

# Atlas aplikací kvantových výpočtů

Podporujeme inovace  
s pomocí superpočítačů  
a kvantového počítače

# Úvod

Kvantové počítání představuje fascinující a mocný nástroj, který má potenciál zásadním způsobem změnit možnosti výpočtů v různých oblastech vědy a průmyslu. Na rozdíl od klasických počítačů, které operují s bity, kvantové počítače využívají kvantové bity, neboli qubity. Tyto qubity mají unikátní vlastnost – mohou existovat v superpozici stavů 0 a 1, což znamená, že mohou představovat více než jednu hodnotu současně. To kvantovým počítačům umožňuje vykonávat výpočty, které jsou pro klasické počítače neproveditelné nebo extrémně časově náročné.

Díky této schopnosti využívat superpozici a kvantové jevy, jako je provázanost (entanglement), mohou kvantové počítače provádět paralelní zpracování velkého množství informací. Tato schopnost výrazně zvyšuje jejich výpočetní sílu, protože kvantové počítače mohou zpracovávat komplexní úkoly sou-

časně, místo aby je řešily jeden po druhém, jak to dělají superpočítače. To má zásadní důsledky pro oblast vědeckých simulací, optimalizace a mnoha dalších výpočetně náročných úloh.

S rozvojem kvantových technologií se otevírají nové možnosti pro řešení složitých problémů v oblastech jako jsou chemie, materiálové vědy, optimalizace, strojové učení a kryptografie. Kvantové počítače mohou výrazně zrychlit řešení úloh, které jsou pro klasické počítače výpočetně velmi náročné nebo prakticky neřešitelné.

Je důležité poznamenat, že tento text je aktuální pro rok 2025. Vzhledem k extrémně rychlému vývoji v oblasti kvantového počítání může být tento text za krátkou dobu zastaralý. Nové objevy a technologické pokroky jsou v této dynamické oblasti na denním pořádku, což znamená, že informace zde uvedené se mohou rychle měnit.

Tento atlas představuje reprezentativní výběr konkrétních případů využití kvantového počítání v různých průmyslových odvětvích. Každý příklad zahrnuje popis problému, způsob jeho řešení pomocí kvantových algoritmů a informace o použité kvantové technologii. Cílem je nabídnout praktický přehled pro zájemce z průmyslu a ukázat, kde již kvantové počítání našlo své uplatnění a kde může přinést významné výhody i v budoucnu. Atlas si neklade za cíl být vyčerpávajícím seznamem všech existujících aplikací – jedná se o reprezentativní průřez vybranými oblastmi. Kvantové technologie se však neustále vyvíjejí a s nimi i jejich průmyslové využití, takže nové příklady a aplikace neustále přibývají.

Atlas dále obsahuje aktuální přehled technologického stavu a vývoje kvantových počítačů, včetně různých přístupů k jejich konstrukci, jako jsou supravodivé qubity, iontové pastí, fotonové qubity, neutrální atomy, spinové qubity a kvantové annealery.

**prof. RNDr. Marek Lampart, Ph.D.**  
**Bc. Silvie Illésová**  
**Ing. Adam Bílek**  
**Ing. Petr Ptáček**  
**Ing. Jiří Tomčala, Ph.D.**

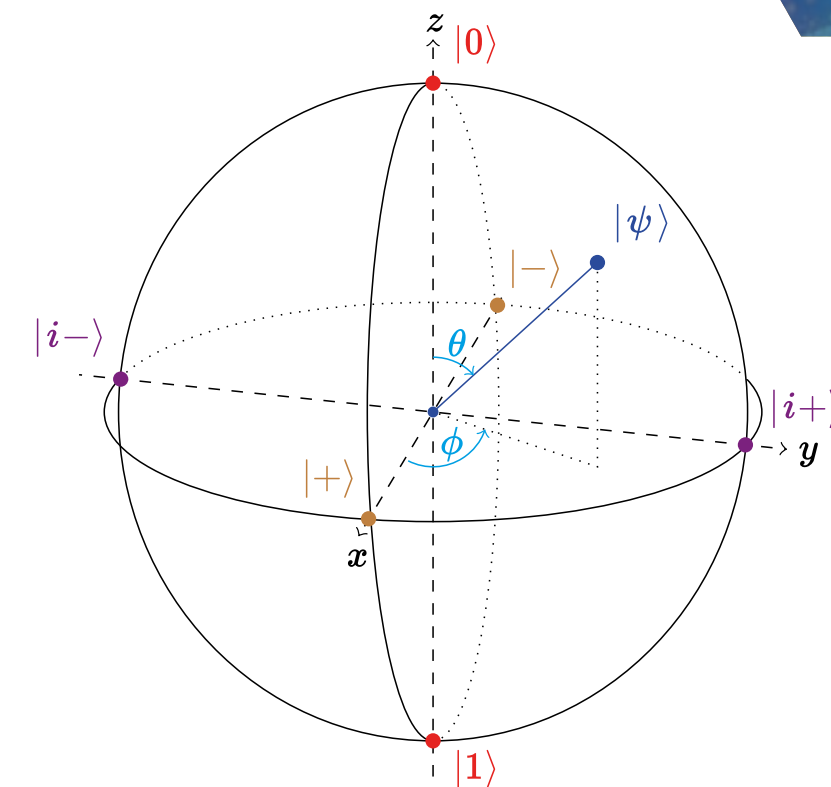
## Kvantové počítání v IT4Innovations

IT4Innovations národní superpočítačové centrum, které je jedním z výzkumných ústavů VŠB – Technické univerzity Ostrava, je předním výzkumným, vývojovým a inovačním centrem v oblasti vysoce výkonného počítání (HPC), datových analýz (HPDA), umělé inteligence (AI), kvantového počítání (QC) a jejich aplikací do dalších vědeckých, průmyslových i společenských oborů, provozující nejvýkonnější superpočítačové systémy v České republice.

V roce 2025 bude v IT4Innovations instalován také první český kvantový počítač, a to VLQ konsorcia LUMI-Q, což představuje zásadní příležitost pro posílení výzkumné kapacity a inovací v oblasti kvantových technologií.

Kvantovému počítání se v IT4Innovations věnují odborníci z Laboratoře kvantových výpočtů, kde spojují inovaci a spolupráci s cílem formovat budoucnost kvantových technologií. Tato laboratoř se nachází v čele výzkumu kvantového počítání a je zasvěcená prohlubování teoretického porozumění, vývoji praktických aplikací a podpoře partnerství mezi akademickým světem a průmyslem. Laboratoř se specializuje na oblasti řešení problémů optimalizace, kvantové strojové učení, kvantová faktorizace a optimalizace kvantových obvodů, kvantová korekce chyb. Mimo to nabízí jak akademické obci, tak i firmám vzdělávací aktivity, které zajistí, že znalosti a odbornost budou sdíleny a rozvíjeny mezi novými generacemi kvantových vědců a inženýrů.

### ◊ Vizualizace qubitu pomocí Blochovy sféry (Bloch sphere)





# VLQ

Konsorcium LUMI-Q

## Kvantový počítač konsorcia LUMI-Q


Kvantový počítač konsorcia LUMI-Q pojmenovaný VLQ bude založený na supravodivých qubitech a nabídne unikátní hvězdicovou topologii. Tato topologie minimalizuje počet tzv. swap operací, což umožní provádění velmi složitých kvantových algoritmů. Systém bude obsahovat 24 fyzických qubitů napojených na centrální rezonátor.

Kvantový počítač VLQ bude k dispozici širokému spektru evropských uživatelů, od vědeckých komunit až po průmysl a veřejný sektor. Připravovaná kvantová výpočetní infrastruktura podpoří vývoj široké škály aplikací s průmyslovým, vědeckým a společenským významem pro Evropu a rozšíří evropskou superpočítačovou infrastrukturu o nové technologie. Systém umožní evropským koncovým uživatelům aktivně zkoumat aplikace a algoritmy přizpůsobené nové hvězdicové topologii, jako je například kvantová Fourierova transformace (QFT), která je ústřední součástí mnoha kvantových algoritmů vykazujících exponenciální zrychlení ve srovnání s čistě klasickým zpracováním.

