Bentax Plus Kft.
https://www.bentaxplus.hu

NÉPSZERŰ KIVONAT

Kvantumtechnológia a közösségi közlekedésben

Felhasználások a világban és Magyarországon

Dátum: 2026.10.25.

Nyilvános

Kvantumtechnológia a közösségi közlekedésben

Felhasználások a világban és Magyarországon

A kvantumszámítás és a kvantuminspirált megoldók a közösségi közlekedésben már valós feladatokon és valós adatokon dolgoznak: egy londoni pályaudvar csúcsforgalmán, egy japán vasúttársaság személyzeti beosztásán és kilenc lisszaboni buszon. Ahol pontos klasszikus megoldóval is összevetették őket, a megoldás minőségében egyszer sem bizonyultak jobbnak, a kísérletek tapasztalata azonban sokféleképpen hasznosítható. Magyarországon a feladatok, a tervezőrendszerek és a kutatói tudás is megvan hozzá.

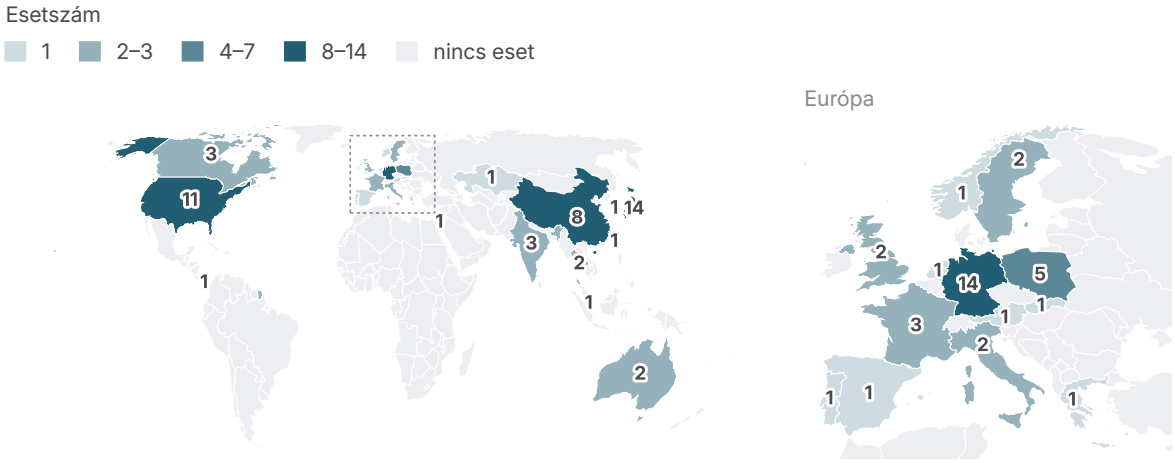
Egy brit kísérlet feladata az volt, hogy a London Bridge pályaudvar 15 peronos vágányhálózatán 18 perces időablakban 26 vonatnak jelöljön ki vágányutat úgy, hogy a vonatok ne ütközzenek. A feladatot a Network Rail pályahálózat-működtető és a brit Közlekedési Minisztérium egy kormányzati innovációs verseny keretében adta át a Q-CTRL kvantumszoftvercégnek. A valós adatokból felírt feladat 103 qubitet igényelt; a qubit a kvantumszámítógép alapegysége, a hagyományos bit kvantumos megfelelője. A számítás 2025-ben az IBM kvantumszámítógépén futott, és megtalálta a 26 vonat optimális vágányútját. A Network Rail vezető mérnöke az eredményt „kellemes meglepetésként” értékelte.

Az eredményből mégsem következik, hogy a kvantumszámítógép ma jobban tervezné a pályaudvari forgalmat a klasszikus eszközöknél. A cég a megoldását véletlen mintavételhez és mohó kereséshez hasonlította, pontos klasszikus megoldóhoz nem. A nyílt forráskódú CBC megoldó egy rokon, bár eltérő szerkezetű feladat, a lengyel egyvágányú vonalak újraütemezése hasonló méretű példányait három századmásodperc alatt optimálisan megoldotta. A londoni kísérlet értéke inkább az, hogy a valós üzemi feladat olyan matematikai alakot kapott, amelyet kvantumszámítógép, kvantuminspirált hardver és klasszikus megoldó egyaránt fogad, így a technológia fejlődésével újra lefuttatható és összevethető.

