovlivňovat mnoho faktorů.

Cílem této práce je tyto faktory analyzovat, popsat důležitost a potenciál umělé inteligence ve spojení biotechnologiemi za pomoci dotazníkového šetření metodou Delphi a vytvoření možných scénářů budoucího vývoje světových trhů, zdravotnictví a společnosti.

## Seznam zkratek

BCI – Brain Computer Interface – Rozhraní mezi mozkiem a počítačem

CAGR – Compound Annual Growth Rate – Složená roční míra růstu

DNA – Deoxyrybonukleovou kyselinu

EEG – Elektroencefalografie

EPO – European patent office – Evropský patentový úřad

IPO – Initial Public Offering – První veřejná nabídka akcií

NGS – Next generation sequencing – Sekvenování nové generace

PGD – Preimplantační diagnostika

RNA – Ribonukleová kyselina

UI – Umělá inteligence

# 1 Cíl práce a a výzkumné metody

## Hlavní cíl:

Hlavním cílem této diplomové práce je analyzovat poměrně nový trh umělé inteligence v oblasti zdravotnictví – bioinženýrství. Pomocí prognostických metod vytvořit možné scénáře budoucího vývoje biotechnologií a jejich růstu na světových trzích.

## Dílčí cíle:

- Analýza trhů pomocí predikce růstu trhu CAGR (Složená roční míra růstu)
- Vytvoření predikce penetrace trhu novými biotechnologiemi
- Analýza největších hráčů na trhu pomocí elektronických zdrojů informací
- Analýza prostředí UI pomocí Porterova modelu 5ti sil
- Analýza faktorů trhu za účelem vytvoření prognostických scénářů
- Užitím expertní metody dotazování Delphi stanovit klíčové trendy v oblasti bioinženýrství a UI
- Na základě výsledků dotazníkového šetření sestavit scénáře možného vývoje
- Nastínění příležitostí a hrozeb biotechnologií

## Výzkumné metody:

- Dotazníkové šetření Delphi
- Průzkum odborné literatury
- Odborné rozhovory
- Analýza faktorů trhu založená na teoretických poznatcích, Porterova analýza 5ti sil
- Predikce penetrace trhu pomocí BCG matice

## 2 Technologické prognózy

Poznání budoucího vývoje má vliv na většinu významných rozhodnutí. Jelikož budoucnost je nejistá a nelze ji přesně určit, roste potřeba tvorby prognóz. Prognózy jsou podstatné jak ve státní správě, dopravě, ekologii, vývoji trhů, vojenství, tak ve sportu či ekologii. Týkají se jak podnikové sféry, tak státní moci.

V době, kdy se technologie vyvíjí skokovým tempem a mění dnes a denně naše životy, se technologické prognózy stávají prostředkem, jak určit klíčové trendy a věnovat pozornost zkoumání nejen příležitostem, které přinášejí, ale také identifikovat jejich možná rizika. Na vývoj technologií je třeba dívat se nejen jednotlivě, ale také transtechnologicky, čili zkoumat, jaký je možný vývoj s využitím kombinací technologií.

Tvorba technologických prognóz je úkolem technických ředitelů, svoje prognózy každoročně vydávají nadnárodní společnosti i giganti na poli výroby technologií, zabývají se jimi ale také etické komise národních a nadnárodních organizací.

### 2.1 Prognostika

*"Odhadování budoucnosti není o tom, mít nakonec pravdu, ale mít kuřáž mýlit se zajímavým způsobem".*

*(prezident Světové prognostické společnosti Erik F. Øverland, vlastní překlad)*

Prognostika je věda o formulování prognóz. Slovo "prognostika" pochází z řeckého prognósis (předpověď). Prognostika zahrnuje řadu činností, zejména:

- studium a definování zákonitostí prognózování,
- rozvoj metod a technik prognózování a jejich zavádění do praxe,
- vytváření prognóz jako nástroje kvalitnějšího řízení a rozhodování (v národohospodářské praxi, politickém životě apod.),
- koncipování prognóz jako nástroje, který umožňuje rozvíjet dosavadní teoretické poznání. [1]

Předmětem prognostiky je shromažďování poznatků, zkušeností a představ o budoucnosti, získaných racionálními postupy a logickými úvahami. Prognostika zkoumá řešení úloh a postupy myšlení o budoucnosti, jako podkladu pro jednání a rozhodování lidí. Prognóza vyjadřuje vývoj jako



tendenci, trend nebo probíhající proces: změnu (jako příčinu vývoje) v podobě událostí uskutečňujícího se jevu. Studium budoucnosti by mělo poskytnout návod pro optimální jednání lidí.

Prognostika přináší představy, domněnky, modely o budoucnosti, která ještě neexistuje. Pokud takové hypotézy vznikly racionálními postupy, exaktní metodou, hovoříme o prognóze. Prognóza může být v představě o budoucnosti zahrnuta zcela, případně může v ní být v kombinaci s intuitivními výroky nebo se v ní neuplatní vůbec. [2]

Při určitém zjednodušení se vymezi tři stádia rozhodovacího procesu, při kterých se uplatní prognostické metody a postupy. Prvním stádiem je "formulace problému", o kterém máme rozhodnout, což koresponduje s informační činností rozhodovatele. Druhým stádiem je "hledání možných cest k přijetí rozhodnutí", což odpovídá konstruktivní činnosti rozhodovatele. A konečně třetí stadium "výběr určité cesty", kterému odpovídá alternativní činnost rozhodovatele. [3]

## 2.2. Prognóza

Prognóza je systematicky odvozená výpověď o budoucím stavu objektivní reality. Oproti prosté předpovědi nebo tvrzení se opírá o vědecké poznatky.

Aby mohla být výpověď o budoucnosti považována za prognózu, musí:

- vzniknout jako výsledek organizované činnosti
- obsahovat charakteristiku své spolehlivosti
- musí se vztahovat k určitému prognózovanému období
- musí vyjadřovat alternativnost možných budoucích stavů
- musí obsahovat podmínky, za kterých se má uskutečnit

Podle těchto podmínek je následně možné prognózu verifikovat. [4]

Efektivnost prognózy je vztah mezi přínosy a náklady na její sestavení. Účinky lze vyjádřit jako působení výsledků prognostické činnosti při jejich uplatnění. Odvozují se z funkcí prognózy (informační, analytické, syntetické). Náklady vznikají v jednotlivých etapách prognostické činnosti (analýza, tvorba, převod do praxe, atd.). Účinky prognóz posuzujeme na základě oceňování charakteristik jejich vypovídajících schopností (spolehlivost, přesnost, komplexnost).

## 2.3. Postup prognostických metod

Před zpracováním prognózy je potřeba určit si časový horizont, ke kterému se bude prognóza vztahovat. Členění dle časového období je obvykle děleno do čtyř skupin:

- Prognóza dosud neznámých dat o minulém či současném vývoji (nowcasting).

- Krátkodobá prognóza – horizontem je obvykle měsíc či čtvrtetí, někdy až rok (short-term forecast).
- Střednědobá prognóza – časový horizont je obvykle 1 až 2 roky.
- Dlouhodobá prognóza – horizont je obvykle 5 a více let. [1]

Prognostickou činnost lze dle Armstronga rozdělit do několika kroků:

1. Vymezení a analýza problému – co řešíme
2. Získání informací
3. Výběr vhodné prognostické metody nebo jejich kombinací
4. Implementace vybraných prognostických metod
5. Zpracování prognózy [5]

## 2.5. Vybrané prognostické metody

Podle Buřity je aplikace prognostických metod individuální záležitostí, nelze postupovat schématicky a nejlépe je uplatnit kombinaci více metod. Při vlastním postupu zpracování bereme v úvahu charakteristiky metodické, informační a komunikační.

V literatuře se nejčastěji uvádí rozdělení prognostických metod na kvalitativní a kvantitativní.

**Kvalitativní metody**, někdy též nazývané subjektivní či úvahové, jsou v prvním případě uplatněny tehdy, pokud historická data, týkající se předpovídané události, jsou nedostatečná nebo nejsou k dispozici a ve druhém případě, pokud předpovídané události nelze postihnout kvantifikovatelnými informacemi či se jedná o technologické změny. Případně sem můžeme zařadit tzv. předběžné prognózy, odvozené intuicí a zkušenostmi.

- Za hlavní přednost metod lze považovat využití velkého množství informací.
- Nevýhodou metody je její nesystematičnost v měření a vyhodnocení přesnosti předpovědi a možná předpojatost expertů.
- Jsou vhodné pro dlouhodobé předpovědi

Kvantitativní metody jsou metody statistické, kdy se aplikuje analýza dat z minulosti v různých časových pohledech. Prognostik s využitím historických dat identifikuje cestu předpovědi, k níž přidá vhodný matematický model a pomocí rovnic modelu předpovídá body v budoucnosti. Takový přístup předpokládá, že identifikovaná cesta pro předpověď pokračuje i do budoucnosti. Kvantitativní metody se dělí do dvou skupin: Modely časových řad a Ekonometrické nebo příčinné. [2]

Potůček dělí prognostické metody podle převažujícího důrazu do tří skupin:

**Univerzální metody** mají nejširší pole uplatnění. Univerzální metody jsou charakteristické tím, že je lze využít v jakékoliv fázi tvorby prognózy, jejich použití není omezeno ani z hlediska délky časového období, pro které je prognóza vytvářena. [6]

Mezi tyto metody patří:

- Brainstorming
- Panel expertů
- Participativní metody
- Index stavu budoucnosti

**Strukturální metody** – aplikace strukturálních metod se v prognostické činnosti využívá zvláště ve chvílích kdy je potřeba identifikovat strukturu daného objektu nebo procesu. Tímto důrazem se tedy strukturální metody liší od všech ostatních prognostických metod. (Valouch) Mezi tyto metody řadíme:

- Systémový přístup
- Strom významnosti a morfologická analýza
- Kolo budoucnosti
- Křížové interakce
- Analýza textu pro technologické předvídání
- Kritické technologie [7]

**Procesuální metody** – Skupina procesuálních prognostických metod nabízí nástroje, které se používají pro zpracování analýz chronologických sekvencí dat a parametrů. Tyto metody se využívají zejména k tvorbě možných vývojových tendencí. [6]

Mezi metody patří:

- Analýza dopadu trendů
- Analýza megatrendů
- Metoda Delphi
- Simulace a hry
- Scénáře [7]

## 2.6. Metoda Delphi

Metoda Delphi je intuitivní metoda, která slouží k utváření společného názoru skupiny expertů. Tato metoda byla původně vypracována pro potřeby prognózování, v současnosti se využívá i při rozhodování a řešení nejrůznějších problémů.

Všeobecně lze metodu Delphi rozdělit do tří typů lišících se podle účelu, pro který jsou využívány:

- Tradiční Delphi – využíváné k vytváření konsenzu ohledně budoucího vývoje
- Strategicky orientované Delphi – využívána převážně k porozumění oblasti veřejných politik
- Delphi orientované na rozhodování – má za cíl generovat návrhy na konkrétní opatření související s realizací veřejných nebo firemních politik

Mezi výhody tohoto způsobu patří možnost spolupráce s experty fyzicky nepřítomnými a eliminace konformity s názorem autority nebo většiny.

Velikost skupiny respondentů je variabilní. Všeobecně se udává vhodný počet účastníků 10-15. [8]

## 2.7. Kolo budoucnosti

Metoda kola budoucnosti je jeden z druhů strukturované metody brainstorming. Je to způsob, jak organizovat myšlení a pokládat otázky o budoucnosti. Název události nebo trendu je napsán uprostřed plochy papíru a k němu přepisujeme malé paprsky, které jsou umístěny do kruhu kolem středu. Na konci každého paprsku jsou napsány primární dopady a důsledky. Další, sekundární dopady, vytvářejí druhý prsteneček kola. Tento efekt řetězení pokračuje do doby, dokud nejsou vyjasněny všechny zobrazené dopady a důsledky řešené události či trendu. [7]

Práce s touto metodou může probíhat dvěma základními způsoby. První je zpočátku rychlejší, kdy účastníci sestavují mapu důsledků s omezeným nebo žádným hodnocením. Ve chvíli, kdy se skupina domnívá, že všechny názory jsou dostatečně zaneseny do grafu, mohou začít s hodnocením a korekcemi grafu tak, aby co nejvíce odpovídal skutečnosti. Tento krok je podobný objasňovací části u metody brainstorming. Druhý způsob práce s touto metodou je pomalejší. Od počátku jsou všechny zmíněné důsledky události nebo trendu podrobovány kritice a hodnocení před tím, než vstoupí do grafu. Je přijat pouze ten důsledek, na kterém se shodnou všichni. Ostatní návrhy

jsou vyřazeny. Metodu kola budoucnosti lze využít pro vytváření prognóz v rámci alternativních scénářů, kdy někdo vybere určitý scénář a z něho jednu položku k prozkoumání. Tímto způsobem se mohou objevit různé varianty, jak v budoucnosti vytvořit nějaký produkt, který by byl citlivější vůči uživatelům. Každý nový rys produktu může mít paprsky, které identifikují, jaké prvky je nutné včlenit do nového návrhu tak, aby měl šanci být úspěšný na trhu.

Výhody metody:

- Je snadná
- Uživatelsky příjemná
- Nevyžaduje žádné vybavení ani software
- Nevyžaduje odborné vzdělání nebo výcvik a je lehce modifikovatelná pro různé situace
- Jednoduchý způsob kolektivního uvažování o budoucnosti

Nevýhody metody:

- Výsledky nejsou dokonalejší než kolektivní poznání účastníků
- Předpovídané důsledky mohou být chybně chápány jako něco, co se opravdu stane

Výstupy metody kola budoucnosti mohou být používány jako základ pro další přemýšlení, pro systematické vysvětlování a pro aplikaci jiných způsobů zkoumání budoucnosti. Jednoduše řečeno, metoda kola budoucnosti je tvořivý nástroj, který umožňuje vstup do přemýšlení o budoucnosti. [7]

## 2.8. Scénáře

Scénáře jsou vyprávění o možné budoucnosti. Jejich cílem není přesná predikce budoucího vývoje, ale spíše popis možného vývoje vzniklého na základě vývojových souvislostí mezi jednotlivými událostmi. Kvalitní scénáře jsou hodnověrné, vnitřně konzistentní a inspirující potenciální rozhodovatele. Měly by vést k tvorbě politických (ale také hospodářských, vojenských) strategií.

Scénáře nejsou jednoznačné předpovědi budoucnosti, ale spíše způsob uspořádání mnoha tvrzení o budoucnosti, která se za určitých podmínek může stát reálnou. Účelem tvorby scénářů je systematicky prozkoumávat, vytvářet a prověřovat jak možné, tak i žádoucí budoucí podmínky. Mají pomoci generovat dlouhodobé politiky, strategie a plány. Svou povahou mohou být scénáře deskriptivní (popisují možné budoucí události a trendy na základě alternativních předpokladů) či normativní (popisují, jak je možné ze současnosti dosáhnout žádoucího budoucího stavu). [7]

V souvislosti s tvorbou scénářů se definují tzv. černé labutě, což jsou události nejméně pravděpodobné, někdy až nereálné a určujeme jejich dopad na sledovaný systém.

## 2.9. CAGR

Pro výpočet ročního tempa růstu využíváme metodu složené roční míry růstu označovanou také jako CAGR (Compound annual growth rate). Výsledné hodnoty zjištěné pomocí metody složeného tempa ročního růstu můžeme interpretovat jako vyhlazené roční tempo růstu dosažené ve sledovaném časovém horizontu. V případě CAGR jde tedy o míru růstu, která představuje diferenci proměnné v případě jejího konstantního průběhu ve sledovaném období. Složené tempo ročního růstu můžeme vypočítat pomocí následující rovnice :

$$\sqrt[n]{\frac{\text{konečná hodnota}}{\text{počáteční hodnota}}} - 1 \quad [9]$$

## 2. Umělá inteligence

Umělá inteligence je schopnost počítačového systému napodobovat lidské kognitivní funkce, jako je učení a řešení problémů. Prostřednictvím umělé inteligence počítačový systém používá matematiku a logiku k simulaci uvažování, které lidé používají k učení se z nových informací a rozhodování. Norma ISO 2382-28:1988 definuje umělou inteligenci jako "schopnost stroje simulovat myšlenkové pochody člověka tím, že vykonává činnosti obvykle spojované s lidskou inteligencí, např. uvažování, učení a sebezdokonalování. [10]

### 2.1. Historie umělé inteligence

Historie umělé inteligence, tak jak ji známe dnes, se ovšem začala psát až v první polovině 20. století, kdy již existovaly programovatelné stroje a první počítače. V této době vzniklo také vědeckofantastické drama Karla Čapka R.U.R., kde tento významný český spisovatel, jako vůbec první na světě, použil (a tedy i vymyslel) slovo robot. Současně prostřednictvím děje zpodobnil, již zmíněný, strach z nadvlády robotů.

K určení, zda lze umělou inteligenci skutečně pokládat za inteligentní, slouží i dnes tradičně užívaná metoda Turingův test, který položil základ pro teorii strojového učení. Turingův test zpravidla probíhá ve dvou oddělených místnostech. V jedné z nich se nachází počítač (subjekt) spolu s člověkem a ve druhé další člověk (testující), jehož úkolem je rozpoznat, zda probíhající konverzaci vede s člověkem, nebo se strojem. Testující tak postupně pokládá sérii otázek, jež jsou náhodně kladeny počítači a člověku ve druhé místnosti.

Mezi první produkty umělé inteligence patřil počítač Arthura Samuela z roku 1952, který dokázal simulovat průběh deskové hry Dáma. V roce 1954 umělá inteligence od IBM zaznamenala první úspěchy v oblasti překladu jazyků, kdy zvládla vybrané fráze a slova překládat z angličtiny do ruštiny. O dva roky později (1956) se pak začalo používat oficiální označení umělá inteligence. Dalším významným milníkem je první virtuální asistent ELIZA z roku 1966 a první humanoidní robot z Japonska, představený v roce 1970. Wabot-1 dokázal prostřednictvím senzorů samostatně manipulovat s předměty či vést konverzaci s lidmi. V sedmdesátých letech (konkrétně 1972) se UI dostalo také do světa medicíny, v němž figuruje, stejně jako v oblasti překladů, dodnes. [11]

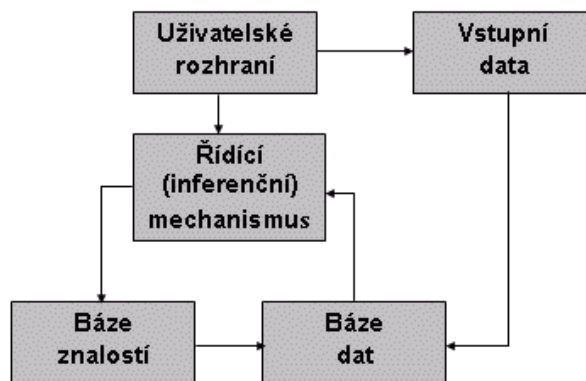
## 2.2. Expertní systémy

Expertní systém bývá charakterizován jako počítačový program, který simuluje rozhodovací činnost expertů při řešení složitých, úzce problémově zaměřených úloh. Jedná se tedy o systém, který nevyužívá znalostí nabytých vlastní činností, ale využívá znalostí (myšlení a rozhodování) špičkových odborníků v dané oblasti. Avšak bez lidských omylů. Cílem činnosti expertního systému je dosáhnout co nejlepší odezvy na reálná data.

Expertní systémy jsou složeny ze tří částí. Báze znalostí, báze dat a řídicí mechanismus:

- Báze znalostí - znalosti, které expert získává postupně v průběhu praxe a o nichž ví, že mu pomáhají při řešení určitých problémů.
- Báze dat – data o daném případě získaná od uživatele v dialogovém režimu
- Řídicí mechanismus (též komunikační mechanismus) realizuje proces hledání řešení nad bází znalostí a vstupními informacemi. Mechanismus je složen ze souboru kooperujících programů zabezpečující procedurální složku činnosti expertního systému. Tak modul umožňuje v určitém rozsahu napodobovat expertovu schopnost uvažovat. [12]

Interakci jednotlivých částí expertního systému zobrazuje obrázek 1:



Obrázek 1: Hlavní komponenty expertního systému, zdroj [10]

### Typy expertních úloh:

Podle charakteru řešených úloh se aplikace dají rozdělit na:

- Diagnózu: Proces nalezení chyb nebo chybných funkcí živého nebo neživého systému. (MYCIN – expertní systém pro oblast vnitřního lékařství)
- Interpretaci: Analýza dat s cílem určení jejich významu
- Monitorování: Online interpretace signálů a dat a určení okamžiku, kdy je nutná intervence (monitorování pacienta na umělé ventilaci)
- Návrh: Vytváření konfigurace objektů vyhovujících daným podmínkám
- Plánování: Nalezení posloupnosti akcí vedoucí k dosažení cíle (MOLGEN – expertní systém pro plánování experimentů v molekulární genetice)
- Predikce: Předpověď běhu budoucích událostí na základě modelu minulosti a současnosti. (Příklad: GLAUCOMA – expertní systém pro predikci vývoje šedého zákalu). [10]

V dalších kapitolách budou popsány příklady expertních systémů využívaných v molekulární genetice – modelové organismy a v neuromodulaci (EEG biofeedback).

## 2.3. Neuronové sítě

Neuronová síť může znamenat buď „skutečnou“ biologickou neuronovou síť, jako je ta v našem mozku, nebo umělou neuronovou síť simulovanou počítačem. Neuronová síť sestává z velkého množství prostých jednotek, neuronů, které vzájemně přijímají a vysílají signály. Neurony představují velmi jednoduché zpracovatele informací, skládající se z buněčného těla a „vláken“, která neurony spojují. Většinu času nic nedělají a jen čekají na signály přicházející prostřednictvím těchto spojení. V porovnání s běžným počítačem mají neuronové sítě tu vlastnost, že se nezaměřují vždy pouze na jednu úlohu, ale zpracovávají obrovské množství informací zároveň. Dalším rozdílem je,



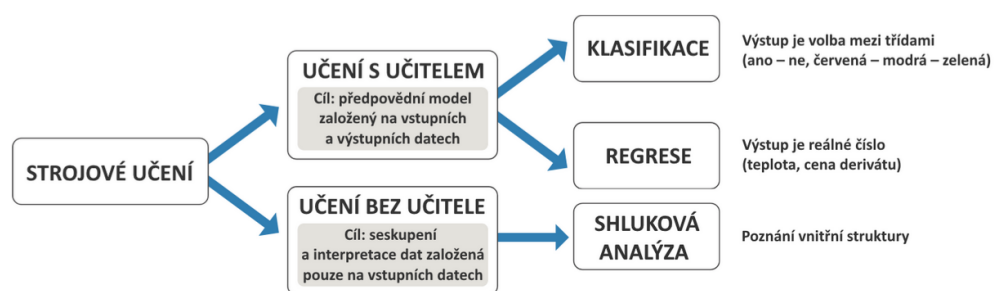
že počítače oddělují uchovávání dat a jejich zpracování, zatímco neurony informace uchovávají i zpracovávají, takže není třeba před zpracováním hledat data v paměti. [13]

V bioinženýrství se neuronové sítě používají k rozpoznání odlišností v DNA kódu při sekvencovacích technikách, k modelování neurofyzologie mozku při popisu a léčbě psychických poruch jako Schizofrenie nebo Alzheimerovy choroby. Neuronové sítě jsou také používány k tvorbě simulačních programů k předpovědi fungování nanočástic. Tyto obory a jejich aplikace v medicíně budou popsány v samostatných kapitolách této práce.

## 2.4. Strojové učení

Strojové učení používá data a k tvorbě programu k plnění zadaného úkolu. Jádrem výsledného programu je matematický model, který vyhodnocuje výstupy na základě vstupních dat. Úkolem strojového učení je nastavit parametry modelu tak, aby vyhodnocení výstupů probíhalo s maximální přesností a minimem chybných výsledků.

Strojové učení může být s učitelem nebo bez učitele, kdy učitel zde představuje provázanost vstupních dat s cílovými proměnnými, tedy nějakým hodnotícím výrokiem. V případě strojového učení bez učitele jde o vyhodnocení vstupních dat například jejich kompresí či jejich redukcí na určité body.



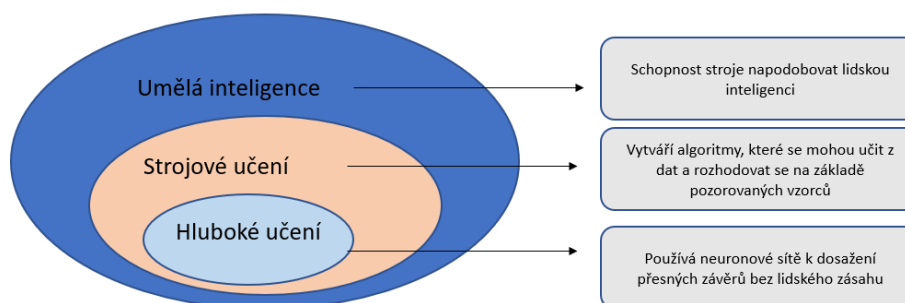
Obrázek 2: Rozdělení strojového učení podle typu úlohy, zdroj: [14]

Aplikace metod strojového učení však nespočívá pouze v hledání samotného klasifikátoru či regresního modelu, ale také ve vhodné přípravě dat. Data se nejprve vhodným způsobem upraví a teprve poté jsou předána na vstup klasifikačního nebo regresního modelu.

## 2.5. Deep learning

Hluboké učení (anglicky deep learning) získalo svůj název podle toho, že pracuje s hlubokými dimenzemi, které by strojovému učení způsobovaly problémy. Zde se systém učí sám a nedostává žádná data předem. Strojové učení do jisté míry zasahuje i do hlubokého učení. Zde se však používají umělé neuronové sítě, které jsou uměle modelovány podle biologických sítí, jako je lidský mozek. Hluboké učení, které se používá například v umělé inteligenci, také potřebuje chyby, protože systém se tak učí, které informace byly správné a je třeba je v neuronové síti posílit. [15]

Následující obrázek zobrazuje vztah mezi umělou inteligencí, strojovým učením a hlubokým učením.

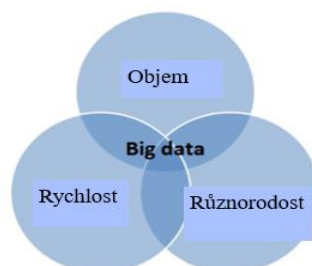


Obrázek 3: Vlastní zpracování: Vztah mezi umělou inteligencí, strojovým učením a hlubokým učením, zdroj [15]

## 2.6. Big Data

Data jsou v informatice údaje zaznamenané v digitální (číselné) podobě určené k počítačovému zpracování.

Velká data jsou větší, komplexnější datové sady, zejména z nových datových zdrojů. Tyto datové soubory jsou tak objemné, že tradiční software pro zpracování dat je prostě nedokáže spravovat. Tyto obrovské objemy dat však lze použít k řešení obchodních problémů, které byste dříve nebyli schopni řešit.



Obrázek 4: Vlastní zpracování: Definující vlastnosti Big Data, zdroj [16]

- Volume (objem)

Objem dat narůstá exponenciálně.

- Velocity (rychlost)

Objevují se úlohy vyžadující okamžité zpracování velkého objemu průběžně vznikajících dat.

- Variety (různorodost, variabilita) [16]

## 3. Role bioinženýrství ve zdravotnictví

Bioinženýrství, známé také jako biologické inženýrství, je disciplína, která zkoumá uplatňování matematiky, chemie, fyziky a počítačových věd, aby analyzovala a navrhla nové procesy nebo nástroje pro překonání mezer ve vědách o živé přírodě. Jedná se o oblast, která zahrnuje širokou škálu podoborů, zahrnujících potravinové a biologické procesní inženýrství, agrotechniku, inženýrství technických zdrojů a biomedicínské inženýrství.

Bioinženýrství využívá tzv. biotechnologie, které Organizace spojených národů v Úmluvě o biologické rozmanitosti definuje jako technologii, která využívá biologických systémů živých organismů nebo jejich odvozených biologických systémů k produkci nebo modifikaci výrobků či procesů pro specifické použití. [17]

Tato diplomová práce se zabývá touto oblastí bioinženýrství, které v současnosti těží nebo v budoucnosti budou těžit z možností umělé inteligence.

### 3.1. Historie bioinženýrství

Dnes se biotechnologií rozumí molekulární a buněčné technologie, které se začaly objevovat v 60. a 70. letech 20. století, především ve spojení se společností Genentech, lidé ale využívají biologické procesy ke zlepšení kvality svého života již asi 10 000 let, počínaje vznikem zemědělství. Přibližně před 6000 lety začali lidé využívat biologické procesy mikroorganismů, aby mohli vyrábět chléb, alkoholické nápoje a sýry a konzervovat mléčné výrobky. V medicíně biotechnologiím vděčíme vynálezu očkování v 18. století, 20. století přineslo objev v podobě antibiotik.