Konsorcium LUMI-Q je skutečným celoevropským kolaborativním projektem, do něhož je zapojeno osm evropských zemí: Česko, Belgie, Dánsko, Finsko, Norsko, Nizozemsko, Polsko a Švédsko. Konsorcium LUMI-Q poskytne celoevropské prostředí pro kvantové výpočty integrované s infrastrukturou EuroHPC. Umožní integraci cílového kvantového počítače VLQ do superpočítače EuroHPC KAROLINA v Česku, LUMI ve Finsku a EHCPL v Polsku.

*„Jsme nadšeni, že máme kvantový počítač s touto jedinečnou topologií. Tato architektura výrazně zvýší efektivitu kvantových výpočtů. Topologie hvězdy nabízí optimální spojení mezi qubity, čímž minimalizuje počet hardwarově vynucených operací MOVE/SWAP. Díky této topologii můžeme lépe využít koherenční čas a provadět hlubší kvantové obvody v široké škále aplikací, od umělé inteligence až po simulace složitých systémů,“ řekl Branislav Jansik, ředitel superpočítačových služeb IT4Innovations.*

# Příklady dobré praxe podle průmyslových odvětví



<b>01 Finanční sektor</b>	Optimalizace portfolia ..... 11 Detekce finančních podvodů ..... 12 Rizikové modelování ..... 13
<b>02 Farmaceutický průmysl</b>	Vývoj nových léčiv ..... 15 Predikce tvorby vazeb mezi molekulami a proteiny ..... 16 Hledání antivirotik proti SARS-COV-2 ..... 17
<b>03 Energie</b>	Optimalizace distribuce energie ..... 19 Optimalizace energetického systému ..... 20 Predikce výkonu obnovitelných zdrojů ..... 21
<b>04 Automobilový průmysl</b>	Optimalizace lakovacích procesů ..... 23 Optimalizace konfigurace testovacích vozidel ..... 24 Plánování trasy autonomně řízených vozidel ..... 25
<b>05 Telekomunikace</b>	Optimalizace sítě 5G ..... 27 Šifrování v komunikačních sítích ..... 28 Optimalizace rozvrhů mobilních operátorů ..... 29
<b>06 Logistika</b>	Optimalizace dodavatelských řetězců ..... 31 Plánování dopravy ..... 32 Optimalizace skladových zásob ..... 33 Optimalizace propustnosti podzemních vodních toků ..... 35
<b>07 Chemický průmysl</b>	Simulace katalytických procesů ..... 37 Vývoj nových materiálů ..... 38 Simulace chemických reakcí ..... 39
<b>08 Výrobní průmysl</b>	Optimalizace výrobních procesů ..... 41 Prediktivní údržba ..... 42 Optimalizace logistických operací ..... 43
<b>09 Zdravotnictví</b>	Diagnostika onemocnění ..... 45 Personalizovaná medicína ..... 46 Modelování neurodegenerativních onemocnění ..... 47

## 01 OBLAST FINANČNÍ SEKTOR

Finanční sektor se spoléhá na složité výpočty pro optimalizaci portfolií, detekci podvodů a modelování rizik. Tradiční algoritmy často narážejí na výpočetní limity při zpracování rozsáhlých datových souborů a složitých finančních modelů. Kvantové počítání umožňuje efektivnější optimalizaci portfolia, rychlejší identifikaci podezřelých vzorců v transakcích a přesnější hodnocení rizik spojených s tržními šoky. Díky schopnosti řešit složité problémy v kratším čase může kvantové počítání přinést vyšší efektivitu, snížení rizik a konkurenční výhodu pro finanční instituce.

- Optimalizace portfolia
- Detekce finančních podvodů
- Rizikové modelování

## FINANČNÍ SEKTOR Optimalizace portfolia

### DEFINICE PROBLÉMU:

OPTIMALIZACE PORTFOLIA ZAHRNUJE ROZHODOVÁNÍ O ROZDĚLENÍ AKTIV, COŽ MINIMALIZUJE RIZIKO A MAXIMALIZUJE NÁVRATNOST. TRADIČNÍ ALGORITMY ČELÍ VÝZVÁM PŘI ŘEŠENÍ PROBLÉMŮ S VELKÝM MNOŽSTVÍM AKTIV A OMEZENÍ.

### Řešení:

Kvantový algoritmus využívající *Quantum Approximate Optimization Algorithm (QAOA)* byl aplikován na optimalizaci portfolia s velkým počtem aktiv.

### Použitá technologie:

QASM simulátor

### Technické detaily:

QAOA byl implementován s 5 a 10 qubity, kde každý qubit představoval jedno aktivum. Algoritmus byl testován na mnoha instancích dostupných aktiv a přípustných rizik v simulátoru s různými úrovněmi šumu.

### Výsledky:

Kvantový algoritmus dokázal najít optimální portfolio efektivněji, než klasické metody, a to i v prostředí s velkým množstvím šumu.

### Reference

## Detekce finančních podvodů

### Řešení:

Algoritmus hybridního kvantového strojového učení pro klasifikaci vzorů byl použit k analýze transakčních dat a identifikaci podvodných aktivit.

### Použitá technologie:

*Quantum Support Vector Machine (QSVM)*, hybridní přístup, kvantové simulátory a klasické počítače.

### Technické detaily:

Algoritmus využívá hybridního přístupu složeného z klasického klasifikátoru natrénovaného na vlastnostech finančních transakcí a kvantového obvodu, v němž jsou zakódovány vlastnosti s největším dopadem na přesnost detekce.

### Výsledky:

Algoritmus detekoval podvodné transakce s vyšší přesností než tradiční metody, což přispělo k efektivnějšímu předcházení finančním ztrátám.

### Reference

### DEFINICE PROBLÉMU:

DETEKCE FINANČNÍCH PODVODŮ ZAHRNUJE ANALÝZU VELKÉHO MNOŽSTVÍ TRANSAKČÍ S CÍLEM IDENTIFIKOVAT PODEZŘELÉ VZORY, COŽ JE VÝPOČETNĚ VELMI NÁROČNÉ.

## Rizikové modelování

### Řešení:

Algoritmus využívá *Quantum Amplitude Estimation (QAE)*, která umožňuje odhad určitých veličin s kvadratickým zrychlením oproti klasickým metodám. Tato technika se uplatňuje při simulaci různých finančních scénářů a odhadu rizikových faktorů, jako je *Value-at-Risk (VaR)* a *Conditional Value-at-Risk (CVaR)*.

### Použitá technologie:

Supravodivé qubity (IBM Quantum)

### Technické detaily:

Simulace, provedeny na 4 qubitech, modelovaly různé tržní proměnné a jejich interakce.

### Výsledky:

Kvantové simulace ukázaly kvadratické zrychlení analýzy rizik oproti klasickému přístupu, což umožnilo finančním institucím lépe se připravit na potenciální negativní události.

### Reference

## 02 OBLAST FARMACEUTICKÝ PRŮMYSL

Vývoj nových léčiv vyžaduje pokročilé výpočetní metody pro analýzu molekulárních struktur a chemických interakcí. Tradiční přístupy při modelování elektronových struktur a predikci vazeb mezi molekulami a proteiny jsou však extrémně výpočetně náročné. Kvantové počítání přináší revoluční možnosti, které umožňují rychlejší a přesnější simulace, což urychluje identifikaci účinných léčiv. Například při hledání inhibitorů SARS-CoV-2 hlavní proteázy (Mpro) může kvantové počítání pomoci optimalizovat vazebné konfigurace potenciálních kandidátů, což vede k efektivnějšímu vývoji antivirotik a urychlení jejich uvedení na trh.

- Vývoj nových léčiv
- Predikce tvorby vazeb mezi molekulami a proteiny
- Hledání antivirotik proti SARS-CoV-2

### FARMACEUTICKÝ PRŮMYSL

## ○ Vývoj nových léčiv

#### DEFINICE PROBLÉMU:

TRADIČNÍ METODY VÝVOJE LÉČIV JSOU VÝPOČETNĚ NÁROČNÉ, ZEJMÉNA PŘI SIMULACI ELEKTRONOVÝCH STRUKTUR MOLEKUL A MODELOVÁNÍ KVANTOVĚ CHEMICKÝCH INTERAKCÍ.

#### Řešení:

Kvantový počítač byl využit k efektivnějšímu řešení elektronových struktur pomocí algoritmu VQE, čímž se zvýšila přesnost a rychlost simulací.