Kilencven eset, tizenkettő valós környezetben igazolva

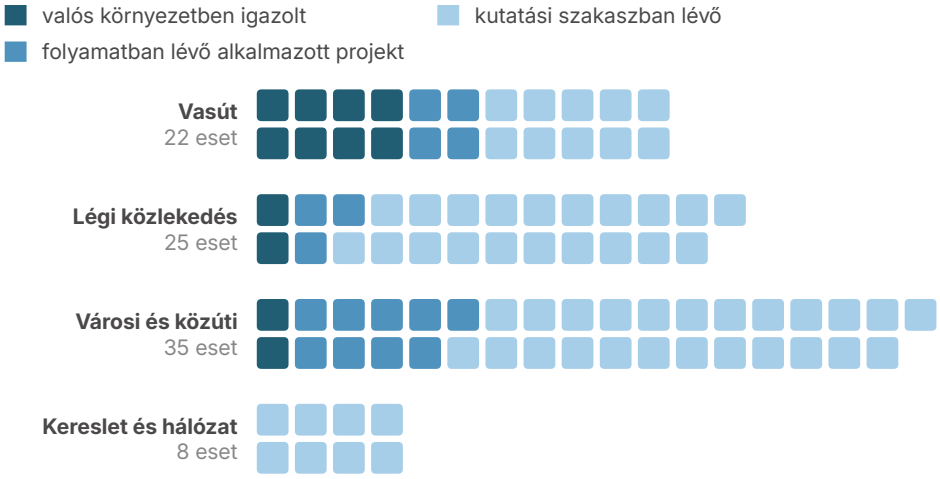
2017 óta 90 olyan közösségi közlekedési eset vált nyilvánossá, amely kvantumszámítás vagy kvantuminspirált megoldó alkalmazását vizsgálta, tervezte vagy bejelentette. A közlések száma 2021-ben ugrott meg, 2025-ben és 2026 első tíz hónapjában pedig 15-15 új eset jelent meg. A kísérletek néhány országban sűrűsödnek (1. ábra): Németországhoz és Japánhoz 14-14, az Egyesült Államokhoz 11, Kínához 8 eset köthető. Európában Németország után Lengyelország következik öt vasúti esettel. Magyarországi üzemeltetővel vagy magyar adatokon készült eset nincs a listában, a lengyelországi esetek közül négyben azonban a budapesti Wigner FK is részt vett.

Tizenkét eset valós környezetben igazolt, szigorúbb besorolással kilenc lehet. További 16 folyamatban lévő alkalmazott projekt még nem közölt eredményt, a többi kutatási szakaszban van. A valós környezetben igazolt esetek többsége vasúti: ezek jórészt vasúttársaságok vagy pályahálózat-működtetők közreműködésével, illetve hivatalos menetrendi adatokon készültek. A légi és a városi közlekedés esetei zömmel még kutatások (2. ábra).



1. ábra. Hol kísérleteznek? A közösségi közlekedési kvantumszámítási és kvantuminspirált esetek száma országonként, jobbra Európa nagyítva. Az esetek Németországban, Japánban, az Egyesült Államokban és Kínában sűrűsödnek.

Forrás: Bentax Plus Kft. (2026), a tanulmány esetlistája (90 eset). Több ország esetén az első helyen megnevezett ország számít; hat, országhoz nem köthető eset nem szerepel. Térképi alap: Natural Earth.



2. ábra. Egy négyzet egy eset. A sötét, valós környezetben igazolt esetek zöme a vasúti sorban van, a légi és a városi közlekedésben a kutatási szakasz van túlsúlyban.

Forrás: Bentax Plus Kft. (2026), a tanulmány esetlistája és saját besorolása.

A „kvantum” jelző több, lényegesen eltérő technológiát takar. A D-Wave gépei a *quantum annealing* elvén működnek, amely a szimulált hűtés kvantumos megfelelője: a gép a lehetséges állapotok közül a legkisebb „energiájút”, vagyis a legjobb megoldást közelítőleg keresi. A kvantuminspirált megoldók, például a Hitachi *CMOS annealing* megoldása vagy a Fujitsu *Digital Annealer* rendszere, kvantumfizikai elvekből indulnak ki, de hagyományos félvezető hardveren futnak, és ma kereskedelmi szolgáltatásként elérhetők. Közös bennük a bemenet, a feladat bináris modellje (QUBO), amelyben minden döntés eldöntendő kérdés (igen vagy nem), a szabályok megsértése pedig büntetőtagként rontja a megoldás értékét.