Bioinženýrství zpočátku dominoval biotechnologický průmysl, technologie rekombinantní DNA nebo genetické inženýrství, které přinesly například inzulin.

Když v roce 1980 nejvyšší soud USA uzákonil, že živým člověkem vyrobený mikroorganismus je předmět, který může být patentován, byly po celém světě komercializovány desítky genetiky

upravených proteinových léků, včetně rekombinantních verzí růstového hormonu, proteinů pro stimulaci produkce červených a bílých krvinek, interferonů a látek rozpouštějících sraženinu.

Ve svých počátcích bylo hlavním cílem bioinženýrství především produkovat ve větším množství již existující látky. Dnes je trendem bioinženýrství především pochopit a odhalit molekulární příčiny nemoci a zasahovat na úrovni možného vzniku choroby – tedy nemoci předcházet. Koncem 20. století byly objeveny monoklonální protilátky, které zastavují šíření nemoci. Takové pokroky byly umožněny studiem genů (genomika) a proteinů, které kódují. [18]

### 3.2. Členění bioinženýrství

**Diagnosticky** zaměřená část biomedicínského inženýrství využívá chemické a fyzikální principy inženýrských oborů k měření projevů biologických systémů, tyto informace zpracovává pro maximální výtěžnost diagnostických informací.

**Terapeutická část** biomedicínského inženýrství pak využívá inženýrských postupů v konstrukci přístrojů nahrazujících či podporujících funkci orgánů a v konstrukci terapeutických přístrojů.

## 4. Propojení bioinženýrství s UI

Vědci a inženýři stále více pohlíží na živé organismy mechanickou optikou. Týká se to způsobu, jakým fyzikální a inženýrské vědy, jako je nanotechnologie a informační technologie, umožňují pokrok v oblasti přírodních věd. Biomedicínské inženýrství zahrnuje takové oblasti, jako je biomedicínská elektronika, biomedicínská technika, biomateriály, biomechanika, bionika, buněčné, tkáňové a genetické inženýrství, klinické inženýrství, inženýrství aplikované v neurovědě, zobrazovací metody v diagnostice a léčbě, bionanotechnologie a neuroinženýrství. Všechna tato odvětví spojuje množství dat, s jejichž pomocí se tyto obory posouvají dál a bez nichž není možné dojít k vědeckým závěrům.

V současné době jsou k dispozici nebo ve fázi vývoje různé biologické nástroje biologického původu, které jsou podporovány UI a které umožní novou škálu diagnostických nebo terapeutických zásahů do živých organismů. Bioinženýrství zahrnuje nespočet podoborů. Není cílem, ani v možnostech této práce zmapovat je všechny, proto zde budou popsány jen ty nejvýznamnější oblasti z oborů nanotechnologie, neuromodulace a genové manipulace, u kterých se v posledních letech pracuje na propojení s umělou inteligencí a vykazují růst na trhu s UI a bioinženýrstvím.

## 4.1. Genové manipulace

Genové manipulace jsou fenoménem tohoto století. Pochopení lidské DNA je klíčem k léčbě mnoha nemocí a znamená naději pro pacienty s vrozenými vadami, ale i klíčem ke zpomalení stárnutí či získání žádoucích vlastností a odstranění těch nežádoucích.

Strojové učení pomáhá při analýze DNA a dekodovat tak lidský genom. V mnoha databázích genových sekvencí pak hodnotí umělá inteligence odlišnosti v DNA sekvenci a tím těmto odlišnostem porozumět – určit, které genové odlišnosti stojí za fenotypem či jaká genová exprese předurčuje nemoci, chování, talent apod.

### 4.1.1. DNA historie a význam

Buňky mají schopnost uchovávat a překládat genetickou informaci. Tato genetická informace je kopírována z mateřské buňky na dceřinou, aniž by docházelo k zásadní změně této informace. K tomuto zjištění dospěl v 19. století během svého výzkumu brněnský kněz a středoškolský profesor Johann Gregor Mendel.

Roku 1953 určili dva vědci z Cambridge charakteristickou nositelku genetické informace, deoxyrybonukleovou kyselinu – tedy DNA. Za svůj objev byli v roce 1962 oceněni Nobelovou cenou za medicínu. Během této doby byly stanoveny mendelovské principy a teorie chromozomální dědičnosti. Mendelova práce byla do značné míry neznámá. Teprve v roce 1900 došlo k znovuobjevení mendelovských principů a publikace začaly citovat jeho dílo. [19]

Na přelomu 20. a 21. století se dostaly ke slovu moderní technologie. Projekt mapování lidského genomu začal v Laboratoři Los Alamos a Laboratoři Lawrence Livermora již v roce 1983, kdy se začaly vytvářet knihovny jednotlivých DNA klonů. Základem výzkumu bylo sekvenování náhodných částí genomů u dobrovolníků. Jednalo se o etnicky různorodé skupiny. Jednotlivé získané sekvence byly následně pomnoženy ve vhodných vektorech do několika milionů kopií – vznikaly tak tzv. bakteriální umělé chromozomy. Získal se tak vzorek sekvencí, které na sebe však nenavazovaly v odpovídajícím pořadí. Toto pořadí bylo určováno následně pomocí algoritmů za využití velmi výkonných počítačů. Ty zpracovaly mnoho milionů dat a pomocí porovnávání jednotlivých částí lidských genomů určily pořadí jednotlivých párů bazí. Ty odpovídaly konečnému počtu všech 23 párů chromozomů. [20]

V roce 1990 byl ve Spojených státech spuštěn Projekt lidského genomu (Human Genom Project) s cílem zmapovat 20.000 až 25.000 genů lidského genomu, tj. identifikovat sekvenční

základních párů lidské DNA a zjistit jejich fyzikální a funkční hledisko. Do projektu se zapojili vědci z dvaceti univerzit a výzkumných center. Odhadovalo se, že potrvá 15 let projekt dokončit a náklady budou 3 miliardy dolarů. Projekt byl dokončen o dva roky dříve oproti původnímu přepokladu dne 14. dubna 2003 bylo oznámeno rozluštění lidského genomu. [20]

Lidská DNA je kompletní sekvence jedné sady chromozómů, který obsahuje přibližně 20.000 genů. Pokud by byla všechna DNA z jediné lidské buňky natažena od konce ke konci, vytvořilo by se šest metrů dlouhé vlákno složené z šesti miliard písmen kódu. [22]

#### 4.1.2. Technologie sekvenování DNA

Krátce po přečtení lidského genomu začaly vznikat mnohé další obory a techniky, které se začaly zabírat zjišťováním souvislostí mezi odlišnostmi DNA zdravých a nemocných jedinců. Sekvenace DNA je souhrnný pojem pro biochemické metody, jimiž se zjišťuje pořadí nukleotidů v DNA.

Sekvenování DNA slouží ke stanovení pořadí nukleotidů v molekule DNA. Celkem je lidská DNA zapsána asi ve třech miliardách písmen, jejichž pořadí právě sekvenování zjišťuje. Jak již bylo řečeno, na úplném začátku pokusů o čtení lidského genomu bylo výzvou přečíst jen určité segmenty šroubovice. S postupným vývojem sekvenačních metod se ale schopnost „čtení genů“ zrychlila. Sekvenování genů je možné několika metodami.

##### Klasické sekvenování

Od konce 70. let 20. století je možné rychlé a účinné sekvenování díky dvěma, téměř současně vyvinutým technikám. Maxam-Gilbertova metoda a Sangerova metoda. Přestože tuto metodu předčily metody další generace rychlostí čtení a počtem naráz čtených vzorků, stále jsou používány jako kontrolní sekvenátory pro nové přístroje a také v menších laboratořích ke čtení kratších úseků virů a bakterií.

**Maxam-Gilbertova metoda sekvenování** – tato metoda se také nazývá chemické sekvenování. Vzorek, který obsahuje krátkou sekvenci DNA, která je na svém konci radioaktivně označena, se rozdělí na pět částí a umístí se do zkumavek, přičemž v každé zkumavce je prováděno štěpení jen určitých typů bází. To znamená, že DNA se štěpí jen v místě určitých bází. Tím vzniká směs různě dlouhých fragmentů, které končí v místě určité báze a jejich elektroforézou v hustém polyakrylamidovém gelu, kdy jsou všechny čtyři reakce nanášeny vedle sebe, určíme rozdíly v délce fragmentů, a tedy určíme, jak daleko od začátku fragmentu tato báze byla. Odečtením pozice jednotlivých bází ve všech čtyřech reakcích stanovíme sekvenci daného úseku. [23]

**Sangerova metoda** byla vyvinuta roku 1975 britským biochemikem Fredem Sangerem. Tato metoda byla ve své době mnohem rychlejší, než ostatní. Navíc byla účinná, spolehlivá a bezpečná.

Sangerovou inovací bylo použití jednoduchého řetězce DNA jako matrice pro 4 experimenty v oddělených zkumavkách za použití procesu replikace DNA, tedy využití principu Polymerázové řetězové reakce PCR. Do každé zkumavky přidal modifikovanou verzi jedné z bází, která ukončila reakci, jakmile byla použita v řetězci a zároveň označila konec radioaktivní značkou. Takto došlo k získání tisíce fragmentů DNA různých délek končících ve všech možných místech. Přestože další léta vývoje přinesla novější a rychlejší technologie, jak sekvenovat DNA, Sangerovy metody sekvenování jsou stále používány například k sekvenování mutací u pacientů s rakovinou nebo k ověření správného výsledku sekvenace novějších přístrojů příštích generací NGS a TGS. [20]

### **Next generation sekvenování (NGS)**

Metody NGS vznikly v poslední fázi projektu Human Genom Project a jejich nástup mnohonásobně urychlil sekvenování genomu, v důsledku čehož cena genomu za sekvenování poklesla milionkrát a dostala se pod historickou hranici 1.000 dolarů za přečtení 1 genomu.

Next Generation Sequencing (NGS – sekvenování nové generace) je v posledních letech jednou z nejrychleji se rozvíjejících metod v oblasti diagnostiky různých onemocnění. Společně s vývojem techniky se posouvají hranice požadavků na kvalitu zpracování vzorku, požadavků na vstupní materiál a zejména kvalitu analyzovaných dat. NGS se postupně stává metodou, která opouští prostředí experimentálních laboratoří a přesouvá se do rutinní praxe v klinické sféře. Výhodou NGS je rychlé a relativně nenáročné zpracování jednotlivých vzorků. Vlastní procesy sekvenování obstarává většinou plně sekvenátor a největší část práce tak připadá na závěrečné vyhodnocení dat. Pro rutinní použití jakéhokoliv NGS zařízení je nezbytný uživatelsky jednoduchý software generující spolehlivý výsledek. Metoda Next Generation Sequencing umožňuje sekvenovat úseky nukleových kyselin až celých genomů podstatně rychleji a cenově výhodněji než ostatní sekvenační metody. [24]

### **Sekvenování třetí generace (TGS)**

Sekvenování třetí generace umožňuje sekvenaci jediné molekuly DNA, bez nutnosti paralelních sekvenačních procesů a bez nutnosti množení pomocí PCR. Technologie sekvenování genomů způsobilý v posledních letech revoluci v detekci mutací genetických chorob. V posledních letech získává sekvenování třetí generace (TGS) vzhledem k více genetickým chorob díky technologii molekulárního sekvenování a sekvenování v reálném čase. [25]

### **Single-molecule real-time sequencing**

Je systém detekce a pozorování pouze jedné molekuly DNA bez předchozí PCR, tedy bez požadavku vytvořit namnoženou DNA. Metoda vyžaduje mimořádně citlivý detekční mechanismus. Ten poskytuje vlnovod nulového módu (zero-mode waveguide, ZMW). ZMW jsou malé jamky s tak malým průměrem, že do jeho hloubky proniká jenom světlo se snižující se vlnovou délkou. V každé jamce je

jenom jedna molekula. Na dně komůrky vlnovodu je připevněna DNA polymeráza, přes kterou prochází řetězec DNA při syntéze. Doplnují se fluorescenčně značené nukleotidy, které se detekují. Sekvenování jedné molekuly DNA v reálném čase (single molecule real time sequencing, SMRT, Pacific Biosciences) je vysoce perspektivní pro sekvenování celých genomů, protože umožňuje čtení molekul delších než 10 kb. [26]

**Sekvenátory budoucnosti** – výzkumná centra po celém světě zkoumají možnosti, jak sekvenovat genom rychleji, přesněji, na strojích menších rozměrů, s co možná nejnižšími náklady. Současné, i nejmodernější sekvenátory mají hmotnost vyšší 30 kilogramů a podobu velké tiskárny či lednice. Společnost Oxford Nanopore přišla se sekvenátorem MinION velkým 6 cm, který si bere energii z USB portu počítače nebo telefonu. Pracuje na principu nanopórového sekvenování a čte rychlostí 250 písmen za sekundu. Se svou malou velikostí by MinION umožňoval studovat DNA přímo v terénu. Sekvenátor je zatím považován za nepřesný (60-80% správnost), nicméně dokáže přečíst delší fragmenty DNA, než sekvenátory lídra trhu Illumina, a to o délce 79.000 bází (písmen). [27]

### 4.1.3. Databáze

Přečtení lidského genomu odstartovalo zájem mnoha organizací pokračovat ve čtení genomů. Na mnoha místech po celém světě začaly společnosti sbírat data a s nástupem NGS technologií došlo k jejich prudkému nárůstu. Databáze jednotlivé organizace sdílejí tak, aby je mohla co nejprehledněji využívat vědecká komunita ve všech světových výzkumných centrech. Nejde jen o sdružení dat na jednom místě, ale především o způsob jejich zobrazování. Databáze jsou všemožným způsobem reorganizovány a optimalizovány tak, aby bylo možné dodatečně přidávat další informace. Z nejvýznamnějších databází je třeba zmínit GenBank, EMBL, DDBJ, ENCODE a 1000GP.

**Genomová databáze** – databáze sdružuje data ve formě DNA sekvencí, které obsahují základní informace o původu sekvence. Údaje v databázích jsou veřejně dostupné a denně aktualizované mezi dílčími databázemi. Genetická informace je uchovávána ve třech lokálních verzích databází: GenBanka v Severní Americe, EMBLbanka v Evropě a DDBJ (DNA Data Bank of Japan). Jejich spolupráci zastřešuje International Nucleotide Sequence Database Collaboration. [28]

**Proteomické databáze** – databáze sdružuje data ve formě souhrnu proteinů v daném organismu. Proteomické databáze cílí na identifikaci všech bílkovin a pochopení jejich funkce. Proteomika propojuje informace, které slouží k objasnění úlohy proteinů ve vzniku onemocnění, biomarkery nemocí při diagnostice a při vývoji léků. [29]



#### 4.1.4. Genetické inženýrství

Cíleně navozené změny lidského organismu můžeme docílit léčbou, kdy je člověk na počátku nemocný a na konci zdravý, nebo vylepšením, kdy je na začátku člověk ve stavu považovaném za zcela normální a končí ve stavu, který je vnímán jako lepší než normál. Využití medicíny k vylepšení člověka probíhá podle Jaroslava Petra již od dob vynálezu očkování, které člověka vylepšilo ve smyslu odolnosti vůči smrtelným chorobám. Vylepšení lidského zevnějšku probíhá mnoho let také lékařskými zákroky z množiny plastických operací. Samostatnou kapitolou, která předchází samotnému vylepšení na úrovni genomu je tzv. doping. [30]

Genetické inženýrství je přímý zásah člověka do lidského genomu organismu pomocí moderních DNA technologií. Podle povahy zásahu do genomu člověka se dělí na zásahy do dvou skupin.

**Somatické zásahy** – jejich cílem je opravit geneticky podmíněné poruchy některých orgánů. Zavedením funkčního genu dochází k nápravě poruchy, aniž by byla tato změna přenosná do dalších generací. Petrů řadí tyto metody genetického inženýrství k tradičním postupům medicíny a srovnává je například s transplantací orgánu.

**Germiální zásahy** – jsou zásahy ovlivňující genetické vybavení zárodečných buněk, tedy vajíček a spermií. Takový zásah již mění jedince od základů, tedy včetně jeho psychické struktury. Tato změna je trvalá a přenosná na další generace.

Rozdíl mezi těmito metodami je nejen ve stupni zásahu do lidského organismu, ale také ve stupni emocí, jaké tato technologie vyvolává ve společnosti. Jak poznamenává Petrů, v případě Somatických zásahů mluvíme o „medicině, zatímco v případě germiálních zásahů o „eugenismu“. [31]

#### 4.1.5. Preimplantační genetika

Genetický kód člověka probíhal ještě před 50ti lety výhradně přirozeným výběrem, což je mechanismus, který je popsán Darwinovou evolucí. Lidé také praktikují umělou selekci po tisíce let, selekci podle fenotypových znaků při šlechtění rostlin a zvířat. Za posledních 53 let byly vyvinuty nové technologie, které umožňují selekci embrya na základě různých kritérií.

Prenatální diagnostika pomocí moderních technologií sekvenování DNA zjišťuje vady plodu během těhotenství. Porozumění souvislostem sekvenovaného DNA s jednotlivými negativními vlastnostmi člověka stále více ovlivňuje kvalitu dětí, které se rodí v rozvinutých zemích. Ještě před pěti lety se sekvenace metodou odběru části DNA plodu obíhající v těle matky zabývaly zjištěním třemi nejzávažnějšími typy vad plodu (nejčastější trizomie chromozomu), dnes nabízí soukromé kliniky

stejné vyšetření, při kterém již počítač dokáže zachytit nejen trizomie chromozomů, ale také 84 změn obsahu chromozomů. [32]

Preimplantační diagnostika (PGD) je metoda, kdy jsou v rámci metod umělého oplodnění pomocí moderních technologií diagnostikována embrya s optimálními vlastnostmi a pouze ta jsou implantována do dělohy. PGD je v současnosti užíváno například k výběru embryí s pohlavím nepře-  
nášející určitou genetickou poruchu, tedy například chorob vázaných na chromozom X. Škála nemocí, kterým lze technologií zabránit se rychle rozšiřuje. Podle Hendersona je sporná otázka aplikace na určité geny, například BRCA1, jehož mutace zvyšuje riziko rakoviny prsu, ale ne nevyhnutelně. Odstranění choroby odstraněním jejího nositele je předmětem kritiky. [20]

Embryolog Daniel Hlinka je autorem CATI (Cognitive Automation of Time-lapse Images), která je prvním automatizovaným systémem na světě pro vyhodnocování a výběr embryí pomocí umělé inteligence. Tato metoda umožňuje sledovat vitalitu a genetickou strukturu embrya a diagnostikovat tak vznik případných poruch v jeho rané fázi vývoje. Díky CATI se na klinice významně zvýšila účinnost metod preimplantační genetické diagnostiky i screeningu. Zároveň se snížilo riziko potratu a riziko porodu nezdravého dítěte. Metoda OptimFert je založena na monitoringu oocytů, tedy zralých vajíček v laboratorním prostředí. Jde o neinvazivní metodu využívající polarizační mikroskopii, která může být využita v léčebných cyklech s čerstvými nebo i zmraženými vajíčky a umožňuje zvolit správný okamžik, kdy je vajíčko dostatečně zralé a připravené na oplodnění. To je zcela dominantní faktor ovlivňující kvalitu embrya. [33]

V předchozích případech se jedná o to, předejít narození nemocného jedince, které otvírá ve společnosti mnoho etických otázek, ale je zároveň obhajováno pozitivním ekonomickým a sociálním efektem pro společnost. V této souvislosti se také nabízí otázka, jaké jsou optimální vlastnosti jedince pro společnost a je-li někdo schopen o nich rozhodnout. Kde pak bude hranice mezi nežádoucími a žádoucími vlastnostmi jedince? Stovky laboratoří po celém světě již dnes nabízí možnost zjistit pomocí genetického sekvenování talent. Klienty lákají pomocí hesel „Talent – to je, pro co jsme stvořeni“ a vyvstává otázka, kdy se tento trend objeví v oblasti preimplantační diagnostiky v podobě „Dítěte na objednávku“

**Dítě na objednávku** bylo donedávna předmětem sci-fi filmů. Podle Hendersona je metoda PGD skvělý nástroj pro prevenci genetických onemocnění, ale je zcela nepoužitelný pro masovou produkci dětí na zakázku. V roce 2018 přiblížil čínský experiment éru geneticky upravených dětí, když

upravil u dvou den starých embryí gen CCR5 tak, aby byly odolné vůči nákaze virem HIV. Otevřel tím znovu téma genetické manipulace a její etické otázky veřejnosti k diskusi.

**Výběr pohlaví** – metoda zvaná „flow cytometric separation“ umožňuje oddělení spermií obsahujících chromozomy X a Y. Podle Hendersona budou tyto metody i v budoucnosti využívány pouze v případech, kdy je třeba vybrat pohlaví z medicínských důvodů. Podle platné legislativy si v ČR pohlaví dítěte při umělém oplodnění může vybrat pouze pár, z nichž jeden je přenašečem vážné genetické poruchy vázané na určité pohlaví. [34] Na Kypru je ale taková volba možná i bez zdravotních důvodů. Petruš upozorňuje na etické důsledky výběru pohlaví. Preferování jednoho pohlaví může vést k diskriminaci a nerovnováze přirozeného složení společnosti.

**Gen pro inteligenci** – již v roce 1997 našel Robert Plomin IGF2R, gen pro inteligenci. Zkoumal skupinu nadaných dětí s IQ nad 160 a sekvenací jejich DNA zjistil, že jeden úsek jejich šestého chromozomu se často lišil od sekvenace ostatních lidí. Odhalení souvislostí v šestém chromozomu s možností zvýšení inteligence je vysoce podporovaný výzkum, jednoznačnou charakteristiku DNA geniality se ale prozatím odhalit nepodařilo. [35] Výzkum zveřejněný v časopise Nature zkoumal vlivy genů na inteligenci, závěrem odborného článku ale uvádí, že kontext inteligence je daleko širší a záleží na mnoha dalších faktorech, které neumožňují jednoduše mechanický popis toho, proč se inteligence jednotlivých lidí odlišuje. [36]

**Gen sportovních dipozic** – Každý z nás má na DNA úrovni dvě kopie genu ACTN3, přičemž vždy jednu kopii dědí od každého z rodičů. V genu mohou být jemné rozdíly. Vědci našli v genu ACTN3 variantu, známou jako R577X, která mění způsob, jakým čte buňka instrukci genu ACTN3. Změna R577X způsobuje deficit svalové bílkoviny a v jeho důsledku jsou kontrakce svalových vláken sice pomalejší, ale za to vytrvalejší. V této chvíli zná věda tři možné kombinace variant v genu, které každá předurčuje člověka k určitému výkonu: varianta sklonu k vytrvalosti, sklon k rychlostním aktivitám, kombinace vytrvalosti a rychlosti. [37]

**Chování a genetika** – geny mohou člověka učinit náchylným k nějakému vzorci chování, ale přímo ho nezpůsobují. Výzkumem bylo odhaleno, že genetika ovlivňuje antisociální chování, riskování, sklony k agresivitě, vstřícnost, svědomitost, otevřenost ke zkušenostem. V roce 1991 se dokonce neúspěšně snažili právníci pomocí dědičnosti obhájit člověka obviněného z vraždy tím, že nesl gen násilí. [20]

**Dítě - lék.** Případem dítěte na objednávku může být i výběr embrya s typem kmenových buněk, které potřebuje starší sourozenec pro své uzdravení. Pokud dítě nemá v rodině vhodného dárce k transplantaci buněk, mohou se rodiče pokusit o další dítě metodou PSG, kdy lékaři vyberou takové embryo, jehož kmenové buňky obsahují potřebný tkáňový typ. Kmenové buňky novorozence jsou pak transplantovány nemocnému sourozenci, který je tím zpravidla vyléčen. [20]

#### 4.1.6. Genomika – personalizovaná medicína

„správná léčba pro správného pacienta ve správný čas“

Genomika neboli sekvenování genomu je nově vzniklý, biologický lékařský obor (2008), který využívá analýzy genomu jednotlivce k určení genetického předpokladu onemocnění jako součást jeho lékařské péče. Na rozdíl od genetických oborů má za úkol porozumět vlastnostem studovaného genomu jako celku. Genomika se zabývá především studiem komplexních onemocnění, u nichž se předpokládá účast většího počtu genů a faktorů životního prostředí.

Cílem personalizované medicíny je zajistit:

- časnou detekci choroby, včetně posouzení individuálního rizika jejího vzniku, cílené prevence a cíleného sledování,
- individualizovanou diagnostiku,
- cílenou, „na míru šitou“ terapii,
- z individuálních podkladů vycházející sledování odpovědi na terapii

Cílem personalizované analýzy je za pomoci digitálních technologií a umělé inteligence porovnat všechna možná zdravotnická data od těch genomických až po údaje z klinické praxe a na jejich základě zvolit pro daného pacienta léčbu takříkajíc na klíč. [38]

V 80. letech byl testován preparát BiDil, avšak jeho účinnost na obecnou populaci se nepodařilo prokázat a k výrobě léku nedošlo. Teprve díky nové analýze tehdy dat "po jednotlivých skupinách", kterou provedli informatici americké firmy Nitro Med, se ukázalo, že látka dává nadějně výsledky u Afroameričanů, prakticky neúčinná je však u bílých. Následné klinické testy tento rozdíl potvrdily a výsledkem je tak první lék určený pro konkrétní populaci. BiDil se nyní nachází ve fázi schvalování. [39]

#### 4.1.7. Kmenové buňky

Kmenové buňky jsou zárodečné buňky, ze kterých se mohou "vypěstovat" různé tkáně a orgány (např. chrupavka, oko...). Jsou to buňky těla, z nichž vyrostou kosti, mozek, játra a plíce. Vyskytují se pouze v raném embryu, jehož buňky se teprve budou vyvíjet ve specializované tkáně dospělého těla. Protože jsou „pluripotentní“, dokážou se vyvinout v kteroukoli z těchto tkání, mají tedy obrovský léčebný potenciál.

Základní definice těchto buněk je z oboru embryologie známá desítky let. K výraznému posunu v léčbě došlo v roce 2006, kdy profesor Yamanaka dokázal z běžné buňky vytvořit zárodečnou buňku a tu následně přeprogramovat na jinou tkáň (např. místo kožní buňky tak vzniklo svalové vlákno).

Následně vznikl nový směr výzkumu, v němž nebylo nutné vycházet z lidských embryonálních buněk, jejichž použití bylo pro mnohé z pochopitelných morálních důvodů nepřijatelné. [40]

Do množiny léčby kmenovými buňkami se řadí i kmenové buňky získané od dospělých dárců. Tyto kmenové buňky již není možné libovolně programovat, buňky už si v sobě nesou určení funkce, k čemu v těle slouží. Některé nicméně programovat lze. Takto získané kmenové buňky jsou velmi nákladným způsobem programovány a množeny. Klinickými testy v České republice se zabývá společnost Bioinova, která v roce 2015 úspěšně vložila takto namnožené a upravené buňky do těl několika pacientů s nemocí ALS. Nemoc nevyлéčila, ale u většiny pacientů ji zbrzdila. [41]

Čína se dostala do popředí výzkumu kmenových buněk, jelikož do roku 2015 v Číně neexistoval žádný právní rámec pro práva embryí, jako v jiných státech. V roce 2017 provedla výzkum léčby Parkinsonovy choroby kmenovými buňkami na 15 opicích, u nichž se v následujících letech nemoc zlepšila o 50 %. [42]

Léčba kmenovými embryonálními buňkami je velice kontroverzní. Z náboženských a etických důvodů je proto v mnoha zemích povolena pouze pro výzkumné účely. Etická hlediska vycházejí v evropském prostředí z křesťanství a je těžké odpovědět na otázku, od kterého okamžiku se může lidský organismus považovat za jedince se všemi právy na ochranu. Státy jako Německo či Itálie tyto výzkumy částečně zakázaly. Naopak Velká Británie, Čína nebo Japonsko tento výzkum podporují financováním z veřejných fondů.

Ve výběru kmenových buněk společnosti vyvíjí platformy pracující na bázi strojového učení. V současnosti je výběr kmenových buněk pro transplantaci vybírán ručně, vědci po dlouhodobém školení vyhodnocují, které z buněk jsou nekvalitní a tyto ručně odebírají. Tento proces je časově náročný a také velice nákladný. Při tomto procesu se vytěží přibližně 10-20% buněk, které projdou testy kvality. Společnost Cellino si klade za cíl zvýšení výnosnosti procesu za pomoci strojového učení až na 80%. Strojové učení určí nekvalitní buňky a ty za pomoci přesného cílení laseru odstraní. [43]

#### **4.1.8. Nesmrtelnost**

Výzkum prodloužení života má velkou finanční podporu. Za stejným cílem „učinit smrt řešitelným problémem“ se různá výzkumná centra vydávají různými cestami:

### **Konec zkracování DNA**

V roce 2009 obdržel americký tým Nobelovu cenu za objev telomer. Telomery jsou koncové části chromozomů. Při buněčném dělení se telomery zkracují z důvodu neschopnosti enzymu syntetizovat konce nukleových kyselin. Elomerová teorie tedy vychází ze zjištění, že telomery v tělesných buňkách se obvykle po každém buněčném dělení zkracují. Když dosáhnou určité délky, buňky se již nemohou dále dělit a odumírají, nebo se mění v buňky rakovinné.