#### Použitá technologie:

Supravodivé qubity (IBM Quantum) a hybridní kvantově-klasické technologie

#### Technické detaily:

Experimenty byly provedeny na IBM Quantum Experience s využitím kvantových obvodů optimalizovaných pro simulaci molekul. Byl testován výkon VQE v porovnání s klasickými metodami výpočtu molekulární energie.

#### Výsledky:

Kvantové výpočty ukázaly potenciál pro přesnější simulaci elektronových struktur, i když současná omezení kvantového hardwaru, jako je de-coherence a vysoká míra šumu, stále představují výzvy pro škálování na větší systémy.

#### Reference

## FARMACEUTICKÝ PRŮMYSL

## ○ Predikce tvorby vazeb mezi molekulami a proteiny

### Řešení:

Navrhované řešení využívá Gaussian Boson Sampling (GBS), což je fotonické kvantové zařízení. GBS je využito k vyhledávání maximálních vážených klik v grafu, které odpovídají stabilním konfiguracím. Tento přístup dovoluje vzorkovat velké vážené kliky s vysokou pravděpodobností, což napomáhá při identifikaci vazebných konfigurací.

### Použitá technologie:

Fotonové qubity

### Technické detaily:

Experiment byl proveden na grafu se 4 vrcholy pro ligand a 6 vrcholy pro receptor, což vytvořilo 24 interakčních párů. Maximální kliky měly velikost 8 vrcholů. Kvantový obvod využívá fotonické módy. Počet módů závisí na velikosti grafu, který reprezentuje farmakoforové body.

### Výsledky:

Kvantové simulace pomocí GBS výrazně zvýšily úspěšnost nalezení maximálních vážených klik oproti klasickému náhodnému vzorkování. Úspěšnost při použití kvantových technologií dosáhla až 70 %, zatímco čistě klasický přístup měl méně než 35 %. Tento přístup ukazuje potenciál kvantového počítání ve farmaceutickém výzkumu a vývoji, zejména při rychlém screeningu velkého počtu molekulárních konfigurací.

### DEFINICE PROBLÉMU:

PREDIKCE TVORBY VAZEB MEZI MOLEKULAMI A PROTEINY JE METODA POUŽÍVANÁ K PŘEDPOVĚDI PROSTOROVÝCH ORIENTACÍ MOLEKUL PŘI JEJICH VAZBĚ NA VĚTŠÍ PROTEINY. TATO METODA JE KLÍČOVÁ V OBLASTI NÁVRHU FARMACEUTICKÝCH LÉČIV, KDE JE POTŘEBA PŘEDPOVÍDAT VAZEBNÉ KONFIGURACE VELKÉHO MNOŽSTVÍ KANDIDÁTNÍCH MOLEKUL.

Reference

## FARMACEUTICKÝ PRŮMYSL

## ○ Hledání antivirotik proti SARS-CoV-2

### Řešení:

Kvantové simulace molekulárních interakcí byly použity k hodnocení potenciálních inhibitorů hlavní proteázy SARS-CoV-2.

### Použitá technologie:

Supravodivé qubity (IBM Quantum)

Reference

### Technické detaily:

Autoři použili kombinaci kvantových výpočtů a klasických simulací k hodnocení energetických profilů různých ligandů a jejich vazebných afinit na hlavní proteázu. Kvantové simulace byly provedeny na 8 qubitech, které reprezentovaly různé stavy molekul. Kvantové obvody byly optimalizovány pro simulaci interakcí s vysokou přesností.

### Výsledky:

Kvantové simulace umožnily přesné skórování různých ligandů a identifikaci několika nových potenciálních kandidátů na inhibitory hlavní proteázy SARS-CoV-2. Tento přístup zkrátil čas potřebný pro jejich vývoj a poskytl cenné informace pro další experimentální ověřování.

## 03 ENERGIE

### OBLAST

S rostoucím podílem obnovitelných zdrojů a nasazením konvertorových technologií se zvyšuje složitost řízení elektrických sítí. Tradiční metody analýzy výkonových toků a optimalizace energetických systémů často narážejí na výpočetní limity kvůli obrovskému množství proměnných a kombinatorické povaze problémů. Kvantové počítání nabízí nové možnosti pro efektivnější řešení úloh, jako je plánování jednotek, alokace zařízení či syntéza sítí výměníků tepla. Ačkoliv optimalizace provozu bioplynových zařízení přináší výzvy, vývoj hybridních přístupů spojujících kvantové a klasické algoritmy by mohl přinést inovativní řešení pro udržitelnou energetiku.

- Optimalizace distribuce energie
- Optimalizace energetického systému
- Predikce výkonu obnovitelných zdrojů

## ENERGIE Optimalizace distribuce energie

### DEFINICE PROBLÉMU:

ROSTOUCÍ PODÍL OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE A ŠIROKÉ NASAZENÍ KONVERTOROVÝCH TECHNOLOGIÍ ZVYŠUJÍ SLOŽITOST ŘÍZENÍ ELEKTRICKÝCH SÍTÍ. TRADIČNÍ METODY ANALÝZY VÝKONOVÝCH TOKŮ JSOU VÝPOČETNĚ NÁROČNÉ A OBTÍŽNĚ ŠKÁLOVATELNÉ.

### Řešení:

Kvantové počítání bylo použito pro výpočet výkonových toků pomocí HHL algoritmu, který řeší soustavy lineárních rovnic s potenciálním exponenciálním zrychlením oproti klasickým metodám.

### Použitá technologie:

Supravodivé qubity (IBM Quantum)

### Reference

### Technické detaily:

Byl použit algoritmus HHL pro řešení maticových rovnic implementovaný na pěti různých IBM Quantum počítačích pro výpočet výkonového toku na 3-bus a 5-bus systémech. Studie se zaměřila na dopad kvantového šumu a škálovatelnost metody v podmínkách NISQ hardwaru.

### Výsledky:

Kvantový výkonový tok konverguje ke správnému řešení, avšak aktuální omezení kvantového hardwaru, jako jsou šum a omezený počet qubitů, vedou k vyššímu počtu iterací oproti klasickým metodám. S dalším vývojem kvantového hardwaru však nabízí lepší škálovatelnost na větší soustavy.

ENERGIE

## Optimalizace energetického systému

### Řešení:

Řešení spočívá v reformulaci těchto optimalizačních problémů do podoby *Quadratic Unconstrained Binary Optimization* (QUBO). Byly použity hybridní kvantové optimalizační algoritmy jako *Quantum Approximate Optimization Algorithm* (QAOA) a *Variational Quantum Eigensolver* (VQE).

### Použitá technologie:

Supravodivé qubity (IBM Quantum) a kvantový annealer (D-Wave)

### Technické detaily:

Celý optimalizační problém zahrnoval přes 2 000 binárních proměnných, kdy jejich hodnota byla optimalizována s pomocí až 20 supravodivých qubitů nebo až s 2 048 žíhaných qubitů. Byl proveden i experiment s klasickým výpočetním řešičem Gurobi pro srovnání klasického přístupu oproti kvantovým přístupům.

### Výsledky:

U menších instancí problémů byla kvalita výsledků srovnatelná s kvalitou výsledků řešiče Gurobi. U klasického řešiče Gurobi exponenciálně rostl čas potřebný k vyřešení úloh s jejich velikostí, zatímco kvantový přístup měl víceméně konstantní čas pro menší instance problémů. S vývojem kvantových technologií bude tato výhoda růst na významnosti.

### DEFINICE PROBLÉMU:

OPTIMALIZACE ENERGETICKÝCH SYSTÉMŮ, ZAHHRNUJE PROBLÉMY JAKO JE ALOKACE ZAŘÍZENÍ, PLÁNOVÁNÍ JEDNOTEK (*UNIT COMMITMENT*) A SYNTÉZU SÍŤÍ VÝMĚNÍKŮ TEPLA. TYTO PROBLÉMY JSOU SLOŽITÉ KVŮLI VELKÉMU MNOŽSTVÍ PROMĚNNÝCH, OMEZENÍM A KOMBINATORICKÉ POVAZE ŘEŠENÍ, COŽ VEDE K DLOUHÝM VÝPOČETNÍM ČASŮM NA KLASICKÝCH POČÍTAČÍCH.