Mérkőzés a klasszikus megoldóval

Ahol a kvantumos eljárást pontos klasszikus megoldóval is összevetették, a kvantumos oldal a megoldás minőségében egyszer sem volt jobb. A felső-sziléziai elővárosi hálózaton, 27 vonattal végzett újraütemezésnél a D-Wave hibrid megoldója a kisebb hálózatokon megtalálta az optimumot, a nagyobbakon viszont 5–72%-kal rosszabb eredményt ért el a klasszikus CPLEX optimumánál. A Deutsche Bahn egyik járműforduló-kísérletében a korlátozásprogramozás a legkisebb példány kivételével valamivel több menetet fedett le, egy másikban az IQM gépén futó hibrid algoritmus és egy egyszerű mohó algoritmus közötti különbség a szerzők szerint „elhanyagolhatónak tűnik”.

Élő üzemben is volt próba. 2019 novemberében a Volkswagen a lisszaboni Carris közlekedési vállalattal négy napig kilenc buszt irányított; az útvonalakat a D-Wave hibrid megoldója néhány másodperc alatt számolta. Ez ma is az egyetlen nyilvános eset, amelyben kvantumprocesszor utasokat szállító buszok irányításában vett részt. Klasszikus összevetés nem készült, a kísérlet mégis megmutatta, hogy a keresleti modell, az optimalizálás és a járművezetői alkalmazás egy élő szolgáltatásban összekapcsolható.

Az üzemhez két alkalmazás jutott a legközelebb. A japán Nankai vasúttársaság a Hitachi kvantuminspirált megoldójára épülő rendszert épít a naponta több száz vonat mozdonyvezetőinek és vonatkísérőinek beosztására. A vállalatok 2026. júliusi közlése szerint a 2025-ös üzleti évi hatásvizsgálatban a személyzeti beosztás több hónapos kézi munkája kb. egy hétre, az egyhavi járműforduló-terv kb. 20 napos munkája néhány napra rövidíthetőnek bizonyult. A rendszer a 2027-es üzleti évben állhat üzembe. A nyereséget a kézi tervezéshez mérték, korszerű matematikai programozási megoldóhoz nem. A másik a Japan Airlines kvantumszámítási technológiaként bemutatott, nem közölt módszerrel működő karbantartás-tervező eszköze, amely a légitársaság közlése szerint 2026 márciusában állt üzembe.

A nyereség jelentős része így a feladat matematikai megfogalmazásából és a tervezés automatizálásából eredhet, ahogy a klasszikus operációkutatásban is. A holland vasút 2006-ban ilyen módszerekkel szerkesztette újra országos menetrendjét és beosztásait, és a vállalat becslése szerint az új beosztások és a növekvő utasszám együtt évi kb. 40 millió eurós többletnyereséget hoztak.

SZÁMOKBAN

90 közösségi közlekedési kvantumszámítási és kvantuminspirált eset 2017 és 2026 között

12 közülük valós környezetben igazolt: üzemi alkalmazás vagy valós üzemeltetői adatokon végzett, dokumentált kísérlet

kb. 1 hét a Nankai vasút személyzeti beosztása a korábbi több hónap helyett, a hatásvizsgálat szerint (vállalati közlés)

87–811 járat a BKV ütemező rendszerének közölt valós példányaiban

2035 az uniós ütemterv céldátuma a lehető legtöbb rendszer posztkvantum-átállására