### **Odstranění stárnoucích buněk**

V roce 2011 byl v prestižním časopise Nature zveřejněn výsledek studie ukazující, že myši žijí déle, když se jim pravidelně odstraňuje určitý druh „stárnoucích“ buněk. Tyto buňky ještě žijí, ale již se nemnoží a neprodukují novou tkáň. Vědci se domnívají, že tyto stárnoucí buňky produkují látky, které způsobují záněty a vytváří biotechnologický lék, který má nechat tyto buňky rovnou odumřít, čímž se zastaví stárnoucí procesy v těle.

### **Kódování dlouhověkosti**

Pokud je stárnutí zakódované v biologii člověka jako příkaz, je podle některých vědců možné tento kód rozluštit a změnit. Společnost Human Longevity Inc. chce tento kód rozluštit vytvořením rozsáhlé databanky obsahující jeden milion lidských genomů a prodloužit život o desediletí.[44] Výsledkem získání ohromného množství dat bude podle vědců včasné předpovězení nemocí z genetického kódu za pomoci strojové inteligence a big data.

## **4.1.9. Modelové organismy – transgenní modely**

**Molekulární genetika** má dvě podoblasti, Molekulární diagnostiku a Molekulární genetiku. V oblasti molekulární diagnostiky se jedná o použití sekvenačních metod, kterým klinické laboratoře a laboratoře veřejného zdraví zkoumají lidské, virové a mikrobiální genomy, jejich geny a produkty, které kódují. Molekulárně diagnostické testy se stále více používají a nahradily četné konvenční testy v mnoha oblastech laboratorní medicíny včetně onkologie, infekčních chorob, klinické chemie a klinické genetiky. [45] Těmito metodami se zabývaly již předchozí kapitoly.

V oblasti molekulární genetiky jsou to především modelové (transgenní) organismy, které pomáhají vytvořit testovací objekt pro výzkum nemocí a léků. Pomocí genetické modifikace je možné vytvořit například myš se stejnou nemocí, jako má lidský pacient a poté testovat, která léčba bude nejúčinnější. Výslednou otestovanou léčbu pak využít k léčbě lidského pacienta. K rozmachu těchto výzkumů významně přispěla technologie CRISPR-Cas9, které se věnuje následující kapitola.

Náklady na experimentální identifikaci genových cílů jsou však obrovské, je proto nevyhnutelné vyvinout výkonné výpočetní nástroje, které mohou identifikovat potenciální nové terapeutické cíle. Pro vyhledávání terapeutických cílů, tedy cílových genů pro zkoumané choroby bývá využíváno strojové či hluboké učení. [46]



Obrázek 5: Transgenní model – myš -reportér exprese genu [100]

#### 4.1.10. Editace DNA – CRISPR-Cas9

V roce 2020 obdržely Emmanuelle Charpentierová a Jennifer A. Doudnaová Nobelovu cenu za podíl na vývoji „genetických nůžek“ CRISPR-Cas9, které dokážou měnit genom.

CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) je jednoduchý imunitní systém, který bakteriím dává možnost bránit se proti virům a jiným mobilním genetickým elementům. Je to genetický obranný mechanismus, který funguje na principu, že bakterie jsou schopny zapisovat si informace o svých parazitech do svého genomu. Systémy CRISPER byly objeveny už dříve, kdy bylo zjištěno, že se v genomu objevují neopakující se sekvence, které jsou prokládány sekvencemi, které se opakují. V roce 2007 se zjistilo, že tyto sekvence fungují jako mechanismus proti virům. Bakterie má schopnost si zapsat část virální DNA viru do svého vlastního genomu a tím si virus zapamatovat. Z DNA zapsané v genomu se vytvoří naváděcí RNA, na jehož základě je schopno DNA daný virus znovu rozpoznat.

Součástí týmu, který vyvinul metodu CRISPR-Cas9 byl i český chemik a biolog prof. Martin Jínek. CRISPR-Cas dovoluje výměnu defektního genu za fungující. Jak již bylo popsáno v části o DNA,

sekvenovaný kód života vypadá jako zápis mnoha písmen. Pokud dojde k mutaci, znamená to, že v kódu DNA došlo ke změně sekvence písmen, něco jako pravopisná chyba. Pomocí bílkoviny Cas9 fungují genetické nůžky jako naváděcí systém. Bílkovina Cas9 sociovaný protein, který hraje zásadní roli v imunologické obraně určitých bakterií proti DNA virům a plazmitům a je hojně využíván v aplikacích genetického inženýrství. Jeho hlavní funkcí je štěpit DNA a tím měnit genom buňky. Funguje jako editor.

O tom, že je to principiálně možné, se přesvědčili tým vedený Danielem Andersonem z Massachusetts Institute of Technology na myších s poškozeným genem FAH kódujícím enzym fumarylacetoacetát hydrolázu. Myším s mutací genu FAH vpravili vědci přes cévy do jater CRISPR-Cas zacílený na mutovaný gen. Zároveň s ním dodali do jater i „záplatu“ na poškozený gen v podobě úseku DNA dlouhého asi 200 písmen genetického kódu. Jaterní buňky vychytaly dodané molekuly z krve. CRISPR-Cas poškozený gen rozstříhl. Buňka začala tuto „díru“ opravovat a přitom vsunula místo poškozeného úseku podstrčenou genetickou záplatu. Podařilo se tak opravit mutovaný gen v 1 z 250 jaterních buněk. Tyto buňky se začaly množit a postupně nahrazovaly buňky s poškozeným genem FAH. Nakonec nesla opravený gen FAH jedna třetina jater, a to stačilo k obnovení normálních funkcí orgánu. I při normální dietě a bez nitisinonu netrpěla zvířata většími zdravotními problémy. [47]

Tímto způsobem již vědci vyrábí myši a jiná zvířata s vrozenou lidskou chorobou, čili transgenní modely popsané v předchozí kapitole.

Práci s metodami, jako je CRISPR-Cas9, musí odborníci oznamovat Ministerstvu životního prostředí. Výsledkem jejího použití jsou totiž geneticky modifikované organismy (GMO). „U těchto postupů se hodnotí riziko, které vychází z toho, jaká metoda se používá, u kterého organismu, o jakou genetickou modifikaci jde a jakým způsobem se do buněk vpravuje původce genetické modifikace. Potřebný je také provozní řád a havarijní plán, kde je popsáno nakládání s GMO, jak se brání jejich případnému úniku z laboratoře a jak se likvidují. [48]

### **Užití metody Crisper-Cas9**

Emmanuelle Charpentierová, která byla členkou týmu, který vynalezl Crisper-Cas9, byla také spoluzakladatelkou švýcarsko-americké společnosti CRISPR Therapeutics, AG, která se dnes zaměřuje na vývoj a komercializaci nových terapií pro léčbu hemoglobinopatií, rakoviny, cukrovky a dalších onemocnění. Společnost na svých webových stránkách informuje, že nepoužívá metodu Crisper-Cas9 k modifikaci lidských zárodečných linií, které by se mohly přenést z rodičů na děti. V tomto ohledu podporuje společnost současná doporučení Mezinárodní společnosti pro výzkum kmenových buněk. Opravuje tedy pouze tu část somatických buněk, které se nepředávají další generaci. [49]



Během pouhých několika let od svého objevu byl nástroj pro úpravu genomu CRISPR-Cas-9 již zkoumán pro širokou řadu aplikací a měl obrovský dopad na svět v mnoha oblastech včetně medicíny, zemědělství a biotechnologie. V budoucnu vědci doufají, že tato technologie bude i nadále pokračovat v léčbě nemocí, vyvíjet výživnější plodiny a vymýtit infekční choroby. Do současnosti byla technologie použita ke:

**Genové terapii**, což je proces nahrazení defektního genu exogenní DNA a úprava mutovaného genu v jeho přirozeném místě.

**Vypnutí genu** - pomocí Crisper-Cas9. V terapii srpkovité anémie byly v klinických studiích pomocí metody Crisper-Cas9 zmírněny projevy této nemoci. Pacientům byly odebrány první buňky kostní dřeně a gen, který vypíná produkci fetálního hemoglobinu, nazývaný B-buněčný lymfom 11A je deaktivován pomocí CRISPR/Cas-9. Poté jsou genově upravené buňky vráceny zpět do těla.

První terapie založená na CRISPR ve studii na lidech byla provedena k léčbě pacientů s rezistentním karcinomem plic. Výzkumníci nejprve extrahovali T-buňky z krve tří pacientů a v laboratoři je zkonstruovali pomocí CRISPR/Cas-9, aby odstranili geny, které by narušovaly boj proti rakovinným buňkám. Poté infuzi modifikovaných T-buněk podali zpět pacientům. Modifikované T-buňky mohou cílit na specifické antigeny a zabíjet rakovinné buňky. Konečně nebyly pozorovány žádné vedlejší účinky a upravené T-buňky lze detekovat až 9 měsíců po infuzi.

Technologie úpravy genu CRISPR/Cas-9 by mohla být také použita k léčbě infekčních onemocnění způsobených mikroorganismy. Jednou z oblastí zájmu vědců je léčba HIV, viru, který vede k AIDS. V květnu 2017 tým výzkumníků z Temple University prokázal, že replikaci HIV-1 lze zcela vypnout a virus eliminovat z infikovaných buněk excizí genomu HIV-1 pomocí CRISPR/Cas-9 na zvířecích modelech. Kromě přístupu cíleného na genom HIV lze technologii CRISPR/Cas-9 použít také k blokování vstupu HIV do hostitelských buněk úpravou genů chemokinového koreceptoru typu 5 (CCR5) v hostitelských buňkách. Například in vitro studie provedená v Číně uvedla, že úprava genomu CCR5 pomocí CRISPR/Cas-9 neprokázala žádné známky toxicity (infekce) na buňkách a dospěli k závěru, že upravené buňky mohou být účinně chráněny před infekcí HIV než buňky nemodifikované. [50]

Čínský vědec Che Ťien-kchuej využil technologii Crisper-Cas9, když geneticky upravil několik lidských embryí, ze kterých se narodila dvojčata tak, aby byla rezistentní vůči viru HIV. Tato úprava byla

odsouzena vědci, etickými komisemi i WHO, která vydala doporučení, aby se takové úpravy neprováděly, dokud nebudou jasná etická a zdravotní rizika.

## 4.2. Neuromodulace

Neuromodulace je proces, v němž umělá zařízení ovlivňují nervový systém. Neuromodulační technologie jsou důležitým předmětem lékařského výzkumu a očekává se, že v budoucnosti dojde k nárůstu klinického využívání neurologické zpětné vazby EEG, transkraniální magnetické stimulace a hloubkové mozkové stimulace. Vedle lékařského využití mohou být neuromodulační technologie upotřebeny také ke zlepšení kognitivních procesů a behaviorálního výkonu, jak se tomu již děje v případě neurologické zpětné vazby EEG. [51]

### 4.2.1. Historie a členění neuromodulace

Historie neurostimulací je velmi stará a je obtížné datovat první neurostimulaci. Například podle Jensena lze považovat za první popsanou neurostimulaci práci Scriboniuse Larguse o snížení bolesti při dotýkání se elektrických ryb nohou na pobřeží pocházející z doby starého Říma. O elektrických rybách existuje i záznam na stěně egyptské hrobky, nejedná se však o popis léčby, jako je tomu u Larguse. Rozvoj zkoumání vlivu elektrického proudu na člověka pak pokračuje až v 19. století a je spojen s mnoha dalšími výzkumy elektrického proudu. Samotnou historii elektrostimulací je vhodné rozdělit do jednotlivých typů stimulačních procedur, protože se v mnohém odlišují, včetně své historie. Není však možné nezpomenout, že na začátku rozvoje neuromodulačních metod stála neurochirurgická klinika Ústřední vojenské nemocnice, a to již v 70. letech minulého století. [52]

Neuromodulace je možné členit podle způsobu propojení s nervovou soustavou na:

**Invazivní** – implementace elektrod přímo do mozku pacienta nebo implantaci čipů a jejich propojení s nervovou soustavou člověka

**Částečně invazivní** – propojení je implantované, přístroj spočívá vně hlavy

**Neinvazivní** – Snímatelná zařízení, která sledují činnost mozku nebo pohyby svalů

Jednou z oblastí neuromodulace je BCI (Brain Computer Interface), což je postup založený na sledování a transformaci elektrofyziologické a metabolické aktivity mozku, která organismu umožňuje přímé ovládání uměle vytvořených zařízení.

Účely použití BCI:

- Obnovení kognitivních funkcí (sluch, zrak, pohyb) včetně nahrazení končetin

- Kontrola okolí
- Komunikace

Invazivní mozkové implantáty:

- Slouží k obnově sluchu, zraku a pohybu
- Přímé ovládání zařízení

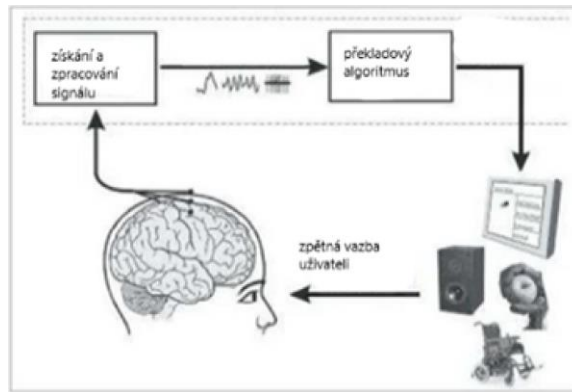
Čipy jsou spojené s nervovou je možné jeho připojení k počítači nebo robotickému rameni

#### 4.2.2. EEG Biofeedback

**EEG se zpětnou vazbou (biofeedback)** – EEG je biologická zpětná vazba, která provádí měření svalového napětí, krevního tlaku, teploty, tepu, pocení a informace předává pacientovi. Pacient je schopen je pomocí své vůle ovlivnit a tím se naučit je částečně ovládat. Pomocí tohoto postupu je možné dosahovat zlepšení zdraví, výkonu, změnu myšlenek a emocí. V kombinaci s virtuální realitou byla prokázána účinnost při léčbě psychiatrických onemocnění, při nácviku každodenních činností nutných ke každodennímu životu či zlepšení paměťové výkonnosti u pacientů s poškozením mozku a stařecké demence. EEG biofeedback funguje tak, že snímá mozkovou aktivitu a tak získá vstupní informace o tom, v jakém stavu pacient přichází a také vyhodnocuje efekt cvičení po jeho skončení. Pacient během léčby sleduje „hru“ pomocí monitoru nebo brýlí virtuální reality a počítač vyhodnocuje na základě EEG projevy mozkové aktivity, vyhodnocuje projevy mozkové aktivity, které jsou patologické a pomáhá určit, jakých výsledků může být dosaženo. EEG biofeedback pomáhá v léčbě poruch spánku, chronické únavy, poruch pozornosti, či léčby epilepsie. [53]

**Transkraniální magnetické stimulece** – Rozsáhlé mozkové sítě zahrnují velké množství funkčně spojených mozkových oblastí. Jejich zapojení se jeví jako klíčové pro úspěšné kognitivní fungování. Profesorka Irena Rektorová a její kolegové nedávno potvrdili, že kognitivní funkce lze zdokonalit manipulací aktivity hlavní kognitivní sítě. Vědci použili specifický protokol metody s názvem repetitivní transkraniální magnetické stimulece a jejich výsledky prokázaly okamžitý účinek, a to už po první a velmi krátké lokální stimulaci. [54]

Na obrázku níže je vysvětlen princip fungování BCI. EEG snímá mozkové vlny, které jsou vyhodnoceny počítačem a ten dává pokyn k vytvoření nějakého typu zpětné vazby, například vizuální nebo zvukovou. Na tu opět mozek reaguje, počítač reakci vyhodnocuje a takto může probíhat „trénink mozku“ nebo ovládání různých zařízení.



Obrázek 6: Princip fungování BCI, zdroj [53]

**Hluboká mozková stimulace** (Deep Brain Stimulation – DBS) představuje moderní a vysoce efektivní neuromodulační terapii spočívající v trvalé elektrické stimulaci vybraných jader v hloubi mozku. Tenká stimulační elektroda je do vybraného jádra na každé straně hlavy zavedena stereotakticky skrze malý otvor v lebce a pomocí spojovacího kabílku podkožně spojena s programovatelným neurostimulátorem umístěným v podkoží podklíčkové oblasti. Efekt terapie je založen na schopnosti stimulace měnit komunikaci mezi různými oblastmi mozku, které se podílejí na vzniku příznaků konkrétní nemoci. Hluboká mozková stimulace chorobu nevyléčí, pouze účinně tlumí její symptomy. [55]

### 4.2.3. Neuralink

Elon Musk, americký vynálezce a podnikatel, již testuje přístroj, který by dokázal ovládat stroje pouze silou myšlenky. Za tímto účelem Musk a jeho tým v červenci 2019 oznámili, že vyvinuli ultrajemná „vlákna“, která lze vetknout do vašeho mozku a naslouchat vašim neuronům.

„N1“, 4mm čtvercový čip, je implantován do lebky. K čipu jsou připojeny dráty tenčí než lidský vlas, které sahají až do mozku. Tato vlákna jsou umístěna blízko důležitých částí mozku a jsou schopna detekovat zprávy, které jsou přenášeny mezi neurony, zaznamenávají každý impuls a stimulují své vlastní. Neuralink říká, že „N1“ je schopen se spojit s 1000 různými mozkovými buňkami a že pacient může mít implantováno až 10 čipů „N1“. Čipy se bezdrátově připojují k nositelnému zařízení, které se zavěsí na ucho uživatele, podobně jako naslouchátko, a obsahuje Bluetooth rádio a baterii. Čipy budou vloženy bezpečně a prakticky bezbolestně malými řezy robotickým chirurgem. V srpnu 2020 Musk představil světu jedno z jejich raných zařízení, který by mohl brzy vyléčit paralýzu, hluchotu, slepotu a další postižení. Byly dokončeny testy na zvířatech a Neuralink byl schválen k testování na lidech podle směrnic FDA pro lékařská zařízení. [56]

Lidé, kteří budou mít Neuralink, budou komunikovat nejen se stroji, ale také mezi sebou. Telepatie se tak stane skutečností.

#### 4.2.4. Propojení neuromodulace s virtuální realitou

Oxfordská univerzita se věnuje již dvacet let výzkumu neuromodulací a virtuální reality pro posouzení, pochopení a léčbu psychických problémů. Mezi klíčovými publikacemi najdeme virtuální realitu k léčbě schizofrenie, paranoidního chování, stresových poruch, ale také jejich užití ke zvýšení sebevědomí, či potlačení stresu vznikajícím z pracovního prostředí. [57]

##### **Kolektivní inteligence**

Lévy definuje kolektivní inteligenci jako vědecký, technický a politický projekt, který namísto toho, aby se snažil vytvořit počítače, jež jsou chytřejší než lidé, chce pomocí počítačů zesílit lidskou inteligenci. Kolektivní inteligence proto není protikladem kolektivní hlouposti, ani protikladem individuální inteligence. Je protikladem umělé inteligence. Je to způsob péče o nový lidský/kulturní kognitivní ekosystém pomocí využívání narůstající výpočetní síly počítačů a všudypřítomné paměti. [58]

Články zabývající se podobnou tematikou uvádí jako příklad úspěchu kolektivní inteligence internetovou encyklopedii Wikipedia, která vznikla kolektivní spoluprací. Na principu kolektivní inteligence funguje také práce webového vyhledávače, které hodnotí zdroje podle toho, kolik jiných zdrojů se k nim odkazuje a sledují chování svých uživatelů. [59]

Snahou těchto projektů kolektivní inteligence je vytvořit pomocí počítače zesílenou lidskou inteligenci, namísto vytváření počítače, který bude chytřejší, než lidé.

Jedním z projektů kolektivní inteligence je aplikace centra pro kolektivní inteligenci na MIT s názvem Climate CoLab, umožňující lidem z celého světa vytvářet návrhy na řešení změn klimatu.

Kolektivní inteligence je již společně s BCI aplikována v počítačových hrách, kde se simulují prediktivní trhy. Tyto informační systémy jsou určeny k hromadnému odhadu vývoje ceny nějakého aktiva v budoucnosti. Příkladem je také Hollywood Stock Exchange sloužící k odhadu úspěchu nových filmů či projekt Cyber Budget vytvářející simulaci, ve které je hráč ministrem financí. [60]

Badatelé z University College London a Alzheimer's Research UK používají kolektivní inteligenci v herním prostředí jako originální a mimořádně efektivní nástroj k získávání výzkumných dat. Odhadují, že data nasbíraná během dvou minut hry se vyrovnají množství nasbíraných dat během pětihodinového laboratorního testování. Tyto projekty mají pomoci při výzkumu demence a hledání

způsobů léčby například Alzheimerovy choroby. Zahrajte si videohru a pomozte tak vědcům ve výzkumu demence. [61]

### **4.3. Nanotechnologie**

Jako nanotechnologie se obecně označuje technický obor, který se zabývá tvorbou a využíváním technologií v měřítku řádově nanometrů (obvykle cca 1–100 nm), tzn. 10<sup>-9</sup> m (miliardtiny metru), což je přibližně tisícina tloušťky lidského vlasu. [62]

#### **4.3.1. Historie a současné trendy nanotechnologií**

Myšlenky o nanotechnologii začaly někdy v roce 1959, kdy fyzik Richard Feynman popsal proces, ve kterém by byli vědci schopni manipulovat a ovládat jednotlivé atomy a molekuly. Pojem nanotechnologie se však objevil až o deset let později při zkoumání ultraprecizního obrábění. Éra moderní nanotechnologie začala v roce 1981 s příchodem tunelového mikroskopu, který dokázal vidět jednotlivé atomy. [63]

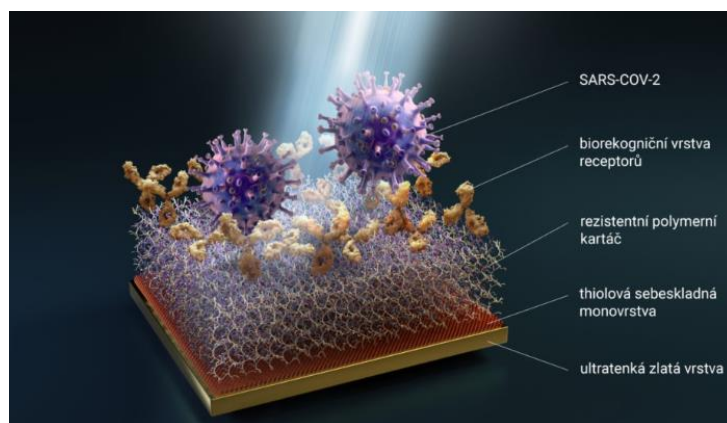
Nanomedicínské a bionické produkty, které by mohly přímo zlepšit smyslové, motorické a další funkce, pokrývají všechny aspekty lidského těla. Nanotechnologie rozdělím do několika oblastí cílících na zlepšení lidského zdraví a schopností, které budou předmětem výzkumu a vývoje v příštích 10-20 letech. [64]

#### **4.3.2. Monitorovací a diagnostická zařízení**

Nanotechnologie je možné využít také jako přenosné monitorovací zařízení. V látce zabudované nanosenzory, které zaznamenávají lékařská data, jako je srdeční tep, složky potu a krevní tlak pomáhají zachránit životy tím, že upozorňuje nositele a zdravotníky na jakékoli nepříznivé změny, kterým tělo čelí. Takováto monitorovací zařízení budou zabudována například do spodního prádla nebo do náplastí, které umožní sledování pacienta na dálku.

Kromě sledování samotných životních funkcí člověka vznikají v laboratořích prototypy biosenzorů, které obsahují biodetekční systémy, které odhalí přítomnost nebezpečných látek v různých typech vzorků, nejen v tělních tekutinách, ale také například ve vodě či potravinách.

Jedním z úspěchů na poli nanotechnologií byl úspěšný projekt RNDr. Hany Lísalové, Ph.D z Fyzikálního ústavu Akademie Věd ČR, která představila v roce 2021 biosensor pro detekci viru Sars-CoV-2 v komplexních biologických vzorcích. Vysoká citlivost biosenzoru byla prokázána ve srovnávací studii s metodou PCR. [65]



Obrázek 7: Znáornění struktury funkčních ultra-rezistentních polymerních biočipů [66]

### 4.3.3. Biočipy

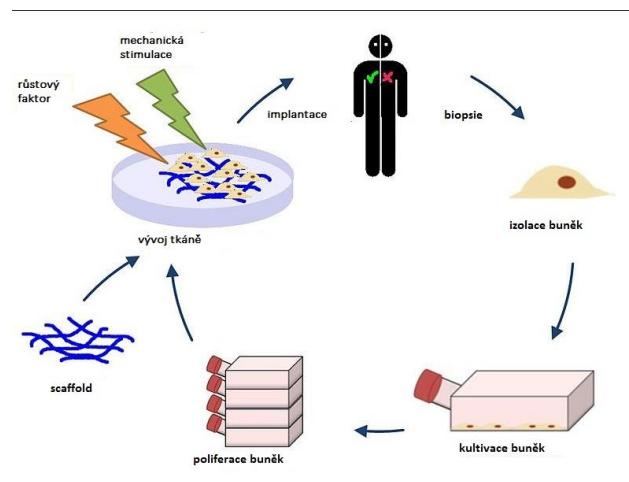
Základní myšlenka technologie biočipů je převést chemii života do programovatelné jednotky sledující geny, proteiny a vztahy mezi nimi. Biočip naprogramovaný na základě známých sekvencí DNA/RNA nebo proteinů může detekovat geny, mutace, či úroveň genové exprese. Biočipy slibují významný posun v molekulární biologii, diagnostice DNA, toxikologii, farmakologii, studiu karcinogeneze i dalších onemocnění a také možnost celistvějšího pohledu na sledované otázky světa biologie. [67]

### 4.3.4. Tkáňové inženýrství

Tkáňové inženýrství je obor na pomezí biologie, medicíny a technických oborů, jehož cílem je uměle vytvořit tkáň pocházející z genetického materiálu pacienta. Při návrhu těchto tkání se využívá strojové učení.

Postup je takový, že se odeberou buňky pacienta, které odstraní extracelulární matrix, ve které se buňky drží. Poté volně plovoucí buňky extrahují například odstředěním. Tyto buňky mohou být získány přímo z těla pacienta nebo od jiných lidských ale také živočišných dárců. Ke zpětnému vpuštění upraveného buněčného materiálu zpět do těla je potřeba vytvořit tkáňový nosič ve 2D nebo 3D podobě připomínající lešení. Ke konstrukci "lešení" jsou používána nanotechnologická vlákna. Na materiál použitý ke konstrukci takové matrix jsou kladeny přísné nároky. Materiál musí být biodegradabilní, ovšem jeho degradace nesmí probíhat rychleji než vlastní syntéza extracelulární matrix, materiál musí být biokompatibilní, tj. nesmí vyvolávat imunitní odpověď organismu, a konečně materiál musí mít odpovídající mechanické vlastnosti. Jako materiál se zkouší přírodní materiály jako např. kolagen, chitosan (polysacharid vzniklý deacetylizací chitinu), kyselina

hyaluronová, fibroin (protein představující strukturní základ hedvábí), ale i materiály syntetické, vyrobené obvykle na bázi uhlíku. [68]



Obrázek 8: Princip tkáňového inženýrství [70]

#### 4.3.5. Nanoroboti

Nanoroboti jsou malé přístroje, které je možné vpravit do těla pomocí injekční jehly. V budoucnu by mohly pomoci s přesně cílenou léčbou nádorových onemocnění. Výhodou použití nanotechnologií v léčbě je přesné doručení léčby na konkrétní místo v lidském těle. Odpadají tak vedlejší účinky náročné léčby rakoviny například chemoterapií. Dalším využitím nanorobotů je pak odběr vzorků bez poškození okolních tkání.

Technologie nanorobotů v rámci trávicího systému či oka by se mohly podle Pumery začít používat v horizontu pěti let. Nanoroboty aplikované v krevním řečišti až za patnáct až dvacet let. [71]

Samotná výroba nanorobota se již zdařila, výzkumná centra po celém světě vyrábí nanoroboty, které mají velikost podobnou virům. Výroba již podle některých vědců není složitá, je možné je vyrábět během krátké doby pomocí postupného nanášení malých vrstev materiálu 3D tiskem a je možné ji realizovat v průmyslovém měřítku. [72]

K tomu, aby mohli být nanoroboti používáni v lékařské praxi je třeba vyřešit způsob, jak nanorobota navigovat v lidském těle k určenému cíli a také, jak jej z těla následně odstranit. V navigaci nanorobota jsou ve výzkumných centrech využívány buď mechanicky nebo světelným zdrojem.

**Mechanicky** – kdy se nanorobot pohání vlastním úsilím. V Číně sestavili robota, který za použití magnetického pole umožňuje malému robotovi pohyb ramen, takže vypadá jako by plaval kraulem.