Reference

ENERGIE

## Predikce výkonu obnovitelných zdrojů

### Řešení:

Byla vyvinuta metoda QuAnCO (*Quantum Annealing Continuous Optimisation*), která převádí spojité optimalizační problém do diskretní formy ve formátu QUBO (*Quadratic Unconstrained Binary Optimization*), který lze řešit na kvantovém hardwaru.

### Použitá technologie:

Kvantový annealer (D-Wave)

Reference

### Technické detaily:

Spojité proměnné (např. podíly složek biomasy) jsou transformovány na diskretní hodnoty prostřednictvím intervalově omezených celých čísel a jejich následného binárního kódování. Navržený přístup byl aplikován na reálný problém optimalizace směsi biomasy pro společnost Nature Energy.

### Výsledky:

Aplikace metody QuAnCO umožnila dosažení výrazně lepších optimalizačních výsledků, což se projevilo ve snížení provozních nákladů a zvýšení celkové efektivity provozu bioplynových zařízení.

## 04 | Automobilový průmysl

### OBLAST

Automobilový průmysl čelí rostoucím výpočetním výzvám, od optimalizace výrobních procesů až po vývoj autonomních vozidel. Kvantové počítání může výrazně zlepšit efektivitu při plánování lakování vozidel minimalizací změn barev, čímž sníží časové ztráty a spotřebu materiálu. Pomůže také optimalizovat testování předprodukčních vozidel, aby se snížil jejich počet a zároveň pokryly všechny požadované konfigurace. V oblasti autonomního řízení umožní kvantové algoritmy rychlejší a přesnější zpracování sensorických dat a nalezení optimálních tras v reálném čase, což povede k bezpečnější a efektivnější mobilitě budoucnosti.

- Optimalizace lakovacích procesů
- Optimalizace konfigurace testovacích vozidel
- Plánování trasy autonomně řízených vozidel

### AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL

## Optimalizace lakovacích procesů

### DEFINICE PROBLÉMU:

V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU JE JEDNÍM Z KLÍČOVÝCH PROBLÉMŮ MINIMALIZACE ZMĚN BAREV PŘI LAKOVÁNÍ VOZIDEL. KAŽDÁ ZMĚNA BARVY ZNAMENÁ ČASOVÉ ZPOŽDĚNÍ A ZVÝŠENOU SPOTŘEBU MATERIÁLU, COŽ VEDE K VYŠŠÍM NÁKLADŮM A NIŽŠÍ EFEKTIVITĚ VÝROBNÍHO PROCESU.

### Řešení:

Pro optimalizaci sekvence vozidel v lakovací lince byl tento NP-těžký kombinatorický problém formulován jako Isingův model, který lze řešit pomocí kvantového žihání. Výpočty byly provedeny na kvantovém annealeru D-Wave a porovnány s klasickými heuristickými metodami i hybridními přístupy.

### Použitá technologie:

Kvantový annealer (D-Wave)

### Reference

### Technické detaily:

Problém byl formulován jako Isingův model a reprezentován v *Quadratic Unconstrained Binary Optimization* (QUBO). Experimenty byly provedeny na kvantovém počítači D-Wave 2000Q s reálnými daty z výrobní linky v automobilce Volkswagen ve Wolfsburgu. Výkon kvantového řešení byl porovnán s klasickými heuristickými metodami a hybridními algoritmy od D-Wave.

### Výsledky:

Kvantové řešení se ukázalo jako efektivní pro menší instance problému, zatímco hybridní kvantově-klasický algoritmus dosáhl konkurenceschopných výsledků pro středně velké výrobní sekvence. Výsledky naznačují, že kvantové výpočty mají potenciál zlepšit efektivitu plánování lakovacích procesů v automobilovém průmyslu.

## Optimalizace konfigurace testovacích vozidel

### Řešení:

Pro optimalizaci konfigurace testovacích vozidel byl použit hybridní kvantově-klasický přístup využívající *Constrained Quadratic Model (CQM)* solver od společnosti D-Wave. Tento přístup umožňuje efektivní řešení problému splnitelnosti s ohledem na zadané podmínky.

### Použitá technologie:

Hybridní CQM solver od D-Wave, kvantový annealer (D-Wave) spolu s klasickým superpočítačem

### Technické detaily:

Problém byl modelován jako kvadratické programování s omezeními, kde byly zavedeny Booleovské proměnné reprezentující přítomnost či nepřítomnost specifických vlastností ve vozidle. Byla formulována objektivní funkce minimalizující počet testovacích vozidel a zahrnující omezení vyplývající z konfiguračních pravidel a požadavků jednotlivých testů. K řešení byl použit CQM solver, jehož výsledky byly porovnány s klasickými řešiteli, jako jsou CBC a Gurobi.

### Výsledky:

Výsledky ukázaly, že výkon CQM solveru je srovnatelný s klasickými řešiteli při optimalizaci počtu testovacích vozidel. Navíc byl navržen postup pro začlenění plánování testů do modelu, což může dále zlepšit efektivitu celého procesu.

### DEFINICE PROBLÉMU:

PŘED UVEDENÍM NOVÝCH MODELŮ AUTOMOBILŮ DO SÉRIOVÉ VÝROBY JE NUTNÉ PROVÉST ŘADU TESTŮ NA PŘEDPRODUKČNÍCH VOZIDLECH S RŮZNÝMI KONFIGURACEMI. CÍLEM JE MINIMALIZOVAT POČET TĚCHTO TESTOVACÍCH VOZIDEL PŘI ZAJIŠTĚNÍ POKRYTÍ VŠECH POŽADOVANÝCH TESTŮ A DODRŽENÍ KONFIGURAČNÍCH PRAVIDEL.

Reference

## Plánování trasy autonomně řízených vozidel

### Řešení:

Byl použit *Gradient Statistical Mutation Quantum Genetic Algorithm (GSM-QGA)*, který kombinuje kvantový genetický algoritmus s gradientním sestupem a statistickým mutačním operátorem. Tento algoritmus dynamicky upravuje kvantovou rotační bránu podle fitness hodnoty chromozomu.

### Použitá technologie:

IBM Quantum simulátor

### Technické detaily:

Každý bod na trase je zakódován pomocí jednoho qubitu v mřížkové mapě. Simulace byla provedena na 20 x 20 mřížce s délkou mřížky 0,05 km.

### Výsledky:

Výsledky kvantového algoritmu byly porovnány s klasickými algoritmy. Následující porovnání jsou provedena vůči nejlepšímu klasickému algoritmu. Kvantový přístup snížil průměrnou délku trasy o 5,52 %. Zvýšila se i rychlost konvergence o 32,48 %.

Reference

### DEFINICE PROBLÉMU:

AUTONOMNÍ ŘÍZENÍ VYŽADUJE RYCHLÉ A PŘESNÉ ROZHODOVÁNÍ V REÁLNÉM ČASE NA ZÁKLADĚ OBROVSKÉHO MNOŽSTVÍ SENZORICKÝCH DAT. TRADIČNÍ ALGORITMY (NAPŘ. DIJKSTRŮV ALGORITMUS, A\*, GA, ACO, PSO) TRPÍ POMALOU KONVERGENCÍ, ŠPATNOU STABILITOU A TENDENCÍ UVÍZNOUT V LOKÁLNÍCH EXTRÉMECH.

## 05 TELEKOMUNIKACE

### OBLAST

Moderní telekomunikační sítě čelí rostoucím výpočetním nárokům, zejména s rozvojem 5G a budoucích 6G technologií. Masivní MIMO systémy vyžadují efektivní zpracování signálů, přičemž tradiční metody optimalizace narážejí na výpočetní limity při řízení velkého množství antén a zařízení. Kvantové počítání může zásadně urychlit výpočty související s alokací zdrojů a optimalizací rádiových přístupových sítí. Dále umožňuje bezpečné šifrované výpočty, což zvyšuje ochranu soukromí při přenosu dat. Využití kvantových algoritmů tak může přispět k efektivnějším, bezpečnějším a výkonnějším telekomunikačním sítím budoucnosti.