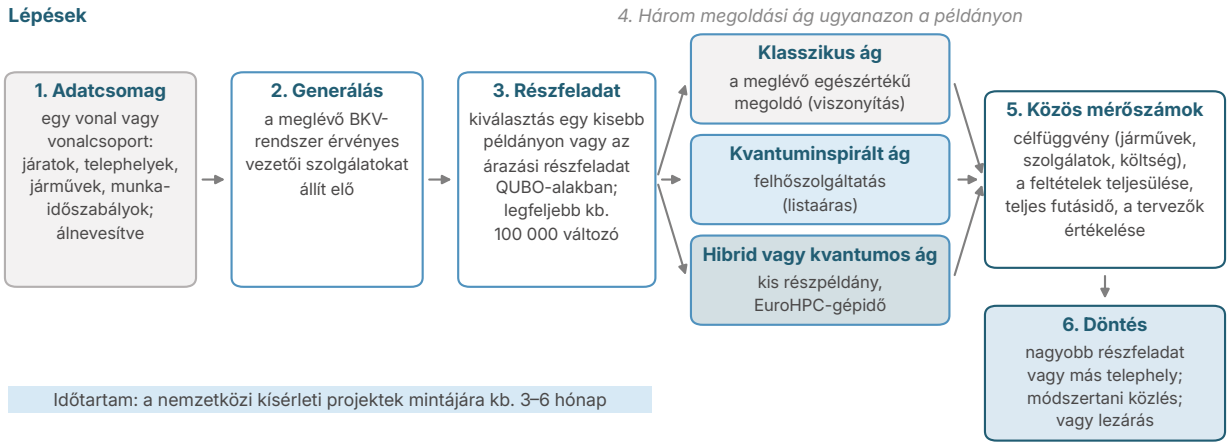
A hardver közben gyorsan fejlődik. A gyártók 2028 és 2030 közé teszik az első hibatűrő, vagyis hosszú számításokat is hibajavítással végző gépeket. A brit Közlekedési Minisztérium által kiadott jelentés a kvantumelőnyt adó hibatűrő gépeket kb. 2035-től várja. A tanulmány szerint a nagy közlekedési tervezési feladatok kvantumos megoldása a gyártói ütemtervek teljesülése esetén is legkorábban a 2030-as évek elején vagy közepén válhat vizsgálhatóvá. A kvantumnavigáció repülési próbákig jutott: a DIU és a Honeywell közlése szerint egy Embraer 170-es utasszállító típusú gép 2026 nyarán

mágneses anomáliákra épülő navigációval 4 óra 23 percig repült GPS nélkül. Konkrét céldátumokhoz a posztkvantum-kriptográfia kötődik, vagyis a kvantumszámítógépes támadással szemben is ellenálló, klasszikus gépen futó nyilvános kulcsú eljárások (kulcscsere, aláírás): az uniós ütemterv 2026 végére az átállás megkezdését, 2035 végére a lehető legtöbb rendszer átállítását ajánlja.

Itthoni feladatok, itthoni tudás

Magyarországon közlekedési kvantumprojektről nincs nyilvános adat, a nemzetközi kísérletek feladatai azonban itthon is megvannak, egy részük pedig klasszikus optimalizálásra épülő rendszerben fut. A legközvetlenebb kapcsolódási pont a BKV. Autóbuszos jármű- és járművezető-ütemezését a 2020-as és a 2023-as közlemények szerint egy döntéstámogató rendszer segíti, amelyet a Szegedi Tudományegyetem és az Óbudai Egyetem kutatói fejlesztettek, és a vállalati információs rendszerbe illeszkedik; mai használati köre nem ismert. A 20 közölt valós autóbuszpéldány 87–811 járatot tartalmazott, háromnegyedük optimálisan megoldódott. A vizsgált nemzetközi esetek egyike sem old meg integrált jármű- és járművezető-ütemezést, a BKV-rendszer igen, és erős klasszikus viszonyítási alapot ad, amely sok külföldi kísérletből hiányzott.

A vasúton a MÁV-START (ma MÁV Személyszállítási Zrt.) az IVU szállítói közlései szerint 2008-tól az IVU.rail rendszerrel tervezte járműveit és mozdonyvezetőit, 2016-tól a jegyvizsgálókat is; a kapcsolat 2022-ig igazolható, a rendszer mai használatáról nincs nyilvános adat. A 2026-ban létrehozott OKK Országos Közlekedési Központ Zrt. a közszolgáltatások megrendeléséért, az egységes, országos ütemes menetrendért, a csatlakozásokért és a tarifarendszerért, a Magyar Vonatflotta Zrt. a vasúti járműállományért felel.



3. ábra. Egy lehetséges hazai mintakísérlet. A BKV meglévő rendszere adja a feladatot és a klasszikus viszonyítási alapot, a részfeladat három megoldási ágon fut, a folytatásról közös mérőszámok alapján születik döntés.

Forrás: Bentax Plus Kft. (2026), a tanulmány 11.1. pontja; saját szerkesztés a BKV ütemező rendszeréről szóló közlemények alapján.

A kvantumos modellezéshez szükséges tudás is megvan itthon. A Wigner FK kutatója, Koniorczyk Mátyás társszerzője a lengyelországi egyvágányú és felső-sziléziai vasúti kvantumkísérleteknek, a Delta Air Lines és az IBM beszállókapu-kiosztási kísérlete pedig magyar kutatók qubittakarékos kódolására épült. A tudás a kutatóknál, a tervezőrendszerek és az adatok a szolgáltatóknál vannak meg; a kettőt összekötő közös projektről nincs nyilvános adat. A MÁV Személyszállítási Zrt. Volán-ágának kb. 5800 autóbusza (2025) mintegy 40–650-szerese a nemzetközi kísérletek járműszámának, kb.