Rychlost tohoto robota je 10 mikrometrů za sekundu a může procházet viskóznějšími tekutinami, jako je například krev. [73]

**Světelný zdroj** – nanoroboti jsou poháněni laserovým paprskem. Ten zasáhne solární panely nanorobotů a vytvoří pohyb robotických nohou. Samotný pohyb se obejde bez malého stroje – jak na materiál svítí světlo, platina v noze se rozšiřuje, zatímco titan zůstává pevný. To způsobuje ohnutí končetiny. Chod robota je generován díky tomu, že každý solární článek způsobuje střídavé kontrakce nebo uvolnění předních nebo zadních nohou. Světelný zdroj omezuje použití nanorobotů pouze na oblast povrchu tkání. [72]

## 5. Kritika metod a jejich etický a právní rámec

Etika je filozofická disciplína, která se zabývá zkoumáním mravní dimenze skutečnosti. Etickou otázkou použití bioinženýrských metod se zabývá mnoho odvětví aplikované etiky, například bioetika, jejíž snahou je zkoumat či vymezovat principy lidského chování souvisejícího zejména s otázkami medicíny a nakládání s lidským životem. [75]

V souvislosti s propojením bioinženýrství s technologiemi vznikají a formují se další odvětví etiky jako infoetika, nanoetika, roboetika a technoetika. Etický pohled na technologie vedoucí ke zlepšení fyzické a mentální kondice člověka se liší podle účelu, kterého se jejich užitím má docílit. Technologie mohou mít potenciál uzdravující či vylepšující:

### **Metody uzdravující**

Uzdravení je chápáno jako návrat do „normálního stavu“ a již tady se ocitáme před otázkou, kterou si kladou mnozí zabývající se etickým rámcem metod genetické manipulace a neuromanipulace. Tedy kde je normál a kde ho společnost vnímá. Jak odlišné je vnímání normálu různými skupinami lidí a je možné vyjádřit normál statistikou? Mnozí filozofové a sociologové se domnívají, že pojem normální je z velké části sociální konstrukt. Hodnocení je totiž aktivita subjektu. [31] Somatické genové manipulace, které lze přirovnat k transplantacím, nevzbuzují ve společnosti negativní ohlasy, jedná se totiž o uzdravující technologii, která se nepřenáší na další generace. Oproti tomu germiální genetické manipulace, které mají potenciál změnit od základu člověka a tuto změnu přenést do dalších generací, se otevírá etická otázka, zda má společnost a rodiče právo zasáhnout do dědičné informace člověka, který bude žít (a množit se) s touto genetickou změnou.

### **Metody zlepšující lidský potenciál**

U těchto metod lze očekávat vyšší míru kritiky a nesouhlasu ze strany vědců i veřejnosti. Je snazší obhajovat metody, které dokážou ukončit lidské utrpení, což je považováno za etické. Metody manipulující DNA ke stvoření zdravějšího člověka či člověka s nadlidskými schopnostmi vyvolává diskusi.

### **Víra v osud zapsaný v DNA**

Je jednou z možných příčin kritiky ze strany veřejnosti a pozastavení rozvoje bioinženýrských metod. Některé skupiny jsou přesvědčeny, že osud je předem napsán v kódu DNA a není etické jej měnit. Z výzkumu již víme, že je možné aktivovat a deaktivovat geny a tím míru inteligence, agresivity, mateřské lásky a jiné. Podle deterministů je toto nastavení výsledkem evoluce a neměli bychom jej měnit. [76]

### **Nadlidské schopnosti**

Pokud věda dosáhne pokroku do té míry, že bude schopna vytvořit člověka s nadlidskými schopnostmi, použije tyto metody ke stvoření určité skupiny „nahlidí“, která bude určena k řešení globálních problémů, na která zatím nedokážeme nalézt řešení, například globální oteplování? Nebo budou metody použity k vytvoření nové generace dokonalejších lidí, jejichž geny budou nastaveny jako dominující v rozmnožování, aby bylo docíleno toho, že dokonalejší verze člověka převáží nad obyčejnými lidmi [44]

### **Ovládání mysli**

Fyzickým zásahem do různých oblastí mozku - a to ať pomocí chirurgických zákroků nebo neinvazivní metodou můžeme měnit mysl. Mysl je možné transformovat, modelovat, dokonce i programovat. Petru tvrdí, že neuromanipulace jsou jen drastičtější formou konvenčnějších metod, kterými jsou například i výchova a to je důvod, proč by měly metody manipulace a změny mysli podléhat stejným etickým principům a omezením, které limitují i výchovné cíle. Stejně, jako je nepřijatelné vychovat někoho k otroctví, je podle něj nepřijatelné i zotročovat člověka metodami neuromodulace či neuromanipulace. [31] Z těchto důvodů jsou technologie pod dohledem tzv. „neuroetiků“, kteří usilují o to, aby nově vyvíjené technologie sloužily hlavně účelům, ke kterým byly primárně určeny, tedy k potlačení některých projevů stavů nemocí, ale také monitorují jejich možné použití v komerční sféře, jelikož tam již tyto metody nemají účel uzdravení člověka, ale jeho zdokonalení. Vložení rozhodovacího zařízení do něčího mozku vyvolává otázky, zda tato osoba zůstává sebeovládaná, zvláště když tyto systémy s uzavřenou smyčkou stále více používají software UI, který autonomně přizpůsobuje své operace. V případě zařízení pro monitorování hladiny glukózy v krvi, které automaticky řídí uvolňování inzulínu k léčbě diabetu, je takové rozhodování jménem pacienta nekontroverzní. Ale dobře míněné zásahy do mozku nemusí být vždy vítány. Například osoba, která používá systém s uzavřenou smyčkou ke zvládnutí poruchy nálady, by se mohla stát

neschopná mít negativní emocionální zážitek, a to i v situaci, ve které by to bylo považováno za normální, jako je například pohřeb. [76]

### **Nákladovost**

Metody zdokonalující člověka jsou velice nákladné, jejich získání ale bude znamenat ve společnosti výhodu. Otázkou je, kdo tuto výhodu získá. Bude platit pravidlo, že kdo je bohatý, může si koupit talent, inteligenci, sílu? Tím by se ještě více rozevřely nůžky mezi bohatými a chudými, což by vedlo k rozporům a rozdělení společnosti.

### **Zneužití ke zneškodnění či ovládnutí nepřítele**

Metody vylepšující člověka nepřinášejí pouze zdravotní rizika, ale společnost bude muset zvážit, co dělat s daty zaznamenanými přístroji BCI. Jaká etika stojí za sledováním každé něčí myšlenky, činu a emocí. V roce 2015 komise pracující pro americkou CIA identifikovala pro Senát šest největších hrozeb pro USA. Kromě jaderných programů Číny, KLDR, Íránu a podobných bezpečnostních problémů se na seznamu vyskytla také editace DNA. [77]

Tento typ technik lze použít k vytvoření lidských bytostí s lepšími schopnostmi než ostatní, tedy inteligentnější nebo fyzicky zdatnější, a tímto způsobem rozvíjet armády lidí, kteří mají vlastnosti lepší než běžná populace.

Genetickou manipulaci s patogenními bakteriemi nebo viry mohou také použít vědci na příkaz bezohledných vládců, což může představovat vážné nebezpečí pro celý svět, protože biologické útoky obvykle neovlivňují pouze země v konfliktu, ale neexistuje způsob, jak předpovědět hranice a veškeré další účinky biologických zbraní. [78]

Podíváme-li se do historie, znamenala existence jaderných zbraní konec studené války jedině proto, že ji měly k dispozici obě strany. Biotechnologie, bude-li použita ve vojenské oblasti, může být podobně důležitá a mít obdobný vývoj. Na regulaci moderních technologií, nejen genetického inženýrství, je tedy důležité se podívat i z historického hlediska.

### **Obava z chyby**

Prediktivní textové generátory, které se nacházejí v mobilních telefonech, jsou dobrým příkladem možné chyby i v oblasti zlepšování lidského potenciálu pomocí technologií. Mohou být užitečnými nástroji, které šetří čas, ale každý, kdo poslal nezamýšlenou zprávu kvůli chybné funkci automatických oprav nebo automatického vyplňování, ví, jak se věci mohou pokazit. [76] Obava z chyby je jednou z možností, proč by, mohlo dojít k odmítnutí metod vylepšujících člověka ze strany veřejnosti.

Největším rozporem mezi opozicí a transhumanisty je názor na zachování přírodních systémů, transhumanisté považují již samotný koncept „přírodnosti“ za přinejlepším problematický a v nejhorším případě za překážku pokroku.

## **Právní rámec**

Prvním všeobecně platným dokumentem bioetiky je Všeobecná deklarace o lidském genomu a lidských právech, který byl přijat na zasedání Generální konference UNESCO v roce 1997. Dokument v čl.4 říká, že „Lidský genom ve své přirozené podobě nesmí dát vzniknout finančnímu zisku“ a v čl. 11, že „Postupy, které jsou v rozporu s lidskou důstojností, jako reprodukční klonování lidských bytostí, nesmí být povoleny. Státy a kompetentní mezinárodní organizace se vyzývají ke spolupráci v odhalování takovýchto praktik a k uskutečňování opatření, na národní nebo mezi-národní úrovni, nutných k zaručení respektování principů vyjádřených v této deklaraci. [80]

V České republice je platná Úmluva na ochranu lidských práv a důstojnosti lidské bytosti v souvislosti s aplikací biologie a medicíny, která byla přijata v Oviedu v roce 1997.

Neurologické prostředky jsou v Evropě regulovány před a po vstupu na trh směrnicí o zdravotnických prostředcích (93/42/EHS) a směrnicí o implantabilních zdravotnických prostředcích (90/385/EHS). Obě směrnice se zabývají na jedné straně ochranou bezpečnosti uživatelů (lékaři, pacienti) a na druhé straně harmonizací požadavků týkajících se uvádění zdravotnických zařízení na trh a tím i podporu obchodu.

Údaje o zamýšleném použití neurologických přístrojů jsou sdružovány v databázi Eudamed, která má za cíl usnadnit komunikaci mezi výrobcí těchto přístrojů a Evropskou komisí. Databáze není přístupná odborníkům ani veřejnosti a neumožňuje tak odbornou, ani veřejnou diskusi. [22]

## **Patenty**

Etické problémy přinášejí do praktické medicíny i otázky patentování. Smysl patentování je jako udělení konkurenční výhody pro jedince nebo instituci, která investovala do výzkumu dané oblasti určité prostředky, jistě uznáme, že nároky na návratnost investic a určitou míru zisku mohou být oprávněné a pro výzkum prospěšné. Z tohoto hlediska rozlišujeme objevy a vynálezy.

Jednou z hlavních obav ohledně patentů na lidské geny je, že znesnadní provádění výzkumu, a tím zpomalí nebo znemožní objevy a vývoj diagnostiky a terapeutik. Patenty jsou jednoznačně považovány za nezbytný stimul pro příliv rizikového kapitálu do biotechnologického průmyslu; role patentů v motivaci akademických výzkumných pracovníků je méně jasná.

Data o licencování biotechnologických patentů naznačují, že většina genetických vynálezů není patentována, ale pokud ano, jsou licencovány za exkluzivních podmínek. Na druhé straně se zdá, že

výzkumní pracovníci a firmy vyvinuli různé strategie k minimalizaci potenciálních škodlivých účinků patentů, včetně odebírání licencí. [81]

# PRAKTICKÁ ČÁST

## 6. Analýza a predikce vývoje trhu

Účelem této kapitoly je analýza současného stavu trhu a faktorů, které mají vliv na vývoj trhů v budoucím období. Analýza bude provedena na základě veřejně dostupných prognóz trhu, které byly zveřejněny společnostmi Grand View Research a Allied Market Research. Taktéž budou uvedeny vybrané analýzy evropského bioinženýrství zveřejněné ve zprávě Eurostat a dalších relevantních dostupných zdrojů.

### 6.1. Analýza trhu UI v bioinženýrství

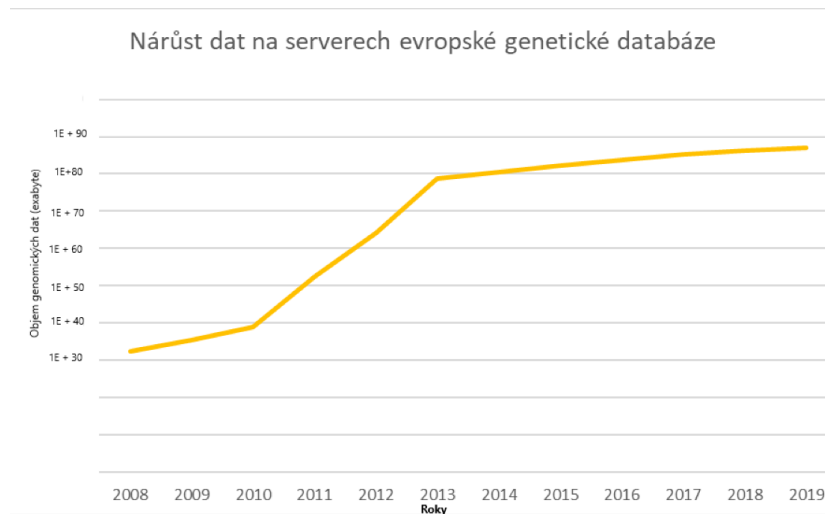
V teoretické části práce bylo popsáno, jak budoucí vývoj biotechnologií zcela zásadně závisí na vývoji umělé inteligence. Bez propojení s umělou inteligencí nebudou biotechnologie schopné se integrovat z důvodu velkého množství informací či složitosti procesů vyžadujících časově náročné a finančně nákladné úkony.

#### 6.1.1. Růst množství datových souborů

Ukazuje se, že množství dat v genomických či proteomických databázích se každý rok zhruba zdvojnásobuje. [82] Tento růstový trend znamená příležitost pro společnosti zabývající se ukládáním a organizováním dat (Big data) a taktéž jejich vyhodnocováním pomocí některé z forem umělé inteligence.

Molekulárně biologické databáze čítaly koncem roku 2019 zhruba 1.700 on-line databází. K tomu, aby byly databáze schopny integrovat data z různých zdrojů jsou nástroje umělé inteligence zcela nezbytné. Odborníci se shodují, že bez kvalitní správy dat pomocí nástrojů umělé inteligence bude významný průlom v biotechnologiích nemyslitelný. Odhady ukazují, že do roku 2025 bude vzroste počet dat o 40 exabytů dat k uchování a jejich správě v databázích (1 exabyte = 1,000,000,000,000,000 bytů)

Následující graf ukazuje nárůst dat uložených na serverech Evropského bioinformatického institutu EMBL-EBI (evropská genetická databáze).



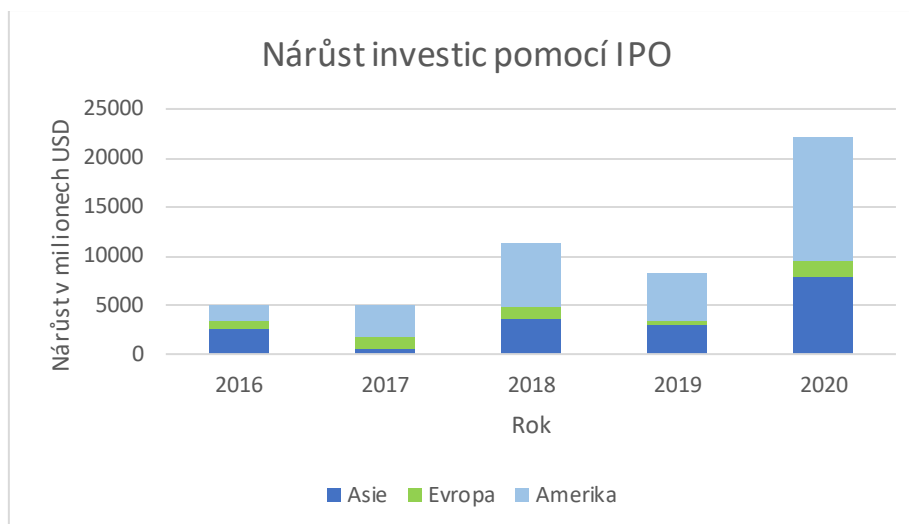
Obrázek 9: Vlastní zpracování: Nárůst dat v genetické databázi EMBL-EBI v letech 2007-2019, zdroj [82]

### 6.1.2. Dopad pandemie Covid-19 na trh s UI

Trend pronikání umělé inteligence do zdravotní péče významně urychlila pandemie Covid-19. Biotechnologie založené na metodách strojového učení a umělé inteligence byly v období pandemie široce využívány k diagnostice a detekci nemoci, správě informací o pacientech i klinických studiích a v neposlední řadě byla UI využita na virtuálních asistentech.

Umělá inteligence na trhu zdravotní péče v období dvou let trvání pandemie rostla tempem CAGR 167,1 % od roku 2019 do roku 2021, přičemž růst trhu mezi roky 2020 a 2021 byl CAGR 55 %. Potřeba přesné a rychlé diagnostiky a rychlé a pokud možno co nejlevnější návržení optimální zdravotní péče způsobila, že se klíčové společnosti na trhu ještě více zaměřily na inovace produktů. [83]

Následující graf, který zveřejnil časopis Nature [84] ukazuje, že investice prostřednictvím veřejné nabídky akcií, tzv. IPO vzrostly během pandemického období téměř trojnásobně.



Obrázek 10: Vlastní zpracování: Nárůst investic prostřednictvím veřejné nabídky IPO v letech 2016-2020, zdroj [84]

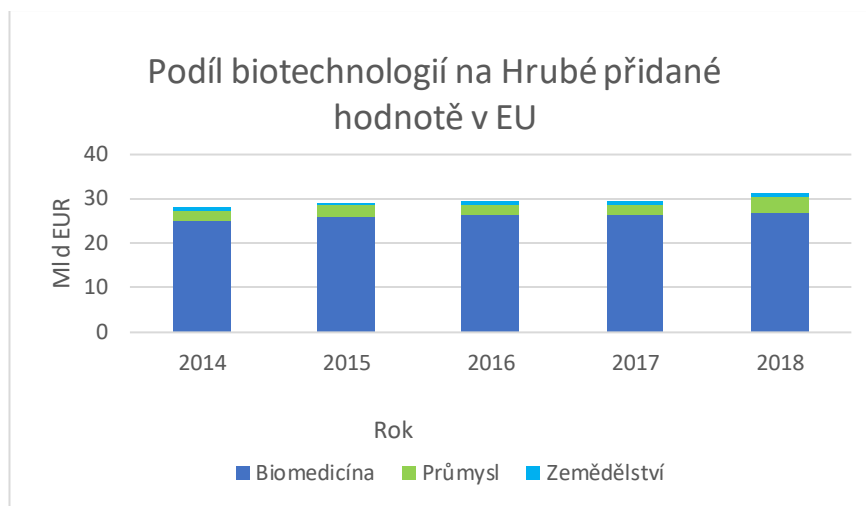
V roce 2021 vzrostl na trh odhadovanou velikost 1 023,9 miliardy USD. Růst trhu byl pozitivně ovlivněn pandemií Covid-19, kdy bylo v tomto roce na trh dodáno více než 11 miliard dávek očkovacích vakcín proti této nemoci. Úspěch RNA vakcín a zrychlení schvalovacích procesů povede k posílení trhu i v příštích letech.

### 6.1.3. Podíl biotechnologií na Hrubé přidané hodnotě (GVA) v EU

Biotechnologie představují velký ekonomický potenciál, jejich význam ilustrují rostoucí čísla ukazatelů Hrubé přidané hodnoty a rostoucí počet pracovních míst na trhu práce.

Hrubá přidaná hodnota (zkráceně HPH, anglicky gross value added (GVA)) je výsledek rozdílu mezi celkovou produkcí zboží a služeb měřené na jedné straně a spotřebou (hodnota statků a služeb spotřebovaných ve výrobě) na straně druhé. HPH má silnou vazbu na HDP umožňuje podávat zprávy o své výkonnosti způsobem, který zajišťuje srovnatelnost s jinými ekonomickými subjekty. [85]

Biotechnologie jsou mezioborovým odvětvím. Následující analýza ukazuje podíl GVA v jednotlivých sektorech biotechnologií v Evropě. Jak je vidět, převažující část biotechnologií tvořilo zdravotnictví.

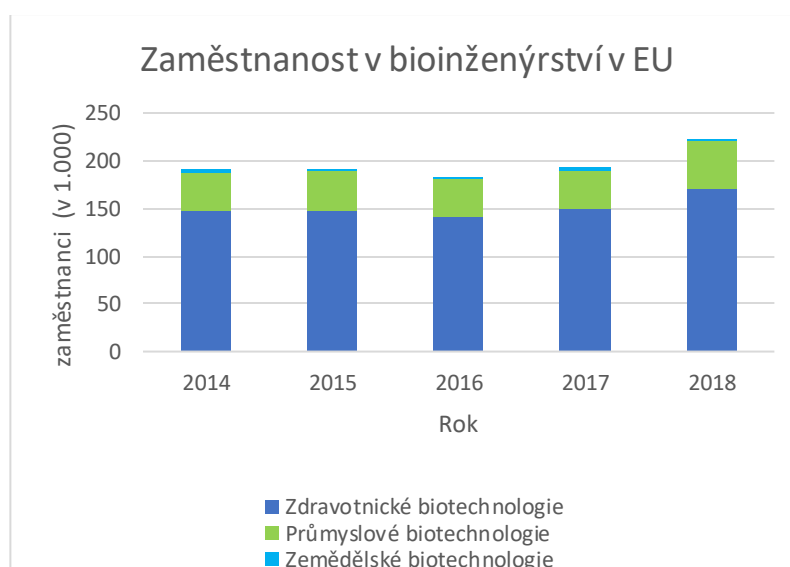


Obrázek 11: Biotechnologie a jejich podíl na GVA v Evropě v letech 2008-2018 v mld. EUR, zdroj [84]

### 6.1.4. Podíl biotechnologií na trhu práce

Indikátorem vývoje každého odvětví je vznik nových společností, které dávají vzniknout novým pracovním místům a ovlivňují tak trh práce. Vznik nových pracovních míst je indikátorem vývoje a významu nové technologie.

Následující graf ukazuje, že v roce 2018 vzniklo v EU v bioinženýrství 223.000 zaměstnanec-kých pracovních míst. Kromě toho biotechnologický průmysl nakupuje služby a zboží od dodavatelů, což vede ke zvýšení výroby a zaměstnanosti v dodavatelských odvětvích, což je přibližně 710.500 nepřímých pracovních míst.



Obrázek 12: Zaměstnanost v EU v jednotlivých sektorech bioinženýrství v letech 2008-2018, zdroj [85]



## 6.2. Analýza růstu trhu CAGR

Složená roční míra růstu (CAGR) je obchodní termín používaný pro vyjádření míry růstu určitého ukazatele v průběhu časového období. Trh s biotechnologiemi je poměrně novým trhem, společnosti zabývající se odhadem tržních růstů predikují vysoký nárůst objemu trhu bioinženýrství především v oblastech popsanych v této kapitole.

Graf společnosti Grand View Research ukazuje objem a rozdělení globálního trhu s biotechnologiemi v roce 2020 ve výši 752,9 miliard dolarů, u kterého se očekává, že v letech 2021 až 2028 bude růst při složené roční míře růstu (CAGR) 13,9 %. Největší podíl má kategorie "ostatní technologie", druhou kategorií s nejvyšším objemem zaujímá sekvenování DNA a následují nanobiotechnologie a tkáňové inženýrství, které je v této práci taktéž řazeno do nanotechnologií.

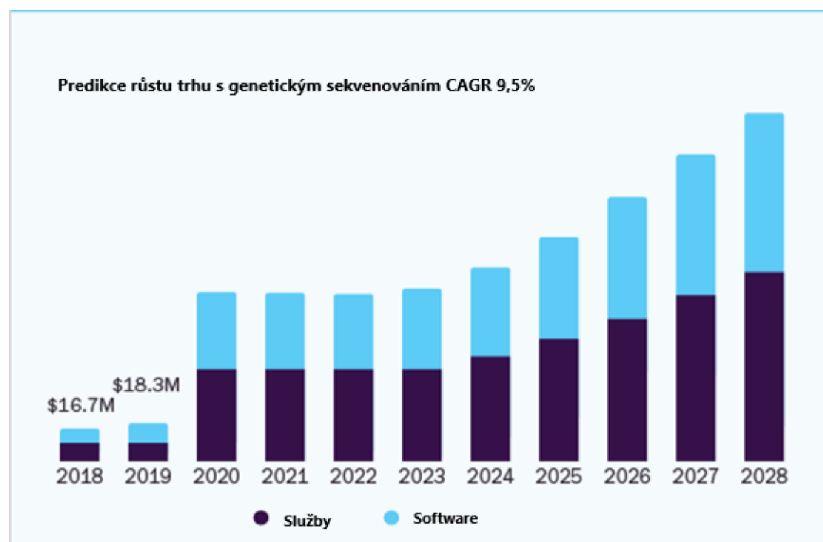


Obrázek 13: Velikost globálního trhu biotechnologií a jeho členění v roce 2020, zdroj [96]

### 6.2.1. Trh s genetickým inženýrstvím

Příkladem největšího růstu biotechnologického sektoru jsou genetické sekvenování a biotechnologie, které byly zásadní ve vývoji vakcíny proti covid-19. Genetické sekvenování zažilo ohromný nárůst od okamžiku přečtení lidského genomu, kdy se metoda zapsala do vědeckého povědomí.

Veřejnost existenci těchto metod zaznamenala v nedávné době v důsledku pandemie Covid-19, kdy byly sekvenátory zjišťující variantu viru skloňovány v médiích několikrát za den a účinně pomohly při studiu epigenomických i genomických vzorců spojených s různými biologickými procesy. Velikost trhu globální analýzy NGS byla v roce 2020 oceněna na 561,6 milionu USD a podle Grand View Research se očekává, že v letech 2021 až 2028 poroste se složenou roční mírou růstu 9,5 % CAGR. [86]



Obrázek 14: Odhad vývoje CAGR globálního trhu s NGS v letech 2018-2028 [86]

Zvýšeným povědomím o existenci sekvenačních technik vzrostla celková poptávka po NGS. Růst poptávky po sekvenačních procesech bude způsoben zvýšením poptávky ze segmentu klinického výzkumu, který zažije nejvyšší růst v následujících letech a ze segmentu prenatální diagnostiky a personalizované medicíny. V současnosti tvoří nejvyšší podíl na trhu sekvenování segment klinického výzkumu.

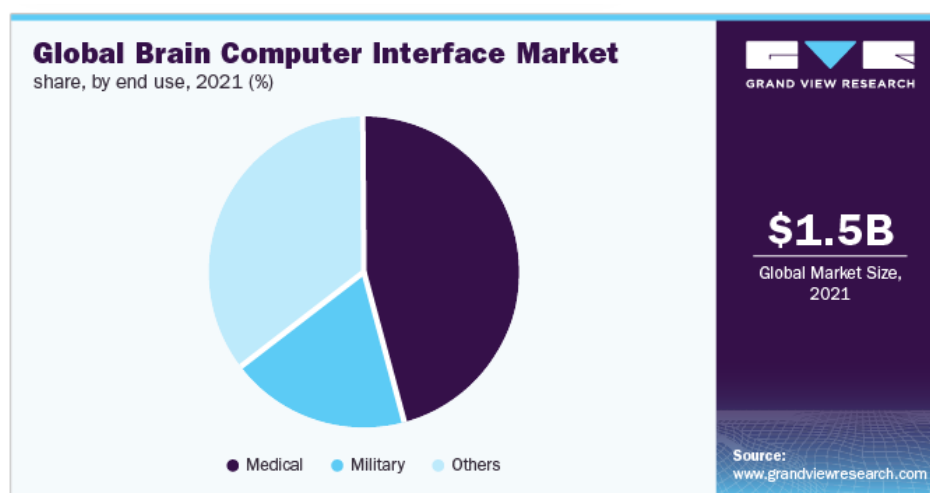
Genetické nůžky, které byly oceněny Nobelovou cenou v roce 2020, jsou již používány nejen ve výzkumu, ale bylo již umožněno jejich využití ke genetickým úpravám tam, kde nedochází ke změně dědičné části DNA.

Globální velikost trhu s geny CRISPR-CAS9 byla v roce 2020 oceněna na 1,5 miliardy USD a očekává se, že v letech 2021 až 2028 poroste při složené roční míře růstu (CAGR) 21,7 % [88]. Poptávka po buněčných a genových terapiích nabývá na síle, především po technikách úpravy genů založených na CRISPR pro vývoj nových terapií. V důsledku toho se očekává, že výzkumné organizace budou v prognózovaném období svědky výrazného růstu trhu. Poptávku po CRISPR v tomto segmentu ovlivní intenzivní konkurence mezi hráči se zaměřením na redukci času a nákladů.