- Optimalizace sítě 5G
- Šifrování v komunikačních sítích
- Optimalizace rozvrhů mobilních operátorů

### TELEKOMUNIKACE

## Optimalizace sítě 5G

#### DEFINICE PROBLÉMU:

SÍŤE 5G VYŽADUJÍ EFEKTIVNÍ ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLŮ V MASIVNÍCH MIMO SYSTÉMECH, ABY BYLA ZAJIŠTĚNA VYSOKÁ KAPACITA, NÍZKÁ LATENCE A SPOLEHLIVOST PŘENOSU. TRADIČNÍ METODY OPTIMALIZACE ČELÍ VÝPOČETNÍM OMEZENÍM PŘI ZPRACOVÁNÍ VELKÉHO MNOŽSTVÍ ANTÉN A UŽIVATELSKÝCH ZAŘÍZENÍ.

#### Řešení:

Kvantové žihání (quantum annealing) bylo použito pro optimalizaci detekce signálu v masivních MIMO systémech s cílem optimalizovat alokaci spektra a zlepšit výkon síťového provozu v reálném čase.

#### Použitá technologie:

Kvantový annealer (D-Wave)

#### Technické detaily:

Experimenty byly provedeny na kvantovém annealeru D-Wave 2000Q s 2031 qubity, přičemž byla formulována úloha detekce signálu jako problém *Quadratic Unconstrained Binary Optimization (QUBO)*. Algoritmus byl testován na scénářích s různým počtem uživatelů a antén.

#### Výsledky:

Simulace ukázaly, že kvantové žihání poskytuje konkurenceschopné výsledky oproti klasickým metodám detekce signálu a nabízí potenciální výhody při škálování na větší systémy.

#### Reference

## TELEKOMUNIKACE

## Šifrování v komunikačních sítích

### Řešení:

Šifrování a dešifrování qubitů pomocí specifických posloupností kvantových operací prováděných na serveru, které nelze odchytil tak jako v klasickém případě. Klient dešifruje svá data pomocí svého klíče v kombinaci s posloupností kvantových operací.

### Použitá technologie:

Fotonové qubity

### Technické detaily:

Protokoly byly implementovány pomocí specifických polarizačních svazkových děličů, které slouží k provádění kvantových operací na qubitu. Pomocí každého qubitu byla reprezentována část vstupních dat, které byly zašifrovány.

### Výsledky:

Protokol umožňuje serveru provádět libovolné kvantové operace na šifrovaných datech, aniž by se dozvěděl cokoli o vstupních hodnotách. Protokol vyžaduje méně pomocných qubitů a méně kol klasické komunikace oproti jiným kvantovým homomorfním šifram.

### Reference

### DEFINICE PROBLÉMU:

VÝPOČTY NA ŠIFROVANÝCH KVANTOVÝCH ČI KLASICKÝCH DATECH JSOU KLÍČOVÉ PRO ZAJIŠTĚNÍ SOUKROMÍ A BEZPEČNOSTI V TELEKOMUNIKACI. TENTO PROBLÉM SPOČÍVÁ V UMOŽNĚNÍ PROVÁDĚNÍ LIBOVOLNÝCH KVANTOVÝCH VÝPOČTŮ NA QUBITECH, KTERÉ OBSAHUJÍ ZAŠIFROVANOU INFORMACI, ANIŽ BY NEAUTORIZOVANÁ OSOBA ZÍSKALA JAKÉKOLI INFORMACE O DATECH.

## TELEKOMUNIKACE

## Optimalizace rozvrhů mobilních operátorů

### Řešení:

Kvantové algoritmy byly použity k optimalizaci přiřazení RSI bez konfliktů v rámci rádiového přístupu mobilních sítí.

### Použitá technologie:

Kvantový annealer (D-Wave)

### Technické detaily:

Optimalizace byla provedena s využitím kvantového žihání na D-Wave 2000Q pro řešení *Quadratic Unconstrained Binary Optimization* (QUBO). Bylo porovnáno s klasickými heuristikami, přičemž kvantový přístup prokázal flexibilitu, avšak s variabilní výkonností v závislosti na parametrech problému.

### Výsledky:

Kvantový annealer úspěšně přiřadil RSI bez konfliktů, přičemž ukázal potenciál kvantových výpočtů v automatizaci mobilních sítí.

### Reference

## 06 LOGISTIKA

OBLAST

Logistika se neustále potýká s výzvami spojenými s optimalizací dodavatelského řetězce, plánováním dopravy a správou skladových zásob. Tradiční metody často narážejí na výpočetní limity při řešení složitých kombinatorických problémů, jako je nalezení nejefektivnějších tras v reálném čase či optimální alokace zásob. Kvantové algoritmy nabízejí nové možnosti pro rychlejší a přesnější rozhodování, což vede k efektivnější distribuci, nižším nákladům a lepšímu využití zdrojů. Díky kvantovému počítání mohou logistické společnosti reagovat flexibilněji na dynamické podmínky a zlepšit celkovou efektivitu dodavatelského řetězce.

- Optimalizace dodavatelských řetězců
- Plánování dopravy
- Optimalizace skladových zásob
- Optimalizace propustnosti podzemních vodních toků

LOGISTIKA

### ○ Optimalizace dodavatelského řetězce

#### DEFINICE PROBLÉMU:

OPTIMALIZACE DODAVATELSKÉHO ŘETĚZCE ZAHRNUJE SLOŽITÉ ROZHODOVÁNÍ O DISTRIBUCI, ZÁSOBOVÁNÍ A PLÁNOVÁNÍ DOPRAVY.

#### Řešení:

Kvantové algoritmy pro optimalizaci tras a rozvrhů byly použity k optimalizaci dodavatelského řetězce globálního rozsahu.

#### Použitá technologie:

Kvantový annealer (D-Wave)

#### Technické detaily:

Optimalizace byla provedena s využitím 2 048 qubitů. Algoritmus minimalizoval náklady a čas doručení.

#### Výsledky:

Kvantový annealer dokázal snížit náklady na logistiku a zkrátit dodací lhůty díky nalezení optimálního řešení a nebo mu velmi blízkého. To vedlo k úsporám a efektivnějšímu fungování dodavatelského řetězce.

#### Reference

## LOGISTIKA

### Plánování dopravy

#### Řešení:

Kvantové algoritmy byly použity k dynamickému plánování tras s cílem minimalizovat čas a náklady na dopravu.

#### Použitá technologie:

Supravodivé qubity (IBM Quantum)

#### Technické detaily:

Algoritmus pro plánování tras byl implementován s využitím 16 qubitů. Na jednotlivé qubity byla namapována různá vozidla a jejich trasy. Parametry kvantového obvodu byly optimalizovány pro rychlé rozhodování v reálném čase.

#### Výsledky:

Kvantový algoritmus při větším počtu dat dokázal zlepšit přesnost řešení až o 15 %. V důsledku toho byla snížena doba přepravy a zlepšila se efektivita využití vozidel, což vedlo ke snížení nákladů a emisí.

#### Reference

#### DEFINICE PROBLÉMU:

PLÁNOVÁNÍ DOPRAVY Zahrnuje optimalizaci tras pro přepravu zboží a osob v reálném čase, což je náročné vzhledem k dynamickým podmínkám na silnicích a různým omezením.

## LOGISTIKA

### Optimalizace skladových zásob

#### Řešení:

Kvantové optimalizační algoritmy byly použity k řízení a optimalizaci skladových zásob v reálném čase.

#### Použitá technologie:

Kvantový annealer (D-Wave)

#### Reference

#### Technické detaily:

Optimalizace byla provedena s využitím 2 048 qubitů. Různé parametry skladových zásob a poptávky bylo nutné optimalizovat. Algoritmus minimalizoval náklady na skladování a ztráty z důvodu přebytku nebo nedostatku zásob.

#### Výsledky:

Kvantový annealer dokázal zpracovat až 3,5krát větší množství vstupních dat, což mu umožnilo efektivněji vybrat optimální řešení. Kvantový annealer dokázal lépe snížit náklady na skladování a zlepšil přesnost předpovědi poptávky, což vedlo ke zlepšení řízení zásob a snížení nákladů.