10 800 vezetője pedig egy-két nagyságrenddel több a beosztási kísérletekben vizsgáltnál. A vidéki városi hálózatok nagyságrendben közelebb esnek hozzájuk: Pécsett a Tüke Busz 144 autóbusza munkanapon 1802 járatot teljesít.

Mivel lehetne kezdeni?

Kézenfekvő első lépés lehet a BKV meglévő rendszerére épülő összevető kísérlet (3. ábra). Már a közölt vonalcsoportpéldányokban is 6448 és több mint egymillió között volt a lehetséges vezetői szolgálatok száma, közel felükben több mint 100 000, ami meghaladja a felhőben elérhető kvantuminspirált megoldók határát; a teljes BKV-feladat ennél is nagyobb. Egy vonalcsoport álnevesített adatcsomagjából a meglévő rendszer előállítja a szolgálatokat, majd a kiválasztás egy kisebb példánya három ágon fut: klasszikus megoldóval, kvantuminspirált felhőszolgáltatással és hibrid vagy kvantumos ágon, akár a 2026. június 25. óta kérhető ingyenes európai gépidővel. Az ágakat előre rögzített, közös mérőszámok vetik össze.

A nemzetközi összevetések alapján valószínű, hogy a kvantuminspirált ág nem ad jobb tervet a meglévő klasszikus megoldónál. Ekkora járművezető-ütemezési feladaton azonban egy jól dokumentált összevetés nemzetközileg is újszerű lenne, a modell pedig a későbbi gépeken is újra futtatható. Ugyanez a minta a vasúti és a Volán-beosztásban egy telephelyen vagy vonalcsoporton követhető, a pécsi és a debreceni hálózat pedig egészében is kísérleti terep lehet.

A vasúti újraütemezésben a hazai részvétellel kidolgozott lengyel módszertan magyar történeti adatokon, offline, az élő forgalomirányítástól elkülönítve próbálható ki. A pályaudvarokon a peron melletti vágányok száma a Keletiben 13, a Nyugatiban 17, ami a London Bridge-i kísérlet nagyságrendje; egy hasonló vizsgálat a vonatonkénti vágányrend összeállításával kezdődhet, mert ez az állomási utasításokban nem szerepel.

A jelzőlámpáknál a német DLR QI-TraSiCo projektjének lépcsői (szimuláció, laboratórium, teszterület) adhatnak mintát egy budapesti szimulációs tesztkörnyezethez. Az igényvezérelt közlekedésben a foglalások alapján optimalizált útvonalon közlekedő budapesti 274-es járat és a miskolci MVK foglalásra épülő járatai a japán Kawasaki város megállótervezési kísérletéhez hasonló, kis feladatok.

A vasút digitális rendszereiben a posztkvantum-átállás a kérdés. Az 5G-alapú FRMCS vasúti rádiórendszer kiépítése a finanszírozás függvényében 2031-től tervezett, ezért az uniós előírásokkal nem rögzített rétegekben a beszerzési követelményeken múlhat, mennyire lesznek cserélhetők a kriptográfiai elemek. A 2024-es kiberbiztonsági törvény kötelező nyilvántartása és auditja a kriptográfiai leltár kapcsolódási pontja lehet.

A nemzetközi programok egyike sem igényelt saját kvantumhardvert az üzemeltetőtől: az osztrák pályahálózat-működtető társult partnerként, adattal vesz részt a német DLR programjában, a panamai Copa Airlines valós üzemi adatokra épülő versenyt rendezett.

Egy hazai kísérlet első haszna valószínűleg a feladatok modellezéséből, az adatok rendezéséből és a klasszikus összevetésből származna, ami a klasszikus tervezésben is hasznot hozhat. Ha a hibatűrő gépek a gyártói ütemtervek szerint megjelennek, ezt a munkát azok a szervezetek használhatják fel, amelyek tervezési feladatai addigra adatokkal, modellel és mért klasszikus eredménnyel együtt rendelkezésre állnak. Ha később érkeznek, ez a haszon akkor sem vész el.

A cikk a Bentax Plus Kft. „Kvantumtechnológia a közösségi közlekedésben. Felhasználások a világban és Magyarországon" című, 2026. október 24-i tanulmányának népszerű kivonata. A források és a részletes elemzés a tanulmányban találhatók (www.bentaxplus.hu).