## 6.2.2. Trh s BCI

Trh s neuromodulacemi (Brain Computer Interface-BCI) byl v roce 2020 oceněn na 1.488 milionu USD a očekává se růst CAGR 13,9 % na 5.463 milionu USD do roku 2030. [87]

V roce 2020 trhu na trhu s BCI převažoval segment s neinvazivním typem propojení člověka s počítačem. Tento systém se používá ve zdravotnictví převážně k pomoci s ovládním ochrnutým pacientům. V následujících letech odborníci předpokládají vysoký nárůst trhu s neuromodulacemi invazivního typu, od něhož se očekává vyšší kvalita léčby a přesnější cílení na daný problém. Invazivní neuromodulační zařízení se používají nejen k náhradě tělesných funkcí (robotické končetiny) postiženým pacientům, ale také k obnově vidění propojením mozku s externími kamerami. Následující graf zveřejněný společností Grand View Research ukazuje, že největší část neuromodulačních zařízení našla v roce 2021 uplatnění právě ve zdravotnictví.



Obrázek 15: Velikost globálního trhu s BCI v roce 2021 a rozložení trhu do sektorů, zdroj [90]

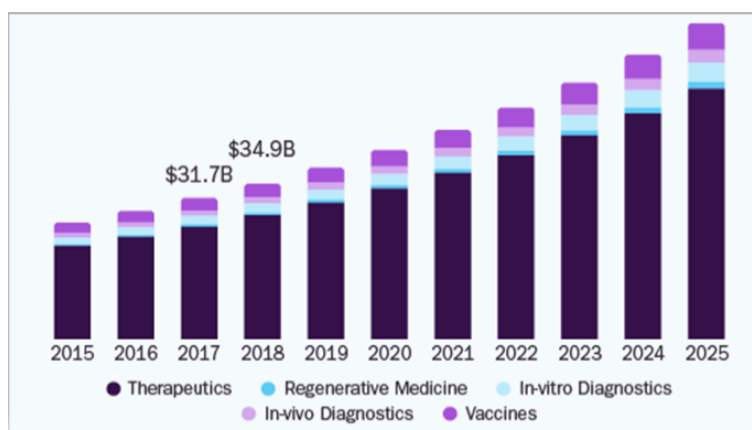
Velikost globálního trhu s BCI byla v roce 2021 oceněna na 1,52 miliardy USD a očekává se, že během dalších deseti let poroste složenou roční mírou růstu CAGR 16,7 %. Mezi faktory, které podpoří růst trhu s neuromodulacemi patří rostoucí počet obyvatel v seniorním věku trpících neurodegenerativními poruchami, epilepsií, Alzheimerovou či Parkinsonovou chorobou a také rychlý technologický vývoj, který usnadňuje komunikaci a pohyb u paralizovaných pacientů. Převážná část trhu s BCI je tvořena neinvazivními typy neuromodulačních zařízení.

Pandemie Covid-19 částečně oslabil trh s BCI především narušením dodávek komponent potřebných k výrobě přístrojů BCI dodávaných nejen do zdravotnických zařízení. Budoucí vývoj trhu

nicméně slibuje vysoký nárůst i z důvodu predikce WHO, která ve své zprávě uvádí, že do roku 2030 bude postiženo některým typem demence kolem 82 milionu lidí a do roku 2050 toto číslo dosáhne 152 milionů. Dalším faktorem pohánějícím trh s BCI vpřed je technologický pokrok a rostoucí počet grantů na výzkum v tomto oboru. Například v roce 2018 obdržela společnost Advanced Brain Monitoring Inc. Grant od Národního institutu pro stárnutí na vývoj roboticky asistujících zařízení pro pomoc starým lidem s demencí.

### 6.2.3. Trh nanotechnologií

Globální trh s nanotechnologiemi v medicíně byl v roce 2020 oceněn na 109,57 miliard USD. Klíčovým faktorem slibujícím růst trhu je výroba léků na nanotechnologické bázi se schopností přesného cílení na konkrétní onemocnění. Vysoký potenciál má také uplatnění nanotechnologií k časně diagnostice onemocnění a v preventivním přístupu k pacientovi. Očekává se, že trh s Nanotechnologiemi poroste do roku 2027 průměrnou mírou růstu 11,9 % CAGR. [94]



Obrázek 16: Vývoj trhu s nanotechnologií v medicíně (US) - predikce CAGR, zdroj [91]

Nanotechnologická léčba onkologických pacientů je na trhu s nanotechnologiemi klíčovým trendem, který bude v budoucích letech narůstat. Podle Globocan 2020 [91] celosvětově roste počet případů rakoviny.

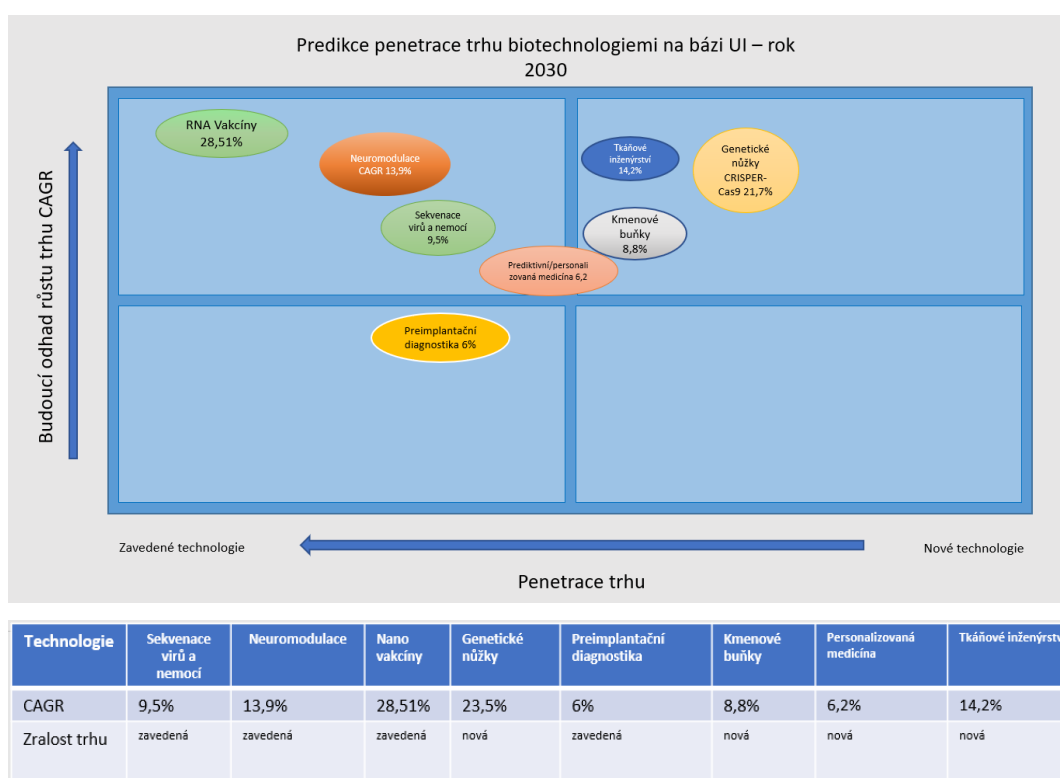
Během pandemie Covid-19 hrála nanotechnologie klíčovou roli ve vývoji očkovacích látek. Vlády jednotlivých zemí investovaly do výzkumu nanotechnologií v souvislosti s vývojem léků proti Covid-19. Takovým příkladem je Kanadská vláda, která v roce 2020 oznámila financování výzkumu a vývoje léků ve výši 18,2 milionu USD. [91] Očekává se, že v důsledku příležitosti k růstu trhu vlivem vývoje vakcín povedou ke vstupu nových společností do odvětví.

V roce 2020 bylo americkým úřadem FDA povoleno k uvedení na trh několik typů implantátů vyrobených technologiemi 3D biotisku, což povede k většímu ukotvení nanotechnologických implantátů na globálním trhu.

### 6.2.4. Predikce penetrace trhu biotechnologiemi

V závislosti na současné úrovni implementace a odhadech budoucího růstu mají technologie zmíněné v teoretické části práce odlišný potenciál, daný především očekávanou mírou přijetí technologie. Na základě studia odborné literatury a odborných článků byla autorkou vyhotovena matice očekávané budoucí penetrace trhu.

Růstová matice penetrace trhu uvažuje na svislé ose očekávaný růst trhu (dle předpokládané míry růstu trhu CAGR, uvedenou v kapitolách 6.1 a 6.2.) Na vodorovné ose je odhad míry přijetí technologie trhem v závislosti na aktuálním stupni zavedení technologie. Vzhledem k inovativnosti hodnocených metod, z nichž některé dosud nejsou masově používány, byly při tvorbě matice autorkou zvaženy taktéž výstupy plynoucí z dotazníkového šetření uvedeného v kapitole č. 8.



Obrázek 17: Vlastní zpracování: Predikce penetrace trhu biotechnologií na bázi UI v roce 2030

V matici zobrazující predikci penetrace trhu je většina technologií umístěna v 1. kvadrantu zobrazující technologie s vysokým tempem růstu na trhu biotechnologií, které jsou již integrovány v menším

měřítku na trh. Jedná se převážně o technologie založené na ověřeném principu, kterým rozvoj pomocí umělé inteligence umožní masové využití.

### **Hvězdy**

RNA vakcíny proti Covid-19 vznikly v laboratoři za pomoci kombinace nanotechnologií a strojového učení za pouhé dva dny a otevřely tak možnost vývoje dalších vakcín podobným způsobem. Odhad růstu trhu RNA vakcín je 28,51 % CAGR a jedná se o relativně ověřenou technologii, která má potenciál masového využití v predikovaném období.

Neuromodulace mají vysoký potenciál v léčbě neurodegenerativních onemocnění, například Alzheimerovy choroby či stavů po mozkových příhodách, kde jsou tyto technologie již využívány. Tempo růstu trhu je odhadováno na 13,9 % CAGR.

Sekvenace virů a nemocí je další oblastí, kterou pandemie Covid-19 posunula vpřed masovému využití za pomoci umělé inteligence. S rostoucím objemem dat v genomických databázích bude tato technologie v roce 2030 masově využívána.

### **Otazníky**

Kmenové buňky představují na trhu jednu z položek s nejvyšší poptávkou z hlediska jejich léčebných účinků, nicméně čelí etickým otázkám jejich získávání. Jedná se o novou technologii ve fázi výzkumu. UI je slibnou technologií umožňující vyhledání správných kmenových buněk. Odhad tempa růstu trhu se pohybuje okolo 8,8 %, nicméně jejich masové využití v medicíně je nejasné.

Personalizovaná medicína je poměrně novým oborem, který je komerčně nabízen na soukromých klinikách. Funguje na principu sekvenace DNA a jeho porovnáním s daty v existujících databázích. Jedná se o poměrně novou a zatím ne zcela ověřenou metodu predikce onemocnění. Ukazuje se, že kontext vzniku onemocnění ovlivňuje daleko více faktorů, než genetický předpoklad, v roce 2030 bude tedy tato technologie stále oborem fungujícím převážně na poli výzkumu.

Genetické nůžky Crisper-Cas9 jsou novou technologií oceněnou Nobelovou cenou a jejich růst trhu je odhadován na 21,7 % CAGR [88]. Zásahy do DNA jsou ale natolik neověřené, že budou v roce 2030 stále ještě předmětem výzkumu.

## **6.3. Největší hráči na trhu s UI**

Jak bylo popsáno v teoretické části, UI ve zdravotnictví nachází uplatnění především v bioinženýrství prostřednictvím biotechnologií, a to především v oblastech zkoumání a zásahů do DNA, genetického testování, genové terapie, výroby cílených léků v kombinaci UI, genomiky a nanotechnologií a také pomocí neuromodulace.

Pandemie Covid-19 měla zásadní vliv na růst trhu s umělou inteligencí v oblasti zdravotnictví. V důsledku pandemie trh posílil, z oblasti výzkumu se více přiblížil.

### 6.3.1. Specifika trhu s bioinženýrstvím a UI

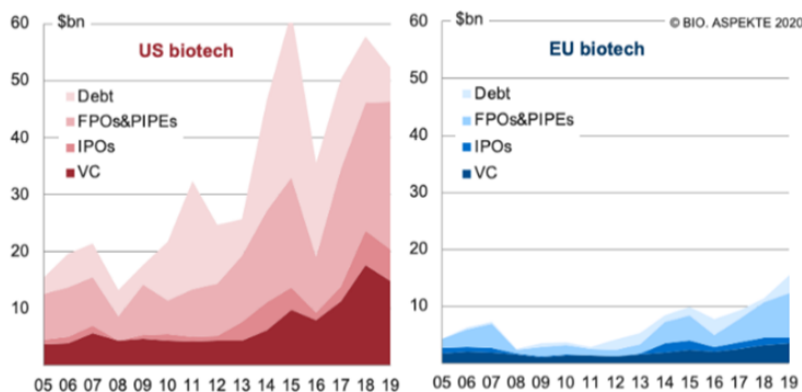
Trhy biotechnologií a UI se silně prolínají. Big data, umělá inteligence a strojové učení se stanou nástroji veškerého budoucího biotechnologického výzkumu.

Společnosti operující na trhu s UI ve zdravotní péči přicházejí s množstvím nových startupů. Záměrem společností je vždy růst a zaujmout co největší tržní podíl. V předchozích letech se mnoho společností na tomto trhu zaměřilo na růst tržního podílu především strategií partnerství, fúzí a akvizic.

Investice do biotechnologií rostly v důsledku výzkumů toho, jak zdravotnictví hledalo způsoby, jak zabránit šíření viru Covid-19. Náklady na samotný biotechnologický výzkum jsou vysoké a jsou podstatným faktorem pro získání potřebných technologií a nejlepších odborníků. Největší hráči na trhu s biotechnologiemi dokážou financovat svůj výzkum. Společnosti vytvářející tzv. startupy potřebují najít některý z následujících (externích) zdrojů financování:

- Vládní financování (granty)
- Firemní granty
- Partnerství s výzkumnou univerzitou
- Rizikový kapitál (Venture capital)

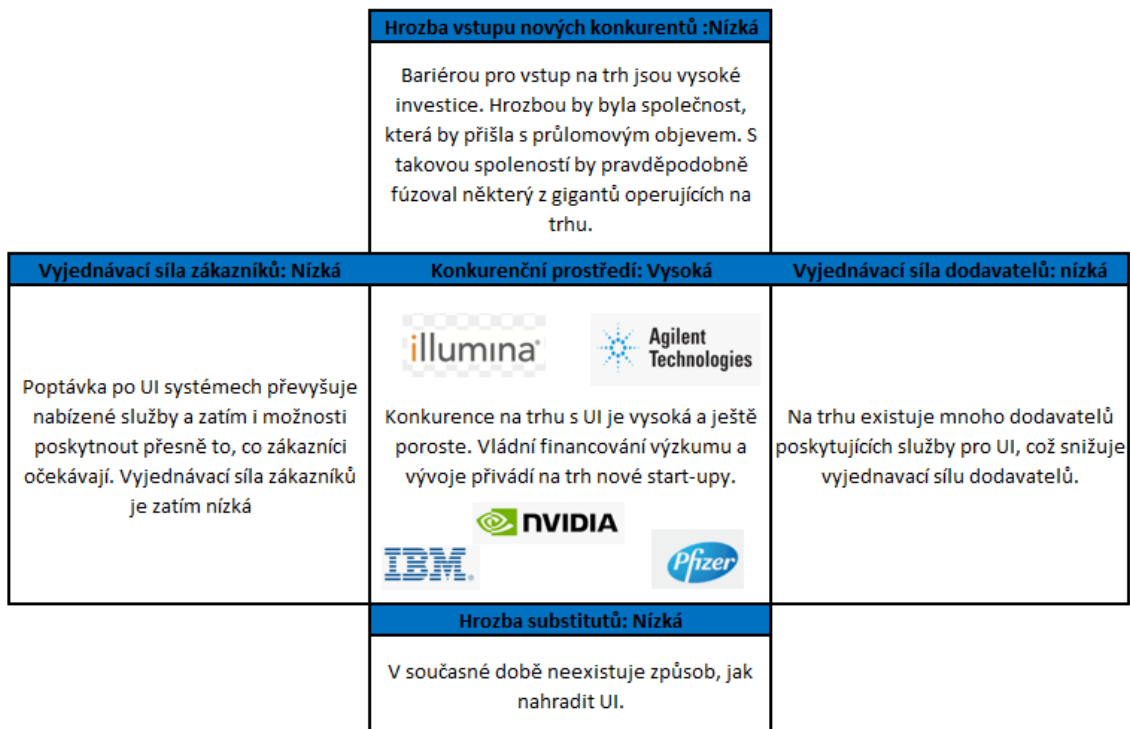
Největší tržní podíl na trhu v roce 2020 představovala Severní Amerika s podílem 44,19 %. Růst amerického trhu podpořil fakt, že několik klíčových hráčů je přítomno v Americe a také vlivem zrychlujícího se procesu schvalování léků. Jak je vidět na grafu zobrazujícím srovnání financování bioinženýrství v US a Evropě, jsou finance putující na americký trh zhruba pětikrát vyšší než v Evropě.



Obrázek 18: Financování biotechnologií v USA a v Evropě, zdroj [84]

### 6.3.2. Analýza prostředí – Porterův model

Porterův Model 5 sil je model, který analyzuje pět konkurenčních sil, které formují každé odvětví, a pomáhá určit slabé a silné stránky daného odvětví. Model analyzuje 5 faktorů: vyjednávací sílu zákazníka, dodavatelů, hrozbu vstupu nových firem na trh, hrozbu substitutů a rivalitu mezi konkurencí.



Obrázek 19: Porterova analýza trhu UI. Vlastní zpracování

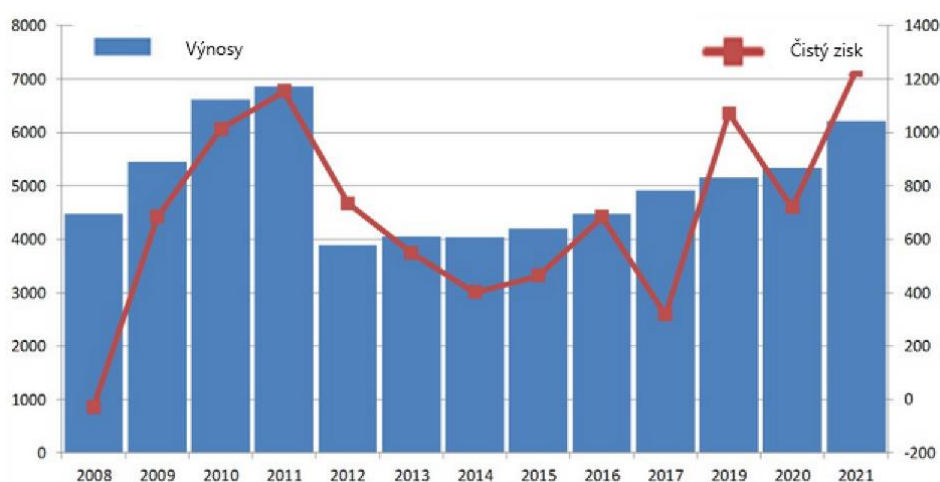
Na trhu s UI je vysoká poptávka, která vytváří stále větší rivalitu v konkurenčním prostředí. Společnosti operující na trhu s UI reagují na nově vznikající startupy akvizicí či fúzí a zvyšují tak svůj tržní podíl. Jelikož trh neustále očekává příchod dokonalejších verzí UI, mohla by na trh vstoupit nová společnost s průlomovým objevem a stát se tak hrozbou další konkurence. Vyjednávací síla dodavatelů i zákazníků je nízká. Na dodavatelském poli je velké množství společností, které si vzájemně konkurují a jejich vyjednávací pozice se tak snižuje. Poptávka zákazníků převyšuje nabídku, což dodává trhu s umělou inteligencí velkou výhodu.



### 6.3.3. Agilent Technologies, Inc.

Přední společností v oblasti bioinformatiky je Agilent Technologies, Inc., americká společnost pro vývoj a výrobu analytických přístrojů, která nabízí své produkty a služby na celosvětových trzích. Společnost využívá metody strojového učení a hlubokých neuronových sítí k trénování modelů tak, aby pracovaly s Big data.

Graf níže zobrazuje výnosy společnosti v letech 2017 až 2019. Společnost ve sledovaném období dosahovala výnosů převyšujících odhady společností zabývajících se predikcí růstu. Ve sledovaném období také došlo k výraznému růstu cen akcií, jak je vidět na obrázku č. 20.

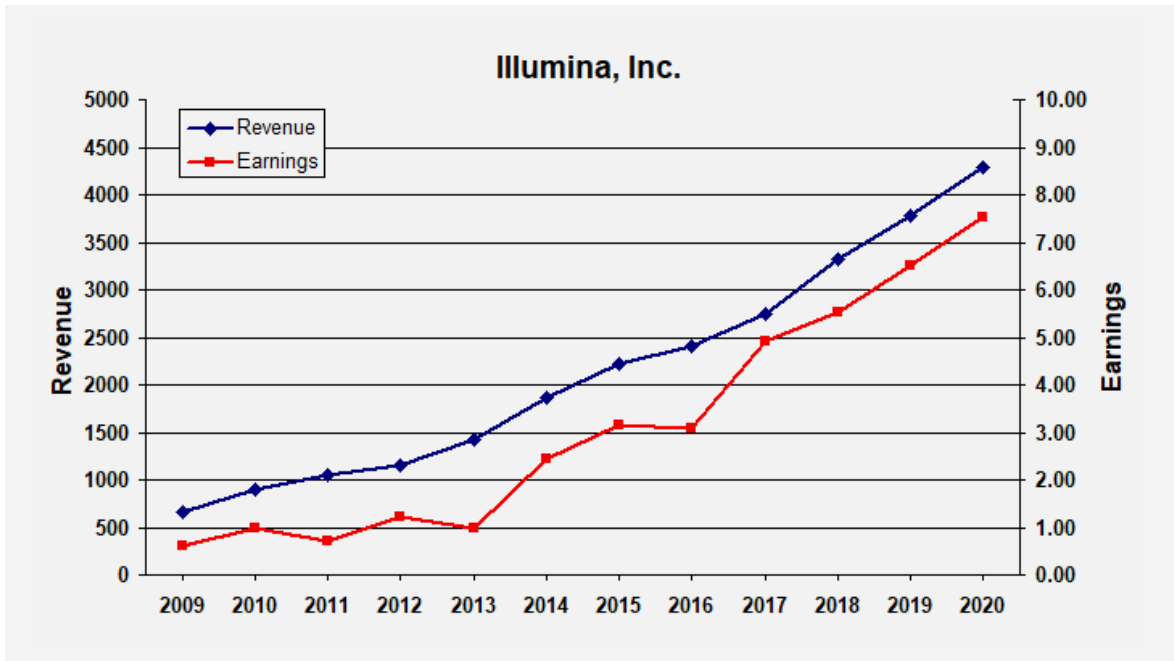


Obrázek 20: Výnosy společnosti Agilent Technologies Inc. v letech 2008-2021 [92]

### 6.3.4. Illumina

Společnost Illumina, Inc. je v současné době lídrem na trhu s NGS. Tato společnost vyrábí téměř 90% veškerých čtecích zařízení na světě. Pomocí nejspolehlivějších sekvenátorů za nejnižší cenu ovládla společnost téměř celý trh, vyrábí sekvenátory o ceně blížící se 1 milionu dolarů s cílem učinit produkt dostupný každé laboři. Z nejpopulárnějších sekvencerů Illumina jsou MiSeq, HiSeq a NovaSeq. Mezi její zákazníky patří přední akademická centra genomického výzkumu instituce, vládní laboratoře, nemocnice a referenční laboratoře, stejně jako farmacie, biotechnologie, agrogenomika, komerční společnosti molekulární diagnostiky a spotřebitelské genomiky.

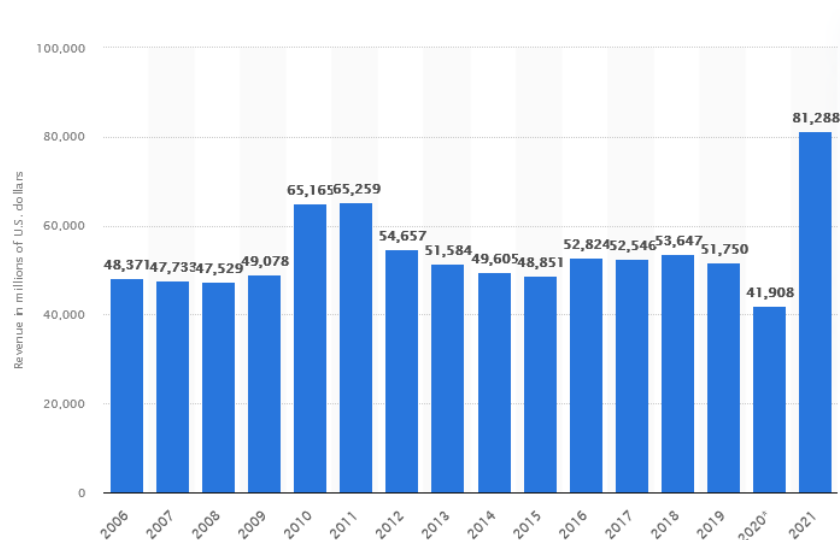
Tržby společnosti Illumina rostly v minulých deseti letech meziročně o 25 % převážně v souvislosti s dodávkami pro klinické i výzkumné účely, se silnou stránkou v oblasti onkologického testování, testování genetických chorob a populační genomiky.



Obrázek 21: Výnosy a zisky společnosti Illumina v letech 2009-2020 [93]

### 6.3.5. Pfizer Inc.

Pfizer Inc., je americká nadnárodní farmaceutická a biotechnologická společnost, která vyvíjí a vyrábí léky a vakcíny pro imunologii, onkologii, kardiologii, endokrinologii a neurologii. Graf níže ukazuje tržby generované společností Pfizer Inc. v minulých letech. V roce 2021 společnost Pfizer vygenerovala celkové tržby ve výši více než 81 miliard amerických dolarů. Vysoký nárůst tržeb byl způsoben především výrobou vakcíny proti COVID-19, která byla vyvinuta ve spolupráci s německou společností BioNTech.



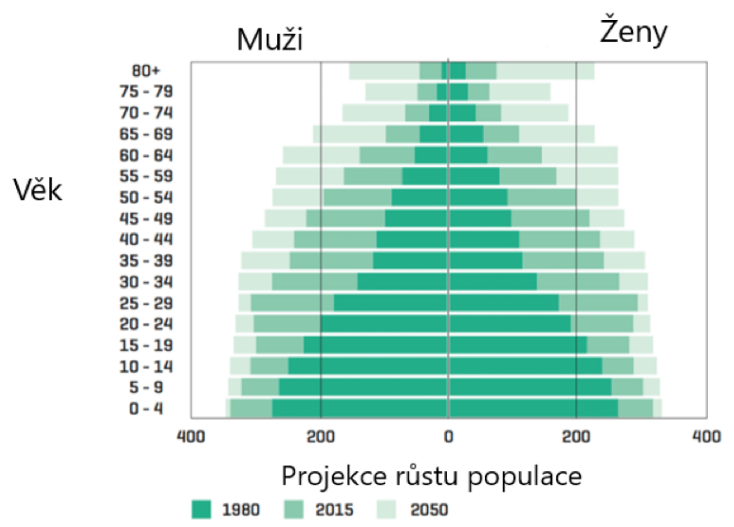
Obrázek 22: Vývoj výnosů společnosti Pfizer v období 2006-2021 [94]

## 6.4. Analýza faktorů

Účelem této kapitoly je analýza faktorů, které mají vliv na vývoj trhů v budoucím období. Analýza faktorů je výchozí bod pro použití metody scénářů, které budou vytvořeny v následující kapitole.

### 6.4.1. Socio-demografické

Významným vlivem, který pohání trh s bioinženýrstvím ve zdravotnictví vpřed, je stárnutí populace. Následující graf zobrazuje predikci vývoje společnosti podle věkových skupin, do roku 2050. Z grafu je patrné, že v tomto období, kterém se věnuje i prognóza této práce, je predikován velký nárůst populace ve věku nad 60 let. Z této skutečnosti lze usuzovat, že poroste potřeba bioinženýrství v oblasti řešení problémů trpících neurodegenerativními poruchami, epilepsií, Alzheimerovou či Parkinsonovou chorobou, jejichž výzkumu, vývoji a testování se věnují všechny tři oblasti bioinženýrství, které jsou předmětem této práce.