LOGISTIKA

## Optimalizace propustnosti podzemních vodních toků

### DEFINICE PROBLÉMU:

PREDIKCE A ANALÝZA TOKŮ A TRANSPORTNÍCH PROCESŮ V PODZEMNÍCH VODNÍCH PROUDECH PŘI NÁVRHU KANALIZACE. NAPŘÍKLAD URČENÍ PROPUSTNOSTI KANALIZAČNÍ NÁDRŽE NA ZÁKLADĚ POZOROVATELNÝCH VELIČIN, JAKO JE HYDRAULICKÁ VÝŠKA.

### Řešení:

Minimalizace rozdílu mezi pozorovanou a předpovídanou hodnotou veličiny pomocí kvantových optimalizačních algoritmů.

### Použitá technologie:

Kvantový annealer (D-Wave)

### Reference

### Technické detaily:

Optimalizace byla provedena za pomoci 1 095 qubitů. V rámci simulace se optimalizovaly jednotlivé veličiny vodního toku. Získání 10 000 vzorků trvalo kvantovému annealeru 0,2 sekundy.

### Výsledky:

Kvantový annealer (D-Wave) výkonnostně překonal klasický řešič Gurobi. U první sledované veličiny bylo optimálních výsledků dosaženo vždy. U druhé se dosáhlo optima v 90 % případů. Kvantový annealer je schopen řešit složitější hydrologické problémy mnohem rychleji než Gurobi – ve většině případů byl kvantový annealer rychlejší. V některých případech klasický přístup vůbec nedokázal nalézt optimální výsledek.

## 07 CHEMICKÝ PRŮMYSL

### OBLAST

Chemický průmysl se spoléhá na pokročilé simulace pro optimalizaci katalytických procesů, vývoj nových materiálů a modelování chemických reakcí. Tradiční výpočetní metody často narážejí na limity při simulaci kvantových vlastností elektronů v materiálech, což zpomaluje inovace. Kvantové počítání umožňuje rychlejší a přesnější analýzu katalyzátorů, efektivnější návrh nových sloučenin a optimalizaci výrobních procesů. Díky schopnosti simulovat složité molekulární interakce na dosud nevídané úrovni detailu může kvantové počítání urychlit objev nových materiálů a chemických technologií s vyšší účinností a nižšími náklady.

- Simulace katalytických procesů
- Vývoj nových materiálů
- Simulace chemických reakcí

### CHEMICKÝ PRŮMYSL

## ○ Simulace katalytických procesů

### DEFINICE PROBLÉMU:

KATALYTICKÉ PROCESY JSOU KLÍČOVÉ V MNOHA CHEMICKÝCH VÝROBÁCH A JEJICH SIMULACE JE DŮLEŽITÁ PRO OPTIMALIZACI ÚČINNOSTI A VÝBĚR VHODNÝCH KATALYZÁTORŮ.

### Řešení:

Kvantové simulace molekulárních interakcí byly použity k přesnému modelování katalytických reakcí na molekulární úrovni.

### Použitá technologie:

Supravodivé qubity (IBM Quantum) a iontové pastě (simulátor)

### Technické detaily:

Autoři v simulaci modelovali elektronové stavy katalyzátoru a reaktantů s využitím 10 až 100 qubitů. Parametry kvantového obvodu byly optimalizovány pro simulaci kvantových chemických interakcí.

### Výsledky:

Kvantové simulace umožnily identifikovat efektivnější katalyzátory, čímž se zvýšila účinnost katalytického procesu v závislosti na velikosti simulace.

[Reference 1](#) | [Reference 2](#)

## ○ Vývoj nových materiálů

### Řešení:

Kvantové a hybridní výpočty byly použity k simulaci elektronických vlastností nových materiálů s vysokou přesností. Využití kvantových výpočtů na oblastech, kde jsou přítomny silně korelované elektrony.

### Použitá technologie:

Supravodivé qubity (IBM Quantum)

### Technické detaily:

Simulace byly provedeny s použitím 4 qubitů, které modelovaly elektronovou strukturu navrhovaných materiálů (4 elektrony v 6 spinových orbitalech). Došlo zde k aplikaci kvantové Fourierovy transformace a následné optimalizaci kvantových obvodů.

### Výsledky:

Kvantové simulace umožnily rychlejší vývoj materiálů s požadovanými vlastnostmi, čímž se zkrátil čas potřebný k jejich uvedení na trh. Oproti klasickým algoritmům bylo také dosaženo daleko nižší spotřeby elektrické energie.

[Reference](#)

### DEFINICE PROBLÉMU:

VÝVOJ NOVÝCH MATERIÁLŮ, ZEJMÉNA TĚCH S UNIKÁTNÍMI VLASTNOSTMI, JE VÝPOČETNĚ VELMI NÁROČNÝ PROCES, KTERÝ ZAHRNUJE SIMULACI KVANTOVÝCH VLASTNOSTÍ ELEKTRONŮ V MATERIÁLECH.

## ○ Simulace chemických reakcí

### Řešení:

Kvantové simulace byly použity k modelování složitých chemických reakcí, což vedlo k hlubšímu porozumění a optimalizaci procesů.

### Použitá technologie:

NMR spektroskopie (simulátor) a iontové pasti (IonQ)

[Reference 1](#) | [Reference 2](#)

### Technické detaily:

Reakce byly simulovány na 3 qubitech, na které autoři namapovali interakce mezi reaktanty (izomerizaci molekul). Qubity vyjadřují jednotlivé části chemické reakce. Kvantové algoritmy zahrnovaly simulace kvantových stavů a kvantovou dynamiku. V druhém obdobném experimentu byla využita technologie loutkové pasti pro simulaci dynamiky vodíkové vazby a vibračních spekter.

### Výsledky:

Výsledky optimalizace byly na 95,7 % shodné s teoretickým optímem. Kvantové simulace umožnily lepší a rychlejší optimalizaci chemických reakcí, což vedlo k přesnějším výsledkům optimalizace a snížení energetické náročnosti procesů.

## 08 | OBLAST Výrobní průmysl

Výrobní průmysl čelí stále složitějším výzvám v oblasti optimalizace časových rozvrhů, plánování výroby a řízení zásob. Tradiční metody často narážejí na výpočetní limity při hledání optimálních řešení v rozsáhlých datových souborech. Kvantové počítání nabízí nové možnosti v prediktivní údržbě, kde umožňuje přesnější analýzu dat a včasnou detekci poruch, čímž snižuje neplánované odstávky. Také může zlepšit efektivitu logistických operací optimalizací dodávek a distribuce. Díky rychlejšímu zpracování složitých výpočtů může kvantové počítání výrazně zvýšit produktivitu a konkurenceschopnost výrobních podniků.

- ◊ Optimalizace výrobních procesů
- ◊ Prediktivní údržba
- ◊ Optimalizace logistických operací

### VÝROBNÍ PRŮMYSL

## ◊ Optimalizace výrobních procesů

#### DEFINICE PROBLÉMU:

VÝROBNÍ PROCESY V RŮZNÝCH ODVĚTVÍCH VYŽADUJÍ OPTIMALIZACI ČASOVÝCH ROZVRHŮ, ŘÍZENÍ ZÁSOB A PLÁNOVÁNÍ VÝROBY.

#### Řešení:

Kvantové optimalizační algoritmy byly aplikovány na plánování a řízení výrobních procesů, což vedlo k efektivnější výrobě.

#### Použitá technologie:

Kvantový annealer (D-Wave)

#### Reference

#### Technické detaily:

V rámci experimentu autoři modelovali různé části procesu výroby oceli a optimalizace byla provedena za pomoci 2 000 qubitů. Algoritmus minimalizoval časové prodlevy a maximalizoval využití výrobních kapacit.

#### Výsledky:

V konkrétním případě bylo za pomoci kvantového annealeru možné pracovat s většími instancemi problému plánování výrobního procesu oceli (zvětšení o 60 %). Kvantový annealer poskytl optimální posloupnost a konfiguraci procesů v krátkém čase. Důsledkem toho je možné zlepšení efektivity výroby a snížení nákladů výroby.

## ○ Prediktivní údržba

### Řešení:

Kvantové algoritmy byly použity k analýze dat ze senzorů a predikci možných poruch v zařízeních.

### Použitá technologie:

Supravodivé qubity (IBM Quantum)

### Technické detaily:

Modelovaly se různé parametry zařízení a analýza byla provedena na 7 a 27 qubitech. Kvantové operace zahrnovaly kvantové klasifikace a prediktivní modely.

### Výsledky:

Kvantové algoritmy zlepšily přesnost predikce poruch o 67,8 % a snížily náklady na údržbu, což vedlo k vyšší spolehlivosti zařízení.

### Reference

### DEFINICE PROBLÉMU:

PREDIKTIVNÍ ÚDRŽBA VÝROBNÍCH ZAŘÍZENÍ ZAHRNUJE ANALÝZU DAT A PREDIKCI PORUCH, ABY BYLO MOŽNÉ PROVÉST ÚDRŽBU VČAS.

## ○ Optimalizace logistických operací

### Řešení:

Kvantové algoritmy byly použity k optimalizaci logistických operací včetně plánování tras a řízení zásob.

### Použitá technologie:

Kvantový annealer (D-Wave)

### Reference

### Technické detaily:

Optimalizace byla provedena s využitím 2 000 qubitů. V rámci optimalizace se modelovaly různé logistické operace. Algoritmus minimalizoval náklady a čas doručení.

### Výsledky:

Kvantový annealer byl schopen zlepšit originální systém vychystávání komponentů ve skladu. Díky získané optimální kombinaci komponentů byla zkrácena doba přepravy a průměrná vzdálenost k získání komponentů se zkrátala o 20 %. Kvantový annealer také navrhl optimální lokaci uložení komponentů, tak aby se minimalizovala vzdálenost k výrobní lince. Návrh těchto optimálních lokací v důsledku snížil vzdálenosti v průměru o 45 % a zvýšil efektivitu výroby.

## 09 Zdravotnictví

OBLAST

Zdravotnictví generuje obrovské množství dat, jejichž efektivní analýza je klíčová pro diagnostiku, personalizovanou medicínu i výzkum nemocí. Kvantové počítání může zásadně urychlit zpracování zdravotnických dat, což umožní přesnější a rychlejší diagnostiku onemocnění. V personalizované medicíně pomůže analyzovat genetická data a predikovat individuální reakci pacienta na léčbu. Při modelování neurodegenerativních onemocnění umožní detailnější simulace mozkových procesů, což přispěje k lepšímu pochopení a vývoji nových terapií. Díky těmto schopnostem může kvantové počítání přinést revoluci v medicíně a zlepšit péči o pacienty.

- Diagnostika onemocnění
- Personalizovaná medicína
- Modelování neurodegenerativních onemocnění

### ZDRAVOTNICTVÍ

## ○ Diagnostika onemocnění

#### DEFINICE PROBLÉMU:

DIAGNOSTIKA ONEMOCNĚNÍ VYŽADUJE ANALÝZU VELKÉHO MNOŽSTVÍ ZDRAVOTNICKÝCH DAT, ABY BYLO MOŽNÉ PŘESNĚ IDENTIFIKOVAT ZDRAVNÍ PROBLÉMY A NAVRHNOUT VHODNOU LÉČBU.

#### Řešení:

Kvantové algoritmy pro strojové učení byly použity k analýze zdravotnických dat a ke zlepšení přesnosti diagnostiky onemocnění.

#### Použitá technologie:

Supravodivé qubity (IBM Quantum) a iontové pasti (IonQ)

[Reference 1](#) | [Reference 2](#)

#### Technické detaily:

Algoritmus pro diagnostiku, zda pacient trpí srdeční chorobou, byl implementován až s pomocí 5 qubitů. Na jednotlivé qubity byly namapovány různé biologické markery. Kvantové operace zahrnovaly kvantové klasifikace a optimalizaci diagnostických rozhodnutí.

#### Výsledky:

Kvantový algoritmus zlepšil přesnost diagnostiky o 5 % a zkrátil čas potřebný pro analýzu dat, což vedlo k rychlejšímu a přesnějšímu stanovení diagnózy.

ZDRAVOTNICTVÍ

## Personalizovaná medicína

### Řešení:

Kvantové algoritmy byly použity k analýze genetických dat a optimalizaci personalizovaných léčebných plánů.

### Použitá technologie:

Supravodivé qubity (IBM Quantum)

### Technické detaily:

Analýza byla provedena s 8 qubity. Na tyto qubity byly namapovány různé genetické markery a odpovědi na léčbu. Kvantové operace zahrnovaly kvantové simulace a optimalizaci léčebných plánů.

### Výsledky:

Kvantové algoritmy zlepšily přesnost predikce účinků léků u pacientů léčících se z rakoviny o 15 %. Důsledkem toho se snížila míra vedlejších účinků léků, což vedlo k lepšímu přizpůsobení léčby pacientům.

### Reference

### DEFINICE PROBLÉMU:

PERSONALIZOVANÁ MEDICÍNA VYŽADUJE ANALÝZU GENETICKÝCH DAT A PREDIKCI INDIVIDUÁLNÍ REAKCE NA LÉČBU.

ZDRAVOTNICTVÍ

## Modelování neurodegenerativních onemocnění

### Řešení:

Kvantové simulace byly použity k modelování a analýze neurodegenerativních procesů, jako je Alzheimerova a Parkinsonova choroba.

### Použitá technologie:

IBM Quantum simulátor

### Reference

### Technické detaily:

Modelování bylo provedeno s pomocí 4 qubitů, na které byly zakódovány různé aspekty neurodegenerativních procesů. Kvantové algoritmy zahrnovaly simulace mozkových interakcí a kvantovou dynamiku pomocí hybridních přístupů strojového učení.

### Výsledky:

Kvantové simulace umožnily lepší pochopení neurodegenerativních procesů a také jejich rychlou diagnózu. Kvantové algoritmy dosahovaly přesnosti lepší o 5 % oproti klasickým algoritmům, což vedlo k identifikaci nových terapeutických cílů a zlepšení léčebných strategií.

## Kvantový počítač VLQ Technologický stav a vývoj kvantových počítačů

Technologický vývoj kvantových počítačů přináší nové možnosti ve výpočetním výkonu a otevírá cestu k řešení složitých úloh. Přestože kvantová výhoda je zatím dokázána jen pro specifické problémy, ukazuje značný potenciál pro urychlení některých výpočtů. Významným krokem vpřed je také hybridní počítání, které kombinuje sílu kvantových i klasických systémů a nabízí tak efektivnější přístup k náročným výpočetním úlohám.



## 01 | Kvantová výhoda

Kvantová výhoda označuje situaci, kdy kvantový počítač dokáže řešit určité problémy výrazně rychleji než nejlepší klasické algoritmy. Tento fenomén byl experimentálně prokázán v několika případech, například při řešení specifických optimalizačních problémů nebo simulacích kvantových systémů, které by pro klasické počítače byly extrémně náročné. Kvantová výhoda může tedy nabídnout výrazné zrychlení výpočtů, které jsou dnes pro klasické metody výpočetně neřešitelné nebo velmi náročné.

**Přednosti** kvantové výhody zahrnují rychlejší a efektivnější řešení určitých specifických úloh, které jsou pro klasické počítače výpočetně limitující, například v oblasti optimalizace a simulací. Na druhé straně kvantová výhoda zatím byla prokázána pouze u omezeného počtu úloh a její širší aplikace čelí významným technologickým a praktickým výzvám, jako je stabilita kvantových bitů a potřeba pokročilých algoritmů pro efektivní využití kvantových počítačů.

## 02 | Hybridní počítání

Hybridní počítání kombinuje výhody kvantových a klasických počítačů, což umožňuje využít silné stránky obou typů výpočtu. V tomto přístupu jsou určité části problému efektivně řešeny kvantovým počítačem, zatímco jiné, pro které je klasický počítač výhodnější, jsou zpracovány pomocí klasických metod. Tento přístup umožňuje využít kvantovou výhodu pro specifické úlohy, jako jsou optimalizace nebo simulace, a zároveň zajišťuje robustnost a efektivitu díky klasickým počítačům, které se starají o běžnější výpočty.

**Mezi hlavní výhody** hybridního počítání patří možnost využít kvantovou výhodu pro konkrétní úlohy, flexibilita při volbě optimálního výpočetního prostředí a robustnost klasických počítačů, které zvládají úkoly, kde kvantové počítače nejsou ještě plně efektivní. Na druhé straně však tento přístup čelí některým nevýhodám, jako je složitost integrace kvantových a klasických systémů, která může vést k technickým výzvám, a také potřeba pečlivé optimalizace rozdělení úloh mezi kvantovou a klasickou část, což může být náročné na návrh a implementaci.