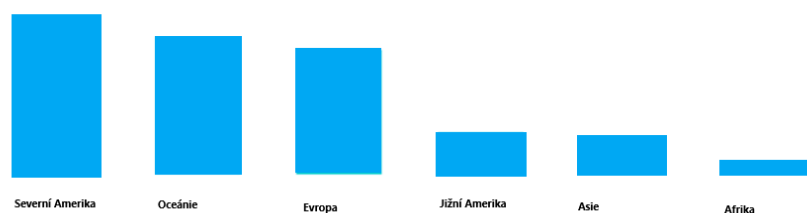


Obrázek 23: Predikce světového růstu populace do roku 2050, zdroj [95]

V kapitole věnující se výzkumům spojeným s nesmrtností bylo popsáno, jak se buňky při jejich dělení zkracují. Elomerová teorie vychází ze zjištění, že telomery v těle svých buňkách se obvykle po každém buněčném dělení zkracují. Od určitého okamžiku se buňky již nemohou dále dělit a odumírají, nebo se mění v buňky rakovinné. Celosvětový nárůst počtu případů rakoviny podporuje všeobecně výzkumy jak v genové terapii, tak nanotechnologii.

Podle Globocan 2020 vzrostl počet celosvětových případů rakoviny v roce 2020 na 19,3 milionu případů. Následující graf zobrazuje počet případů rakoviny na 100.000 obyvatel v jednotlivých oblastech. Výzkum léčby rakoviny pomocí nanotechnologií tvoří klíčový trend slibující růst trhu nanotechnologií a genové terapie v příštích letech.

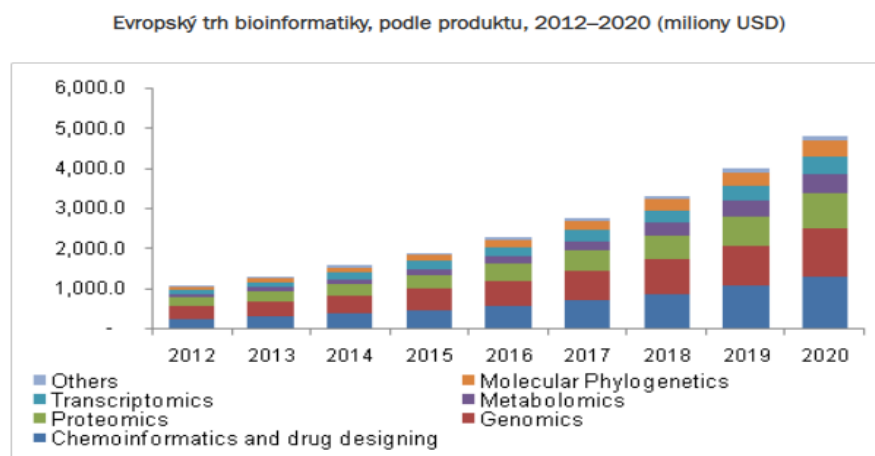
Celosvětový výskyt rakoviny podle oblastí (na 100.000 obyvatel)



Obrázek 24: Celosvětový výskyt rakoviny podle oblastí v roce 2020, zdroj [91]

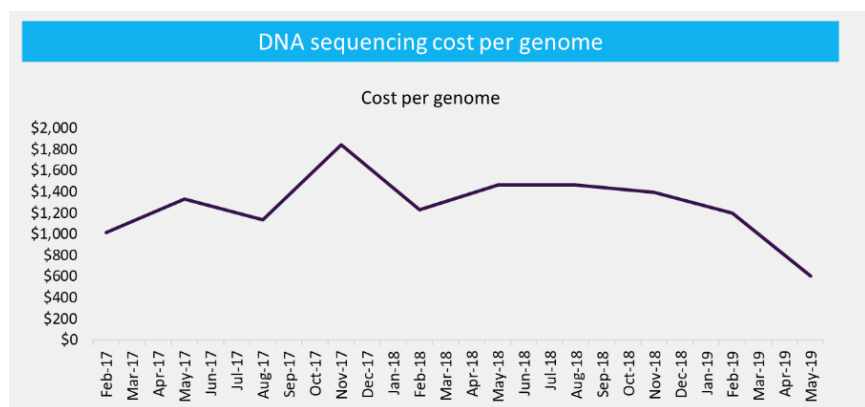
## 6.4.2. Technologické faktory

Bioinženýrství je z velké části závislé na technologiích umožňujících ukládání, správu a sdílení dat v databázích. Zejména pomocí bioinformatiky byl v posledních letech urychlen vznik a vývoj genových databází, kde společnosti mohly sdílet získaná data a posunout tak společně výzkum vpřed. Růst segmentu bioinženýrství je tedy poháněn pokrokem v bioinformatice. Očekává se, že nabídka bioinformačních služeb, vývoj umělé inteligence, kvantových výpočtů a správy Big data budou klíčovými faktory určujícími trh bioinženýrství během prognózovaného období. Graf níže zobrazuje oborové rozdělení evropského trhu bioinformatiky v letech 2012–2020, ze kterého lze vyčíst, že genomika představovala společně s vývojem léků největší část trhu.



Obrázek 25: Evropský trh bioinformatiky podle produktu v letech 2012–2020 [96]

Zájem o sekvenační technologie se zvyšuje také vlivem snižující se ceny za sekvenaci. Historickým milníkem byl rok 2015, kdy cena za sekvenaci jednoho lidského genomu poklesla na 1.000 dolarů. Cena se od té doby stále snižuje, což technologii činí dostupnější pro segmenty mimo klinický výzkum. Vývoj cen ukazuje následující graf:



Obrázek 26: Vývoj ceny sekvenací NGS v letech 2017-2019, zdroj [86]

### 6.4.3. Ekonomické faktory

Biotechnologie jsou pro evropské hospodářství významným průmyslovým odvětvím a biomedicínský průmysl má na trhu s bioinženýrstvím největší podíl. Pokroky v biotechnologiích mají a budou mít stále zásadnější vliv na délku a kvalitu života a tomu bude odpovídat rostoucí trend trhu bioinženýrství.

Vývoj trhů s umělou inteligencí a biotechnologiemi byl již analyzován v páté kapitole.

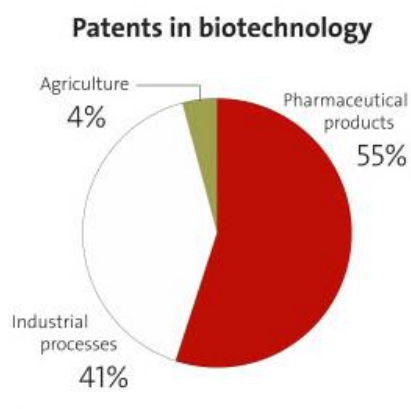
### 6.4.4. Politické faktory

Z politického hlediska bude jednoznačně největší výzvou vyhodnotit bezpečnost nově vznikajících technologií a rozhodnout o začlenění jejich používání do systému úhrad za zdravotnickou péči. Ve třech oblastech, kterým se věnuje tato práce, bude třeba zahájit odbornou debatu a zároveň předávat informace občanům a podnítit taktéž veřejnou debatu ohledně vstupu konkrétních zdravotnických prostředků na trh. Strategie jejich začleňování bezesporu musí zahrnout bioetiku do svého plánování.

Významným politicko-ekonomickým faktorem ovlivňující vstup investora na evropský trh je možnost udělení patentu. Patenty jsou zásadní pro podporu lékařského pokroku. Vyvinout lék a získat jeho schválení na trhu je velice nákladné, přičemž financování vývoje je většinou zajišťováno rizikovým kapitálem dodaným investory, kteří si patenty chtějí ochránit návratnost investice.

Společnost European Patent Office (EPO) zveřejnila graf, ze kterého vyplývá, že převažující část všech schválených patentů z oblasti bioinženýrství spadá do oblasti zdravotnictví. Složitost

procesu udílení patentů a taktéž schvalovací procesy související s uvedením na trh budou v následujících letech ovlivňovat velkou měrou trh s bioinženýrstvím.



Obrázek 27: Procentuální rozdělení udělených biotech. patentů, zdroj EPO[98]

### Genomika a sekvenování

V dalších letech bude rozšiřována databáze přečtených lidských genomů za účelem vytvoření individuálního přístupu k pacientovi (personalizovaná medicína). Tomu bude muset být přizpůsoben právní rámec tak, aby data pacientů byla chráněna proti nedovolenému používání. Jelikož data potřebná pro srovnávání genomů není možné uchovávat zcela anonymně, bude nutné stanovit pravidla pro uchování dat převážně v oblasti mimo zdravotnickou oblast (soukromé kliniky), kde nemusí být soukromí zcela zaručeno a může vést k diskriminaci osob.

Dalším problémem bude rostoucí znalost lidského genomu. Genom sekvenovaný dnes nemusí nutně obsahovat veškerá potřebná data a souvislosti odpovídající kvalitě genomu přečtenému za deset let, je třeba zvážit možnost opakování sekvenace.

### Neuromodulace

Metody neuromodulace k léčbě pacientů jsou již poměrně zavedené v systému úhrad pojišťovnamí. Politickou výzvou bude v budoucnosti využití těchto metod k mozkové stimulaci za účelem zlepšení kognitivních funkcí, tedy zdokonalení člověka. Bude důležité zajistit, aby neuromodulace prováděli pouze odborníci (například certifikací), neboť neodborné použití může vést k vedlejším zdravotním následkům. V případě monitorování lidských myšlenek a korekce jejich stavu bude potřeba zajistit, aby osoba byla stále sebeovládaná a měla svobodnou volbu a nebyla řízena strojem. Taktéž bude potřeba zajistit bezpečnost shromážděných dat, aby data nebyla zneužita například k marketingovým či politickým účelům, kde existuje riziko ovlivnění svobodné vůle.

## Nanotechnologie

V oblasti nanotechnologie bude třeba zajistit prostředí podporující technologický vývoj, ale zároveň stanovit bezpečnostní pravidla, která zabrání nebezpečným nebo nechtěným dopadům. Nanočástice používané k výrobě nanovláken či cílené dopravy léčiv mají vysokou mobilitu a zvýšenou reaktivitu. Zvýšená reaktivita vede ke zvýšené produkci volných radikálů a to může mít za následek vznik zánětů a poškození buněčných částí. Nanočástice jsou schopné obejít přirozenou ochranu těla před průnikem škodlivých látek, bude proto potřeba prokázat testováním, že léčiva nezpůsobují toxicitu a neovlivňují vnější obal buněk či DNA.

## 7. Prognóza roku 2030

V předchozí kapitole byla provedena analýza faktorů ovlivňujících trh s bioinženýrstvím v medicíně. Tato kapitola bude rozdělena na dvě části. V první části bude provedeno dotazníkové šetření metodou Delphi s cílem upřesnit možný vývoj bioinženýrství do roku 2030. K dotazníkovému šetření budou přizváni odborníci z oboru bioinženýrství. V druhé části kapitoly budou stanoveny tři scénáře pro predikci možného vývoje trhů do roku 2030, vždy pro jeden klíčový faktor udávající trend růstu.

### 7.1. Metoda Delphi

V teoretické části práce byly popsány největší trendy bioinženýrství v medicíně. Cílem této kapitoly je použít metodu Delphi pro identifikaci, které z trendů popsaných v teoretické části práce znamenají v oblasti použití umělé inteligence v bioinženýrství největší potenciál, jaké jsou jejich příležitosti a hrozby a zjistit, který ze scénářů z předchozí kapitoly je podle expertních odhadů nejvíce pravděpodobný.

Prognóza vývoje bioinženýrství v medicíně na rok 2030 byla vytvořena metodou Delphi. Metoda Delphi je vícekolová anonymní dotazníková metoda. Pro prognózu vytvořenou pro účely této práce odborníci odpovídali ve dvou kolech.

**Cílem šetření** bylo získat co nejpřesnější odpověď na otázky:

- Jaké jsou scénáře vývoje bioinženýrství v oblasti lidského zdraví a potenciálu do roku 2030?



- Jaké jsou možné příležitosti a hrozby současných trendů a umělé inteligence v bioinženýrství?

#### Design výzkumu:

1. Na základě zdrojů z odborné literatury a internetových zdrojů byly identifikovány klíčové trendy relevantní pro oblast bioinženýrství.
2. Z vybraných trendů v oblasti bioinženýrství byly po konzultaci s experty zvoleny tři nejdůležitější trendy v oblasti biomedicíny – genetická manipulace, nanotechnologie a neuromodulace.
3. První kolo dotazníku – získání výroků.
4. Zaslání všech výroků zpět odborníkům k prostudování.
5. Druhé kolo dotazování - výroky expertů k vyjádření míry souhlasu/nesouhlasu s daným tvrzením.
6. 3. kolo dotazování – predikce roku 2030.
7. Tvorba scénářů.

V prvním kole byly expertům zaslány dotazníky s otevřenými otázkami. Podobně jako v brainstormingu bylo snahou otevřených otázek generovat co nejvíce témat, nápadů a myšlenek. Účastníci byli ujištěni, že každá odpověď je správná a umožňuje respondentům odhadovat budoucnost bez jakýchkoliv limitů.

Celkem bylo k účasti v dotazníkovém šetření přizváno 14 odborníků z bioinženýrských oborů. Osloveni byli odborníci z Ústavu molekulární genetiky a Ústavu fyzikální chemie J. Heyrovského. V prvním kole zodpovědělo otázky celkem 12 odborníků, čímž bylo dosaženo doporučeného počtu odborníků pro použití metody Delphi.

Odborníci v dotazníku uvedli odbornost uvedenou v tabulce níže:

<b>Obor</b>	<b>Počet respondentů</b>
Biochemie	4
Bioinformatika	4
Molekulární imunologie	1
Imunologie, buněčná biologie	1
Mikrobiologie	1
Biofyzika	1

*Tabulka 1: Odbornost respondentů*

V prvním kole dotazníku odpovídali odborníci na sedm otevřených otázek.

Otázky byly koncipovány na základě teoretické části této práce. Sestavení dotazníku bylo předem diskutováno s jedním z odborníků a na základě jeho doporučení byly otázky upraveny.

Otázky byly rozesílány s žádostí o vyplnění pomocí aplikace „Google Formuláře“ a e-mailu.

Číslo otázky	Otázka
1	Jaké oblasti biotechnologií mají největší potenciál v oblastech lidského zdraví a lidského rozvoje? (např. biofarmacie, mapování lidského genomu, genetická manipulace, nanotechnologie .)
2	Co přinesou do našich životů metody genetické manipulace (např. Crisper-Cas9)?
3	Jaké budou možnosti prenatální diagnostiky a prenatální genetické manipulace v roce 2030? (dítě na objednávku)
4	Jak by mohly rychle rozvíjející se biotechnologie ovlivnit trh práce? Přivede popularizace vědy a poptávka po nich tyto obory do popředí zájmu studentů?
5	Jak bude v roce 2030 lidstvo využívat technologie podporující myšlení (Brain Computer Interface, Neuralink)
6	V čem vidíte šance a potenciál biotechnologií a umělé inteligence?
7	Jaké jsou podle Vás největší hrozby spojené s novými objevy na poli biotechnologií a umělé inteligence?
8	Pokud máte nějaká podnětná témata, která nebylo možné zařadit k předchozím otázkám, zde je pro ně místo:

Tabulka 2: Otázky 1. kola dotazníku

#### Tabulka č. 2: Otázky 1. kola metody Delphi

Ve druhém kole byl seznam výroků expertů zaslán znovu respondentům a experti se vyjádřili k odpovědím mírou souhlasu či nesouhlasu bodovým systémem od 1 do 5 na Likertově škále. Hodnocení bylo možné doplnit komentářem. Zároveň byli odborníci informováni, že je povoleno měnit názor, tedy že se mohou přiklonit k výroku s jiným významem, než uvedli v prvním kole.

#### Vyhodnocení odpovědí:

Z odpovědí z prvního kola bylo získáno 80 výroků. Z těchto výroků byly vyřazeny výroky se stejným významem a zbývajících 42 výroků bylo respondentům zasláno zpět k vyjádření míry souhlasu či nesouhlasu na Likertově škále (od 1 do 5).

Odpovědi byly vyhodnoceny pomocí váženého aritmetického průměru z odpovědí se souhlasným či nesouhlasným vyjádřením. Z výsledků druhého kola byly odstraněny položky s nesouhlasným vyjádřením.

### **Vyhodnocení otázky č. 1:**

#### **Jaké oblasti biotechnologií mají největší potenciál v oblastech lidského zdraví a lidského rozvoje?**

Odborníci se v druhém kole šetření shodli, že největší potenciál v oblasti biomedicíny má:

Molekulární biologie z pohledu rychlejšího a přesnějšího detekování potenciálních nemocí ještě před jejich samotným vypuknutím a nanotechnologie, zejména v oblasti řízené manipulace uvnitř orgánů (např. cílený transport do buněk, kterým bude možné zvyšovat bezpečnost a efektivitu podaných léčiv).

Genetická manipulace ve smyslu genové terapie. S tím nepochybně souvisí i hlubší mapování lidského genomu a odhalení přesných příčin onemocnění postihujících západní obyvatelstvo (neurodegenerativní onemocnění, nádorová onemocnění).

Umělá inteligence, která rozšíří a zefektivní vyhledávání v existujících genomových a proteomických databázích a pomohou navrhnout nová léčiva, místa k opravě. Zároveň umožní prohledat databáze již existujících chemických látek a ověřit jejich potenciál být léčivy nové generace.

Dále odborníci označili za technologii budoucnosti kmenové buňky určené k transplantacím a xenotransplantacím. S tímto výrokem souhlasila nadpoloviční většina dotazovaných odborníků.

Většina odborníků se přiklonila k tvrzení, že v roce 2030 budou biomedicínské technologie rutinně vylepšovat imunitu.

Větší část odborníků se domnívá, že editace lidského genomu metodou Crisper-Cas9 bude probíhat v Číně a zemích bez legislativního rámce, což přinese „genovou turistiku“. S tímto výrokem nesouhlasilo 72 % dotázaných.

Odborníci si naopak nemyslí, že budou technologie v roce 2030 schopny za pomoci vnášení genu významně prodloužit život (o 10 let). Také si odborníci nemyslí, že legislativa EU se vyrovná legislativě USA v počtu schválených genových terapií.

Jako velmi nepravděpodobné považují použití biotechnologií k možnému přizpůsobení lidského organismu na prostředí s cílem kolonizovat další planety naší sluneční soustavy.

### **Vyhodnocení otázky č. 2:**

### **Co přinesou do našich životů metody genetické manipulace (např. Crisper-Cas9)?**

Odborníci se shodli, že:

Metoda Crisper-Cas9 bude v horizontu 18ti let využívána spíše pro objasnění funkce genů, než pro rutinní léčbu. Vyjádřili přesvědčení, že by se lidstvo nejprve mělo vypořádat s etickou otázkou a jasně stanovit hranice, kde bude tuto technologii možno využít, v opačném případě budou příští roky ve znamení neřízeného rozvoje a pravděpodobně i zneužívání.

Větší část odborníků se přiklání k tvrzení, že technologie Crisper-Cas9 přinese možnost pěstování náhrad orgánů pěstovaných pro účely transplantace a xenotransplantace.

Odborníci si nemyslí, že v roce 2030 bude technologie Crisper-Cas9 na úrovni, kdy bude možné ovlivnit zdraví, ale také talent očekávaného potomka.

### **Vyhodnocení otázky č. 3:**

#### **Jaké budou možnosti prenatalní diagnostiky a prenatalní genetické manipulace v roce 2030? (dítě na objednávku)?**

Odborníci se shodli na tom, že v roce 2030 budeme schopni odhalit řadu dalších geneticky podmíněných onemocnění a leckdy bude možno dopad takové vady vhodnou terapií anulovat nebo alespoň minimalizovat. Úpravy genomu budou nutně spojené s metodami umělého oplodnění. Od kroku, abychom změnili genom již vyvinutého organismu, tedy dítěte vzniklého přirozenou cestou budeme v roce 2030 ještě moc daleko.

V roce 2030 bude dle odborníků genetická manipulace na embryonální úrovni u člověka i nadále, alespoň v Evropě a USA, zakázána. Odborníci většinou odmítli názor, že by EU rozhodla o použití genových terapií pod vlivem silné poptávky po těchto technologiích.

### **Vyhodnocení otázky č. 4:**

#### **Jak by mohly rychle rozvíjející se biotechnologie ovlivnit trh práce? Přivede popularizace vědy a poptávka po nich tyto obory do popředí zájmu studentů?**

Odborníci se shodli na tvrzení, že bude stěžejní rozšířit řady bioinformatiků, kteří jsou v současnosti nedostatkovým zbožím a povětšinou se rekrutují z řad již existujících specialistů. Klíčové je podle nich změnit uvažování o oborech jako hranicích vědomostí a podpořit především lidi pohybující se na hranicích více vědních oborů.

Na trhu práce se otevřou nové možnosti, ale trh práce se tím ve velkém měřítku nijak nezmění. Odborníci budou pracovat v témže oboru, pouze budou pracovat s novými technologiemi. Lékaři budou používat nové technologie, ale budou to stále lékaři.

Dále je podle odborníků nutné přitáhnout do oboru a do ČR více mladých lidí. Švýcarsko „vysává“ ty největší talenty z celé Evropy, to musíme změnit a natáhnout je k nám. Rozvoj biotechnologických firem to může změnit, zvýší se konkurence a tím i platy v oboru, což by mohlo přitáhnout mladé lidi. Jelikož školství dlouhodobě výrazně zaostává za rozvojem lidského vědění, nepředpokládají odborníci výrazný boom těchto oborů, už jen proto, že o nich bude nízké povědomí.

#### **Vyhodnocení otázky č. 5: Jak bude v roce 2030 lidstvo využívat technologie podporující myšlení (Brain Computer Interface, Neuralink)**

BCI budou podle odborníků v roce 2030 používány v oblasti kompenzačních pomůcek pohybového aparátu či poruchách řeči. Běžné budou náhrady smyslů pro medicínské účely. Vzhledem k jejich ceně je odborníci nepovažují za technologii, která bude masově používána, technologie podporující myšlení budou stále ve fázi experimentů s relativně malým impaktem.

Naopak se odborníci domnívají, že se budou technologie BCI více uplatňovat v oborech mimo medicínskou oblast, například u pilotů různých komplikovanějších poloautomatizovaných strojů.

#### **Vyhodnocení otázky č. 6: V čem vidíte šance a potenciál biotechnologií?**

Biotechnologie mají podle odborníků potenciál pomoci rozvojovým zemím v léčbě a předcházení infekčním onemocněním. V delším časovém horizontu by mohly biotechnologie vymýtit všechny vrozené choroby. Biotechnologie přináší především velice efektivní a šetrný metodický nástroj jak v oblasti lidského zdraví, tak také v mnoha jiných oborech, jakými jsou například metody bioremediační. Biotechnologie jsou velmi efektivním, šetrným a levným multidisciplinárním nástrojem moderní vědy.

#### **Vyhodnocení otázky č. 7: Jaké jsou podle Vás největší hrozby spojené s novými objevy na poli biotechnologií?**

Biotechnologie nesou podle odborníků riziko zneužití jako nástroj pro vývoj nových zbraní, o kterých společnost nebude mít ani tušení, že jsou vlastně zbraní, která jí má primárně poškodit.

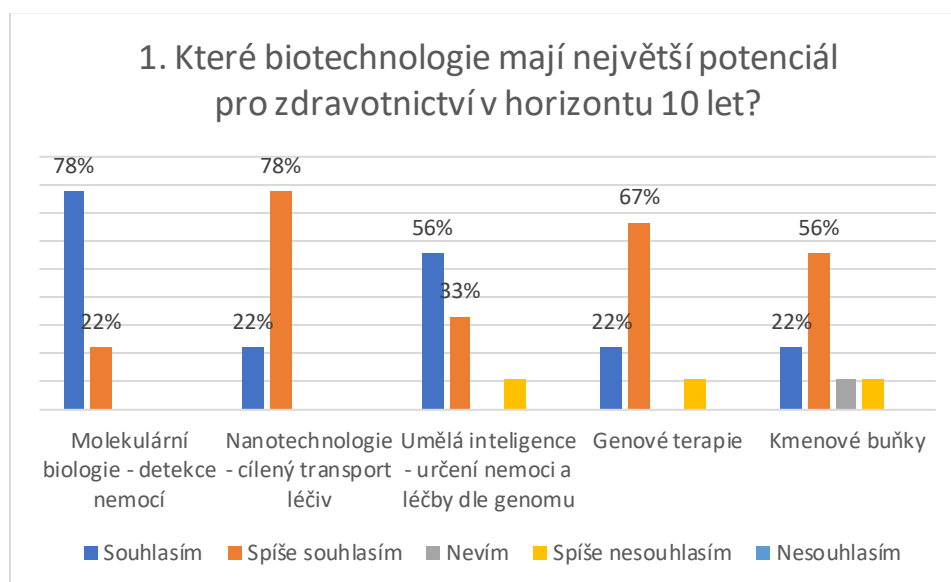
Jako hrozbu spojenou s novými objevy na poli biotechnologií odborníci vnímají vytlačení původního druhu geneticky manipulovaným druhem.

Možné je také zneužití objevů a získaných znalostí totalitními režimy, kde nové objevy nejsou právně a eticky řešeny vždy se zpožděním jako u nás, ale nejsou řešeny vůbec.

S nástupem cílené úpravy lidského genomu by mohlo dojít k rozdělení společnosti na ty, kteří si budou moci tyto metody dovolit a na ty, kteří si je dovolit nemohou.

Cílem třetího kola bylo získat shodu s nejčtenějšími výroky se shodou mezi odborníky převyšující 70 % v součtu prvních dvou kategoriích Likertovy škály (souhlasím, spíše souhlasím).

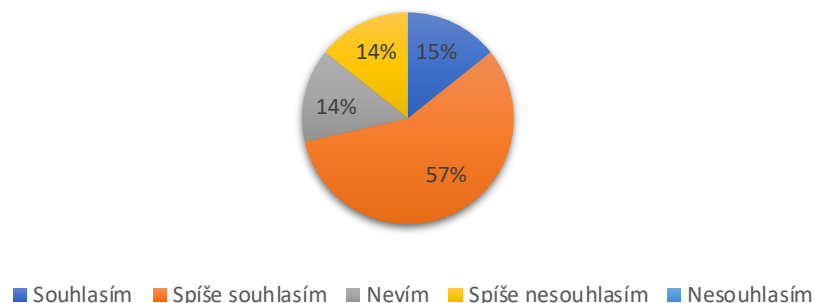
Výsledek biotechnologií s největším potenciálem k využití v horizontu 10 let byly odborníky označeny technologie k detekci nemocí, nanotechnologií, personalizované léčby a léčba kmenovými buňkami.



Obrázek 28: dotazník 3 , otázka 1 , vlastní zpracování

Na otázku, zda budou v roce 2030 některé výše uvedené biotechnologie na bázi UI rutinně využívány k léčbě odpovědělo 57% odborníků, že souhlasí a 14% odborníků, že spíše souhlasí. 14% odborníků spíše nesouhlasilo a 15% odborníků nesouhlasilo.

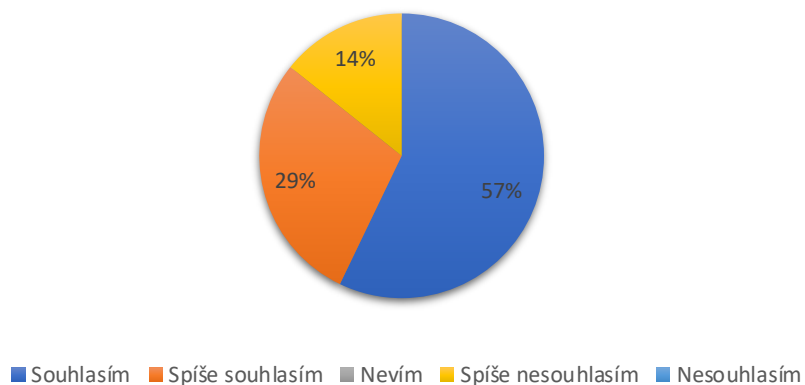
## 2. Budou v roce 2030 některé tyto biotechnologie na bázi UI rutinně využívány k léčbě?



Obrázek 29: dotazník 3, otázka 1, vlastní zpracování

Na otázku, zda budou v roce 2030 umělá inteligence v bioinženýrství rutinně využívána pro diagnostickou činnost odpovědělo 57% odborníků, že souhlasí, 29% spíše souhlasilo a 14% spíše nesouhlasilo.

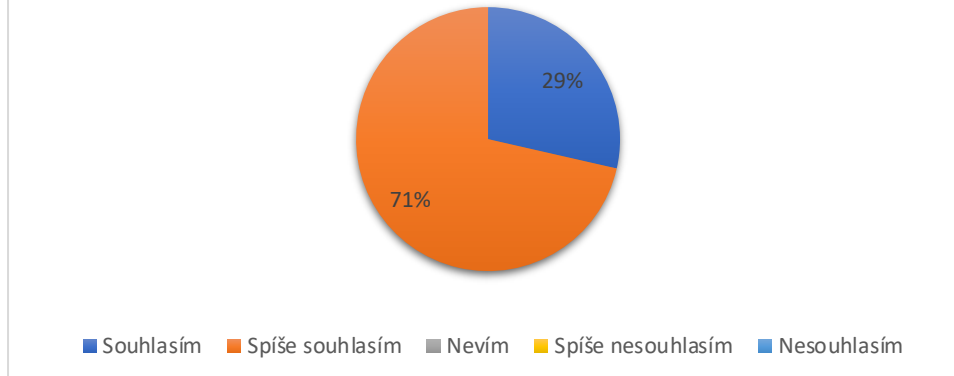
## 3. Bude v roce 2030 umělá inteligence rutinně využívána pro diagnostickou činnost?