## 03 Energetická efektivita kvantových výpočtů

Kvantové počítače mají potenciál být energeticky efektivnější než klasické počítače, zejména při řešení výpočetně náročných úloh. Díky schopnosti paralelního zpracování informací mohou kvantové počítače dosáhnout efektivnějšího řešení, které vyžaduje méně energie než tradiční metody. Tato vlastnost může být klíčová pro optimalizaci výpočtů v oblastech jako jsou simulace komplexních systémů nebo hledání optimálních řešení v rozsáhlých problémech.

**Mezi hlavní výhody** kvantových počítačů patří nižší energetická spotřeba při řešení specifických úloh a potenciální snížení nákladů na energii při rozsáhlých výpočtech. Na druhé straně však existují i nevýhody, jako jsou vysoké nároky na chlazení a izolaci kvantových systémů, které mohou v některých aplikacích vést k vyšší celkové energetické náročnosti než u klasických počítačů.

Kvantové počítače jsou stále ve fázi aktivního vývoje, přičemž existuje několik různých přístupů ke konstrukci kvantových procesorů. Každá technologie má své specifické výhody a nevýhody, jejichž zvážení je nezbytné pro výběr vhodného přístupu.

## 04 Supravodivé qubity

Supravodivé qubity jsou jedním z nejrozšířenějších typů kvantových bitů a tvoří základ mnoha současných kvantových počítačů. Využívají Josephsonovy přechody k vytváření kvantových stavů jako superpozic různých energetických hladin v supravodivých obvodech, které mohou být velmi rychle manipulovány pomocí mikrovlnných pulzů.

**Výhody:** Vysoká rychlost operací, relativně vyspělá technologie s pokročilou výrobní infrastrukturou.

**Nevýhody:** Relativně krátké koherenční časy, vysoké nároky na chlazení a izolaci od okolního prostředí.

## 05 Iontové pasti

Iontové pasti využívají jednotlivé ionty jako qubity, které jsou uchovávány v elektromagnetických polích a manipulovány pomocí laserových pulzů. Kvantová informace je zakódována v jejich elektronických nebo vibračních stavech. Tento přístup nabízí velmi dlouhé koherenční časy a vysokou přesnost operací.

**Výhody:** Dlouhé koherenční časy, vysoká fidelita operací, možnost jednoduchého propojení více qubitů.

**Nevýhody:** Pomalejší operace ve srovnání se supra-  
vodivými qubity, složitost a náklady na laserové systémy.

## 06 Fotonové qubity

Fotonické kvantové počítače využívají jednotlivé částice světla, známé jako foton, jako qubit. Kvantová informace v nich může být zakódována mnoha způsoby, včetně polarizace fotonů (horizontální nebo vertikální) nebo v jejich způsobu pohybu.

**Výhody:** Kvůli omezeným interakcím s prostředím jsou fotony přirozeně odolné vůči určitým typům zdrojů kvantového šumu. Fotony mohou cestovat na velké vzdálenosti po stávajících kabelech z optických vláken a spojovat kvantové počítače rychlostí světla přes budoucí kvantové sítě.

**Nevýhody:** Fotony se mohou ztrácet v tak velkém počtu, že vyžadují kvantovou korekci chyb (QEC), aby výsledky měření byly vůbec použitelné. Ačkoli se provozují při pokojové teplotě, určité součásti fotonických kvantových počítačů vyžadují objemné kryogenní vybavení.

## 07 | Neutrální atomy

Kvantový počítač s neutrálními atomy je typ kvantového počítače postaveného z tzv. Rydbergových atomů. Tento typ má mnoho společného s kvantovými počítači s chycenými ionty. Atomy jsou zachyceny v magneto-optických pastech. Kvantový stav takto vzniklých qubitů je pak zakódován v energetických hladinách atomů. Inicializace a provoz počítače se provádí působením laserů na tyto qubity.

**Výhody:** Jednou z nejdůležitějších výhod neutrálních atomů je dobrá škálovatelnost ve srovnání s jinými platformami, jako jsou iontové pasti, ale také supravodivé qubity. Již dnes jsou k dispozici zařízení se 100 a více qubity, které lze pomocí jediné pasti nebo mřížky škálovat až na několik tisíc qubitů.

**Nevýhody:** Jednou z nevýhod této technologie je, že operace s kvantovými branami jsou pomalejší než u supravodivých qubitů. Důvodem je fyzický pohyb qubitů (qubit shuttling), který je nutný jak při počátečním nastavení systému, tak při vzájemném přiblížování qubitů, aby mohly být provázány.



## 08 | Spinové qubity

Kvantový počítač se spinovými qubity je založen na využití spinu nosičů náboje (elektronů a děr) v polovodiči pro realizaci kvantových stavů qubitů. Implementace mohou být různé, ale typicky jsou v těchto polovodičových substrátech mikroskopické jamky (známé jako kvantové tečky) a nad každou jamkou je pak hradlová elektroda tranzistoru. Spiny jednoho nebo více elektronů v jamce jsou pak ovládány pomocí napětí na hradlu tranzistoru.

**Výhody:** Relativně dlouhé koherenční časy, díky použití technologie výroby polovodičů jsou relativně levné, jejich velikost umožní mít obrovské množství qubitů na jednom čipu, pracují při relativně vysokých teplotách, což snižuje provozní náklady a vysoké rychlosti kvantových bran umožňují provedení více operací v rámci koherenčních časů.

**Nevýhody:** Nábojový šum, který je způsoben elektrostatickými výkyvy, nestabilita v celém rozsahu teplot, náročná integrace s klasickou řídicí elektronikou.

## 09 | Kvantové annealery

Kvantové annealery, jako je D-Wave, jsou speciálním typem kvantového počítače, který je navržen k řešení optimalizačních problémů. Na rozdíl od univerzálních kvantových počítačů jsou kvantové annealery omezeny na specifické úlohy, ale mohou být velmi efektivní v jejich řešení.

**Výhody:** Schopnost řešit velké optimalizační problémy, relativně nízké nároky na koherenční časy.

**Nevýhody:** Omezená univerzalita, závislost na kvalitě propojení mezi qubity.

## 10 | Budoucí vývoj

V budoucnosti se očekává další zlepšení ve všech těchto oblastech, přičemž výzkum se zaměřuje na zlepšení koherenčních časů, zvýšení počtu qubitů a zlepšení spolehlivosti kvantových operací. Rovněž se očekává vývoj hybridních systémů, které kombinují různé kvantové technologie pro dosažení lepších výsledků v široké škále aplikací.

V následujících letech se očekává přechod do období označovaného jako Quantum Utility (podle IQM 2026 – 2028), na který bude navazovat přechod do finální fáze Quantum Advantage (podle IQM 2030+). Z pohledu budoucího vývoje je nezbytné sledovat nejen počet logických a fyzických qubitů, ale především přesnost vyvíjených kvantových počítačů a dobu, po kterou jsou schopny provádět výpočty bez chyb. Tyto faktory mají zásadní dopad na praktickou využitelnost kvantových technologií.

#### Poštovní adresa

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
17. listopadu 2172/15  
708 00 Ostrava  
E-mail [info@it4i.cz](mailto:info@it4i.cz)  
Tel. +420 597 329 500

#### Adresa

IT4Innovations  
národní superpočítačové centrum  
Studentská 6231/1b  
708 00 Ostrava



**EuroHPC**  
Joint Undertaking

Tato publikace byla podpořena projektem EUROCC2. Tento projekt je financován Evropskou unií a získal finanční prostředky z Evropského společného podniku pro vysoce výkonné počítání a z fondů Německa, Bulharska, Rakouska, Chorvatska, Kypru, České republiky, Dánska, Estonska, Finska, Řecka, Maďarska, Irska, Itálie, Litvy, Lotyšska, Polska, Portugalska, Rumunska, Slovinska, Španělska, Švédsko, Francie, Nizozemska, Belgie, Lucemburska, Slovenska, Norska, Turecka, Republiky Severní Makedonie, Islandu, Černé Hory a Srbska na základě grantové dohody č. 101101903. Projekt EuroCC2 získal finanční prostředky z Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky (ID: MC2301).