Obrázek 30: dotazník 3, otázka 3, vlastní zpracování

Na otázku, zda budou v roce 2030 nanotechnologie využívány k přesně cílené léčbě uvnitř organismu odpovědělo 29% odborníků, že souhlasí a 71% odborníků, že spíše souhlasí.

#### 4. Budou v roce 2030 nanotechnologie využívány k přesně cílené léčbě uvnitř organismu?



Obrázek 31: dotazník 3, otázka 2, vlastní zpracování

## 7.2. Scénáře

Na základě informací obsažených v teoretické části práce, analýz trhu s biotechnologiemi a šetření metodou Delphi byly zpracovány tři možné scénáře vývoje trhu do roku 2030. Zdrojem pro tvorbu scénářů byl především výsledek dotazníkového šetření a odborná literatura i články uvedené v teoretické části této práce. Byly zpracovány tři možné scénáře budoucího vývoje: optimistický, realistický a pesimistický.

Pro optimistický scénář byla uvažována situace, kdy vlády podpoří bioženyřská řešení založená na UI úpravou legislativy a a zjednoduší tak uvedení biomedicínských výrobků na trh. Zároveň dojde k významnému financování UI vládními zdroji. Pro tento scénář byl zvažován přístup veřejnosti k novým technologiím. Podobně, jako tomu bylo u přístupu veřejnosti k RNA vakcínám se očekává důvěra vlády k výsledkům výzkumů a nedůvěra veřejnosti k novým postupům.

Realistický scénář vycházel z předpokladu agentur zabývajících se průzkumem trhu při předpokladu zachování vývoje růstu trhu dosaženého v předchozích letech.

Pesimistický scénář uvažoval zpomalení růstu trhu způsobené restrikcemi ze strany vlády z důvodu neznalosti dlouhodobých dopadů použití těchto technologií. V tomto scénáři se vlády opírají o kritiku medicínských biotechnologií především z důvodu obav z chyby a možnosti úniku soukromých dat pacientů. Nedostatek bioinformatiků zpomalí růst trhu.



### 7.2.1. Optimistický scénář - trh bioinženýrství v roce 2030

Trh s bioinženýrstvím poroste rychlejším tempem, než do roku 2021 z důvodu investic předních IT společností do vývoje bioinformatických řešení. Trh bude také poháněn financováním bioinformatiky z veřejného i soukromého sektoru. Snížení nákladů na sekvenování genomu umožní masové rozšíření těchto metod a podpoří růst globálního trhu. Trh bude tlačěn vysokou poptávkou k zařazení nových technologií do systému úhrad pojišťovny, dojde k zjednodušení procesu udělování nových patentů a zrychlení legislativního schvalování.

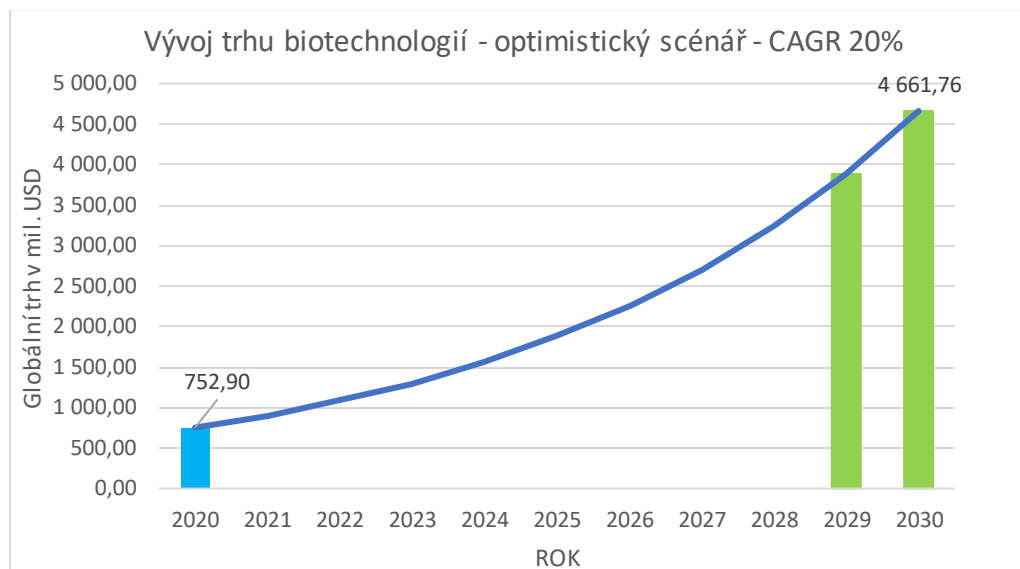
Ve scénáři možného vývoje bylo přihlédnuto k poměrně vysoké části populace, která je vůči novým technologiím skeptická.

V optimistickém scénáři byla použita data z analýzy trhu společnosti Grand View Research a po konzultaci s odborníky je v tomto scénáři předpokládán nárůst velikosti trhu o trojnásobek tedy CAGR 20 %.

V roce 2030 překoná genetické inženýrství předsudky společnosti a je již deset let běžně používané v zemědělství na celém světě, včetně Evropy, která dlouhodobě metody genetického inženýrství odmítala. Evropa vlivem války na Ukrajině přišla o cenný zdroj zemědělských surovin a proto musela přistoupit ke schválení pěstování geneticky upravených plodin, čímž získají metody genetických úprav na důvěře veřejnosti. Evropa si po vzoru USA a Asie uvědomí ekonomickou důležitost bioinženýrských metod a s nastavením striktních regulačních pravidel začne podporovat jejich rozvoj v oblasti efektivní medicíny. Sekvenátory lidského genomu budou součástí každé laboratoře v nemocnicích a poliklinikách. Rozbor genomu bude obsahovat zdravotní karta každého člověka. Personální genetika přinese každému člověku informace o jeho genomu, k jakým nemocem má sklony a doporučení, jak jim předcházet. Jelikož jsou ale lidé spíše nakloněni možnosti vyléčit se pomocí současné medicíny, než nemocem vlastním úsilím předcházet, bude společností činěn tlak na technologie umožňující vypnutí té části genu, která by mohla onemocnění zapříčinit. Soukromé kliniky zabývající se umělým oplodněním získají možnost upravovat u embryí genetické vady metodou Crisper-Cas19. V důsledku úspěšnosti této metody se ve společnosti začne rýsovat poptávka po užití metody Crisper ke vkládání genetických informací – různých talentů či zdokonalení do genomu při umělém oplodnění, což bude v roce 2030 v Evropě ještě nelegální. V roce 2030 budou technologie na úrovni, kdy bude možné ovlivnit nejen zdraví, ale i talent očekávaného potomka. Dítě bude

chápáno jako investice, téma upírání svobody potomků cíleným výběrem jejich vlastností bude hojně diskutováno.

V důsledku vysokého nárůstu požadavků na biotechnologie, použití metod umělé inteligence a vysokého nárůstu dat bude oblast bioinženýrství čelit stále vyšší potřebě pracovníků obsluhujících informační technologie.



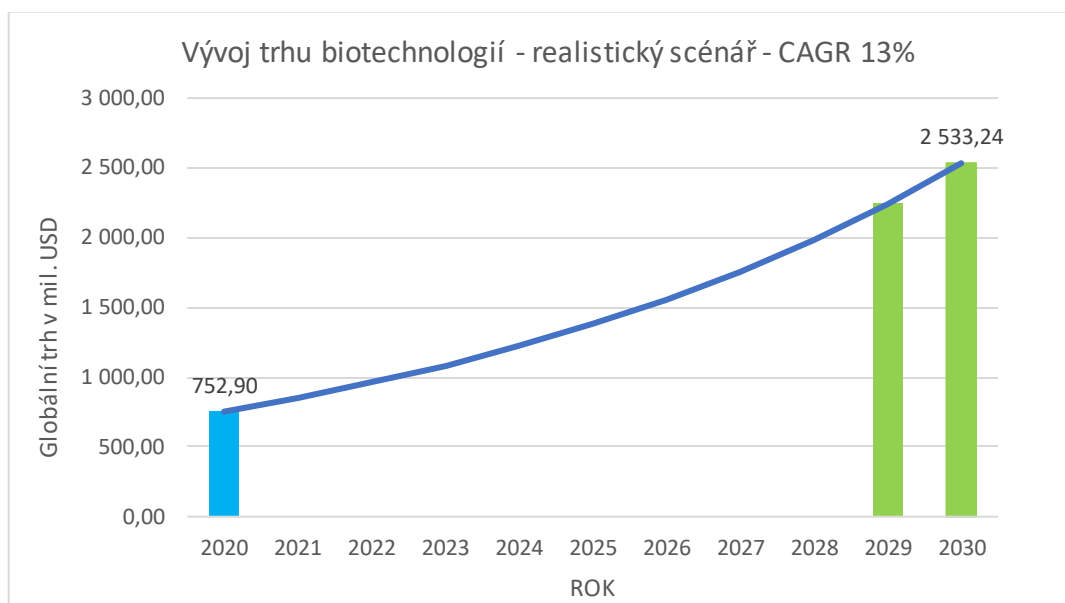
Obrázek 32: Optimistický scénář: Vývoj trhu biotechnologií do roku 2030 CAGR 20%, vlastní zpracování

### 7.2.2. Realistický scénář-trh bioinženýrství v roce 2030

Trh s bioinženýrstvím poroste podobným tempem, jako v letech 2021-2022, kdy pandemie Covid-19 vyvolala tržní růst a dala příležitost bioinženýrskému sektoru k efektivnějšímu pokroku ve výzkumu tím, že došlo k urychlení schvalovacích procesů. V realistickém scénáři byl uvažován průměrný růst CAGR získaný předpovědí vývoje trhu společnosti Grand View Research, Qualiket Research a Coherent Market Inside na CAGR 12,83 %

Farmaceutické společnosti začnou vyvíjet vakcíny proti nejčastějším infekčním chorobám metodou RNA vakcín, čímž dojde k nárůstu trhu. Vládní financování výzkumu genetického sekvencování povede trh se sekvenováním virů a onkologických onemocnění. Nanotechnologie umožní rychlou diagnostiku onemocnění a včasný zásah do organismu podání cílené léčby. Soukromé i vládní investice povedou ke vzniku nových společností poskytujících odběr a uchování kmenových buněk určených k tvorbě biologické léčby na principu personalizované medicíny.

Rozšiřující se databáze DNA obyvatel jednotlivých zemí umožní specializaci ve výrobě léků a také dojde k mezioborovému využití databází, nejen pro medicínské účely, ale také pro forenzní vědy, kdy budou DNA databáze sloužit k vyšetřování zločinů a k zjištění příbuzenských vazeb.



Obrázek 33: Realistický scénář: Vývoj trhu biotechnologií do roku 2030 CAGR 13%, vlastní zpracování

### 7.2.3. Pesimistický scénář-trh bioinženýrství v roce 2030

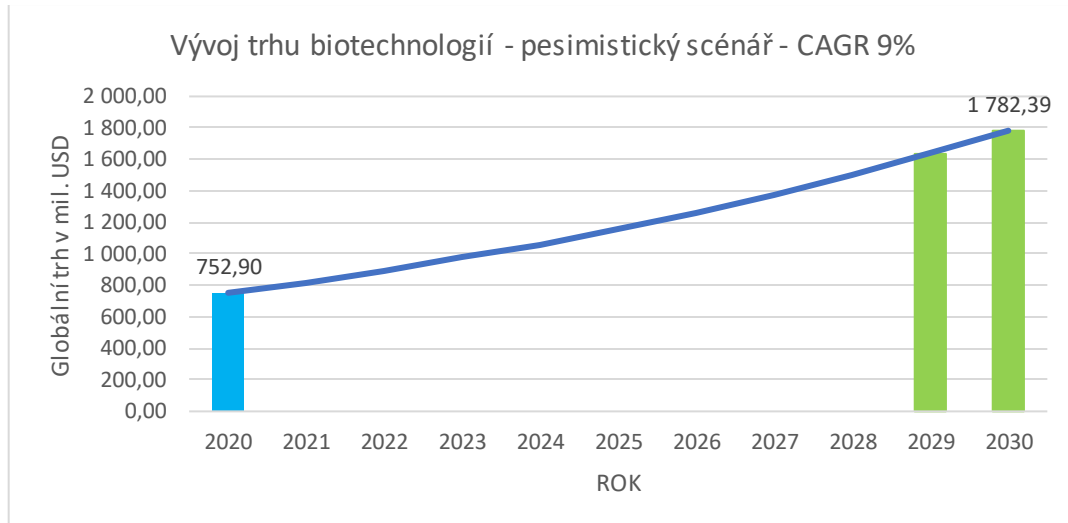
Trh s bioinženýrstvím se zpomalí v důsledku nedostatku kvalifikovaných odborníků v oblasti bioinformatiky. Trh budou také oslabovat vysoké náklady na bioinformatický software a služby.

Trh s bioinženýrstvím se oslabí vlivem vládních restrikcí, které znemožní uvedení metod Crisper-Cas9 na trh. Nepodaří se propojit vědecké úspěchy s bioinformatikou v takové míře, aby umělá inteligence či kvantové výpočty podpořily dostatečně růst trhu a v důsledku toho nedojde k jejich masovému rozšíření a tyto metody budou v roce 2030 používány stále pouze na poli výzkumu v laboratořích. Vzhledem k těmto průtahům ochladne zájem investorů a míra růstu trhu klesne na 9 % CAGR.

Za pomoci umělé inteligence se podaří sestavit algoritmy vyhledávající chyby v genetickém kódu a navrhovat jejich opravu pomocí metody Crisper-Cas9, ale technologie bude při testování

stále dělat nepochopitelné chyby, a tak bude revoluční technologie fungující jako textový editor stále čekat na dostatečně spolehlivou technologii z oblasti správy dat umožňující její použití.

Vlády jednotlivých zemí si budou uvědomovat, že není možné domyslet všechny nechtěné důsledky používání těchto technologií a nadále budou tyto technologie schváleny pouze pro výzkumné účely.



Obrázek 34: Pesimistický scénář: Vývoj trhu biotechnologií do roku 2030 CAGR 9%, vlastní zpracování

## 7.2.4 Výběr scénáře

Na základě dotazníkového šetření, studia odborné literatury a analýzy trhu byly sestaveny tři scénáře možného budoucího vývoje biotechnologií podporovaných umělou inteligencí. Osobně se přikláním k realistickému scénáři, který se jeví jako nejpravděpodobnější. Z dotazníků s experty vyplynulo, že 10 let je krátká doba a v tomto časovém horizontu nastanou zásadní změny. V následujících letech dojde k významné podpoře umělé inteligence, jak finanční, tak legislativní, nicméně se mi nejeví jako pravděpodobné, že by tyto technologie uspěly v tak velkém měřítku, aby byly masově využívány. Většina zdravotnických řešení založených na UI bude ještě vyžadovat provedení mnoha studií a testování, které jsou časově náročné a jejich zařazení do systému zdravotnictví vyžaduje opatrnost. Výjimkou budou diagnostické metody založené na sekvenování a strojovém učení, kde věřím v rychlé propojení výzkumu s klinickou praxí.

## Závěr

Nové zdravotnické technologie a možnosti strojového učení budou v příštích letech znamenat průlom pro pacienty, pro které dosud neexistovala žádná léčba. Především v oblasti léčby rakoviny za pomoci metod genové terapie a nanotechnologií dojde k personalizované léčbě přesně cílené na konkrétního pacienta. Možnosti takové léčby zde budou s největší pravděpodobností v roce 2030 již existovat. Metoda genetických úprav Crisper Cas-9 byla v roce 2021 schválena k testování léčby některých genetických defektů, což vyvolalo zájem investorů, dá se tedy předpokládat, že objem trhu se bude skokově zvětšovat.

V laboratořích se potvrdí možnosti genových úprav vedoucích k dokonalejším embryím, v roce 2030 ale nebude tato technologie dosud určená k masovému využití. Poptávka po této technologii bude vysoká, což podle odborníků povede ke genové turistice do míst, kde budou tyto úpravy možné.

V roce 2030 se bude tato prestiž ještě týkat pouze hrstky „vyvolených“ a bude se jednat o experimentální léčbu. Medicína se ale bude exponenciálně vylepšovat, s čímž ovšem porostou i náklady na léčbu a vyvstává otázka, pro koho bude tato metoda vzhledem k ceně určená. Vysoká cena nových postupů léčby ještě více rozevře nůžky v dostupnosti těchto technologií mezi bohatými a chudými. Bude to znamenat, že současný zdravotní systém, kdy je tu stejná medicína pro všechny přestane platit.

V diplomové práci byl za pomoci odborné literatury a dotazníkového šetření zmapován trh s biotechnologiemi a byly analyzovány faktory ovlivňující tempo růstu trhu. Na základě vývoje těchto faktorů byly navrženy tři scénáře budoucího vývoje trhů v závislosti na stupni schopností umělé inteligence, kdy pesimistický scénář předpokládal útlum trhu na CAGR 9% z důvodu nedostatku technologií, jejich chybovosti a nedostatku IT pracovníků. Realistický scénář předpokládal zachování současné míry růstu CAGR 13% při využití dostupných znalostí strojového učení a optimistický scénář předpokládal míru růstu CAGR 20%, kdy byl předpokládán optimální vývoj faktorů ovlivňujících trh, především vysokou vládní finanční a legislativní podporu, snížení nákladů genového sekvenování a dostatečný počet IT pracovníků.

Z výzkumu vyplynulo, že v horizontu deseti let nebude umělá inteligence ve zdravotnictví nahrazovat lékařské pracovníky, ale bude s jejich pomocí zvyšovat péči o pacienty, především v oblasti prediktivní medicíny a diagnostické léčby. Velká část společností operujících na trhu s biotechnologiemi se zabývá výzkumem nových způsobů léčby. U těchto společností je těžké predikovat tržní růst, jelikož i výsledek jejich výzkumu je nejistý. Pro společnosti, které využívají některou z forem umělé inteligence se odborníci v oblasti bioinformatiky stanou klíčovým prvkem.

Tato diplomová práce si kromě mapování trhu a tvorby scénářů kladla za cíl zvýšit povědomí o důležitosti role bioinženýrství a umělé inteligence v medicíně a dále nastínit možné příležitosti a hrozby použití těchto technologií. Vybrané části diplomové práce budou publikovány v odborném tisku a prezentovány na mezinárodní konferenci na MU Brno 2.2.2023.

# Zdroje

- [1] ŠTĚDRŮŇ, Bohumír; PALÍŠKOVÁ, Marcela; SOUČEK, Zdeněk; DVOŘÁK, Antonín; TILINGER, Pavel a kol. Prognostika 1. Vydání 9. Praha> C. H. Beck, 2019. ISBN 978-80-7400-746-0
- [2] BUŘITA, Ladislav. *Prognostické metody a jejich využití v resortu MO*. Obrana a strategie [online]. Teoretický časopis ústavu strategických studií, 2003, [cit. 2021-08-29]. Dostupné z : [https://www.mocr.army.cz/mo/obrana\\_a\\_strategie/1-2003cz/burita.pdf](https://www.mocr.army.cz/mo/obrana_a_strategie/1-2003cz/burita.pdf)
- [3] ŠTĚDRŮŇ, Bohumír. Prognostické metody a jejich aplikace. V Praze: C. H. Beck, 2012. Beckova edice ekonomie. ISBN 978-80-7179-4.
- [4] Prognostika [cit.30.6.2022]. Dostupné z <https://cs.wikipedia.org/wiki/Prognostika>
- [5] ARMSTRONG, J. Scott. Principles of forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002. ISBN 0-306-47630-4.
- [6] VALOUCH, Jan. Bezpečnostní technologie, systémy a management V. 1. vyd. ed. Luděk LUKÁŠ. Zlín: VeRBuM, 2015. ISBN 978-80-87500-67-5. Prognostická metodologie.
- [7] POTŮČEK, Martin. *Manuál prognostických metod*. Slon, 2006. ISBN 80-86429–55-5.
- [8] Helmer, O.: Looking Forward. London 1983; Linstone, H. A. – Turoff, M. eds.: The Delphi Method: Techniques and Applications. London 1975; Martino, J. P.: Technological Forecasting for Decisionmaking. New York 1972.
- [9] Febmat. Složená roční míra růstu. Jičín. [Online]. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://www.febmat.com/clanek-slozena-rocni-mira-rustu-cagr/>
- [10] Expertní a neuronové systémy [cit. 01.08.2022]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/geoinformatika/kap07.htm>
- [11] Umělá inteligence (AI): historie a trendy pro rok 2022. *WEB & MOBILE DEVELOPMENT AGENCY / Rascasone* [online]. [cit. 01.08.2022]. Dostupné z: <https://www.rascasone.com/cs/blog/umela-inteligence-ai-trendy#historie-umel-eacute-inteligence>
- [12] Úvod do problematiky expertních systémů | Ikaros. Ikaros | elektronický časopis o informační společnosti [online]. 1997 [cit. 01.08.2022]. Dostupné z: <https://ikaros.cz/uvod-do-problematiky-expertnich-systemu#3.4>
- [13] Základy neuronových sítí; Dostupné z: <https://course.elementsofai.com/cs/5/1>
- [14] Strojové učení a prostředí MATLAB` [Online]. [cit. 2022-07-04]. Dostupné z: <https://www.humusoft.cz/blog/20180817-strojove-uceni/>
- [15] Hluboké učení vs. strojové učení: To je rozdíl – Practical Tips. *Home – Practical Tips* [online]. Dostupné z: <https://www.practical-tips.com/cs/software/hluboke-uceni-vs-strojove-uceni-to-je-rozdil/>
- [16] Big Data: The 3 Vs explained | BIG DATA LDN. *Big Data Event London Conference & Exhibition* [online]. Dostupné z: <https://bigdataldn.com/news/big-data-the-3-vs-explained/>
- [17] Biotechnologie, online: <http://cs.wikipedia.org>
- [18] Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "biotechnology". Encyclopedia Britannica, cit. 6.7.2022, <https://www.britannica.com/technology/biotechnology>. Accessed 6 July 2022.
- [19] Historie genetiky | Genetika - Biologie. *Genetika – Biologie | Váš zdroj informací o genetice a biologii* [online]. 2010 [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <http://www.genetika-biologie.cz/historie-genetiky>

- [20] HENDERSON, Mark. Genetika. 50 myšlenek, které musíte znát. Nakladatelství Slovart,s.r.o., 2014. ISBN 978-80-7391-824-8
- [21] Introduction to Genomics. *National Human Genome Research Institute Home | NHGRI* Dostupné z: <https://www-genome-gov./About-Genomics/Introduction-to-Genomics>.
- [22] Stručná historie genového inženýrství - Časopis Vesmír. [online]. VESMÍR, spol. s [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2021/cislo-5/strucna-historie-genoveho-inzenyrstvi.html>
- [23] Klasické metody sekvenování DNA 2006 [cit. 06.07.2022]. Dostupné z <https://labguide.cz/klasicke-metody-sekvenovani/>.
- [24] Princip NGS metody. [online]. <https://www.generi-biotech.com/cs/princip-ngs-metody/>
- [25] [online]. Dostupné z: [http://Xiao T, Zhou W. The third generation sequencing: the advanced approach to genetic diseases. Transl Pediatr. 2020;9\(2\):163-173. doi:10.21037/tp.2020.03.06](http://Xiao T, Zhou W. The third generation sequencing: the advanced approach to genetic diseases. Transl Pediatr. 2020;9(2):163-173. doi:10.21037/tp.2020.03.06)
- [26] [online]. Dostupné z: <https://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=analiza-genomic-nych-a-proteomickych-dat--analiza-sekvenci-dna--sekvenovani-genomu--celogenomove-sekvenovani--sekvenovani-jedne-molekuly-dna>
- [27] MinION – mobilní čtečka DNA do kapsy - Gate2Biotech.cz. Gate2Biotech – Vše o českých biotechnologiích na jednom místě [online]. 2006 [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <http://www.gate2biotech.cz/minion-mobilni-ctecka-dna-do-kapsy/>
- [28] Matematická biologie učebnice: Genetické databáze. Matematická biologie učebnice: Úvod [online]. Dostupné z: <https://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=analiza-genomic-nych-a-proteomickych-dat--analiza-sekvenci-dna--geneticke-databaze>
- [29] *Lékařská fakulta Masarykovy univerzity | MEDMUNI* [online]. [cit. 01.08.2022]. Dostupné z: <https://www.med.muni.cz/patfyz/tmbg/Proteomika09.pdf>
- [30] Chceme výkonnější mozek? - Časopis Vesmír. [online]. VESMÍR, spol. s [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2009/cislo-3/chceme-vykonnejsi-mozek.html>
- [31] PETRŮ, Marek. Možnosti transgrese. Triton, Praha, 2005. ISBN: 80-7254-610-4
- [32] Prenascan [online] [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <https://www.gennet.cz/prenascan> [33] SCiLiNE – Umělé oplodnění je řešení, pomáhá i umělá inteligence. *SCiLiNE – Věda, výzkum, inovace, propagace* [online]. 2022. SCi [cit. 01.08.2022]. Dostupné z: <https://www.sci-line.cz/index.php/dovek/346-umele-oplodneni-je-stale-castejsi-a-vyuziva-nejnovejsi-technologie.html>
- [34] Jaké jsou podmínky pro umělé oplodnění? | Europe IVF. [online]. 2022 Europe IVF [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <https://europeivf.com/cz/podminky-umeleho-oplodneni/>
- [35] KRIDLEY, Matt. Genom: životopis lidského druhu v třidvaceti kapitolách. 1. vydání. Praha: Portál, 2001. s. 71-82. ISBN 80-7178-507-5
- [36] Deary, I.J., Cox, S.R. & Hill, W.D. Genetic variation, brain, and intelligence differences. *Mol Psychiatry* 27, 335–353 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41380-021-01027-y>
- [37] Genetický test sportovních dispozic | DNA sportovce – Genexone. Genetické testy DNA – Genexone [online]. 2022, [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <https://www.genexone.cz/geneticky-test-sportovnich-dispozic>



- [38] Personalizovaná medicína může zásadně změnit efektivitu léčby, nejdřív se ale musíme naučit zacházet s daty – Zdravotnický deník. ZDRAVOTNICKÝ DENÍK – Nejpréhlednější průvodce naším zdravotnictvím. [online]. Dostupné z: <https://www.zdravotnickydenik.cz/2020/08/personalizovana-medicina-muze-zasadne-zmenit-efektivitu-lecby-nejdriv-se-musime-naucit-zachazet-daty/>
- [39] Scienceworld | Algoritmy pro biotechnologie: Od farmakogenetiky po sekvenování. *Science World.cz | Novinky ze světa vědy a techniky: technologie, neživá příroda, člověk, biologie* [online]. Dostupné z: <https://www.scienceworld.cz/neziva-priroda/algoritmy-pro-biotechnologie-od-farmakogenetiky-po-sekvenovani-2186/>
- [40] Kmenové buňky – Medicínské centrum Praha. [online]. 2018 Medicínské centrum Praha [cit. 01.08.2022]. Dostupné z: <https://www.mc-praha.cz/mcp/projekty-kmenove-bunky/>
- [41] Bioinova Klinické Studie - Bioinova - Moderní buněčná terapie. [online]. 2021 Bioinova a.s. [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <http://bioinova.cz/cs/klinicke-studie>
- [42] Cyranoski, D. Trials of embryonic stem cells to launch in China. *Nature* 546, 15–16 (2017). <https://doi.org/10.1038/546015a>
- [43] Společnost Cellino využívá umělou inteligenci a strojové učení k rozšiřování produkce terapií kmenovými buňkami – Svět průmyslu. *Svět průmyslu – Zprávy ze světa průmyslu* [online]. Svět průmyslu [cit. 01.08.2022]. Dostupné z: <https://svetprumyslu.cz/2021/09/23/spolecnost-cellino-vyu-ziva-umelou-inteligenci-a-strojove-uceni-k-rozsirovani-produkce-terapii-kmenovymi-bunkami/>
- [44] SCHULZ, Thomas. Medicína budoucnosti. Jak porazit nemoci a prodloužit náš život. Euromedia Group, a.s., 2019. ISBN 978-80-7617-651-5
- [45] Molecular Diagnostic Methods | CDC. *Centers for Disease Control and Prevention* [online]. Dostupné z: <https://www.cdc.gov/labquality/molecular-methods.html>
- [46] Tsuji, S., Hase, T., Yachie-Kinoshita, A. *et al.* Artificial intelligence-based computational framework for drug-target prioritization and inference of novel repositionable drugs for Alzheimer's disease. *Alz Res Therapy* 13, 92 (2021). <https://doi.org/10.1186/s13195-021-00826-3>
- [47] CRISPR: přesná střelba na genetické cíle - Časopis Vesmír. [online]. VESMÍR, spol. s [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/on-line-clanky/2015/05/crispr-presna-strelba-geneticke-cile.html>
- [48] Revoluce v molekulární biologii. Nůžky jménem CRISPR | Téma | věda.muni.cz. Magazín M: Zprávy z MUNI | em.muni.cz [online]. Dostupné z: <https://www.em.muni.cz/tema/9738-revoluce-v-molekularni-biologii-nuzky-jmenem-crispr>
- [49] Current Clinical Research | CRISPR. Home Page | CRISPR [online]. 2022 CRISPR Therapeutics. [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <http://www.crisprtx.com/patients/current-clinical-research>
- [50] Asmamaw M, Zawdie B. Mechanism and Applications of CRISPR/Cas-9-Mediated Genome Editing. *Biologics*. 2021 Aug 21; 15:353-361. doi: 10.2147/BTT.S326422. PMID: 34456559; PMCID: PMC8388126.
- [51] STOA, Orgán pro posuzování vědeckých a technologických možností; Vytváření dokonalého života, 2012 Highlights | Home | Panel for the Future of Science and Technology (STOA) | European Parliament. [online]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/stoa/en/home/highlights>
- [52] Neuromodulace [online]. Dostupné z: <https://www.csnn.eu/casopisy/ceska-slovenska-neurologie/2014-2/neuromodulace-48183>
- [53] Vše o Biofeedbacku – Biofeedback – RHB. *Biofeedback – RHB – Eva Kolářová – Fyzioterapeut, Terapeut NeuroFeedback & BioFeedback* [online]. [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <https://www.biofeedback-rhb.cz/co-nabizim/eeg-biofeedback/>

- [54] Zlepšení kognitivní schopnosti je možné | CEITEC - výzkumné centrum. *CEITEC – výzkumné centrum* [online]. 2020, CEITEC [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <https://www.ceitec.cz/zlepseni-kognitivni-schopnosti-je-mozne/t10431>
- [55] Program DBS - Neurologická klinika - 1. lékařská fakulta UK a VFN. [online]. 2022 Neurologická klinika [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <https://neurologie.lf1.cuni.cz/1LFNK-236.html>
- [56] Everything you need to know about Neuralink | BBC Science Focus Magazine. *BBC Science Focus Magazine – science, nature, technology, Q&As – BBC Science Focus Magazine* [online]. Getty Images [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <https://www.sciencefocus.com/future-technology/everything-you-need-to-know-about-neuralink/>
- [57] Oxford Virtual Reality (VR) for Mental Health — Department of Psychiatry. [online]. [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <https://www.psych.ox.ac.uk/research/oxford-cognitive-approaches-to-psychosis-o-cap/projects-1/oxford-virtual-reality-vr-for-mental-health>
- [58] [online]. Dostupné z: [http://Michael A. Peters \(2015\) Interview with Pierre A. Lévy, French philosopher of collective intelligence, Open Review of Educational Research, 2:1, 259-266, DOI: 10.1080/23265507.2015.1084477](http://Michael A. Peters (2015) Interview with Pierre A. Lévy, French philosopher of collective intelligence, Open Review of Educational Research, 2:1, 259-266, DOI: 10.1080/23265507.2015.1084477)
- [59] Kolektivní inteligence – Digitální demokracie. *Digitální demokracie – Blog o demokracii bez vítězů a poražených* [online]. [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <https://digitalnidemokracie.cz/kolektivni-inteligence/>
- [60] EWS | Europe | France launches cyber-budget game. [online]. Dostupné z: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/5060852.stm>
- [61] Zahrajte si videohru a pomozte tak vědcům ve výzkumu demence | Radio Wave. *Radio Wave* [online]. [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <https://wave.rozhlas.cz/zahrajte-si-videohru-a-pomozte-tak-vedcum-ve-vyzkumu-demence-5207997>
- [62] Nanotechnologie – Wikipedie. [online]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Nanotechnologie>
- [63]- Co je to nanotechnologie? - NanoProm.cz. *Produkty nanotechnologie, nano produkty, nano stěrače, ochrana povrchů, impregnace a antibakteriální sportovní oblečení - NanoProm.cz* [online]. Dostupné z: <https://www.nanoprom.cz/obsah/22-co-je-to-nanotechnologie>
- [64] Nanotechnology, transhumanism and the bionic man. *Nanotechnology and Emerging Technologies News from Nanowerk* [online]. [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <https://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=5848.php>
- [65] Biosenzor pro rychlou a spolehlivou detekci SARS-CoV-2 v komplexních biologických vzorcích | FZU. *Redirecting to https://www.fzu.cz/domov* [online]. 1998 [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <https://www.fzu.cz/lide/rndr-hana-lisalova-phd/vyznamne-vysledky/biosenzor-pro-rychlou-spolehlivou-detekci-sars-cov-2-v-komplexnich-biologickych-vzorcich>
- [66] Pozitivní zprávy. *Pozitivní zprávy* [online]. 2022 Pozitivni [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <https://pozitivni-zpravy.cz/cesky-biosenzor-muze-odhalit-koronavirus-drive-nez-se-zacnou-tvorit-protilatky/>
- [67] Česká firma vyvinula unikátní biočip. Odhalí mozkovou příhodu - Světchytře.cz. *Světchytře.cz - Pišeme o technologiích, které lidem usnadňují život.* [online]. 2018 SocialBooster s.r.o. [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <https://www.svetchytre.cz/a/pshbB/ceska-firma-vyvinula-unikatni-bio-cip-odhali-mozkovou-prihodu>
- [71] Tkáňové inženýrství – WikiSkripta. *301 Moved Permanently* [online]. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Tk%C3%A1%C5%88ov%C3%A9\\_in%C5%BEen%C3%BDrstv%C3%AD](https://www.wikiskripta.eu/w/Tk%C3%A1%C5%88ov%C3%A9_in%C5%BEen%C3%BDrstv%C3%AD)

- [72] [online]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/veda/2797685-nanoroboti-zmeni-budoucnost-mediciny-pomohou-zejmena-u-nadorovych-onemocneni>
- [73] Noví nanoroboti jsou tak malí, že se do těla dostanou injekcí | Nedd.cz. Nedd.cz [online]. 2022 Nedd.cz [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <https://nedd.tiscali.cz/novi-nanoroboti-jsou-tak-mali-ze-se-do-tela-dostanou-injekci-325334>
- [74] Biomedicína: Jak vědci učí mikroroboty plavat, myslet a léčit | Ábíčko.cz. Zábava, příroda, věda a technika [online]. 2001 [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <https://www.abicko.cz/clanek/precti-si-technika/27366/biomedicina-jak-vedci-uci-mikroroboty-plavat-myslet-a-lecit.html>
- [75] Bioetika – Wikipedie. [online]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Bioetika>
- [76] DREW, Liam. The ethics of brain–computer interfaces. [online]. doi: <https://doi.org/10.1038/d41586-019-02214-2> Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/d41586-019-02214-24>
- [77] Editace DNA umožní vznik nové genetické aristokracie. Rodiče mohou chtít dokonalé děti, varuje Vácha | Plus. Český rozhlas Plus [online]. 1997 [cit. 06.07.2022]. Dostupné z: <https://plus.rozhlas.cz/editace-dna-umozni-vznik-nove-geneticke-aristokracie-rodice-mohou-chtit-dokonale-8156229>
- [78] [online]. Dostupné z: <https://cs1.warbletoncouncil.org/ventajas-desventajas-manipulacion-genetica-132>
- [79] HOŘEŇOVSKÝ, Jan. Genetické inženýrství: Sophiina volba 21. století. 22.3.2020 [https://ceskapozice.lidovky.cz/týema/geneticke-inzenyrstvi-sophiina-volba-21-stoleti.A200319\\_150806\\_pozice-tema\\_lube](https://ceskapozice.lidovky.cz/týema/geneticke-inzenyrstvi-sophiina-volba-21-stoleti.A200319_150806_pozice-tema_lube)
- [80] *Bioetika v UNESCO, CELAB* [online]. Dostupné z: <https://celab.ceu.edu/sites/celab.ceu.edu/files/attachment/basicpage/29/csehjav2a.pdf>
- [81] Merz JF, Cho MK. What are gene patents and why are people worried about them? *Community Genet.* 2005;8(4):203-8. doi: 10.1159/000087956. PMID: 16244473; PMCID: PMC2220018.
- [82] Arlindo L. Oliveira. *Biotechnology, Big data and Artificial Intelligence*: Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/biot.201800613>
- [83] DEFRANCESCO, Laura, Financing breaks all records in 2020 <https://doi.org/10.1038/s41587-021-00817-7>
- [84] HAAF, Andreas; HOFMANN, Sandra, *MEASURING THE ECONOMIC FOOTPRINT OF THE BIOTECHNOLOGY INDUSTRY IN EUROPE* *Europabio – Europabio* [online]. [cit. 08.07.2022]. Dostupné z: [https://www.europabio.org/wp-content/uploads/2021/02/201208\\_WifOR\\_EuropaBIO\\_Economic\\_Impact\\_Biotech\\_FINAL.pdf](https://www.europabio.org/wp-content/uploads/2021/02/201208_WifOR_EuropaBIO_Economic_Impact_Biotech_FINAL.pdf)
- [85] Gross value added - Wikipedia. [online]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Gross\\_value\\_added](https://en.wikipedia.org/wiki/Gross_value_added)
- [86] Next-generation Sequencing Data Analysis Market Report, 2028. *Market Research Reports & Consulting | Grand View Research, Inc.* [online]. 2022 Grand View Research, Inc. All rights reserved. [cit. 08.07.2022]. Dostupné z: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/next-generation-sequencing-ngs-data-analysis-market>
- [87] Brain Computer Interface Market Size and Industry Trends | 2030. [online]. 2022 Allied Market Research. All Rights Reserved [cit. 02.08.2022]. Dostupné z: <https://www.alliedmarketresearch.com/brain-computer-interfaces-market>

- [88] CRISPR Technology Market Share, Size - 2023 | MarketsandMarkets. *MarketsandMarkets – Revenue Impact & Advisory Company | Market Research Reports | Business Research Insights* [online]. 2022 MarketsandMarkets Research Private Ltd. All rights reserved [cit. 08.07.2022]. Dostupné z: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/crispr-technology-market-134401204.html>
- [90] Brain Computer Interface Market Report, 2022-2030. *Market Research Reports & Consulting | Grand View Research, Inc.* [online]. 2022 Grand View Research, Inc. All rights reserved. [cit. 08.07.2022]. Dostupné z: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/brain-computer-interfaces-market>
- [91] Healthcare Nanotechnology (Nanomedicine) Market Size, Share, Trends (2022 - 27). *Home / Mordor Intelligence* [online]. 2022. All Rights Reserved to Mordor Intelligence. [cit. 08.07.2022]. Dostupné z: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/healthcare-nanotechnology-nanomedicine-market>
- [92] Analysts count on revenue increase Agilent Technologies | *Valuespectrum.com. News / Valuespectrum.com* [online]. 2022 ValueSpectrum. All Rights Reserved [cit. 02.08.2022]. Dostupné z: <https://www.valuespectrum.com/news/645310-analysts-count-on-revenue-increase-agilent-technologies>
- [93] Stock Investing - ILMN - Illumina, Inc. [online]. Dostupné z: <https://stockinvesting.today/si1902/article/ilmn-illumina-inc?>
- [94] Pfizer total revenue 2006-2021 | Statista. • *Statista – The Statistics Portal for Market Data, Market Research and Market Studies* [online]. Statista 2022 [cit. 02.08.2022]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/266171/revenue-of-pfizer-since-2006/>
- [95] *ResearchGate | Find and share research* [online]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/World-population-by-age-group-1980-2050-projected-Data-Source-United-Nations\\_fig3\\_336923184](https://www.researchgate.net/figure/World-population-by-age-group-1980-2050-projected-Data-Source-United-Nations_fig3_336923184)
- [96] Bioinformatics Market Size Research | Industry Outlook Report, 2020. *Market Research Reports & Consulting | Grand View Research, Inc.* [online]. 2022 Grand View Research, Inc. All rights reserved. [cit. 08.07.2022]. Dostupné z: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/bioinformatics-industry>
- [98] EPO - Biotechnology patents at the EPO. *EPO – Home* [online]. 2007 European Patent Office. All Rights Reserved. [cit. 08.07.2022]. Dostupné z: <https://www.epo.org/news-events/in-focus/biotechnology-patents.html>
- [99] Futures Wheel Diagram [online]. [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://online.visual-paradigm.com/diagrams/templates/futures-wheel/futures-wheel-diagram/>
- [100] Geneticky modifikované organismy. [cit. 03.08.2022]. Dostupné z: [https://www.vfu.cz/files/upload/1458/MBHP\\_2022\\_06.pdf](https://www.vfu.cz/files/upload/1458/MBHP_2022_06.pdf)

## Seznam obrázků

- Obrázek 1: Hlavní komponenty expertního systému, zdroj [10]
- Obrázek 2: Rozdělení strojového učení podle typu úlohy, zdroj: [14]
- Obrázek 3: Vlastní zpracování: Vztah mezi umělou inteligencí, strojovým učením a hlubokým učením, zdroj [15]
- Obrázek 4: Vlastní zpracování: Definující vlastnosti Big Data, zdroj [16]
- Obrázek 5: Transgenní model - myš -reportér exprese genu [100]
- Obrázek 6: Princip fungování BCI, zdroj [53]
- Obrázek 7: Znázornění struktury funkčních ultra-rezistentních polymerních biočipů [66]
- Obrázek 8: Princip tkáňového inženýrství [70]
- Obrázek 9: Vlastní zpracování: Nárůst dat v genetické databázi EMBL-EBI v letech 2007-2019, zdroj [82]
- Obrázek 10: Vlastní zpracování: Nárůst investic prostřednictvím veřejné nabídky IPO v letech 2016-2020, zdroj [84]
- Obrázek 11: Biotechnologie a jejich podíl na GVA v Evropě v letech 2008-2018 v mld. EUR, zdroj [84]
- Obrázek 12: Zaměstnanost v EU v jednotlivých sektorech bioinženýrství v letech 2008-2018, zdroj [85]
- Obrázek 13: Velikost globálního trhu biotechnologií a jeho členění v roce 2020, zdroj [96]
- Obrázek 14: Odhad vývoje CAGR globálního trhu s NGS v letech 2018-2028 [86]
- Obrázek 15: Velikost globálního trhu s BCI v roce 2021 a rozložení trhu do sektorů, zdroj [90]
- Obrázek 16: Vývoj trhu s nanotechnologií v medicíně (US) - predikce CAGR, zdroj [91]
- Obrázek 17: Vlastní zpracování: Predikce penetrace trhu biotechnologií na bázi UI v roce 2030
- Obrázek 18: Financování biotechnologií v USA a v Evropě, zdroj [84]
- Obrázek 19: Porterova analýza trhu UI. Vlastní zpracování
- Obrázek 20: Výnosy společnosti Agilent Technologies Inc. v letech 2008-2021 [92]
- Obrázek 21: Výnosy a zisky společnosti Illumina v letech 2009-2020 [93]
- Obrázek 22: Vývoj výnosů společnosti Pfizer v období 2006-2021 [94]
- Obrázek 23: Predikce světového růstu populace do roku 2050, zdroj [95]
- Obrázek 24: Celosvětový výskyt rakoviny podle oblatí v roce 2020, zdroj [91]
- Obrázek 25: Evropský trh bioinformatiky podle produktu v letech 2012-2020 [96]
- Obrázek 26: Vývoj ceny sekvenací NGS v letech 2017-2019, zdroj [86]
- Obrázek 27: Procentuální rozdělení udělených biotech. patentů, zdroj EPO [98]
- Obrázek 28: dotazník 3, otázka 1, vlastní zpracování
- Obrázek 29: dotazník 3, otázka 1, vlastní zpracování
- Obrázek 30: dotazník 3, otázka 3, vlastní zpracování
- Obrázek 31: dotazník 3, otázka 2, vlastní zpracování
- Obrázek 32: Optimistický scénář: Vývoj trhu biotechnologií do roku 2030 CAGR 20%, vlastní zpracování
- Obrázek 33: Realistický scénář: Vývoj trhu biotechnologií do roku 2030 CAGR 13%, vlastní zpracování
- Obrázek 34: Pesimistický scénář: Vývoj trhu biotechnologií do roku 2030 CAGR 9%, vlastní zpracování

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Odbornost respondentů

Tabulka 2: Otázky 1. kola dotazníku

## Seznam příloh

Dotazník 1. kola – metoda Delphi

Dotazník 2. kola – metoda Delphi

Dotazník 3. kola – metoda Delphi

## Příloha 1 - Dotazník 1. kola – metoda Delphi

### Expertní dotazník – Umělá inteligence a Bioinženýrské technologie (pro účely diplomové práce)

Prognostika je věda, která se zabývá tvorbou prognóz. Zabývá se tedy otázkou, co by se mohlo stát. K vytvoření možného scénáře budoucího vývoje využívá několika metod, jejichž cílem je získat vstupy od expertů. Metoda široce využívaná při generování předpovědi v oblasti zdravotnictví a technologií je metoda Delphi.

Metoda Delphi je dvoukolová anonymní dotazníková metoda. Jména respondentů zná pouze organizátor, nebudou známa ostatním expertům.

V prvním kole jsou expertům zaslány dotazníky s otevřenými otázkami. Podobně jako v brainstormingu je snahou otevřených otázek generovat co nejvíce témat, nápadů a myšlenek. Ve druhém kole je seznam výroků expertů zaslán znovu respondentům a expert se může vyjádřit k odpovědím mírou souhlasu či nesouhlasu bodovým systémem od 1 do 5 na Likertově škále. Hodnocení je možné doplnit komentářem. Na základě odpovědí ostatních expertů je dovoleno změnit názor. Výzkum může být doplněn otázkami ve 3. kole k získání názorové shody.

Cílem metody je získat názory expertů pro co nejpřesnější odpověď na otázky:

- Jaké jsou scénáře vývoje bioinženýrství do roku 2030?

- Jaké jsou možné příležitosti a hrozby současných trendů v bioinženýrství?

Číslo otázky	Otázka
1	Jaké oblasti biotechnologií mají největší potenciál v oblastech lidského zdraví a lidského rozvoje? (např. biofarmacie, mapování lidského genomu, genetická manipulace, nanotechnologie ..)
2	Co přinesou do našich životů metody genetické manipulace (např. Crisper-Cas9)?
3	Jaké budou možnosti prenatální diagnostiky a prenatální genetické manipulace v roce 2030? (dítě na objednávku)
4	Jak by mohly rychle rozvíjející se biotechnologie ovlivnit trh práce? Přivede popularizace vědy a poptávka po nich tyto obory do popředí zájmu studentů?
5	Jak bude v roce 2030 lidstvo využívat technologie podporující myšlení (Brain Computer Interface, Neuralink)
6	V čem vidíte šance a potenciál biotechnologií a umělé inteligence?
7	Jaké jsou podle Vás největší hrozby spojené s novými objevy na poli biotechnologií a umělé inteligence?
8	Pokud máte nějaká podnětná témata, která nebylo možné zařadit k předchozím otázkám, zde je pro ně místo:

## Příloha 2 - Dotazník 2. kola – metoda Delphi

Děkuji všem za čas, který jste věnovali prvnímu kolu dotazníku. Druhé kolo dotazníku se bude věnovat bioinženýrství v oblasti lidského zdraví.

Prognostická metoda "Delphi" je vícekolová. Odborníci mají ve druhém kole možnost vyjádřit se znovu ke svým výroky z prvního kola a zároveň se jim dostávají k posouzení výroky ostatních expertů. V rámci druhého kola lze změnit názor, tedy nesouhlasit s vlastním výroky z prvního kola a souhlasit s výroky jiného experta.

Podle míry souhlasu s výroky bude v návaznosti na dotazník vytvořen nejpravděpodobnější scénář budoucího vývoje biotechnologií na poli medicíny v roce 2030 (pro účely diplomové práce)

Dotazník technicky neumožňuje pojmenovat míry souhlasu na Likertově škále, hodnotte prosím takto:

- 1 - naprosto souhlasím
- 2 - spíše souhlasím
- 3 - nevím / nedokážu se rozhodnout
- 4 - spíše nesouhlasím
- 5 - naprosto nesouhlasím

Pokud Váš souhlas či nesouhlas s daným výroky chcete doplnit komentářem, pod dotazníkem je pro něj prostor. Každý další komentář bude mít také vliv na výsledný scénář.

Číslo otázky	Otázka
1	V příštích 10ti letech se zvýší tlak na využívání genové manipulace zejména v soukromé – pololegální zóně (právní ukotvení bude za technologií pozadu)
2	V příštích 10ti letech bude dostupná editace lidského genomu v Číně a zemích bez legislativní regulace genetického inženýrství, což přinese "genovou turistiku" obyvatel ze zemí, kde tyto metody nebudou legální.
3	V příštích 10ti letech budou biomedicínské technologie vylepšovat imunitu
4	Legislativa a počet schválených genových terapií v EU se vyrovná USA
5	Během 10ti let dojde k prodloužení aktivního lidského života za pomoci vnášení genu o 10 let
6	Největší potenciál v oblastech lidského zdraví a lidského rozvoje má nanotechnologie, zejména v oblasti řízené manipulace uvnitř organismů (např. cílený transport do buněk).



7	Největší potenciál v oblastech lidského zdraví a lidského rozvoje má bi-farmacie a nanotechnologie využitě ve farmacii. Díky těmto biotechnologiím bude možné využívat řízený transport léčiva, cílit velmi přesně na konkrétní tkáň a zvyšovat tak bezpečnost a efektivitu terapie.
8	Největší potenciál v oblastech lidského zdraví a lidského rozvoje má genetická manipulace ve smyslu genové terapie. S tím nepochybně souvisí i hlubší mapování lidského genomu a odhalení přesných příčin onemocnění postihujících západní obyvatelstvo (neurodegenerativní onemocnění, nádorová onemocnění, vrozené metabolické poruchy apod.)
9	Největší potenciál v oblastech lidského zdraví a lidského rozvoje má umělá inteligence která rozšíří a zefektivní vyhledávání v existujících databázích (genomové, proteomické, krystalografické aj.) a pomůže navrhnout nová léčiva, místa k opravě. Zároveň umožní prohledat databáze již existujících chemických látek a ověřit jejich potenciál být léčivy nové generace.
10	Největší potenciál v oblastech lidského zdraví a lidského rozvoje má Umělá inteligence pro stanovení diagnóz
11	Největší potenciál v oblastech lidského zdraví a lidského rozvoje mají Kmenové buňky a jejich diferenciaci do tkání, které budou sloužit pro transplantace a xenotransplantace.
12	Kolonizace a osídlení dalších planet sluneční soustavy bude možné díky možnému přizpůsobení lidského organismu na prostředí.
13	Největší potenciál v oblastech lidského zdraví a lidského rozvoje má Molekulární biologie z pohledu rychlejšího a přesnějšího detekování potenciálních nemocí ještě před jejich samotným vypuknutím
14	Crisper-Cas9 technologie - lidstvo by se mělo nejprve mělo vypořádat s etickou otázkou a jasně vymezit hranice, kde bude možné tuto technologii využít, jinak budou příští roky ve znamení neřízeného rozvoje, a pravděpodobně i zneužívání.
15	Crisper-Cas9 technologie a jiné, měnící genetické složení lidských buněk, budou využívány v horizontu 18 let spíše pro objasňování funkce genů než pro rutinní léčbu
16	Crisper-cas9 technologie – Lokální manipulace genomu na úrovni jednotlivých buněk, tkání a orgánů s cílem je regenerovat
17	Crisper-Cas9 technologie přinesou možnost transplantací a náhrad orgánů pěstovaných pro tento účel
18	V roce 2030 budou technologie na úrovni, kdy bude možné ovlivnit nejen zdraví, ale i talent očekávaného potomka
19	Genetická manipulace na embryonální úrovni u člověka bude i nadále, alespoň v Evropě a USA, zakázána. ale genetický doping se stane realitou a stejně jako snahy o vylepšení lidského genomu. Nástroje na to máme už dnes.
20	Genetická manipulace a možnost ji použít vytvoří natolik silnou poptávku, že ji EU legalizuje ve snaze stát se ekonomicky konkurenceschopnou.

21	V roce 2030 budeme schopni odhalit řadu dalších geneticky podmíněných onemocnění a leckdy bude možno dopad takové vady vhodnou terapií anulovat nebo alespoň minimalizovat.
22	Úpravy genomu budou nutně spojené s metodami umělého oplodnění. Od kroku, abychom změnili genom již vyvinutého organismu, tedy dítěte vzniklého přirozenou cestou budeme moc daleko.
23	V roce 2030 budou biotechnologie jedním z nejžádanějších a nelépe placených zaměstnání
24	Školství dlouhodobě výrazně zaostává za rozvojem lidského vědění, tudíž nepředpokládám výrazný boom těchto oborů, už jen proto, že o nich bude nízké povědomí.
25	Biotechnologie budou v podstatě všudepřítomné, takže trh s prací výrazně ovlivní a jejich výuka budou zařazeny do různých studijních programů vč.kybernetiky.
26	V zemích, kde je věda dobře placeným oborem, v němž nejsou činěny rozdíly mezi muži a ženami ve vědě, a kde jsou lidé schopni spolupracovat tak, aby si navzájem neshazovali a nekradli projekty, přitáhnou tyto obory studenty i bez nějaké velké popularizace. (V ČR si na to budeme muset ještě hodně dlouho počkat.)
27	Kromě podpory specialistů chemiků, biologů, biochemiků budeme muset rozšířit zástup bioinformatiků, kteří jsou úplně nedostatkovým „zbožím na trhu“ a rekrutují se především z již existujících specialistů. Musíme změnit uvažování o oborech jako hranicích vědomostí a podpořit především lidi pohybující se na hranách více vědních oborů.
28	Švýcarsko vysává ty největší talenty z celé Evropy, to musíme změnit a natáhnout je k nám. Rozvoj biotech firem to může změnit, zvýší se konkurence a tím i platy v oboru, což by mohlo přitáhnout mladé lidi.
29	Určitě se otevřou nějaké možnosti, ale nemyslím, že nástup biotechnologií bude vyžadovat velké změny na trhu práce. Zemědělci budou pracovat s jinými plodinami, ale budou to pořád zemědělci. Lékaři budou používat nové technologie, ale pořád to budou lékaři. A množství vývojáků se nebude příliš lišit od ostatních oborů.
30	Rok 2030:technologie podporující myšlení Největší rozmach bude zaznamenán v oblastech kompenzačních pomůcek, pohybového aparátu či poruchách řeči. Běžné budou náhrady smyslů pro medicínské účely.
31	Rok 2030 -technologie podporující myšlení budoui nadále ve fázi experimentů s relativně malým impaktem
32	Rokc2030 technologie – počítače pracující především autonomně bez uživatele. autorizovaný přístup budou obstarávat jenom specialisté. Propojení lidských vlastností přímo s počítačem nám zjednoduší „přímý přenos“ myšlenek do systému.
33	Rok 2030: technologie podporující myšlení: Běžné budou náhrady smyslů pro medicínské účely.
34	2030 technologie Běžné budou ve speciálních zaměstnání, třeba piloti různých komplikovaných poloautomatizovaných strojů
35	2030 technologie masivní rozšíření přímého propojení zůstane příliš drahé pro masové využití

36	Biotechnologie nesou riziko zneužití jako nástroj pro vývoj nových zbraní, o kterých společnost nebude mít ani tušení, že jsou vlastně zbraní, která jí má primárně poškodit
37	Biotechnologie mají potenciál pomoci rozvojovým zemím (léčba a předcházení infekčních onemocnění).
38	Hrozbou spojenou s novými objevy na poli biotechnologií je vytlačení původního druhu geneticky manipulovaným druhem.
39	hrozby spojené s novými objevy na poli biotechnologií. zneužití objevů a získaných znalostí totalitními režimy, kde nové objevy nejsou právně a eticky řešeny vždy se zpožděním jako u nás, ale vůbec.
40	hrozby spojené s novými objevy na poli biotechnologií. Překotné užívání genetických úprav a klonování na úrovni člověka
41	Biošikana na bázi sekvenace genomů jednotlivců
42	Cílené úpravy genomu lidí a rozdělení společnosti na ty, kteří si to mohou dovolit a na ty, kteří ne

### Příloha 3 - Dotazník 3. kola – metoda Delphi

1. **Budou v roce 2030 některé biotechnologie na bázi UI rutinně využívány k léčbě?**
2. **V roce 2030 bude umělá inteligence využívána pro diagnostickou činnost?**
3. **V roce 2030 budou nanotechnologie využívány k přesně cílené léčbě uvnitř organismu?**

# Evidence výpůjček

Prohlášení:

Dávám svolení k půjčování této diplomové práce. Uživatel potvrzuje svým podpisem, že bude tuto práci řádně citovat v seznamu použité literatury.

Jméno a příjmení: Vaše jméno ...

V Praze dne: Klikněte nebo klepněte sem a za-  
Podpis:  
dejte datum.

Jméno	Oddělení/ Pracoviště	Datum	Podpis